

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی شیمی

گرایش طراحی فرایند

عنوان پایان نامه

**مطالعه توزیع زمان اقامت سیال و هیدرودینامیک آن در یک راکتور دوبعدی مستطیلی توسط
آنالیز عکس**

استاد راهنما:

دکتر جمشید بهین

نگارش:

نگین فرهادیان

اسفند ۱۳۹۱

سپاسگزارم

با تشکر از استاد راهنمای گرامی، دکتر بهین، که همواره با راهنمایی‌های خود در طی انجام این پروژه مرا یاری نمودند.

با تشکر از پدر و مادرم که همواره پشتیبان من بوده‌اند.

با تشکر از همه دوستان عزیزم که در کنارشان این دوره را به خوبی به اتمام رساندم.

از خداوند متعال برای همه آرزوی سلامتی و موفقیت را دارم.

تقدیرم بہ آسانی کہ بہ بودن خود می اندیشند.

روزها فکر من این است و همه شب منم

کہ چہ غافل از اصول دل خویشتم

از کجا آمدہ ام؟ آمدنم بہر چہ بود

بہ کجا می روم؟ آخر نمایم وطنم

ماندہ ام سخت عجب کنز چہ سبب ساخت مرہ

یا چہ بودہ است مرد وے از این ساختتم

مرغ باغ ملکوتم، نیم از عالم خاک

دو سه روزی قفسی ساختہ اند از بدنم

دے خوشتر آن روز کہ پرواز کنم تا بر دوست

بہ هولے سر کویشر پر و بالی بنزم

چکیده

در این پایان نامه، یک روش جدید، ساده و ارزان بر مبنای آنالیز عکس برای بدست آوردن منحنی توزیع زمان اقامت در راکتور ایرلیفت معرفی می‌گردد. به این منظور، روش پاسخ ردیاب با استفاده از تزریق ردیاب رنگی در راکتور ایرلیفت مستطیلی شیشه‌ای با حجم عملیاتی ۲۴۰۰ سانتی متر مکعب استفاده شد. آب شیر و هوا بعنوان سیالات عملیاتی استفاده شدند. عکس‌های گرفته شده در فواصل زمانی ۱/۵ ثانیه توسط نرم افزار Imagej به داده‌های کمی تبدیل شدند. داده‌های مورد نیاز با استفاده از کمی سازی شدت رنگ بدست آمده‌اند. Imagej برای گرفتن اطلاعات از عکس‌ها، مثلاً شدت رنگ هر پیکسلی مفید است. می‌توان با استفاده از منوی Plot profile منحنی شدت رنگ بر حسب زمان را بدست آورد. انتخاب ناحیه مورد علاقه اجازه میدهد تا نواحی چندگانه‌ای که می‌خواهند مطالعه شوند انتخاب شده، ذخیره شوند و آنالیز شوند که این امر باعث تسهیل مطالعات شدت رنگ بر اساس زمان می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که این روش سریع و ارزان نسبت به روش‌های آزمایشگاهی مخرب داده‌های واقعی بیشتری را نتیجه می‌دهد. استفاده از روش آنالیز عکس آسان است و این روش، روش قدرتمندی برای مطالعات هیدرودینامیک اختلاط در راکتورهای چند فازی است. در این روش نیازی به استفاده از پروب‌های گران قیمت و سیستم‌های کسب داده وجود ندارد. بعلاوه مطالعات آزمایشگاهی در زمینه عملکرد اختلاط ۳ راکتور ایرلیفت مستطیلی انجام شدند. این راکتور با استفاده از دو تیغه به دو ناودان و یک بالابر تقسیم شده است. طول‌های ناودان‌ها بسته به موقعیت قرار گیری تیغه‌ها متفاوت است در حالیکه سطح مقطع عرضی ناودان به بالابر مساوی ۱ خواهد بود.

تاثیر سرعت‌های ظاهری گاز مختلف بر هیدرودینامیک اختلاط مطالعه شده است. طول ناودان بر سرعت گردش مایع اثر می‌گذارد و می‌تواند باعث تقویت بازده اختلاط شود. طول ناودان پارامتر طراحی مهمی در راکتورهای ایرلیفت است. راکتور ایرلیفت مستطیلی ۳ با کوچکترین و بزرگترین ناودانها کمترین زمان اختلاط را دارد. دیده می‌شود که بدلیل تغییرات هندسی در راکتور، مشخصه‌های راکتور ایرلیفت مستطیلی ۳ نسبت به سایر راکتورها بهتر است و طول ناودان‌ها در این ترکیب بندی بر بازده اختلاط اثرگذار است.

واژه‌های کلیدی: راکتور ایرلیفت، آنالیز عکس، طول ناودان، ردیاب، زمان اختلاط

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول: مفاهیم کلی: راکتورهای ایرلیفت	
۲	۱-۱- راکتورهای ایرلیفت
۳	۲-۱- دسته بندی راکتورهای ایرلیفت
۴	۳-۱- مزایای استفاده از راکتورهای ایرلیفت
۵	۴-۱- تفاوت راکتورهای ایرلیفت و ستون های حبابی
۶	۵-۱- رژیم های جریان حبابی
۷	۶-۱- بررسی ساختار جریان در راکتورهای ایرلیفت
۱۰	۷-۱- خصوصیات هیدرودینامیکی راکتورهای ایرلیفت
۱۱	۱-۷-۱- ماندگی گاز
۱۲	۲-۷-۱- سرعت هوادهی
۱۲	۳-۷-۱- تاثیر خواص مایع
۱۴	۴-۷-۱- تاثیر توزیع کننده گاز
۱۴	۵-۷-۱- سرعت گردش مایع
۱۶	۳-۷-۱- روش های اندازه گیری سرعت گردش مایع
فصل دوم: بررسی توزیع زمان اقامت و اختلاط سیال در راکتورهای ایرلیفت	
۱۹	۱-۲- توزیع زمان اقامت سیال در ظرف واکنش
۲۱	۲-۲- اهمیت توزیع زمان اقامت سیال در راکتور ایرلیفت
۲۲	۳-۲- مدل های ارائه شده برای توصیف اختلاط سیال در راکتور ایرلیفت
۲۳	۴-۲- مطالعه اختلاط سیال در راکتورهای ایرلیفت
۲۵	۱-۴-۲- عوامل موثر بر اختلاط سیال
فصل سوم: مروری بر روش های اندازه گیری پارامترهای هیدرودینامیکی	
۳۱	۱-۳- روش های بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی
۳۲	۲-۳- مروری بر روش های غیرمخرب
۳۳	۳-۳- روش های کلی
۳۳	۱-۳-۳- افت فشار متوسط زمانی
۳۳	۲-۳-۳- اندازه گیری و آنالیز نوسانات سیگنال

۳۴	..... روش قطع گاز دینامیک	۳-۳-۳
۳۴	..... روش‌های ردیابی	۴-۳-۳
۳۸	..... رسانایی الکتریکی	۵-۳-۳
۳۹	..... روش‌های تضعیف پرتوها	۶-۳-۳
۳۹	..... تعیین خصوصیات محلی	۴-۳-۳
۳۹	..... روش‌های بصری	۱-۴-۳
۴۱	..... روش باد سنجی اشعه لیزر	۲-۴-۳
۴۳	..... روش ردیابی ذرات رادیواکتیو	۳-۴-۳
۴۴	..... روش‌های توموگرافی	۴-۴-۳
۴۵	..... روش آنالیز عکس دیجیتال	۵-۴-۳
۴۶	..... روش‌های مخرب	۵-۳-۳
۴۷	..... روش پروب‌های سوزنی	۱-۵-۳
۴۷	..... پروب‌های انتقال حرارت	۲-۵-۳
۴۸	..... پروب‌های آلتراسوند	۳-۵-۳

فصل چهارم: آزمایش‌ها

۵۰	..... آزمایش‌ها	۱-۴-۱
۵۰	..... استفاده از نرم افزار Imagej برای استخراج داده‌های مورد نیاز از تصاویر	۲-۱-۴
۵۱	..... منحنی توزیع زمان اقامت راکتور ایرلیفت مستطیلی حلقه داخلی با یک تیغه	۲-۴-۲
۶۳	..... راکتورهای ایرلیفت مستطیلی حلقه داخلی دو تیغه ای	۳-۴-۳
۶۴	..... منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR1 با استفاده از آنالیز عکس	۱-۳-۴
۷۳	..... منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR2 با استفاده از آنالیز عکس	۲-۳-۴
۸۰	..... منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR3 با استفاده از آنالیز عکس	۳-۳-۴

فصل پنجم: بحث و نتایج

۸۷	..... اثر سرعت ظاهری گاز بر پارامترهای اختلاط در راکتور ایرلیفت با یک تیغه داخلی	۱-۵-۱
۸۸	..... اثر سرعت ظاهری گاز بر پارامترهای اختلاط در راکتورهای ایرلیفت دو تیغه‌ای	۲-۵-۲
۸۸	..... راکتور RALR1	۱-۲-۵-۱
۹۰	..... راکتور RALR2	۲-۲-۵-۲
۹۱	..... راکتور RALR3	۳-۲-۵-۳

۳-۵ - مقایسه پارامترهای اختلاط در راکتورها..... ۹۲

جمع بندی و پیشنهادها

نتیجه گیری..... ۹۶

پیشنهادها..... ۹۷

ضمیمه: معرفی نرم افزار Imagez..... ۹۸

مراجع..... ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

صفحه		عنوان
۳	.....	شکل ۱-۱: قسمت‌های مختلف راکتور ایرلیفت
۴	.....	شکل ۲-۱: انواع راکتورهای ایرلیفت
۶	.....	شکل ۳-۱: رژیم‌های گردش در یک راکتور ایرلیفت با حلقه داخلی
۸	.....	شکل ۴-۱: شکل جریان در راکتور ایرلیفت
۲۰	.....	شکل ۱-۲: منحنی توزیع زمان عمر برای سیال جاری در یک ظرف
۲۱	.....	شکل ۲-۲: منحنی پاسخ ضربه
۲۵	.....	شکل ۳-۲: نمونه‌ای از منحنی پاسخ ردیاب و تعیین زمان اختلاط و چرخش
۳۵	.....	شکل ۱-۳: مدلی از یک راکتور ایرلیفت
۳۶	.....	شکل ۲-۳: منحنی‌های RTD در راکتور ایرلیفت که با مدل تنظیم شده مقایسه شده اند
۳۷	.....	شکل ۳-۳: مقایسه غلظت اندازه گیری شده از طریق دیواره با RTD واقعی
۴۲	.....	شکل ۴-۳: سیگنال سرعت باد سنجی اشعه لیزر در یک سیستم حبابی
۴۳	.....	شکل ۵-۳: سرعت مایع متوسط زمانی - سرعت گاز متوسط زمانی در بالای یک راکتور ایرلیفت توسط
۴۸	.....	شکل ۶-۳: پروب سوزنی نوری تک نوک و دو نوک
۵۲	.....	شکل ۱-۴: شمایی از راکتور ایرلیفت با یک تیغه داخلی
۵۴	.....	شکل ۲-۴: تصاویر راکتور ایرلیفت با یک تیغه داخلی در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۵۵	.....	شکل ۳-۴: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان راکتور یک تیغه ای در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۵۶	.....	شکل ۴-۴: نمونه‌هایی از پروفایل‌های بدست آمده از نرم افزار Imagej
۵۷	.....	شکل ۵-۴: نمونه‌هایی از نمودارهای شدت رنگ خاکستری تفریق شده بر حسب طول ناودان
۵۸	.....	شکل ۶-۴: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور ایرلیفت یک تیغه ای در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۵۹	.....	شکل ۷-۴: تصاویر راکتور ایرلیفت با یک تیغه داخلی در سرعت ظاهری گاز 1 cm/s
۵۹	.....	شکل ۸-۴: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان راکتور با یک تیغه داخلی در سرعت ظاهری گاز 1 cm/s
۶۰	.....	شکل ۹-۴: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور ایرلیفت با یک تیغه در سرعت ظاهری گاز 1 cm/s
۶۱	.....	شکل ۱۰-۴: تصاویر راکتور ایرلیفت با یک تیغه داخلی در سرعت ظاهری گاز 2 cm/s
۶۲	.....	شکل ۱۱-۴: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان راکتور با یک تیغه داخلی در سرعت ظاهری گاز 2 cm/s
۶۲	.....	شکل ۱۲-۴: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور ایرلیفت با یک تیغه در سرعت ظاهری گاز 2 cm/s
۶۴	.....	شکل ۱۳-۴: شمای راکتور ایرلیفت مستطیلی با دو تیغه داخلی
۶۵	.....	شکل ۱۴-۴: تصاویر راکتور ایرلیفت RALR1 در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۶۶	.....	شکل ۱۵-۴: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۶۷	.....	شکل ۱۶-۴: نمونه‌هایی از پروفایل‌های بدست آمده از نرم افزار Imagej
۶۸	.....	شکل ۱۷-۴: نمونه‌هایی از نمودارهای شدت رنگ خاکستری تفریق شده بر حسب طول ناودان
۶۹	.....	شکل ۱۸-۴: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s

۷۰	.....	شکل ۴-۱۹: تصاویر راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۰	.....	شکل ۴-۲۰: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۱	.....	شکل ۴-۲۱: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۲	.....	شکل ۴-۲۲: تصاویر راکتور ایرلیفت RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۷۲	.....	شکل ۴-۲۳: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۷۳	.....	شکل ۴-۲۴: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR1 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۷۴	.....	شکل ۴-۲۵: تصاویر راکتور ایرلیفت RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۷۵	.....	شکل ۴-۲۶: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۷۶	.....	شکل ۴-۲۷: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۷۶	.....	شکل ۴-۲۸: تصاویر راکتور ایرلیفت RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۷	.....	شکل ۴-۲۹: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۷	.....	شکل ۴-۳۰: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۷۸	.....	شکل ۴-۳۱: تصاویر راکتور ایرلیفت RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۷۹	.....	شکل ۴-۳۲: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۷۹	.....	شکل ۴-۳۳: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR2 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۸۰	.....	شکل ۴-۳۴: تصاویر راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۸۱	.....	شکل ۴-۳۵: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۸۱	.....	شکل ۴-۳۶: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۰٫۲ cm/s
۸۲	.....	شکل ۴-۳۷: تصاویر راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۸۲	.....	شکل ۴-۳۸: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۸۳	.....	شکل ۴-۳۹: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۱ cm/s
۸۴	.....	شکل ۴-۴۰: تصاویر راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۸۴	.....	شکل ۴-۴۱: تصاویر بر عکس شده قسمت ناودان ۱ راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۸۵	.....	شکل ۴-۴۲: منحنی توزیع زمان اقامت برای راکتور RALR3 در سرعت ظاهری گاز ۲ cm/s
۸۷	.....	شکل ۵-۱: منحنی‌های توزیع زمان اقامت در سرعت‌های ظاهری گاز متفاوت در راکتور ایرلیفت یک تیغه...
۸۹	.....	شکل ۵-۲: منحنی‌های توزیع زمان اقامت در سرعت‌های ظاهری گاز متفاوت در راکتور RALR1
۹۰	.....	شکل ۵-۳: منحنی‌های توزیع زمان اقامت در سرعت‌های ظاهری گاز متفاوت در راکتور RALR2
۹۱	.....	شکل ۵-۴: منحنی‌های توزیع زمان اقامت در سرعت‌های ظاهری گاز متفاوت در راکتور RALR3

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۱: پارامترهای عملیاتی مطالعه شده در راکتورهای ایرلیفت.....
۳۱	جدول ۱-۳: ملزومات استفاده از روش‌های اندازه‌گیری سرعت گردش در راکتورها.....
۶۴	جدول ۱-۴: مشخصات هندسی راکتورهای ایرلیفت مستطیلی با دو تیغه داخلی.....
۸۸	جدول ۱-۵: زمان گردش و اختلاط بدست آمده در سرعت‌های گاز متفاوت در راکتور ایرلیفت یک تیغه.....
۸۹	جدول ۲-۵: زمان گردش و اختلاط بدست آمده در سرعت‌های گاز متفاوت در راکتور RALR1.....
۹۱	جدول ۳-۵: زمان گردش و اختلاط بدست آمده در سرعت‌های گاز متفاوت در راکتور RALR2.....
۹۲	جدول ۴-۵: زمان گردش و اختلاط بدست آمده در سرعت‌های گاز متفاوت در راکتور RALR3.....
۹۲	جدول ۵-۵: پارامترهای اختلاط در راکتورها در سرعت ظاهری گاز 0.2 cm/s
۹۳	جدول ۶-۵: پارامترهای اختلاط در راکتورها در سرعت ظاهری گاز 1 cm/s
۹۳	جدول ۷-۵: پارامترهای اختلاط در راکتورها در سرعت ظاهری گاز 2 cm/s

فهرست نمادها

نماد	پارامتر
t_t	فاصله بالایی
A_d/A_r	نسبت سطح مقطع عرضی ناودان به بالابر
t_b	فاصله پایینی
A_r	سطح مقطع عرضی بالابر
A_d	سطح مقطع عرضی ناودان
D_d	قطر داخلی لوله درونی
H	ارتفاع ستون
U_g	سرعت ظاهری گاز
K_{La}	ضریب انتقال جرم
U_{lr}	سرعت ظاهری مایع در بالابر
h_D	ارتفاع پراکندگی مایع
ϵ_{gr}	ماندگی گاز در بالابر
ϵ_{gd}	ماندگی گاز در ناودان
K_B	ضرایب اتلاف فشار هیدرولیک در بخش پایینی
K_T	ضرایب اتلاف فشار هیدرولیک در بخش بالایی
ϵ	ماندگی کل گاز درون راکتور
C	غلظت ردیاب در ورودی
C_∞	غلظت متوسط ردیاب
I	درجه اختلاط
B_o	عدد بودنشتاین
E_Z	ضریب پراکندگی محوری
C_r	غلظت بی بعد
V_l	سرعت خطی
D_c	قطر ستون
B_{OLG}	عدد بودنشتاین بر مبنای سرعت ظاهری
F_r	عدد فروید
t_m	زمان اختلاط
t_c	زمان گردش
aL	دانسیته نوری

فصل اول

راکتورهای ایرلیفت: مفاهیم کلی

۱-۱- راکتورهای ایرلیفت^۱

راکتورهای ایرلیفت تماس دهنده‌های کارآمدی برای فرایندهای شامل گازها، مایعات و جامدات هستند. این راکتور شامل یک مخزن مایع است که به دو قسمت مجزا تقسیم شده است. در یکی از این دو منطقه گاز پخش می‌شود. اختلاف بین ماندگی گاز در قسمت‌های پخش شده و پخش نشده باعث بوجود آمدن اختلافی در دانسیته بالک بین سیالات می‌شود و بنابراین سیال در راکتور توسط عمل بالارفتن گاز گردش می‌کند. این راکتور یک راکتور همزده توسط هوا است. و این نامگذاری با این حقیقت سازگار است که مایع مخزن توسط گاز پخش شده به درون ستون بالا می‌رود.

همه راکتورهای ایرلیفت شامل چهار ناحیه مجزا هستند که سیال موجود در هر بخشی خصوصیات منحصر بفردی دارد:

-بخش بالابر^۲: در این قسمت حرکت مایع-گاز بسمت بالا است. گاز معمولاً در انتهای این قسمت پخش می‌شود.

-بخش ناودان^۳: این قسمت به موازات ناودان است و در این بخش از راکتور گردش مجدد جریان به سمت پایین است.

-بخش پایینی^۴: قسمت‌های بالابر و ناودان در پایین توسط یک ارتباط دهنده افقی ساده به هم مرتبط هستند.

-بخش جداکننده گاز^۱: در این بخش در بالای راکتور بالابر و ناودان با هم مرتبط می‌شوند و در این قسمت گاز جدا می‌شود و مایع گردش می‌کند [۱].

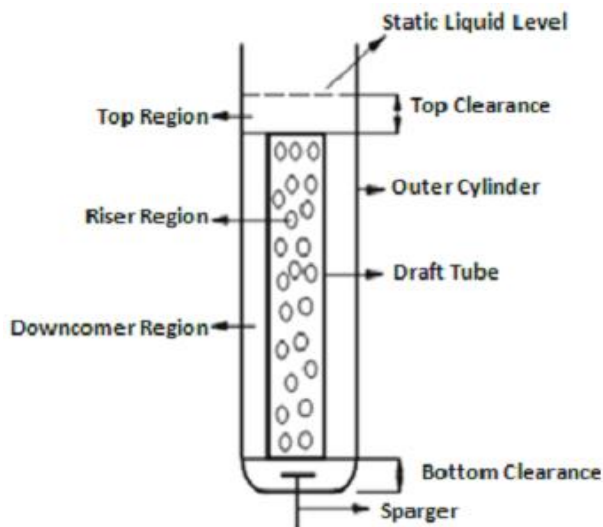
¹-Airlift reactor

²-Riser

³-Downcomer

⁴-Bottom section

شکل ۱-۱ بخش‌های مختلف راکتور ایرلیفت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: قسمت‌های مختلف راکتور ایرلیفت [۱]

۱-۲- دسته بندی راکتورهای ایرلیفت

تنوع زیادی در ترکیب بندی راکتورهای ایرلیفت وجود دارد و در مطالعات شکل‌های مختلفی از این راکتور بکار رفته است. با این حال دو دسته از این راکتورها باید مشخص شوند:

- **راکتورهای ایرلیفت با حلقه خارجی^۱**: در این راکتور بخش‌های بالابر و ناودان دو لوله کاملاً جدا هستند که در بالا و پایین توسط بخش‌های افقی با هم ارتباط دارند. در این راکتور، جدا شدن گاز در قسمت بالایی باعث افزایش اختلاف در دانسیته و یا فشار هیدرواستاتیک می‌شود. راکتورهای ایرلیفت با حلقه خارجی تنوع کمتری دارند و اصلاحات بر روی قسمت جداکننده گاز که در آنجا بالابر و ناودان بصورت افقی بهم متصل هستند متمرکز می‌شود. عملکرد این راکتور ممکن است تحت تاثیر طراحی جداکننده گاز قرار بگیرد. در نتیجه، در طراحی و بزرگنمایی راکتورهای ایرلیفت مخصوصاً باید به ترکیب بندی جدا کننده گاز توجه شود. بصورت معمول، دو گونه مشخص از جداکننده‌های فازی برای راکتورهای حلقه خارجی در مطالعات استفاده شده اند:

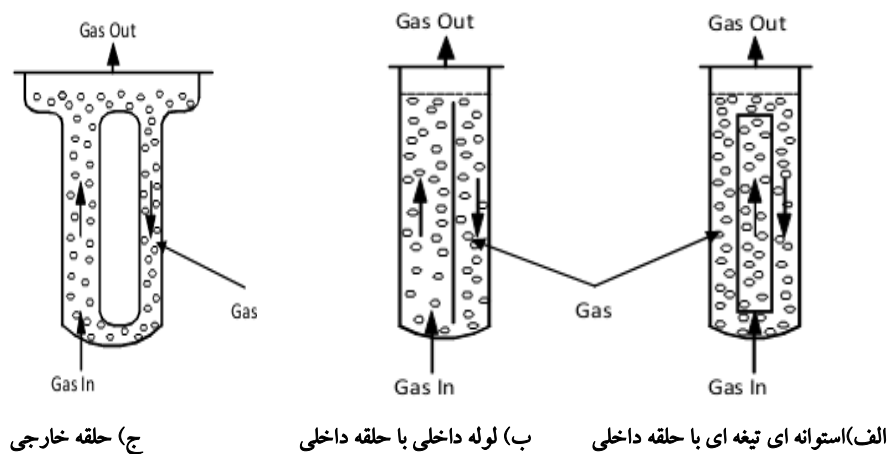
^۱-Gas separator

^۲-External loop airlift reactor

نوع کانال بسته، که در این ترکیب بندی یک لوله افقی قسمت‌های بالابر و ناودان را بهم وصل می‌کند و در ترکیب بندی کانال باز، که در این ترکیب بندی یک مخزن مستطیلی در قسمت بالایی بالابر و ناودان قرار دارد.

- **راکتور ایرلیفت با حلقه داخلی!** در این راکتور ستون توسط یک بافل داخلی به بخش‌های بالابر و ناودان تقسیم می‌شود. بسته به نحوه قرارگیری لوله‌های داخلی، این راکتور ساختارهای متفاوتی دارد. در راکتورهای ایرلیفت با حلقه داخلی، مجزا کردن بخشهای بالابر و ناودان توسط نصب یک لوله مرکزی در ستون استوانه ای مایع و یا توسط جاسازی عمودی بافل برای دستیابی به هندسه استوانه ای دو نیم شده صورت می‌گیرد.

شکل ۱-۲ انواع گوناگون راکتور ایرلیفت را نشان می‌دهد [۲].



شکل ۱-۲: انواع راکتورهای ایرلیفت [۲]

۳-۱- مزایای استفاده از راکتورهای ایرلیفت

از بین راکتورهای همزده توسط هوا، راکتورهای ایرلیفت بدلیل دارا بودن مزایای زیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته اند [۳]:

-طراحی آسان

-ساختار ساده

¹-Internal loop airlift reactor

-انرژی ورودی پایین

-اختلاط خوب

-عدم نیاز به همزن مکانیکی

-هزینه ساخت پایین

-داشتن سرعت گردش مایع بالاتر

-آشفته‌گی (بهم خوردگی) بیشتر

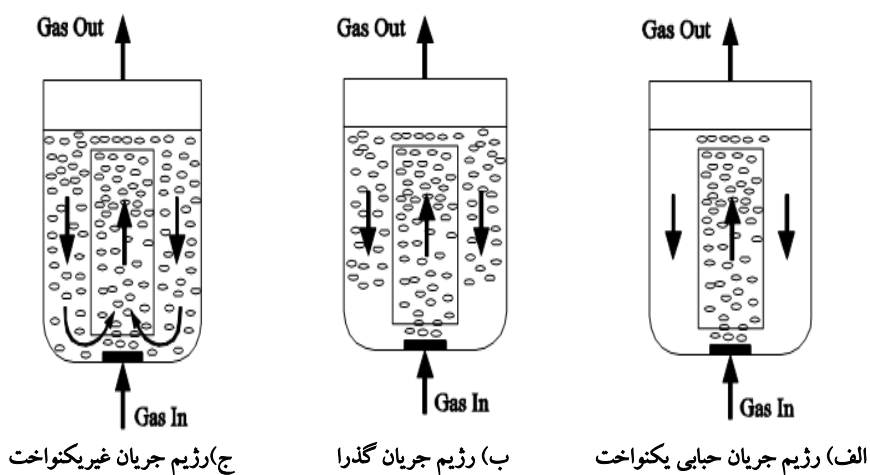
-پایین بودن تنش برشی

۱-۴- تفاوت راکتورهای ایرلیفت و ستون‌های حبابی

ستون‌های حبابی بطور گسترده‌ای در صنایع شیمیایی استفاده می‌شوند. راکتورهای ایرلیفت نوع خاصی از ستون‌های حبابی هستند که بیشتر در تخمیر بیوشیمیایی و تصفیه پساب بیولوژیکی از آنها استفاده می‌شود. راکتورهای ستون حبابی و ایرلیفت توسط هوا همزده می‌شوند و معمولاً در بیوفرایندهایی استفاده می‌شوند که در آنها تماس گاز-مایع ضروری است. نقش گاز فراهم نمودن تماس با مایع برای فرایندهای انتقال جرم مانند جذب یا دفع و نیز فراهم نمودن انرژی از طریق پخش گاز یا شناوری حباب برای اختلاط مایع است. در این دو نوع راکتور همزده، گاز (هوا) معمولاً از پایین در مایع پخش می‌شود و نیروی شناوری حبابهای گاز بالارونده باعث اختلاط می‌شود. هیدرودینامیک در این دو نوع راکتور کاملاً با هم فرق دارد. مهمترین تفاوت بین این دو نوع راکتور همزده با هوا در خصوصیات جریان سیال آنها است. جریان در راکتور ایرلیفت منظم است و در یک الگویی مانند یک حلقه گردش می‌کند که از بالا شروع می‌شود و تا پایین ادامه دارد. تفاوت ایرلیفت با ستون حبابی این است که در ایرلیفت لوله‌های داخلی وجود دارند که باعث بهبود گردش می‌شوند ولی ستون حبابی یک ستون ساده است. در ستون حبابی هیچ قسمت جداکننده‌ای وجود ندارد که باعث پیچیدگی سیال شود [۱].

۱-۵- رژیم‌های جریان حبابی

هیدرودینامیک جریان چند فاز در تماس دهنده‌های گاز-مایع اثر کنترل کننده‌ای بر پدیده‌های انتقال فاز مایع دارد. به محض اینکه جریان گاز درون راکتور زیاد شود، چندین رژیم جریان متفاوت مشاهده می‌شوند. رژیم حبابی یکنواخت در سرعتهای گاز کم اتفاق می‌افتد و در این مورد جریان توسط توزیع یکنواخت از حبابهای نسبتاً کوچک توصیف می‌شود. این امر باعث ایجاد سطح بزرگتری برای انتقال جرم می‌شود. در این مورد، سرعت فاز گاز با فاز مایع برابر است و در نتیجه آشفتگی چندان وجود ندارد و یا اینکه خیلی کم است. رژیم جریان گذرا شامل حبابهایی با اندازه‌های متفاوت است که در نتیجه افزایش سرعت جریان گاز و یا وقتی که قطر راکتور بزرگ باشد، مشاهده می‌شوند. در این مورد، ماندگی گاز کم است چون تعداد زیادی حباب بزرگ تمایل دارند که تمام حجم راکتور را اشغال کنند و با اینکار بهم پیوستن حبابها اتفاق می‌افتد و متعاقباً انتقال جرم کمتر می‌شود. در این رژیم‌های جریان، سه الگوی گردش جریان وجود دارند. شکل ۱-۳ رژیم‌های گردش جریان در راکتور ایرلیفت حلقه داخلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳: رژیم‌های گردش در یک راکتور ایرلیفت با حلقه داخلی [۴]

در رژیم جریان حبابی یکنواخت، مقدار گاز ورودی خیلی کم است. بنابراین سرعت مایع برای وارد کردن گاز به درون ناودان کافی نیست. در رژیم جریان گذرا دسته بندی حبابها دیده می‌شود. به محض اینکه سرعت جریان گاز زیاد شود، باعث می‌شود که سرعت مایع برای وارد کردن حبابها به ناودان کافی باشد. ورود حبابها به قسمت بالایی ناودان قابل مشاهده است. در رژیم جریان غیریکنواخت بعلت تامین انرژی کافی از طریق

سرعت مایع گردش کامل گاز (حباب) در ناودان وجود دارد. این امر متناسب با افزایش جریان گاز است که باعث بهبود پایین آمدن تدریجی و نهایتاً گردش گاز در سرتاسر ستون می‌شود [۴].

۱-۶- بررسی ساختار جریان در راکتورهای ایرلیفت

پس از معرفی رژیم‌های جریان در راکتورهای چند فازی برای شناخت بهتر راکتور ایرلیفت نیاز به تحقیقات دقیق‌تر و جزئی‌تری درباره جریان داریم. مطالعات بر روی ساختار جریان در فهم کلی عملکرد راکتورها تاثیر بسزایی دارد، مانند راکتورهای همزن دار که الگوهای چرخش، سرعت همزن برای مخلوط‌های معلق و پراکندگی کلی جامدات، شناخت ناحیه‌های مرده و مناطق بشدت مغشوش، موقعیت بهینه همزن برای توزیع جریان و موارد متعدد دیگر با استفاده از مطالعات بر ساختار جریان قابل دستیابی است. مشاهدات مشابه در مورد راکتورهای ایرلیفت کمتر وجود دارد. تحقیقات کم موجود، اکثراً برای الگوی کلی چرخش سیال در آب و یا نمک‌های محلول صورت گرفته است. بررسی‌هایی بر روی سیستم محلول‌های آبی (آب - نمک طعام) و واسطه غیرنیوتنی (محلول کربوکسی متیل سلولز) در یک راکتور ایرلیفت با چرخه داخلی و سطح مقطع مستطیلی توسط ویال^۱ و همکارانش [۵] صورت گرفته است و هوا توسط صفحه مشبک (۲۰ سوراخ به قطر ۰٫۰۰۱ متر) که در انتهای بخش بالابر قرار گرفته است تزریق می‌شود و مشاهده شده است که در شدت جریانهای بسیار کم گاز، حباب‌ها فقط از بخش بالابر صعود می‌کنند و شدت چرخش مایع بسیار کم می‌شود. با افزایش سرعت گاز شدت چرخش مایع نیز افزایش می‌یابد و تعدادی از حباب‌های گاز به داخل ناودان کشیده می‌شوند. اندازه حباب در ناودان کمتر از بخش بالابر است و این تا زمانی است که جریان مایع داخل ناودان بتواند حباب‌های بزرگتر را که سرعت‌های صعود بالایی دارند، به داخل خود جارو کند [۵]. عمق نفوذ یک حباب به داخل ناودان به اندازه آن بستگی دارد و حباب‌های ریز، تا عمق بیشتری نفوذ می‌کنند با بدست آوردن عمق نفوذ مشخص، حباب‌های گاز به حالت ساکن باقی می‌مانند و در این شرایط نیروی شناوری روی حباب با نیروی درگ رو به پایین ناشی از جریان مایع در تعادل هستند. با افزایش سرعت گاز حباب‌های بزرگتر به داخل ناودان جارو می‌شوند و عمق نفوذ حباب در آن نیز افزایش می‌یابد. در نهایت چرخش اکثر حباب‌ها بدست می‌آید و جریان بطور کامل در ناودان برقرار می‌شود.

¹-Vial