



دانشگاه بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش فرایند های جداسازی

عنوان:

آنالیز CFD پارامترهای انتقال جرم در برج های تقطیر از نوع SCC

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زیودار

استاد مشاور:

دکتر رهبر رحیمی

تحقیق و نگارش:

شیروان شیردل

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

مهر ۱۳۸۷

۱۰۸۲۴۷




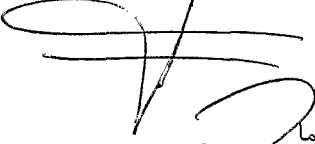

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان آنالیز CFD پارامترهای انتقال جرم در برج های تقطیر از نوع SCC قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی توسط دانشجو شیروان شیردل 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.



شیروان شیردل

این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۸۷/۷/۱۰ توسط هیئت داوران بررسی و درجه مجازی به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر مرتضی زیودار		
استاد مشاور: دکتر رهبر رحیمی		
داور ۱: دکتر محمد رضا احسانی		
داور ۲: دکتر جعفر صادقی		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر عبدالحمید بحرپیما		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب شیروان شیردل تأیید می‌کنم 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 ارایه نشده است.

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

نام و نام خانوادگی دانشجو: شیروان شیردل

امضاء



این اثر ناچیز را تقدیم می کنم به:

پدر و مادر مهربان و خانواده عزیزم

سپاسگزاری

اکنون که به لطف و یاری خداوند تحقیق و نگارش این پایان نامه 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. قبل از هر چیز از پدر و مادر مهربان و خانواده ی دلسوزم که در تمام مراحل زندگی مرا یاری نموده اند تشکر میکنم، که بدون یاری ایشان پیمودن چنین مسیری هرگز میسر نبود، امیدوارم که توانسته باشم قطره ای ناچیز از اقیانوس بی کران محبتشان را جبران کرده باشم. از استاد گرانقدر دکتر زیودار که راهنمایی این پروژه را به عهده داشتند و در طول این تحقیق از راهنمایی های ایشان بهره برده ام مراتب تشکر و قدردانی را بجا می آورم. همچنین از استاد گرامی دکتر رهبر رحیمی که در انجام این تحقیق مشاور بنده بوده اند، تشکر و قدردانی می نمایم. از تمامی اساتید بزرگووارم که در طول تحصیل همواره راهنما و مشوق بنده بوده اند سپاسگزارم. تشکر ویژه ای دارم از جناب آقای دکتر مسعود حق شناس فرد که در انجام این پروژه از راهنمایی های ایشان بهره ی کافی را بردم. از دوستان عزیز طالب زارعی، علی ولی پور طیبی، سید حسین حسینی، اسلام کاشی، ایمان خنشا، ایمان محمدی، جواد امیدی، لیلا پور جعفر، سید سجاد سجادی، مهرداد کاشفی، سید علی سجادیان، سید محمد سجادی، مسعود سلیمانی نائینی و سایر دوستان عزیزم که در انجام این تحقیق مرا را یاری کرده اند بسیار تشکر و قدر دانی می کنم.

از خداوند متعال برای همه این عزیزان آرزوی موفقیت و سربلندی را تمامی مراحل زندگیشان دارم.

شیروان شیردل

مهر ۱۳۸۷

چکیده:

برج های تقطیر سینی دار از نوع مخروط چرخان (SCC)^۱ 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. اکثر تحقیقات گذشته مربوط به آنالیز CFD برجهای SCC برای سیستم آب / هوا بوده است. به همین دلیل کاربرد این نتایج برای سیستم های واقعی با اشکال مواجه است. در این تحقیق پارامتر های انتقال جرم از جمله ضخامت فیلم مایع، ضرایب انتقال جرم، HETP و بازدهی جداسازی برای یک سیستم دفع توسط بخار^۳ شامل محلول آب / اتانول در مقیاس پایلوت در برجی با قطر داخلی ($D_e = 0.347 \text{ m}$) بررسی شده است. فاز مایع شامل آب و ۲/۲۵ درصد مولی اتانول و فاز گاز متشکل از بخار آب و ۹ درصد مولی اتانول می باشد. برای بررسی و ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال جرم در برجهای SCC از مدل هایی استفاده شده است که بر اساس معادلات ناویر استوکس و معادلات انتقال جرم پایه ریزی شده اند و روابط با ابزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و توسط نرم افزار CFX-10 ارزیابی شده اند. برای اطمینان از صحت هیدرودینامیک مدل، شبیه سازی افت فشار خشک برای جریان هوا و افت فشار دو فازی برای شدت جریان ثابت آب برابر با (1 kg/min) در شدت جریان های متفاوت گاز و در سرعت چرخش ۵۵۰ rpm انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش فاصله شعاعی از محور به تدریج از میزان ضخامت فیلم مایع کاسته می شود. این یافته با نتایج تجربی نیز مطابقت می کند. بیشترین مقدار ضخامت فیلم مایع کمتر از (1 mm) و در نزدیکی محور می باشد. ضرایب انتقال جرم در فاز مایع و در فاز گاز با افزایش سرعت جریان به میزان اندکی افزایش یافته و می توان گفت که تقریباً بدون تغییر باقی می ماند. مقدار متوسط این ضرایب در فاز مایع و گاز به ترتیب ۰/۰۱۹ و ۱/۴۲ (s^{-1}) می باشد. یکی از پارامتر ها برای طراحی برج HETP^۴ یا ارتفاع معادل یک

^۱- Spinning Cone Column

^۲- Computational Fluid Dynamics

^۳- Steam Stripping

^۴- Height Equivalent to Theoretical Plate

سینی تعادلی می باشد، که در این تحقیق مقدار آن پیش بینی شده است. HETP، با افزایش سرعت گاز افزایش می یابد، و محدوده ی تغییرات آن از 0.072 تا 0.24 می باشد. بازده جداسازی به کمک راندمان مورفری در سه سرعت چرخشی شفت و سینی چرخان 550 ، 750 و 1000 rpm، محاسبه و با مقادیر تجربی مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که همواره با افزایش مقدار جریان بخار (Strip Ratio) راندمان کاهش می یابد، همچنین مقایسه ی راندمان های بدست آمده در سه سرعت چرخش بیانگر این نکته است که با افزایش سرعت چرخش شفت میزان راندمان افزایش می یابد. کمترین راندمان برابر با $2/8$ در $27/1\%$ S. R. = و 550 RPM و بیشترین راندمان برابر با $16/24\%$ در $9/15\%$ S. R. = و 1000 RPM محاسبه شده است. متوسط خطا بین نتایج تجربی و شبیه سازی شده 22% می باشد.

کلمات کلیدی: برج سینی دارمخروطی چرخان (SCC)، CFD، ضخامت فیلم مایع، ضرایب انتقال جرم،

راندمان مورفری فاز گاز

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار.....
۲	مقدمه
۳	اهداف کلی پروژه
۴	نوآوریهای آرایه شده در این تحقیق.....
۴	ساختار پروژه.....
فصل اول: مروری بر برج های سینی دار مخروطی چرخان Spinning Cone	
Columns	
۵	.....
۶	۱-۱- مقدمه.....
۶	۱-۲- کاربردهای برج SCC.....
۷	۱-۳- بررسی جریان گاز و مایع.....
۹	۱-۴- تاریخچه.....
۱۰	۱-۵- مکانیزم های فیزیکی جریان گاز و مایع.....
۱۱	۱-۶- رژیم جریان.....
۱۱	۱-۶-۱- رژیم جریان pre loading.....
۱۲	۱-۶-۲- رژیم جریان loading.....
۱۲	۱-۶-۳- رژیم جریان flooding.....
۱۳	۱-۷- اعداد رینولدز.....
۱۴	۱-۸- افت فشار.....
۱۵	۱-۹- نمودارهای SLE (Sherwood-Leva-Eckert).....
۱۸	۱-۱۰- انتقال جرم.....
۱۸	۱-۱۱- ضخامت لایه مایع.....
۲۱	۱-۱۲- نتیجه گیری.....
۲۲	فصل دوم: مروری بر پژوهشهای انجام شده در زمینه آنالیز CFD برجهای SCC.....
۲۳	۱-۲- مقدمه.....
۲۳	۲-۲- تاریخچه استفاده از CFD برای مدل سازی برجهای SCC.....
۳۴	۳-۲- نتیجه گیری.....
۳۵	فصل سوم: دینامیک سیالات محاسباتی.....
۳۶	۱-۳- مقدمه.....

۳۷	..... دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ۲-۳
۳۷	..... روش های حل در دینامیک سیالات محاسباتی ۳-۳
۴۰	..... معادلات حاکم بر جریان سیال ۴-۳
۴۰	..... معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت یک فازی ۱-۴-۳
۴۱	..... معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت دو فازی ۲-۴-۳
۴۳	..... مدل های جریان آشفته ۳-۴-۳
۴۸	..... مدل های نیروی پسا ۴-۴-۳
۵۱	..... مدل های ارائه شده برای بررسی جریان چند فازی ۵-۴-۳
۵۴	..... مروری بر نرم افزار CFX ۵-۳
۵۶	..... نتیجه گیری ۶-۳
۵۷	..... فصل چهارم: مدلسازی سیستم
۵۸	..... ۱-۴- مقدمه
۵۹	..... ۲-۴- فرضیات مورد استفاده
۵۹	..... ۳-۴- معادلات حاکم بر سیستم
۶۰	..... ۱-۳-۴- معادلات حاکم برای مدل سازی و تحلیل پارامترهای هیدرودینامیکی برج
۶۱	..... ۲-۳-۴- معادلات حاکم برای تحلیل انتقال جرم
۶۱	..... ۱-۲-۳-۴- معادلات کمکی انتقال جرم بین فازها
۶۵	..... ۴-۴- مراحل مدلسازی
۶۶	..... ۱-۴-۴- تولید هندسه مدل
۶۸	..... ۲-۴-۴- شبکه بندی مدل
۷۰	..... ۳-۴-۴- شرایط مرزی
۷۱	..... ۱-۳-۴-۴- شرایط مرزی مورد استفاده برای تحلیل افت فشار خشک
۷۱	..... ۲-۳-۴-۴- شرایط مرزی مورد استفاده برای تحلیل افت فشار دو فازی
۷۲	..... ۳-۳-۴-۴- شرایط مرزی مورد استفاده برای بررسی انتقال جرم
۷۴	..... ۴-۴-۴- تخمین مقادیر اولیه
۷۴	..... ۵-۴- نتیجه گیری
۷۵	..... فصل پنجم: تحلیل نتایج
۷۶	..... ۱-۵- مقدمه
۷۶	..... ۲-۵- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD افت فشار خشک و دو فازی
۷۷	..... ۱-۲-۵- نتایج مربوط به افت فشار خشک
۷۸	..... ۲-۲-۵- نتایج مربوط به افت فشار دو فازی
۷۹	..... ۳-۵- تحلیل نتایج حاصل از آنالیز CFD انتقال جرم و تعیین بازده جداسازی
۷۹	..... ۱-۳-۵- ضخامت فیلم مایع
۸۲	..... ۲-۳-۵- پیش بینی ضرایب انتقال جرم
۸۴	..... ۳-۳-۵- محاسبات HETP (ارتفاع معادل یک سینی تعادلی)
۸۶	..... ۴-۳-۵- بازده جداسازی
۹۱	..... ۴-۵- نتیجه گیری

۹۳	..... فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۹۴	..... ۱-۶- مقدمه.....
۹۴	..... ۲-۶- خلاصه نتایج حاصل از آنالیز CFD افت فشار.....
۹۵	..... ۳-۶- خلاصه نتایج حاصل از آنالیز CFD انتقال جرم.....
۹۵	..... ۱-۳-۶- نتایج حاصل از اندازه گیری ضخامت فیلم مایع.....
۹۵	..... ۲-۳-۶- نتایج حاصل از پیش بینی ضرایب انتقال جرم و HETP.....
۹۶	..... ۳-۳-۶- نتایج حاصل از محاسبه بازده ی جداسازی به کمک راندمان مورفری.....
۹۶	..... ۴-۶- پیشنهادها.....
۹۷	..... مراجع.....
۱۰۲	..... پیوست ها.....
۱۰۳	..... پیوست (الف) - معادلات ناویر استوکس.....
۱۰۶	..... پیوست (ب)- الگوریتم حل معادلات در نرم افزار CFX.....
۱۰۹	..... پیوست (ج): نمونه ای از شرایط مرزی استفاده شده برای محاسبات انتقال جرم.....
۱۱۱	..... پیوست (د)- کدهای مربوط به داده های خروجی نرم افزار CFX.....
۱۳۵	..... پیوست(ه)- مراحل انجام گرفته در نرم افزار CFX برای تحلیل انتقال جرم.....
۱۴۳	..... پیوست (و) : یک نمونه از محاسبات HETP.....
۱۴۶	..... پیوست (ز) : یک نمونه از محاسبات راندمان مورفری.....
۱۴۸	..... پیوست (ح)- چکیده مقالات.....

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۱۴	جدول ۱-۱. تعیین آغاز اولین ناپایداری و آشفتگی کاملاً توسعه یافته، بوسیله مقادیر بحرانی از اعداد رینولدز.....
۱۷	جدول ۱-۲. مقادیر پارامترهای هندسی در مقیاس پایلوت.....
۲۶	جدول ۲-۱. مقادیر پارامترهای هندسی در مقیاس پایلوت.....
۲۹	جدول ۲-۲. نتایج حاصل از شبیه سازی CFD برای بدست آوردن ثوابت تجربی k_{rot} و k_{reg} و مقایسه با مقادیر تجربی.....
۸۷	جدول ۲-۳. اندازه ی تغییرات در هندسه SCC.....
	جدول ۵-۱ - مقایسه نتایج HETP در حالت تجربی و CFD.....

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۸	شکل ۱-۱. شمای کلی برج SCC و سینی های آن.....
۸	شکل ۲-۱. بخشی از مسیر جریان گاز و مایع در برج SCC.....
۱۱	شکل ۳-۱. نمایش سطح مقطع بحرانی جریان گاز و مایع.....
۱۳	شکل ۴-۱. مقایسه بین رژیم های جریان loading و flooding و همچنین تغییرات افت فشار در این رژیم ها.....
۱۵	شکل ۵-۱. تغییرات افت فشار در شدت جریان های مختلف گاز و مایع.....
۱۷	شکل ۶-۱. شمای هندسی مدل مورد بررسی.....
۱۸	شکل ۷-۱. منحنی طغیان برای برج SCC در مقیاس های متفاوت.....
۱۹	شکل ۸-۱. شماتیک دیاگرام دستگاه برای اندازه گیری ضخامت فیلم مایع.....
۲۰	شکل ۹-۱: منحنی کاهش ضخامت فیلم مایع در طول سینی مخروطی.....
۲۴	شکل ۱-۲. مقادیر متوسط زمانی از افت فشار پیش بینی شده با CFD در مقایسه با مقادیر تجربی.....
۲۷	شکل ۲-۲. سیستم جریان واقعی در SCC.....
۲۸	شکل ۳-۲. مقادیر ضرایب انتقال جرم پیش بینی شده با CFD در مقایسه با مقادیر تجربی.....
۲۹	شکل ۴-۲. تغییرات در هندسه در SCC.....
۳۰	شکل ۵-۲. توزیع ضریب انتقال جرم حجمی در گلوگاه داخلی و بیرونی SCC.....
۳۱	شکل ۶-۲. توزیع ضریب انتقال جرم حجمی مؤثر در SCC.....
۳۱	شکل ۷-۲. تغییرات افت فشار با تغییر در وسعت گلوگاه و دبی سیال در SCC.....
۳۲	شکل ۸-۲. افزایش نوسانات فشاری متناسب با عدد رینولدز.....
۳۲	شکل ۹-۲. تغییرات ضریب انتقال جرم حجمی با افزایش سایز برج.....
۳۳	شکل ۱۰-۲. تغییرات ضریب انتقال جرم اسپری و فیلمی با سایز برج.....
۳۳	شکل ۱۱-۲. تغییرات افت فشار با سرعت جرمی گاز در سایز های مختلف.....
۴۴	شکل ۱-۳. شمایی از اندازه های گردابه ها و ارتباط آن ها با مدلسازی های مختلف.....
۴۵	شکل ۲-۳. مدل های موجود برای توصیف جریان های درهم.....
۵۲	شکل ۳-۳. روش های مختلف حل عددی چند فازی.....
۵۵	شکل ۴-۳. مراحل حل در نرم افزار CFX.....
۶۶	شکل ۱-۴. مراحل انجام گرفته برای آنالیز CFD یک برج SCC.....
۶۷	شکل ۲-۴. مدل پیشنهادی برای انجام محاسبات.....
۶۸	شکل ۳-۴. انواع المانهای قابل قبول در نرم افزار CFX.....

۶۹	..... شکل ۴-۴ بررسی استقلال از مش توسط پارامتر فشار
۶۹	..... شکل ۵-۴ مدل مش بندی شده
۷۳	..... شکل ۶-۴ شرایط مرزی برای بررسی انتقال جرم
۷۸	..... شکل ۱-۵ تغییرات افت فشار در برج با افزایش شدت جریان گاز
۷۹	..... شکل ۲-۵ تغییرات افت فشار با افزایش شدت جریان گاز در مقیاس لگاریتمی
۸۰	..... شکل ۳-۵ تغییرات افت فشار با افزایش شدت جریان گاز در سرعت جریان ثابت مایع برابر با ۱ کیلو گرم بر دقیقه
۸۱	..... شکل ۴-۵ تغییرات سرعت مایع با افزایش فاصله شعاعی
۸۱	..... شکل ۵-۵ تغییرات ضخامت فیلم با افزایش فاصله شعاعی
۸۲	..... شکل ۶-۵ تغییرات ضریب انتقال جرم با افزایش فاصله شعاعی
۸۲	..... شکل ۷-۵ - تغییرات ضخامت فیلم مایع و ضرایب انتقال جرم در طول شعاع
۸۳	..... شکل ۸-۵ - مقایسه ضخامت فیلم مایع (سیستم آب- هوا) و CFD بر حسب فاصله شعاعی از محور
۸۴	..... شکل ۹-۵ - تغییرات ضرایب انتقال جرم با سرعت جریان برای سیستم دفع بخار شامل آب / اتانول
۸۵	..... شکل ۱۰-۵ - کانتور های ضریب انتقال جرم در فاز گاز در یک جریان ثابت
۸۷	..... شکل ۱۱-۵ - تغییرات HETP بر حسب سرعت گاز برای $U_L = 0.00628 \text{ (m/s)}$
۸۹	..... شکل ۱۲-۵ - تغییرات غلظت مولی اتانول در فاز گاز در طول مرحله
۸۹	..... شکل ۱۳-۵ - تغییرات غلظت جرمی اتانول در فاز گاز در طول مرحله
۹۰	..... شکل ۱۴-۵ - مقایسه راندمان مورفری در سرعت چرخش ۵۵۰ rpm
۹۱	..... شکل ۱۵-۵ - مقایسه راندمان مورفری در سرعت چرخش ۷۵۰ rpm
۹۱	..... شکل ۱۶-۵ - مقایسه راندمان مورفری در سرعت چرخش ۱۰۰۰ rpm
۹۲	..... شکل ۱۷-۵ - اثر افزایش سرعت چرخش بر راندمان مورفری

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	$A_{LF}(m^2)$
سطح مؤثر بین فازها	$a_c(1/m)$
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	$d_p(m)$
فاکتور آکندگی	$F(m^{-1})$
نیروی پسا	$F(N/m^3)$
شتاب جاذبه زمین	$g(m/s^2)$
شدت جرمی گاز برحسب واحد سطح	$G(kg/m^2s)$
شدت جرمی گاز	$\bar{G}(kg/s)$
ارتفاع برج	h

پارامتر وابسته به گرانروی موثر	H
پارامتر وابسته به گرانروی موثر	J
گرانروی توده	$K(kg/m^3)$
ضریب انتقال جرم در فاز گاز	$k_G(m/s)$
ضریب انتقال جرم در فاز مایع	$k_L(m/s)$
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	$\bar{L}(kg/s)$
شدت جرمی مایع برحسب واحد سطح	$L(kg/m^2s)$
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 متوالی)	Pitch(m) یا P_c

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	$\dot{R}_{SO} (m)$
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 مایع	$U_{LM} (kmol/s)$
سرعت مولی در فاز گاز	$U_{GM} (kmol/s)$
سرعت مشخصه	$u_T (m/s)$
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
جزء مولی جسم فرارتر در فصل مشترک فاز مایع و بخار	x_A^I
جزء مولی جسم فرارتر در فصل مشترک فاز مایع و بخار	y_A^I
جزء مولی جسم A در فاز مایع	x_A
جزء مولی جسم A در فاز بخار	y_A
جزء مولی تعادلی جسم A در فاز بخار	y_A^*

ارتفاع معادل یک مرحله تعادلی	HETP(m)
ارتفاع واحد انتقال	HTU(m)
عدد بدون بعد مورتون	M
عدد بدون بعد اتووس	Eo
عدد بدون بعد اشمیت	Sc
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
دانسیته بخار	$\rho_G (kg / m^3)$
دانسیته مایع	$\rho_L (kg / m^3)$
سرعت چرخشی بخش چرخان	$\omega_{rotor} (rpm)$
گرانروی ملکولی	$\mu (kg / m.s)$
ضریب پخش برای جزء حجمی	$\Gamma (kg / m.s)$
افت فشار یک مرحله	$\Delta P_{stage} (Pa)$
افت فشار کل برج	$\Delta P_t (Pa)$
افت فشار برج	$\Delta p (Pa)$
کشش سطحی	$\sigma (N / m)$
نسبت ضریب زاویه خط تعادل به خط تبادل، m شیب خط تعادل	λ
ویسکوزیته سینماتیکی	$\nu (m / s^2)$
تانسور تنش	$\tau (N / m^2)$
جزء حجمی فاز α	γ_α
چگالی سیال	$\rho (kg / m^3)$
گرانروی موثر سیال	$\mu_e (kg / m.s)$
گرانروی ملکولی آب	$\mu_{ref} (kg / m.s)$
تانسور شاخص	δ
گرانروی آشفتگی	$\mu_T (kg / m.s)$
مشخصه شعاعی بدون بعد	η
فراریت نسبی	α

پیشگفتار

مقدمه

عملیات جداسازی یکی از مهمترین عملیاتهایی است که در یک مجموعه شیمیایی انجام می گیرد. یکی از مهمترین روشهای جداسازی عملیات تقطیر می باشد. تقطیر به راحتی در دما و فشار مناسب انجام پذیر بوده و بصورت چند مرحله ای در می آید. در عملیات تقطیر، جداسازی بر اساس فراریت نسبی اجزاء صورت می گیرد. برجهای تقطیر در حالت کلی به دو نوع سینی دار و آکنده تقسیم می شود. یکی از انواع برجهای تقطیر سینی دار، برج تقطیر با سینی های مخروطی چرخان^۱ (SCC) می باشد که در این پروژه مورد بررسی قرار می گیرد.

برای طراحی بهینه ی برجهای SCC پارامترهای زیادی باید مورد توجه قرار گیرند، مثل پارامترهای مربوط به انتقال جرم و پارامترهای هیدرودینامیکی برج. 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 پارامترهای هیدرودینامیکی و پارامترهای مربوط به انتقال جرم برای بهینه سازی و کنترل این برجها بسیار مهم می باشند.

^۱ Spinning Cone Column

اهداف کلی پروژه:

اهداف کلی که در این تحقیق دنبال می شوند در واقع درک دقیق تر و بهتری از هیدرو دینامیک و به خصوص انتقال جرم برای یک جریان دو فازی در برج های SCC می باشد. به همین منظور از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)^۱ برای تحلیل این جریان و محاسبات مقادیر افت فشار و پارامتر های انتقال جرم بهره برده شده است. در واقع هدف اصلی در این تحقیق بدست آوردن بازده جداسازی فرایند Steam Stripping فاز مایع شامل آب و اتانول می باشد که در همین راستا مباحثی چون ضخامت فیلم مایع و پارامتر های انتقال جرم مانند ضرایب انتقال جرم و ارتفاع معادل یک سینی تعادلی نیز بررسی شده است. در بخش شبیه سازی، معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انتقال جرم در حالت پایا برای محاسبه ی توزیع فشار، سرعت و غلظت فازها توسط نرم افزار CFX-10 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. اکثر تحقیقات گذشته مربوط به آنالیز CFD برجهای SCC برای سیستم آب / هوا بوده است. به همین دلیل کاربرد این نتایج برای سیستم های واقعی با اشکال مواجه است. در این تحقیق پارامتر های انتقال جرم و بازده ی جداسازی برای یک سیستم دفع توسط بخار شامل محلول آب / اتانول در مقیاس پایلوت در برجی با قطر داخلی ($D_e = 0.347 \text{ m}$) بررسی شده است.

نوآوریهای ارایه شده در این تحقیق

- همانگونه که ذکر شد، هدف از این تحقیق محاسبه بازده و ضرایب انتقال جرم در یک برج SCC در مقیاس پایلوت توسط دینامیک سیالات محاسباتی می باشد.
- در مجموع وجوه تمایز این تحقیق با پژوهشهای پیشین انجام گرفته عبارتند از:
- ۱- در اغلب تحقیقات پیشین مدل مورد بررسی جهت آنالیز انتقال جرم در مقیاس آزمایشگاهی می باشد، در حالیکه در تحقیق حاضر مقیاس پایلوت بررسی شده است.
 - ۲- تخمین بازده جداسازی در برجهای SCC توسط آنالیز CFD برای نخستین بار در این تحقیق ارایه می گردد.
 - ۳- سیستم مورد بررسی در این تحقیق Steam Stripping آب/ اتانول می باشد در حالیکه در تحقیقات قبلی سیستم شامل آب و هوا یا آب و بخار بوده است.

^۱. Computational Fluid Dynamics