

۸۷/۱/۱۰۳۱۹۱
۱۷/۱۰/۲۵



دانشگاه بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش جداسازی

عنوان:

بررسی پارامترهای افت فشار و طغیان در برج
تقطیر با سینی مخروطی چرخان SCC بوسیله
آنالیز CFD در مقیاس پایلوت

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زیودار

استاد مشاور:

دکتر رهبر رحیمی



۱۳۸۷ / ۱۰ / ۲۵

تحقیق و نگارش:

ایمان خنشا

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

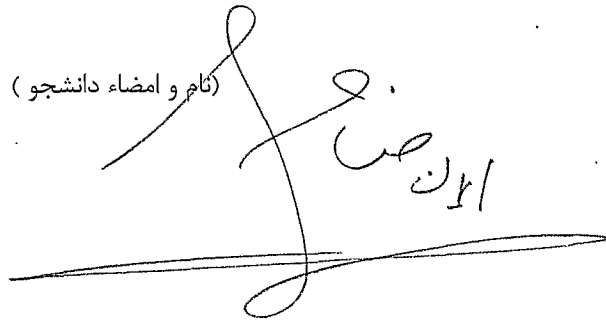
آبان ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۶۸۷

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی پارامترهای افت فشار و طغیان در برج سینی دار مخروطی چرخان SCC بوسیله آنالیز CFD در مقیاس پایلوت قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی توسط دانشجو ایمان خنشا 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.

(نام و امضاء دانشجو)



این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۸۷/۸/۳۰ توسط هیئت داوران بررسی و درجه کالی..... به آن تعلق گرفت.

تاریخ

امضاء

نام و نام خانوادگی

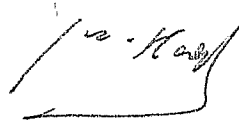


دکتر مرتضی زیودار

استاد راهنما:

دکتر رهبر رحیمی

استاد مشاور:



دکتر مسعود حق شناس فرد

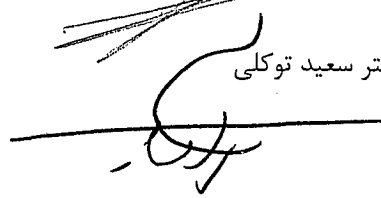
داور ۱:

دکتر فرشاد فرشچی تبریزی

داور ۲:

دکتر سعید توکلی

نماینده تحصیلات تکمیلی:





دانشگاه پشاور

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ایمان خنشا تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: ایمان خنشا

امضاء

این اثر ناچیز را تقدیم می کنم به:

پیشگاه مطهر و ملکوتی منجی عالم بشریت

حضرت بقیه الله الاعظم

روحی و ارواحنا العالمین له الفداء

سپاسگزاری

با حمد و سپاس فراوان به درگاه خداوند متعال که از دریای رحمت بی کران خویش به ما توان کسب علم و معرفت را عنایت فرمود. ولیکن هر چه بیشتر در این اقیانوس بی انتهای علم خداوندی پیش برویم، بیش از پیش به ضعف و جهالت خویش در پیشگاه پرودگار بی نیاز پی خواهیم برد. امید است که بتوانیم با تلاش و پشتکار خویش و استعانت از درگاه ایزد متان و خاندان پاک معصومین (علیهم السلام)، ایران اسلامی را به قله های علم و نوآوری و شکوفایی برسانیم.

اکنون که به لطف و یاری خداوند متعال تحقیق و نگارش این پایان نامه را به اتمام رسیده است، بر خود لازم می دانم که از همه دوستان و عزیزانی که مرا در تهیه این تحقیق یاری داده اند کمال تشکر و قدردانی را بجا آورم. از استاد گرانقدر دکتر زیودار که راهنمایی این پروژه را به عهده داشتند مراتب تشکر و قدردانی را بجا می آورم. همچنین از استاد گرامی دکتر رهبر رحیمی که در انجام این پایان نامه مشاور بنده بوده اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از دکتر مسعود حق شناس فرد که در انجام این پروژه مرا یاری کرده اند تشکر و قدردانی می نمایم. از دوستان عزیز شیروان شیردل، طالب زارعی، علی ولی پور، سید حسین حسینی، اسلام کاشی که در انجام این تحقیق مرا یاری کرده اند بسیار تشکر و قدر دانی می کنم. از خداوند متعال برای همه این عزیزان توفیق موفقیت و سربلندی را مسئلت می کنم.

ایمان خنشا

آبان ماه ۱۳۸۷

چکیده:

برج های SCC یکی از انواع برج های تقطیر سینی دار است که در صنایع غذایی کاربرد زیادی دارند. در کار حاضر از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) جهت آنالیز افت فشار و طغیان برج SCC استفاده شده است. در این پروژه برای اولین بار در ایران پارامترهای افت فشار و طغیان در مقیاس پیلوت بررسی شده است. در حالت خشک و دو فاز جریان گاز و مایع را آشفته در نظر گرفته می شود. برای بیان آشفتگی در فاز گاز از مدل استاندارد $k-\epsilon$ و برای تحلیل آشفتگی در فاز پراکنده مایع از مدل صفر معادله ای استفاده شده است. در کار حاضر از مش های هرمی، چهار وجهی و منشوری استفاده شده است، ساختار مش از نوع نامنظم می باشد و در مش با اندازه ۵ میلی متر، تغییرات هیدرودینامیکی مستقل از سایز مش می شود. تعداد کل مش های استفاده شده برابر ۵۷۸۲۴۹ می باشد. معادلات در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد بررسی شده و برای مدل سازی نیروی پسا از مدل Grace استفاده شده است. مدل سازی و حل معادلات در حالت پایا می باشد. در مدل سازی بوسیله CFD بر پایه دیدگاه اویلری سیستم جریان به صورت دو فاز گاز پیوسته و مایع پراکنده در نظر گرفته شده است. محاسبات برای حالت خشک و دو فاز در سرعت های چرخشی ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه بررسی شده اند. نتایج حاصل از CFD نشان می دهد که با افزایش سرعت چرخشی و افزایش دبی هوا در شدت جریان مشخص گاز و مایع، افت فشار در هر دو حالت خشک و دو فاز افزایش می یابد که این موضوع با نتایج تجربی مطابقت دارد. در واقع با افزایش سرعت چرخشی میزان مکش در هر مرحله از برج افزایش می یابد و افزایش مکش خود منجر به افزایش اختلاف فشار در هر مرحله و نهایتاً باعث افزایش افت فشار در کل برج می شود. همچنین با افزایش شدت جریان گاز، اثر نیروی جاذبه بر روی فاز مایع پراکنده کمتر شده و باعث بالا بردن فاز مایع می شود که این امر باعث افزایش گرفتگی در گلوگاه های جریان و در نتیجه افزایش افت فشار سیستم می شود. در این زمینه میزان متوسط خطای نسبی محاسبه شده بین مقادیر CFD و نتایج تجربی در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، در مورد افت فشار خشک، دو فاز و طغیان به ترتیب ۱۵، ۱۶ و ۲۰ درصد می باشد. از نتایج این تحقیق می توان در تخمین پارامتر های افت فشار، طغیان، راندمان برج، و طراحی قطر برج SCC استفاده کرد.

کلمات کلیدی: برج سینی دار مخروطی چرخان (SCC)، CFD، افت فشار خشک، افت فشار دو فاز، طغیان.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| | فصل اول: مقدمه ای بر برج های سینی دار مخروطی چرخان Spinning Cone Columns |
| ۱ |مقدمه |
| ۲ | ۱-۱- مقدمه |
| ۲ | ۲-۱- کاربردهای برج SCC |
| ۳ | ۳-۱- بررسی جریان گاز و مایع |
| ۵ | ۴-۱- تاریخچه |
| ۶ | ۵-۱- مروری بر پژوهش های انجام شده در زمینه آنالیز CFD برج های SCC |
| ۹ | ۶-۱- مکانیزم های فیزیکی جریان گاز و مایع در برج SCC |
| ۱۰ | ۷-۱- رژیم جریان |
| ۱۰ | ۱-۷-۱- رژیم جریان pre loading |
| ۱۰ | ۲-۷-۱- رژیم جریان loading |
| ۱۱ | ۳-۷-۱- رژیم جریان flooding |
| ۱۲ | ۸-۱- افت فشار |
| ۱۳ | ۹-۱- بررسی اثر چرخش بر افت فشار |
| ۱۴ | ۱۰-۱- نمودارهای SLE (Sherwood-Leva-Eckert) |
| ۱۸ | ۱۱-۱- تعیین الگوی جریان |
| ۱۹ | ۱۲-۱- نتیجه گیری |
| ۲۱ | فصل دوم: دینامیک سیالات محاسباتی |
| ۲۲ | ۱-۲- مقدمه |
| ۲۲ | ۲-۲- مقدمه ای بر دینامیک سیالات محاسباتی |
| ۲۳ | ۳-۲- روش های حل در دینامیک سیالات محاسباتی |
| ۲۶ | ۴-۲- مروری بر نرم افزار CFX |
| ۲۸ | ۵-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال |
| ۲۸ | ۱-۵-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت یک فازی |
| ۲۹ | ۲-۵-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت دو فازی |

| | |
|-----|--|
| ۳۲ | مدل های جریان آشفته. ۳-۵-۲ |
| ۳۴ | مدل های نیروی پسا. ۴-۵-۲ |
| ۳۶ | بررسی الگوریتم حل فشار. ۶-۲ |
| ۳۸ | نتیجه گیری. ۷-۲ |
| ۳۹ | فصل سوم: مدلسازی سیستم با استفاده از آنالیز CFD |
| ۴۰ | ۱-۳- مقدمه |
| ۴۰ | ۲-۳- تعیین الگوی جریان |
| ۴۱ | ۳-۳- فرضیات حاکم بر سیستم |
| ۴۲ | ۴-۳- معادلات حاکم بر سیستم |
| ۴۲ | ۵-۳- مراحل مدلسازی |
| ۴۳ | ۱-۵-۳- تولید هندسه مدل |
| ۴۴ | ۲-۵-۳- شبکه بندی مدل |
| ۴۷ | ۳-۵-۳- شرایط مرزی |
| ۴۷ | ۱-۳-۵-۳- شرایط مرزی مورد استفاده برای تحلیل افت فشار خشک |
| ۴۸ | ۲-۳-۵-۳- شرایط مرزی مورد استفاده برای تحلیل افت فشار دو فاز |
| ۵۱ | ۶-۳- بخش محاسبه گر |
| ۵۱ | ۶-۳- نتیجه گیری |
| ۵۲ | فصل چهارم: بررسی نتایج |
| ۵۴ | ۱-۴- مقدمه |
| ۵۴ | ۲-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک و دو فاز |
| ۵۵ | ۱-۲-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار خشک |
| ۶۱ | ۲-۲-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه افت فشار دوفازی |
| ۷۴ | ۳-۴- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD جهت محاسبه پارامتر طغیان |
| ۸۱ | ۴-۴- نتیجه گیری |
| ۸۲ | فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری |
| ۸۳ | ۱-۵- نتیجه گیری کلی |
| ۸۴ | ۲-۵- پیشنهادات |
| ۸۵ | مراجع |
| ۸۷ | پیوست ها |
| ۸۸ | پیوست (الف) - معادلات ناویر استوکس |
| ۹۱ | پیوست (ب)- کدهای مربوط به داده های خروجی نرم افزار CFX |
| ۱۳۶ | پیوست (ج)- محاسبه فشار |
| ۱۳۸ | پیوست (د)- چکیده مقالات |

فهرست جدول ها

| صفحه | عنوان جدول |
|------|--|
| ۱۷ | جدول ۱-۱. مقادیر پارامترهای هندسی در مقیاس پایلوت..... |
| ۵۷ | جدول ۱-۴. محاسبات افت فشار خشک از طریق CFD در سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۵۹ | جدول ۲-۴. محاسبات خطای نسبی بین داده های تجربی و CFD برای افت فشار خشک..... |
| ۶۰ | جدول ۳-۴. نتایج تغییرات افت فشار خشک در سرعت های چرخش مختلف..... |
| ۶۷ | جدول ۴-۴. محاسبات افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع (kg/min) ۰/۶ سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm بوسیله CFD..... |
| ۶۷ | جدول ۵-۴. محاسبات خطای نسبی بین داده های تجربی و CFD برای افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۰/۶ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۶۹ | جدول ۶-۴. محاسبات افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۰/۹ کیلو گرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm از طریق CFD..... |
| ۷۰ | جدول ۷-۴. محاسبات خطای نسبی بین داده های تجربی و CFD برای افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۰/۹ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۷۰ | جدول ۸-۴. محاسبات افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۱/۵ کیلو گرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm از طریق CFD..... |
| ۷۲ | جدول ۹-۴. محاسبات خطای نسبی بین داده های تجربی و CFD برای افت فشار دو فازی در شدت جریان مایع ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۷۳ | جدول ۱۰-۴. نتایج تغییرات افت فشار دوفازی با تغییر سرعت چرخش در شدت جریان مایع ۰/۹ کیلوگرم بر دقیقه..... |
| ۷۵ | جدول ۱۱-۴. محاسبات مربوط به نقاط طغیان در سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۷۸ | جدول ۱۲-۴. محاسبه پارامتر جریان و پارامتر ظرفیت با استفاده از CFD در سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| ۷۹ | جدول ۱۳-۴. محاسبات خطای نسبی بین داده های تجربی و CFD برای پارامتر ظرفیت در سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm در مقیاس پایلوت..... |

فهرست شکل ها

| صفحه | عنوان شکل |
|------|--|
| ۴ | شکل ۱-۱. شمای کلی برج SCC و سینی های آن..... |
| ۴ | شکل ۲-۱. بخشی از مسیر جریان گاز و مایع در برج SCC..... |
| ۷ | شکل ۳-۱. مقایسه افت فشار خشک پیش بینی شده بوسیله CFD با مقادیر تجربی در سرعت چرخش های مختلف..... |
| ۸ | شکل ۴-۱. مقایسه داده های تجربی با داده های CFD در سرعت چرخشی ۵۰۰ rpm..... |
| ۱۱ | شکل ۵-۱. نمایش سطح مقطع بحرانی جریان گاز و مایع..... |
| ۱۲ | شکل ۶-۱. مقایسه بین رژیم های جریان..... |
| ۱۳ | شکل ۷-۱. تغییرات افت فشار در شدت جریان های مختلف گاز و مایع..... |
| ۱۴ | شکل ۸-۱. تاثیر سرعت چرخش بر افت فشار..... |
| ۱۶ | شکل ۹-۱. منحنی طغیان برای برج SCC در مقیاس های متفاوت..... |
| ۱۷ | شکل ۱۰-۱. شمای هندسی یک مرحله از برج..... |
| ۱۹ | شکل ۱۱-۱. تعیین رژیم جریان بوسیله عدد رینولدز ترکیبی برای برج SCC..... |
| ۲۷ | شکل ۱-۲. مراحل حل در نرم افزار CFX..... |
| ۳۰ | شکل ۲-۲. دیدگاه اویلر- اویلر برای بررسی جریان..... |
| ۳۰ | شکل ۳-۲. دیدگاه لاگرانژی برای بررسی جریان..... |
| ۳۷ | شکل ۴-۲. الگوریتم حل معادلات توسط نرم افزار CFX..... |
| ۴۳ | شکل ۱-۳. نمایش بخش چرخان..... |
| ۴۴ | شکل ۲-۳. محدوده مورد بررسی توسط نرم افزار..... |
| ۴۴ | شکل ۳-۳. انواع شبکه های قابل قبول در نرم افزار CFX..... |
| ۴۵ | شکل ۴-۳. بررسی استقلال از مش توسط پارامتر فشار..... |
| ۴۶ | شکل ۵-۳. مش بندی مدل..... |
| ۵۰ | شکل ۶-۳. تعیین شرایط مرزی برای حالت خشک و دوفازی در سرعت چرخش ۱۰۰۰ rpm..... |
| ۵۵ | شکل ۱-۴. مسیر جریان گاز را در حالت خشک با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه بوسیله بردارهای سرعت..... |
| ۵۶ | شکل ۲-۴. کانتورهای فشار در حالت خشک با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه..... |
| ۵۶ | شکل ۳-۴. مقایسه افت فشار خشک از طریق CFD با داده های تجربی در سرعت چرخشی |

| | |
|----|---|
| ۵۸ |۱۰۰۰rpm |
| | شکل ۴-۴. شیب منحنی های CFD و تجربی برای مقادیر افت فشار خشک در سرعت چرخشی |
| ۵۸ |۱۰۰۰rpm |
| ۶۰ |شکل ۴-۵. تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار خشک..... |
| ۶۱ |شکل ۴-۶. تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار خشک در مقیاس لگاریتمی..... |
| ۶۲ |شکل ۴-۷. بردارهای سرعت گاز در حالت دو فازي با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ درو بر دقیقه..... |
| ۶۳ |شکل ۴-۸. بردارهای سرعت مایع در حالت دو فازي با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ درو بر دقیقه..... |
| ۶۴ |شکل ۴-۹. جزء حجمی آب درون مدل برای سیستم آب و هوا در سرعت چرخشی 1000rpm |
| ۶۵ |شکل ۴-۱۰. جزء حجمی هوا درون مدل برای سیستم آب و هوا در سرعت چرخشی ۱۰۰۰rpm |
| ۶۶ |شکل ۴-۱۱. نمایش جریان متقابل گاز و مایع در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه..... |
| ۶۶ |شکل ۴-۱۲. کانتورهای فشار را در حالت دو فازي با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ درو بر دقیقه..... |
| |شکل ۴-۱۳. مقایسه تغییرات افت فشار دو فازي از طریق CFD با داده های تجربی در شدت |
| ۶۸ |جریان مایع ۰/۶ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| |شکل ۴-۱۴. مقایسه تغییرات افت فشار دو فازي از طریق CFD با داده های تجربی در شدت |
| ۶۹ |جریان مایع ۰/۹ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| |شکل ۴-۱۵. مقایسه تغییرات افت فشار دو فازي از طریق CFD با داده های تجربی در شدت |
| ۷۱ |جریان مایع ۱/۵ کیلوگرم بر دقیقه و سرعت چرخش ۱۰۰۰rpm..... |
| |شکل ۴-۱۶. تاثیر سرعت چرخشی بر روی پارامتر افت فشار دو فازي در شدت جریان مایع |
| ۷۳ |۰/۱۹.(kg/min) |
| ۷۶ |شکل ۴-۱۷. تعیین محدوده طغیان بوسیله عدد Fr_{LG} در سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه... |
| |شکل ۴-۱۸. نمودار SLE جهت مقایسه مقادیر تجربی و CFD برای برج SCC در مقیاس |
| ۷۹ |پایلوت با سرعت چرخشی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه..... |
| ۸۰ |شکل ۴-۱۹. بررسی پارامتر طغیان در برج SCC با مقیاس ها و سرعت چرخش های متفاوت..... |

فهرست علائم

| نشانه | علامت |
|------------------------------|-----------------|
| سطح مقطع بحرانی جریان گاز | $A_{min}(m^2)$ |
| سطح مقطع جریان مایع پیوسته | $A_{LF}(m^2)$ |
| سطح مقطع ذره کروی | $A(m^2)$ |
| نیروی جاذبه | B(N) |
| پارامتر فاصله | B |
| ضریب نیروی پسا در فصل مشترک | C_{LG} |
| ضریب ثابت | C_{μ} |
| ضریب کلی نیروی پسا | C_D |
| ضریب نیروی پسا در فصل مشترک | C_{GL} |
| قطر ذرات مایع | $d_p(m)$ |
| عدد اتووس | Eo |
| متوسط خطای نسبی | E |
| نیروی پسا | $F(N/m^3)$ |
| شدت جرمی گاز | $\bar{G}(kg/s)$ |
| شتاب جاذبه زمین | $g(m/s^2)$ |
| شدت جرمی گاز بر حسب واحد سطح | $G(kg/m^2 s)$ |

| | |
|---|------------------------|
| پارامتر وابسته به گرانشی موثر | H |
| پارامتر وابسته به گرانشی موثر | J |
| گرانشی توده | $K(kg/m^3)$ |
| انرژی سینتیک اغتشاش | $k(J)$ |
| شدت جرمی مایع بر حسب واحد سطح | $L(kg/m^2s)$ |
| شدت جرمی مایع | $\bar{L}(kg/s)$ |
| عدد مور تون | M |
| تعداد مراحل برج | N |
| ارتفاع سینی (فاصله بین دو سینی ثابت متوالی یا دو سینی متحرک متوالی) | P_C یا Pitch(m) |
| فشار | P(Pa) |
| افت فشار یک مرحله | $\Delta P_{stage}(Pa)$ |
| افت فشار کل برج | $\Delta P_t(Pa)$ |
| افت فشار برج | $\Delta p(Pa)$ |
| شدت جریان حجمی | $Q(m^3/s)$ |
| واحد سرعت چرخشی | rpm(round/min) |
| شعاع داخلی سینی چرخان | $R_{SI}(m)$ |
| شعاع خارجی سینی چرخان | $R_{SO}(m)$ |
| شعاع داخلی سینی ثابت | $R_{FI}(m)$ |
| شعاع داخلی برج | $R_C(m)$ |
| شعاع محور چرخان (شفت) | $R_S(m)$ |
| فاصله شعاعی در امتداد سطح سینی | r(m) |
| شعاع هیدرولیکی | $R_H(m)$ |

| | |
|--|-----------------------|
| زمان | $t(s)$ |
| سرعت حد ذرات مایع | $U_T(m/s)$ |
| بردار سرعت | $U(m/s)$ |
| سرعت حقیقی | $U(m/s)$ |
| سرعت مایع | $U_L(m/s)$ |
| سرعت گاز | $U_G(m/s)$ |
| 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 |
| چگالی سیال | $\rho(kg/m^3)$ |
| جزء حجمی فاز α | γ_α |
| تانسور تنش | $\tau(N/m^2)$ |
| گرانروی موثر سیال | $\mu_e(kg/m.s)$ |
| گرانروی ملکولی | $\mu(kg/m.s)$ |
| کشش سطحی | $\sigma(N/m)$ |
| تانسور شاخص | δ |
| گرانروی ملکولی آب | $\mu_{ref}(kg/m.s)$ |
| سرعت چرخشی بخش چرخان | $\omega_{rotor}(rpm)$ |
| ویسکوزیته سینماتیکی | $\nu(m/s^2)$ |
| زاویه ای است که مخروط با دیواره قائم می سازد | θ |
| مشخصه شعاعی بدون بعد | η |

| | |
|----------------|-------------------|
| دانسیتہ بخار | $\rho_G (kg/m^3)$ |
| دانسیتہ مایع | $\rho_L (kg/m^3)$ |
| گرانروی آسفتگی | $\mu_T (kg/m.s)$ |

فصل اول

مقدمه ای بر برجهای تقطیر با سینی مخروطی

چرخان (Spinning Cone Distillation Columns)

عملیات جداسازی یکی از مهمترین فرایندهایی است که در یک مجموعه شیمیایی انجام می گیرد. یکی از مهمترین روشهای جداسازی عملیات تقطیر می باشد. تقطیر براحتی در دما و فشار مناسب انجام پذیر است و براحتی بصورت چند مرحله ای در می آید. در عملیات تقطیر جداسازی براساس 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) می باشد که در این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد. در این فصل به بررسی عناوینی از قبیل: کاربردهای برج SCC، بررسی جریان گاز و مایع، تاریخچه، مکانیزم های فیزیکی جریان گاز و مایع در برج SCC، رژیم های جریان، افت فشار، نمودارهای SLE (Sherwood-Leva-Eckert)، بررسی اثر چرخش بر روی پارامتر افت فشار، تعیین الگوی جریان و در نهایت نتیجه گیری می پردازیم.

۱-۲- کاربردهای برج SCC

این برج یک وسیله تقطیر جدید در صنایع غذایی برای جداسازی اجزاء فرار از مایع و ذرات معلق میباشد که در حال حاضر توسعه کاربردهای تجاری آن رو به افزایش است [۱]. طراحی برجهای SCC کنونی در حد زیادی براساس فرایندهای تجربی می باشد [۲].

بدلیل قابلیت های چند منظوره این برج، می توان از آن در صنایع نفتی و پتروشیمی در آینده استفاده کرد [۳]. ساختار ویژه برجهای SCC باعث شده است که این برج ها جهت جداسازی در محدوده وسیعی از مواد مختلف قابل استفاده باشند. این محدوده شامل مایعات رقیقی مثل قهوه یا چای تا محلول های گرانیوی مثل عسل، محلول پوره مرکبات و حتی دوغاب مواد آسیاب شده ای مثل پوست مرکبات می باشد. از این رو SCC در بازیافت طعم دهنده های مواد غذایی از قبیل عصاره سیب، توت فرنگی، انبه، کیوی، قهوه، گوجه فرنگی، هویج و در دیگر موارد مثل بی بو کردن یا بو زدایی شیر، روغن نخل، روغن ماهی، الکل زدایی، گند زدایی، حذف رنگ و مواد فاسد کننده

^۱ Spinning Cone Column

مواد غذایی کاربرد دارد. این برجها برای عملیات در خلاء مناسب می باشند و با توجه به اینکه عصاره مواد غذایی در دمای بالا ممکن است آسیب ببیند، لذا استفاده از این برج می تواند مفید واقع شود. در واقع کاربرد اصلی این گونه برجها در صنایع غذایی است [۴].

مزایای SCC در مقایسه با برج های سنتی عبارتند از [۵]:

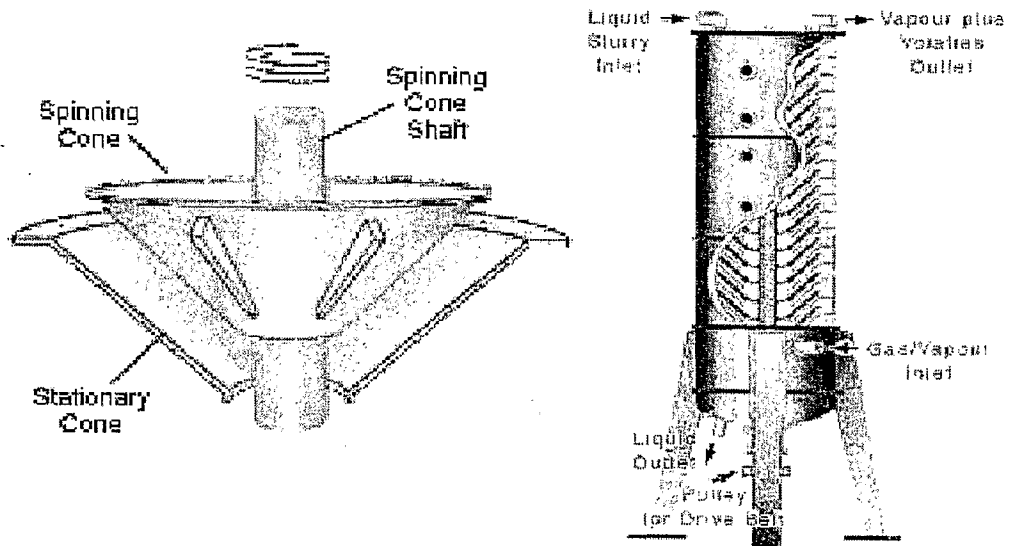
- ۱- کاهش ماندگی مایع
 - ۲- زمان کوتاه اقامت مایع
 - ۳- کاهش افت فشار
 - ۴- بازده جداسازی بالا
 - ۵- قابلیت چند مرحله ای خوب
 - ۶- توانایی داشتن برای هدایت مایعات با ذرات جامد معلق با نسبت بالا.
 - ۷- برج های تقطیر SCC برای عملیات خلاء نیز خصوصا مناسب میباشد. از این رو برای بازیافت اسانس مواد خوراکی از قبیل آب سیب، توت فرنگی، انبه، کیوی، قهوه، گوجه فرنگی، هویج و سایر موارد کاربرد دارد.
- معایب برج SCC عبارتند از [۵]:

- ۱- پیچیدگی مکانیکی و هزینه بالا
- ۲- در مقایسه با برج های آکنده در راه اندازی مجدد، دارای پایداری مشکل تری است.

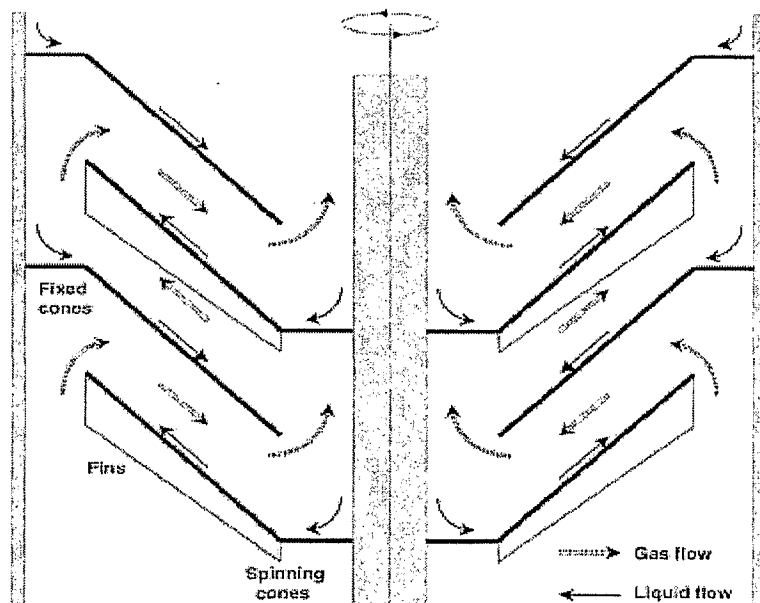
۳-۱- بررسی جریان گاز و مایع

برج SCC یک دستگاه مجاور کننده گاز- مایع است که توسط آن برخی از فرایندهای جداسازی صورت می گیرد. جریان گاز و مایع در داخل برج بصورت متقابل می باشد که در آن گاز از پایین برج وارد شده و پس از عبور از منافذ مخصوص از بالای برج خارج می شود. مایع نیز از بالای برج وارد شده و پس از عبور از روی سینی ها، از پایین برج خارج می شود. سینی های این برج برخلاف سینی های دیگر برجهای تقطیر بصورت مخروطهای ثابت و مخروطهای متحرک می باشند. مخروطهای ثابت به دیواره و سینی های متحرک به محور وسط متصلند و محور وسط نیز به یک موتور متصل است و نیروی گردشی خود را از آن تامین می کند. شکل (۱-۱) نمای کلی این نوع

برجها را به همراه سینی های ثابت و چرخان نشان می دهد [۱]. شکل (۲-۱) جریان گاز و مایع بر روی سینی های برج نشان می دهد.



شکل ۱-۱. نمای کلی برج SCC و سینی های آن [۱].



شکل ۲-۱. بخشی از مسیر جریان گاز و مایع در برج SCC [۲].

سطح بالای سینی های ثابت و چرخان بوسیله یک لایه نازک از فیلم مایع خیس می شود [۶]. به علت اثر نیروی گریز از مرکز، مایع موجود بر روی سطح سینی های متحرک بسمت بالا حرکت می کند و در نهایت با رسیدن به لبه مخروط متحرک از آن سرازیر می شود و بعلاوه نیروی ثقل بسمت پایین حرکت می کند. در هنگامی که مایع بر روی مخروط ثابت در حال حرکت به سمت پایین است گاز یا بخار ورودی به برج در حین عبور از سینی ها در تماس با مایع قرار گرفته، انتقال جرم صورت می گیرد [۱]. انتقال جرم از فاز مایع به بخار در برج SCC از طریق سطح وسیعی از فیلم مایع (که ممکن است کمتر از یک میلی متر ضخامت داشته باشد) و از طریق پراکندگی مایع در نواحی بین سینی های چرخان و ثابت رخ می دهد [۷]. ضخامت لایه مایع و شکل سطح آن، پارامترهای کلیدی موثر بر انتقال جرم و انتقال اندازه حرکت می باشد [۸].

۱-۴- تاریخچه

اولین برج با مخروط چرخان توسط Pegram و همکارانش در سال ۱۹۳۶ مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. این برج شامل جریان متقابل مایع-بخار بود که در داخل آن سینی های مخروطی شکل متحرک و ثابت قرار داشتند. حرکت مایع از بالا به پایین بود که موجب تر شدن سطوح بالایی سینی ها می شد و بخار خروجی از جوش آور نیز بصورت متقاطع در فضای بین سینی های ثابت و متحرک حرکت می کرد [۴].

تاثیر و کارایی این نوع برجها بوسیله Urey و Huffman در سال ۱۹۳۷ برای تولید آب سنگین مورد بررسی قرار گرفت. علاقه به این واحدها باعث شد که مقالاتی توسط Ziolkowski در مورد عملکرد این برجها و همچنین جداسازی مخلوط بنزن - تتراکلرید کربن با استفاده از SCC انتشار یابد [۳].

در طول توسعه SCC برای عملیات بازیافت اسانس، Casimir طراحی اولیه را با قرار دادن فین های شعاعی در قسمت زیری مخروط چرخان اصلاح کرد [۹].

در طول سالهای اخیر تحقیقات دیگری هم بر روی این برجها صورت گرفته است. از آن جمله در سال ۱۹۸۹ Menzi عملکرد و کارایی یک SCC شامل ۳۰ سینی و یک برج دارای ۷ سینی از نوع Bubble cap با ابعاد یکسان را با هم مقایسه کرد. پس از بررسی های مختلف او دریافت که برجهای SCC بطور اساسی بهتر از برجهای