



دانشگاه بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش فرایند های جداسازی

عنوان:

بزرگنمایی در برج های تقطیر از نوع SCC با استفاده از آنالیز CFD

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زیودار

تحقیق و نگارش:

لیلا پورجعفر

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

مهر ۱۳۸۸

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بزرگنمایی در برج های تقطیر از نوع SCC با استفاده از آنالیز CFD قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی توسط دانشجو لیلا پورجعفر تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر مرتضی زیودار تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

لیلا پورجعفر

این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ توسط هیئت داوران بررسی و درجه به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر مرتضی زیودار		
داور ۱: دکتر حسین آتشی		
داور ۲: دکتر فرهاد شهرکی		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر بهزاد مهر		



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب لیلا پورجعفر تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: لیلا پورجعفر

امضاء

این اثر ناچیز را تقدیم می‌کنم به:

پدر مهربان و مادر نازنینم

سپاسگزاری

پدر، مامان، سارا و سعید نازنینم از همه تون از صمیم قلب متشکرم.
از جناب آقای دکتر امین قربانی که بدون ایشان انجام این پروژه ناممکن بود، صمیمانه تشکر میکنم.

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر زیودار که راهنمایی این پروژه را به عهده داشتند و در طول این تحقیق از راهنمایی های ایشان بهره بردم تشکر میکنم امیدوارم همیشه موفق و موید باشند همچنین از استاد عزیزم جناب آقای دکتر آتشی که در طول تحصیل همواره راهنما و مشوق دانشجویان بودند سپاسگزارم. از آقای دکتر سید حسین حسینی که در انجام این پروژه از راهنمایی های ایشان بهره ی بسیار بردم بسیار سپاسگزارم.
از همه دوستان عزیزم که در طول مدت دانشجویی خاطرات زیبایی از لحظات زندگی من در کنار تون در لوح دلهامون ثبت کردیم ممنونم. الهام، مرضیه، محبوبه، فروغ، طاهره، راحله، فراموشتون نمیکنم.
از خداوند مهربان برای همه این عزیزان آرزوی موفقیت و سلامتی دارم.

لیلا پورجعفر

مهر ۱۳۸۸

چکیده:

یکی از انواع برجهای تقطیر سینی دار، برج تقطیر با سینی های مخروطی چرخان (SCC) میباشد. در این تحقیق دو سایز مختلف از این نوع برج از جهت پارامتر های افت فشار و ظرفیت، مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق، عبارتند از:

تولید هندسه و شبکه بندی مدل ها بوسیله نرم افزار Ansys Worckbench-11 و تعریف پارامترها، شرایط مرزی، حل معادلات و بررسی نتایج نرم افزار بوسیله CFX-11 انجام شد. در این تحقیق به بررسی پارامترهای افت فشار و طغیان در دو برج تجاری (DC=.81m) و آزمایشگاهی (DC=.148m) پرداخته شد و با استفاده از اطلاعات طغیان برج ها محدوده عملکرد در دو برج تخمین زده شد. به این ترتیب محدوده عملکرد برج هایی با اقطار بین این دو برج بدست آمد.

در تحقیق حاضر از مش های هرمی، چهار وجهی و منشوری استفاده شده است. ساختار مش از نوع نامنظم (unstructured) می باشد. برای برج آزمایشگاهی در مش با اندازه ۲ میلی متر و برای برج تجاری در مش به اندازه ۹ میلی متر بهترین همگرایی برای جوابها بدست آمد. تعداد کل مش های استفاده شده برای برج تجاری برابر با ۷۵۰۸۳۳ و برای برج آزمایشگاهی برابر با ۳۸۴۵۹۶ می باشد.

در مورد افت فشار خشک متوسط خطای نسبی برای برج آزمایشگاهی برابر با ۱۱ درصد و برای برج تجاری برابر با ۱۳ درصد می باشد. در برج آزمایشگاهی، میزان متوسط خطای نسبی محاسبه شده برای داده های افت فشار دو فاز برای مجموع شدت جریانهای مایع ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ لیتر بر دقیقه برابر ۱۰ درصد می باشد.

در برج تجاری، میزان متوسط خطای نسبی محاسبه شده برای داده های افت فشار دو فاز برای مجموع شدت جریانهای مایع ۰/۷، ۱ و ۱/۴ کیلو گرم بر ثانیه حدود ۱۵ درصد می باشد.

با افزایش سرعت چرخش و افزایش دبی هوا در شدت جریان مشخص گاز و مایع، افت فشار خشک و دوفازی افزایش می یابد. که این موضوع با نتایج تجربی مطابقت دارد. از نتایج این تحقیق می توان در تخمین پارامتر های افت فشار، طغیان، راندمان برج و طراحی قطرانواع برج های SCC استفاده کرد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مروری بر برج های سینی دار مخروطی چرخان (SCC).....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- کاربردهای برج SCC.....
۴	۳-۱- بررسی جریان گاز و مایع.....
6	۴-۱- تاریخچه تحقیقات آزمایشگاهی و تئوری.....
۷	۵-۱- تاریخچه استفاده از CFD برای مدل سازی برجهای SCC.....
13	۶-۱- مکانیزم های فیزیکی جریان گاز و مایع.....
14	۷-۱- رژیم های جریان.....
14	۱-۷-۱- رژیم جریان pre loading.....
14	۲-۷-۱- رژیم جریان loading.....
16	۳-۷-۱- رژیم جریان flooding.....
18	۸-۱- اعداد رینولدز.....
19	۹-۱- افت فشار.....
23	۱۰-۱- نمودارهای SLE (Sherwood-Leva-Ecke).....
25	۱۱-۱- انتقال جرم.....
26	۱۲-۱- نتیجه گیری.....
27	فصل دوم: دینامیک سیالات محاسباتی.....
28	۱-۲- مقدمه.....
29	۲-۲- دینامیک سیالات محاسباتی.....
34	۳-۲- کاربردها.....
35	۴-۲- روشهای حل در دینامیک سیالات محاسباتی.....
35	
36	
44	

46	..... ۲-۵- معادلات حاکم بر جریان سیال
49	..... ۲-۵-۱- معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت یک فازی
51	..... ۲-۵-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت دو فازی
52	..... ۲-۵-۳- مدل های جریان آشفته
53	..... ۲-۵-۴- مدل های نیروی پسا
55	..... ۲-۵-۵- مدل های ارایه شده برای بررسی جریان چند فازی
56	..... ۲-۶- مروری بر نرم افزار CFX
56	..... ۲-۷- نتیجه گیری
57	.....
58	فصل سوم: مدلسازی سیستم
59	..... ۳-۱- مقدمه
60	..... ۳-۲- تعیین الگوی جریان
61	..... ۳-۳- فرضیات حاکم بر سیستم
61	..... ۳-۴- معادلات حاکم بر سیستم
62	..... ۳-۵- مراحل مدل سازی
64	..... ۳-۵-۱- تولید هندسه مدل (برج آزمایشگاهی)
65	..... ۳-۵-۲- تولید هندسه مدل (برج تجاری)
66	..... ۳-۶- شبکه بندی مدل
68	..... ۳-۶-۱- شبکه بندی برج آزمایشگاهی
69	..... ۳-۶-۲- شبکه بندی برج تجاری
69	..... ۳-۷- شرایط مرزی
69	..... ۳-۷-۱- شرایط مرزی برای تحلیل افت فشار خشک (برج آزمایشگاهی)
75	..... ۳-۷-۲- شرایط مرزی مورد استفاده برای تحلیل افت فشار دو فازی (برج آزمایشگاهی)
86	..... ۳-۷-۳- شرایط مرزی برای تحلیل افت فشار خشک (برج تجاری)
88	..... ۳-۷-۴- شرایط مرزی برای تحلیل افت فشار دو فازی (برج تجاری)
90	..... ۳-۸- بخش محاسبه گر
90	..... ۳-۹- نتیجه گیری
90	.....
90	فصل چهارم: تحلیل نتایج
95	..... ۴-۱- مقدمه
95	..... ۴-۲- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD افت فشار خشک و دوفازی
103	..... ۴-۳- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک و دوفازی در برج تجاری
105	..... ۴-۳-۱- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک در برج تجاری
107	..... ۴-۳-۲- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار دوفازی در برج تجاری
110	..... ۴-۳-۳- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه پارامتر طغیان در برج تجاری
۱۱۱	..... ۴-۳-۴- رسم منحنی SLE در برج تجاری با استفاده از CFD
۱۱۲	..... ۴-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک و دوفازی در برج
۱۱۴	.....
۱۱۵	..... آزمایشگاهی

۱۱۸	۱-۴-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک در برج
۱۱۹	.....آزمایشگاهی
۱۲۲	۲-۴-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار دو فازی در برج
۱۴۳	.....آزمایشگاهی
۱۴۷	۳-۴-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه پارامتر طغیان در برج
	.....آزمایشگاهی
	۴-۴-۴- رسم منحنی SLE در برج آزمایشگاهی با استفاده از CFD
	۵-۴-۴- مقایسه پارامتر های ظرفیت در برج های آزمایشگاهی و تجاری
	۵-۴- نتیجه گیری
	فصل پنجم: نتیجه گیری کلی و پیشنهادات
	۱-۵- نتیجه گیری کلی
	۲-۵- پیشنهادات
	مراجع
	پیوست ها
	پیوست (الف) - معادلات ناویر استوکس
	پیوست (ب) - کدهای مربوط به داده های خروجی نرم افزار CFX
	پیوست (ج) - محاسبات افت فشار
	پیوست (د) - چکیده مقالات

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱ نتایج حاصل از شبیه سازی CFD برای بدست آوردن ثوابت تجربی k_{rot} و k_{reg} و مقایسه با مقادیر تجربی ۹
- جدول ۱-۲ اندازه ی تغییرات در هندسه SCC ۱۰
- جدول ۱-۳ تعیین آغاز اولین ناپایداری و آشفتگی کاملا توسعه یافته، بوسیله مقادیر بحرانی از اعداد رینولدز ۱۸
- جدول ۱-۴ پارامترهای هندسی دو برج تجاری و آزمایشگاهی ۲۲
- جدول ۱-۴ مقایسه بین مقادیر افت فشار خشک تجربی و محاسباتی (CFD) در برج تجاری در سرعت چرخشی ۵۰۰rpm ۷۲
- جدول ۲-۴ تغییرات افت فشار خشک در سرعت های چرخش مختلف ۷۵
- جدول ۳-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (kg/s) ۰/۷ توسط CFD ۸۱
- جدول ۴-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (kg/s) ۱ توسط CFD ۸۲
- جدول ۵-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (kg/s) ۱/۴ توسط CFD ۸۳
- جدول ۶-۴ اثر سرعت چرخشی در شدت جریان مایع ۰/۷ کیلوگرم برثانیه ۸۵
- جدول ۷-۴ محاسبات مربوط به نقاط طغیان در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm ۸۷
- جدول ۸-۴ محاسبه پارامتر جریان و پارامتر ظرفیت با استفاده از CFD در سرعت چرخش ۵۰۰rpm ۸۹
- جدول ۹-۴ مقایسه بین مقادیر افت فشار خشک تجربی و محاسباتی (CFD) در برج آزمایشگاهی در سرعت چرخشی ۱۰۰۰rpm ۹۳
- جدول ۱۰-۴ نتایج تغییرات افت فشار خشک در سرعت های چرخش مختلف ۹۶
- جدول ۱۱-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (lit/min) ۰/۶ توسط CFD ۹۹
- جدول ۱۲-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (lit/min) ۰/۹ توسط CFD ۱۰۰
- جدول ۱۳-۴ محاسبات افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع (lit/min) ۱/۲ توسط CFD

- ۱۰۱ جدول ۴-۱۴ اثر سرعت چرخشی در شدت جریان مایع ۰/۹ لیتر بر دقیقه
- ۱۰۲ جدول ۴-۱۵ محاسبات مربوط به نقاط طغیان در سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm
- ۱۰۴ جدول ۴-۱۶ محاسبه پارامتر جریان و پارامتر ظرفیت با استفاده از CFD در سرعت چرخش
- ۱۰۷ ۱۰۰۰rpm

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۵	شکل ۱-۱ شمای کلی برج SCC و سینی های آن
۶	شکل ۲-۱ بخشی از مسیر جریان گاز و مایع در برج SCC.
۹	شکل ۳-۱ مقایسه داده های تجربی با داده های CFD در سرعت چرخش ۷۵۰ rpm
۱۰	شکل ۴-۱ تغییرات در هندسه در SCC
۱۱	شکل ۵-۱ افزایش نوسانات فشاری متناسب با عدد رینولدز.
۱۲	شکل ۶-۱ تغییرات ضریب انتقال جرم حجمی با افزایش سایز برج.
۱۲	شکل ۷-۱ تغییرات ضریب انتقال جرم اسپری و فیلمی با سایز برج.
۱۳	شکل ۸-۱ تغییرات افت فشار با سرعت جرمی گاز در سایز های مختلف
۱۶	شکل ۹-۱ مقایسه بین رژیم های جریان flooding و loading و تغییرات افت فشار در برج آزمایشگاهی
۱۶	شکل ۱۰-۱ رژیم جریان flooding و loading و تغییرات افت فشار در برج تجاری
۱۹	شکل ۱۱-۱ تغییرات افت فشار در شدت جریان های مختلف گاز و مایع
۲۱	شکل ۱۲-۱ شمای هندسی مدل مورد بررسی
۲۳	شکل ۱-۱۳ نمودار SLE در برج SCC برای مقیاس های مختلف در محدوده بار گذاری
۲۶	شکل ۲-۱۱ تجمع علوم مختلف و حصول دینامیک سیالات محاسباتی
۲۷	شکل ۲-۲ سه روش اصلی حل برای مسائل مکانیک سیالات و انتقال حرارت
۳۱	شکل ۲-۳ نمودار خلاصه شده از فیزیک جریان در CFD
۳۳	شکل ۲-۴ نمودار روش حل در CFD
۳۷	شکل ۲-۵ شمایی از حرکات آشفتگی در جریان
۳۹	شکل ۲-۶ شمایی از اندازه گردابه ها و ارتباط آنها با مدلسازی بیان شده

- شکل ۲-۷ مدل های موجود برای توصیف جریان های درهم ۴۰
- شکل ۲-۸ روش های مختلف حل عددی چند فازی ۴۷
- شکل ۲-۹ مراحل حل در نرم افزار CFX ۵۰
- شکل ۳-۱ محدوده مورد بررسی توسط نرم افزار (برج آزمایشگاهی) ۵۷
- شکل ۳-۲ محدوده مورد بررسی توسط نرم افزار (برج تجاری) ۵۸
- شکل ۳-۳ انواع شبکه های قابل قبول در نرم افزار CFX ۵۸
- شکل ۳-۴ بررسی استقلال از مش توسط پارامتر فشار در برج آزمایشگاهی ۵۹
- شکل ۳-۵ مدل مش بندی شده برج آزمایشگاهی ۶۰
- شکل ۳-۶ بررسی استقلال از مش توسط پارامتر فشار در برج تجاری ۶۰
- شکل ۳-۷ مدل مش بندی شده برج تجاری ۶۱
- شکل ۴-۱ مسیر جریان گاز در حالت خشک با سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه در دبی گاز ۰/۱۹ متر مکعب بر ثانیه ۷۰
- شکل ۴-۲ کانتورهای فشار در حالت خشک با سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه در دبی گاز ۰/۱۹ متر مکعب بر ثانیه ۷۱
- شکل ۴-۳ مقایسه افت فشار خشک از طریق CFD با داده های تجربی در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm ۷۳
- شکل ۴-۴ شیب منحنی های CFD و تجربی برای مقادیر افت فشار خشک در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm ۷۳
- شکل ۴-۵ تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار خشک در برج تجاری ۷۴
- شکل ۴-۶ مسیر جریان گاز بوسیله بردارهای سرعت در حالت دو فازی با سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۶
- شکل ۴-۷ بردارهای سرعت مایع در حالت دو فازی با سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه ۷۷
- شکل ۴-۸ کانتور شمای از ضخامت مایع بر روی سینی های ثابت و چرخان در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm در دبی گاز ۰/۱۹۲ متر مکعب بر ثانیه و دبی مایع ۰/۷ کیلو گرم بر ثانیه ۷۸
- شکل ۴-۹ شمای از جزء حجمی گاز در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm در دبی گاز ۰/۱۹۲ متر ۷۹

- مکعب بر ثانیه و دبی مایع ۰/۷ کیلو گرم بر ثانیه در برج تجاری
- ۸۰ شکل ۴-۱۰ کانتورهای فشار در حالت دو فازی در سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه در دبی گاز ۰/۱۹۲ متر مکعب بر ثانیه و دبی مایع ۰/۷ کیلو گرم بر ثانیه در برج تجاری
- ۸۲ شکل ۴-۱۱ مقایسه تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD با داده های تجربی در شدت جریان مایع ۰/۷ کیلوگرم بر ثانیه و سرعت چرخش ۵۰۰ rpm در برج تجاری
- ۸۳ شکل ۴-۱۲ مقایسه تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD با داده های تجربی در شدت جریان مایع ۱ کیلو گرم بر ثانیه با سرعت چرخش ۵۰۰ rpm
- ۸۴ شکل ۴-۱۳ منحنی تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD در مقایسه با داده های تجربی در شدت جریان مایع ۱/۴ کیلو گرم بر ثانیه با سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm در برج تجاری
- ۸۵ شکل ۴-۱۴ تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۰/۷ کیلوگرم بر ثانیه در برج تجاری
- ۸۸ شکل ۴-۱۵ تعیین محدوده طغیان برج تجاری بوسیله عدد Fr_{LG} در سرعت چرخشی ۵۰۰ دور بر دقیقه
- ۹۰ شکل ۴-۱۶ منحنی ظرفیت در برج تجاری
- ۹۱ شکل ۴-۱۷ مسیر جریان گاز در حالت خشک در برج آزمایشگاهی با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و دبی گاز ۱۵۰ لیتر بر دقیقه
- ۹۲ شکل ۴-۱۸ کانتورهای فشار در حالت خشک در برج آزمایشگاهی با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و دبی گاز ۱۵۰ لیتر بر دقیقه
- ۹۴ شکل ۴-۱۹ مقایسه افت فشار خشک از طریق CFD با داده های تجربی در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ rpm
- ۹۵ شکل ۴-۲۰ شیب منحنی های CFD و تجربی در مقادیر افت فشار خشک برای برج آزمایشگاهی در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ rpm
- ۹۶ شکل ۴-۲۱ تاثیر سرعت چرخش روی پارامتر افت فشار در حالت خشک برای برج آزمایشگاهی
- ۹۷ شکل ۴-۲۲ مسیر جریان مایع بوسیله بردارهای سرعت در حالت دو فازی با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه در دبی مایع ۰/۶ لیتر بر دقیقه و دبی گاز ۱۳۸ لیتر بر دقیقه
- ۹۸

- 99 شکل ۴-۲۳ شمایی از ضخامت مایع روی سینی ثابت و چرخان در برج آزمایشگاهی در دبی مایع ۰/۶ لیتر بر دقیقه
- 100 شکل ۴-۲۴ شمایی از جزء حجمی گاز در برج آزمایشگاهی در دبی مایع ۰/۶ لیتر بر دقیقه
- شکل ۴-۲۵ کانتورهای فشار در حالت دو فازی در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه
- 101 شکل ۴-۲۶ مقایسه تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD با داده های تجربی در شدت جریان مایع ۰/۶ لیتر بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm
- 103 شکل ۴-۲۷ مقایسه تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD با داده های تجربی در شدت
- 105 جریان مایع ۰/۹ لیتر بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm
- 107 شکل ۴-۲۸ مقایسه تغییرات افت فشار دو فازی از طریق CFD با داده های تجربی در شدت
- 108 جریان مایع ۱/۲ لیتر بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm
- 109 شکل ۴-۲۹ تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار دو فازی
- شکل ۴-۳۰ منحنی افت فشار و محدوده طغیان در برج آزمایشگاهی
- شکل ۴-۳۱ منحنی ظرفیت در برج آزمایشگاهی
- شکل ۴-۳۲ بررسی و مقایسه پارامتر ظرفیت در برج های SCC
- شکل ۴-۳۳ محدوده عملیاتی برای برج های آزمایشگاهی و تجاری
- شکل ۴-۳۴ رابطه بین جریان گاز و مایع بحرانی و محدوده عملیاتی برای برج های آزمایشگاهی و تجاری

فهرست علائم

نشانه	علامت
سطح مقطع ذره کروی	$A(m^2)$
سطح کل یک مخروط چرخان درون برج	$A_1(m^2)$
سطح کل یک مخروط ثابت درون برج	$A_2(m^2)$
سطح مقطع بحرانی جریان گاز	$A_{min}(m^2)$
سطح مقطع جریان مایع پیوسته	$A_{LF}(m^2)$

نیروی جاذبه	B(N)
ضریب ثابت	C_μ
ضریب کلی نیروی پسا	C_D
ضریب نیروی پسا در فصل مشترک	C_{GL}
ضریب نیروی پسا در فصل مشترک	C_{LG}
ضریب نفوذ مولکولی در فاز مایع	$D_L(m/s^2)$
ضریب نفوذ مولکولی در فاز گاز	$D_G(m/s^2)$
قطر ذرات مایع	$d_p(m)$
نیروی پسا	$F(N/m^3)$
شتاب جاذبه زمین	$g(m/s^2)$
شدت جرمی گاز برحسب واحد سطح	$G(kg/m^2 s)$
شدت جرمی گاز	$\bar{G}(kg/s)$
ارتفاع برج	h
پارامتر وابسته به گرانشی موثر	H
پارامتر وابسته به گرانشی موثر	J
ثابت تجربی مشخص کننده ی رژیم جریان	k_{reg}
ثابت تجربی مشخص کننده ی بازده گریز از مرکز چرخنده	k_{rot}
انرژی سینتیک اغتشاش	$k(J)$
عامل بارگذاری	K_{Load}
شدت جرمی مایع برحسب واحد سطح	$L(kg/m^2 s)$
طول اختلاط درهمی	$l_T(m)$
جرم جزء i ام انتقال یافته از فاز β به فاز α	$\dot{m}_{\alpha\beta}^i$
وزن ملکولی جزء A	$M_A(kg/mol)$
تعداد مراحل برج	N
تعداد مجموعه سینی های مخروطی	N_{st}
فشار	P(Pa)
ارتفاع سینی(فاصله بین دو سینی ثابت متوالی یا دو سینی متحرک	Pitch(m) یا P_C

متوالی)

دبی جریان مایع پیوسته	$Q_{LC} (m^3 s^{-1})$
دبی جریان مایع پراکنده	$Q_{LD} (m^3 s^{-1})$
شعاع هیدرولیکی	$R_H (m)$
واحد سرعت چرخشی	rpm(revolution/min)
مشخصه فاصله شعاعی	$r_0 (m)$
فاصله شعاعی در امتداد سطح سینی	$r(m)$
شعاع داخلی سینی چرخان	$R_{SI} (m)$
شعاع خارجی سینی چرخان	$R_{SO} (m)$
شعاع داخلی سینی ثابت	$R_{FI} (m)$
شعاع داخلی برج	$R_C (m)$
فاصله بین یک مخروط ثابت و متحرک	$R_H(m)$
شعاع محور چرخان(شفت)	$R_S (m)$
زمان	t(s)
سرعت حد ذرات مایع	$U_T (m / s)$
بردار سرعت	$U (m / s)$
سرعت حقیقی	$U (m / s)$
متوسط سرعت	$u_{av}(m/s)$
سرعت مایع	$U_L (m / s)$
سرعت گاز	$U_G (m / s)$
سرعت مولی در فاز گاز	$U_{GM}(kmol/s)$
حجم اشغال شده توسط فاز مایع	$V_L (m^3)$
حجم اشغال شده توسط فاز گاز	$V_G (m^3)$
سرعت	V(m/s)
پارامتر جریان	X
پارامتر ظرفیت	Y
عدد روسبی ، بدون بعد	Ro
عدد بدون بعد رینولدز	Re
زاویه ای است که مخروط با دیواره قایم می سازد	θ
نسبت دانسیته آب به مایع	ψ
چگالی بخار	$\rho_G (kg / m^3)$
چگالی مایع	$\rho_L (kg / m^3)$
سرعت چرخشی بخش چرخان	$\omega_{rotor} (rpm)$
گرانروی ملکولی	$\mu (kg / m.s)$

ضریب پخش برای جزء حجمی	$(kg / m.s) \Gamma$
افت فشار یک مرحله	$\Delta P_{stage} (Pa)$
افت فشار کل برج	$\Delta P_t (Pa)$
افت فشار برج	$(Pa) \Delta p$
کشش سطحی	$(N / m) \sigma$
نسبت ضریب زاویه خط تعادل به خط تبادل، m شیب خط تعادل	λ
ویسکوزیته سینماتیکی	$\nu (m / s^2)$
تانسور تنش	$(N / m^2) \tau$
جزء حجمی فاز α	γ_α
چگالی سیال	$\rho (kg / m^3)$

فصل اول

مروری بر برجهای سینی دار مخروطی

چرخان (SCC)

از جمله مهمترین عملیات هایی که در یک مجموعه شیمیایی انجام می گیرد عملیات جداسازی می باشد. یکی از مهمترین روشهای جداسازی عملیات تقطیر بوده که به راحتی در دما و فشار مناسب انجام پذیر است و قابلیت چند مرحله ای شدن را دارا می باشد. مبنای جداسازی در عملیات تقطیر، فراریت نسبی اجزاء می باشد. برجهای تقطیر در حالت کلی به دو نوع سینی دار و آکنده تقسیم می شوند. یکی از انواع برجهای تقطیر سینی دار، برج تقطیر با سینی های مخروطی چرخان^۱ (SCC) است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. برج های تقطیر سینی دار از نوع مخروط چرخان (SCC) یکی از انواع برجهای تقطیر می باشند که کاربرد آنها در فرایند های جداسازی به خصوص در صنایع غذایی بسیار رو به افزایش است. پیچیدگی هندسی، رژیم های جریان متفاوت و مکانیزم های مختلف انتقال جرم در آنها باعث شده که به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)^۲ به دنبال توسعه هر چه بیشتر و بهینه سازی اینگونه برج ها باشند.

برای طراحی بهینه ی برجهای SCC پارامترهای زیادی باید مورد بررسی قرار گیرند. از جمله پارامترهای موثر بر عملکرد برج می توان به افت فشار خشک، افت فشار دو فازی و بازده انتقال جرم اشاره کرد. به طور کلی بررسی پارامتر های هیدرودینامیکی و پارامتر های مربوط به انتقال جرم برای بهینه سازی و کنترل این برجهای بسیار حائز اهمیت می باشد. بزرگنمایی یک فرایند از مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس تجاری از جمله پیچیده ترین مسائلی است که در مهندسی شیمی و عملیات صنایع غذایی مورد توجه قرار می گیرند. تغییرات اعمال شده در پارامترهای فیزیکی و تقابلات شیمیایی موثر بر عملکرد برج در اثر افزایش مقیاس منجر به ایجاد عملکردی متفاوت در سایزهای مختلف برج می گردد که با بررسی تاثیرات آن میتوان به نتایجی مناسب تر در زمینه طراحی برج ها دست یافت. بزرگنمایی در تمامی فرایند های صنعتی یک امر اجتناب ناپذیر می باشد. هیچ واحد صنعتی ساخته نشده و هیچ ماده ای تولید نخواهد شد مگر اینکه محاسبات و مطالعات توجیه کننده، طوری صورت گیرند که در آینده بتوان از آنها برای مقیاس های تجاری سود جست.

بزرگنمایی یک فرایند یا گروهی از فعالیتهایی می باشد که به وسیله آنها میتوان از بستر محاسباتی، ساختاری و مطالعاتی به سمت تولید تجاری موفقیت آمیز تجهیزات حرکت کرد.

^۱ - Spinning Cone Column

^۲ - Computational Fluid Dynamics