



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی

عنوان:

بررسی هلدآپ استاتیک و دینامیک در ستون‌های

ضربه‌ای سینی‌دار با حضور ذرات نانو

اساتید راهنما:

دکتر محمدرضا مزدیان‌فرد

دکتر حسین بهمنیار

به وسیله:

امیر بهمنیار ۸۸۱۳۵۴۰۲۰۲

شهریورماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

نانوسیالات نوع جدیدی از مواد مهندسی هستند که از نظر کاربرد در فرآیندهای صنعتی پتانسیل بالایی را دارا هستند. در طی سال‌های اخیر اثرات حرارتی افزایش یافته در این نوع از سیالات به فراوانی در مقالات مورد بررسی قرار گرفته است. این مطلب در حالی است که در زمینه اثر نانوذرات بر پارامترهای مؤثر بر فرآیندهای انتقال جرم مطالعات محدودی صورت گرفته است که در این میان اکثر آنها سیستم گاز-مایع را مورد بررسی قرار داده‌اند.

در این پژوهش پارامترهای هیدرودینامیکی شامل رفتار قطره‌ها، هلدآپ استاتیک و هلدآپ دینامیک فاز پراکنده مورد بررسی قرار گرفته است. برای تهیه نانوسیالات مورد استفاده، نانوذرات سیلیکونی با درصدهای حجمی ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱۰ با دو مقدار آبگریزی متفاوت به وسیله امواج مافوق صوت در کروزین (سیال پایه) پراکنده شده‌اند. به منظور اطمینان از پایداری نانوسیالات از روش اسپکترومتری UV-vis استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل از حضور نانوذرات در فاز پراکنده با نتایج حاصل از عدم حضور این ذرات (با انتقال جرم و بدون انتقال جرم) مقایسه شده است.

همچنین در طی آزمایشات با اعمال شدت ضربه‌های متفاوت، اثر این پارامتر نیز مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است در کلیه آزمایش‌ها نسبت دبی حجمی دو فاز ۱/۲، جهت جریان فازها مختلف الجهد و جهت انتقال جرم از فاز پراکنده به فاز پیوسته بوده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: استخراج مایع - مایع.....
۲	۱-۱- استخراج مایع - مایع.....
۴	۲-۱- دستگاه استخراج.....
۵	۳-۱- استخراج کننده‌های ستونی.....
۵	۱-۳-۱- ستون‌های بدون همزن.....
۵	۲-۳-۱- ستون‌های پاششی.....
۶	۳-۳-۱- ستون‌های پر شده.....
۷	۴-۳-۱- ستون‌های سینی‌دار.....
۸	۵-۳-۱- ستون‌های ضربه‌ای.....
۹	۶-۳-۱- ستون‌های با همزن مکانیکی.....
۱۰	۱-۶-۳-۱- تماس دهنده‌های با دیسک چرخان (RDC).....
۱۰	۲-۶-۳-۱- تماس دهنده‌های ORC.....
۱۱	۴-۱- انتخاب دستگاه استخراج.....
۱۳	۵-۱- انتخاب سیستم شیمیایی جهت تحقیقات استخراج مایع - مایع.....
۱۵	۶-۱- انتخاب فاز پیوسته و پراکنده.....
۱۶	فصل دوم: هیدرودینامیک ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار.....
۱۷	۱-۲- استخراج کننده‌های مایع مایع ضربه‌ای.....
۱۷	۲-۲- ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار مشبک (PSE).....

عنوان

صفحه

- ۳-۲- مزایا و معایب استخراج کننده‌های PSE نسبت به استخراج کننده‌های دیگر..... ۱۸
- ۴-۲- مشخصه‌های عمومی استخراج کننده‌های ضربه‌ای سینی‌دار مشبک..... ۱۹
- ۵-۲- رژیم‌های جریان در استخراج کننده‌های ضربه‌ای سینی‌دار..... ۲۰
- ۶-۲- پارامترهای هیدرودینامیکی در استخراج کننده‌های ضربه‌ای سینی‌دار..... ۲۵
- ۶-۲-۱- طغیان..... ۲۵
- ۶-۲-۲- اندازه قطرات..... ۳۰
- ۶-۲-۳- هلدآپ..... ۳۷
- فصل سوم: نانوسیالات..... ۴۲**
- ۳-۱- مقدمه..... ۴۳
- ۳-۲- خواص نانو مواد..... ۴۴
- ۳-۳- دسته بندی نانو مواد..... ۴۵
- ۳-۴- پدیده‌های انتقال در نانوسیالات..... ۴۶
- ۳-۴-۱- انتقال حرارت در نانوسیالات..... ۴۶
- ۳-۴-۱-۱- اثر هدایت حرارتی در نانوسیالات..... ۴۶
- ۳-۴-۱-۲- انتقال حرارت جابجایی در نانوسیالات..... ۴۷
- ۳-۴-۲- انتقال جرم در نانوسیالات..... ۴۸
- ۳-۴-۲-۱- نفوذ مولکولی در نانوسیالات..... ۴۸
- ۳-۴-۲-۲- انتقال جرم نانوسیالات در سیستم‌های گاز- مایع..... ۵۲
- ۳-۵- تهیه نانوسیال..... ۵۶
- ۳-۵-۱- تغییرات pH در سوسپانسیون..... ۵۷

عنوان

صفحه

۳-۵-۲- استفاده از عوامل فعال سطحی یا پراکنده سازها.....	۵۷
۳-۵-۳- استفاده از لرزاننده‌های مافوق صوت.....	۵۸
۳-۶-۶- پایداری نانوسیال و روش‌های بررسی آن.....	۵۸
۳-۶-۱- روش تصویر برداری (ته‌نشینی).....	۵۹
۳-۶-۲- اسپکترومتری UV-vis.....	۵۹
۳-۶-۳- تعیین اندازه متوسط ذرات.....	۶۰
فصل چهارم: شرح دستگاه و نحوه انجام آزمایش‌ها.....	
۴-۱-۱- شرح ستون آزمایشگاهی و سایر تجهیزات مورد استفاده.....	۶۲
۴-۱-۱-۱- مشخصات ستون آزمایشگاهی.....	۶۲
۴-۱-۲- مولد ضربه.....	۶۵
۴-۱-۳- آلتراسونیک.....	۶۷
۴-۱-۴- آب مقطرگیری.....	۶۹
۴-۱-۵- دوربین عکاسی.....	۶۹
۴-۲-۱- شرح آزمایشات.....	۷۰
۴-۲-۱- مقدمه.....	۷۰
۴-۲-۲- سیستم‌های شیمیایی.....	۷۱
۴-۲-۳- تهیه نانوسیال.....	۷۳
۴-۲-۴- آزمایشات بررسی پایداری نانوسیال.....	۷۳
۴-۲-۵- اندازه‌گیری توزیع اندازه قطرات (DSD) و قطر متوسط قطرات (d_{32}).....	۷۳
۴-۲-۵-۱- روش عکس برداری مستقیم.....	۷۴

۷۴.....	۲-۵-۲-۴- روش امواج صوتی.....
۷۴.....	۳-۵-۲-۴- روش تثبیت قطره.....
۷۵.....	۶-۲-۴- اندازه‌گیری هلدآپ فاز پراکنده (φ_d).....
۷۷.....	فصل پنجم: بحث و نتیجه.....
۷۸.....	۱-۵- بررسی پایداری نانوذرات.....
۸۰.....	۲-۵- تأثیر حضور نانوذرات بر شکل هندسی قطرات.....
۸۳.....	۳-۵- بررسی تغییرات اندازه قطره و توزیع قطر قطرات در ستون.....
۸۹.....	۴-۵- بررسی هلدآپ استاتیک فاز پراکنده در ستون.....
۸۹.....	۱-۴-۵- اثر شدت ضربه بر میزان هلدآپ استاتیک فاز پراکنده.....
۹۳.....	۲-۴-۵- اثر حضور نانوذرات بر هلدآپ استاتیک فاز پراکنده.....
۹۶.....	۵-۵- بررسی هلدآپ دینامیک فاز پراکنده در ستون.....
۹۶.....	۱-۵-۵- اثر شدت ضربه بر میزان هلدآپ دینامیک فاز پراکنده.....
۱۰۰.....	۲-۵-۵- اثر حضور نانوذرات بر هلدآپ دینامیک فاز پراکنده.....
۱۰۳.....	خلاصه نتایج.....
۱۰۴.....	پیشنهاد انجام کار.....
۱۰۵.....	منابع.....

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- روابط ارائه شده برای پیش بینی گذار از رژیم‌های مختلف در ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار.....	۲۳
جدول ۲-۲- معادلات پیش بینی طغیان در ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار.....	۲۵
جدول ۳-۲- روابط ارائه شده برای پیش بینی اندازه قطره در ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار.....	۳۱
جدول ۴-۲- روابط ارائه شده برای پیش بینی هلدآپ فاز پراکنده در ستون‌های ضربه‌ای سینی‌دار.....	۳۶
جدول ۱-۴- مشخصات کلی ستون مورد آزمایش.....	۶۳
جدول ۲-۴- خواص فیزیکی و نام اختصاری سیستم‌های شیمیایی.....	۷۱
جدول ۱-۵- بیشینه و کمینه قطر قطرات اندازه‌گیری شده برای سیستم‌های شیمیایی مختلف.....	۸۵
جدول ۲-۵- فراوانی قطرات با سایز بین ۱ mm - ۰/۵ برای دو سیستم شیمیایی W-AA-K و W-NF ₁	۸۶
جدول ۳-۵- فراوانی قطرات با سایز بین ۱-۱/۵ mm برای دو سیستم شیمیایی W-NF ₂ و W-NF ₃	۸۶

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- ستون استخراجی پاششی.....	۶
شکل ۲-۱- ستون استخراجی پر شده.....	۶
شکل ۳-۱- ستون سینی دار.....	۷
شکل ۴-۱- ستون ضربه‌ای.....	۸
شکل ۵-۱- ستون تماس دهنده RDC.....	۱۰
شکل ۶-۱- ستون تماس دهنده ORC.....	۱۰
شکل ۷-۱- مقایسه هزینه تماس دهنده‌ها بر حسب ظرفیت‌های عملیاتی مختلف.....	۱۲
شکل ۱-۲- رژیم‌های جریان در ستونهای ضربه‌ای سینی دار.....	۲۰
شکل ۲-۲- رژیم‌های مختلف جریان در ستون ضربه‌ای سینی دار.....	۲۲
شکل ۱-۳- مقایسه الگوی پخش رنگ در آب خالص (۳-۱-الف)؛ نانوسیال حاوی ۰/۵ %wt (۳-۱-ب) و نانو سیال حاوی ۱ %wt Al_2O_3 (۳-۱-ج).....	۴۸
شکل ۲-۳- تغییر سطح رنگی با زمان در غلظت‌های مختلف نانوسیال.....	۴۹
شکل ۳-۳- مقایسه میزان افزایش هدایت حرارتی و نفوذ مولکولی در نانوسیال حاوی نانوذرات Al_2O_3 با اندازه ۲۰ nm.....	۵۱
شکل ۴-۳- الف. زمان لازم برای رسیدن به حد اشباع؛ ب. مقدار افزایش در $k_L a$ به صورت تابعی از دما برای ذرات پوشش داده شده با PPO-PEO در اندازه ۸۰ nm و اسید اولئیک در اندازه ۲۰ nm.....	۵۲
شکل ۵-۳- مقدار مطلق افزایش در k_L به صورت تابعی از مقدار نانوذرات برای دو مقدار متفاوت سرعت همزن.....	۵۲

عنوان	صفحه
شکل ۳-۶- مقایسه میزان افزایش انتقال حرارت (۳-۶-الف) و انتقال جرم (۳-۶-ب) در شرایط مختلف.....	۵۴
شکل ۳-۷- داده‌های تجربی بدست آمده از جذب اکسیژن در حضور نانوذرات n-hexadecan.....	۵۴
شکل ۴-۱- شمایی از ستون استخراج مایع- مایع ضربه‌ای مورد استفاده در آزمایشات.....	۶۱
شکل ۴-۲- نمایی از نازل مورد استفاده.....	۶۳
شکل ۴-۳- مدار الکترونیکی واحد کنترل کننده قابل برنامه ریزی (PCU).....	۶۵
شکل ۴-۴- واحد کنترل کننده قابل برنامه ریزی (PCU).....	۶۵
شکل ۴-۵- نمایی از دستگاه آلتراسونیک مورد استفاده.....	۶۷
شکل ۵-۱- میزان جذب نانوذرات سیلیکونی بر حسب طول موج در دو سیستم W-NF ₂ و W-NF ₃	۷۷
شکل ۵-۲- میزان پیک جذب بر حسب درصد حجمی‌های مختلف نانوذرات.....	۷۸
شکل ۵-۳- غلظت نسبی نانوذرات در داخل نانوسیال بر حسب زمان.....	۷۸
شکل ۵-۴- تأثیر حضور نانوذرات بر شکل هندسی قطرات؛ سیستم‌های شیمیایی W-AA-K (۵-۴-الف)، W-NF ₁ (۵-۴-ب)، W-NF ₂ (۵-۴-ج) و W-NF ₃ (۵-۴-د)؛ شدت ضربه ۱/۳ cm/s.....	۸۰
شکل ۵-۵- میزان کرویت قطرات بر حسب درصد حجمی نانوذرات موجود در فاز پراکنده (شدت ضربه ۱/۳ cm/s).....	۸۱
شکل ۵-۶-الف- توزیع سایز قطرات برای سیستم W-AA-K (عدم حضور ذرات نانو).....	۸۳
شکل ۵-۶-ب- توزیع سایز قطرات برای سیستم W-NF ₁ (حضور ۰/۰۱ درصد حجمی نانوذرات).....	۸۳
شکل ۵-۶-ج- توزیع سایز قطرات برای سیستم W-NF ₂ (حضور ۰/۰۵ درصد حجمی نانوذرات).....	۸۴
شکل ۵-۶-د- توزیع سایز قطرات برای سیستم W-NF ₃ (حضور ۰/۱ درصد حجمی نانوذرات).....	۸۴
شکل ۵-۷- اثر شدت ضربه بر میزان هلدآپ استاتیک فاز پراکنده برای سیستم‌های W-K (۵-۷-الف)، W-AA-K (۵-۷-ب)، W-NF ₁ (۵-۷-ج)، W-NF ₂ (۵-۷-د) و W-NF ₃ (۵-۷-ه).....	۹۰

عنوان

صفحه

- شکل ۵-۸- کمترین (۵-۸-الف) و بیشترین (۵-۸-ب) میزان هلدآپ استاتیک دیده شده در طی آزمایشات..... ۹۱
- شکل ۵-۹- میزان هلدآپ استاتیک بر حسب درصد حجمی نانوذرات موجود در فاز پراکنده در شدت ضربه‌های ۰/۳ (الف-۹-۵)، ۰/۷ (ب-۹-۵)، ۱/۳ (ج-۹-۵)، ۱/۸ (د-۹-۵) و ۲/۳ (ه-۹-۵) cm/s ۹۳
- شکل ۵-۱۰- میزان هلدآپ استاتیک برای سیستم W-AA-K (حضور ۰/۰۱ درصد حجمی نانوذرات) به شکل قطرات جدا از هم (۵-۱۰-الف)، و برای سیستم W-NF₃ (حضور ۰/۱۰ درصد حجمی نانوذرات) به شکل لایه‌ای از فاز پراکنده (۵-۱۰-ب)..... ۹۴
- شکل ۵-۱۱- اثر شدت ضربه بر میزان هلدآپ دینامیک فاز پراکنده برای سیستم‌های W-K (۵-۱۱-الف)، W-AA-K (۵-۱۱-ب)، W-NF₁ (۵-۱۱-ج)، W-NF₂ (۵-۱۱-د) و W-NF₃ (۵-۱۱-ه)..... ۹۷
- شکل ۵-۱۲- میزان هلدآپ دینامیک برای سیستم W-NF₁ در دو شدت ضربه ۰/۷ (۵-۱۲-الف) و cm/s ۲/۳ (۵-۱۲-ب)..... ۹۸
- شکل ۵-۱۳- میزان هلدآپ دینامیک بر حسب درصد حجمی نانوذرات موجود در فاز پراکنده در شدت ضربه‌های ۰/۳ (الف-۱۳-۵)، ۰/۷ (ب-۱۳-۵)، ۱/۳ (ج-۱۳-۵)، ۱/۸ (د-۱۳-۵) و ۲/۳ (ه-۱۳-۵) cm/s ۱۰۰

فصل اول

استخراج مایع – مایع

۱-۱- استخراج مایع - مایع

وقتی جداسازی از طریق تقطیر کارآیی ندارد یا با دشواری روی می‌دهد، روش استخراج از مایع که یکی از جایگزین‌های اصلی است به کار می‌رود. مخلوط‌هایی که از اجزا با نقطه جوش نزدیک هم تشکیل شده‌اند یا موادی که حتی در شرایط خلأ نمی‌توانند در دمای تقطیر مقاومت کنند اغلب با استخراج از ناخالصی‌ها جدا می‌شوند. در استخراج از اختلاف‌های شیمیایی، به جای اختلاف فشار بخار، استفاده می‌شود. مثلاً پنی‌سیلین از طریق استخراج با حلالی مانند بوتیل استات، پس از کاهش pH برای رسیدن به ضریب مطلوب جداسازی، از ماده تخمیری بازیابی می‌شود. سپس، حلال با محلول فسفات تامپونی فرآوری می‌شود تا پنی‌سیلین از حلال استخراج و محلول آبی خالصی بدست آید، که با خشک کردن آن، پنی‌سیلین تهیه می‌شود. از استخراج برای بازیابی اسید استیک از محلول‌های آبی رقیق نیز استفاده می‌شود؛ در این حالت از تقطیر نیز می‌توان استفاده کرد، اما مرحله استخراج باعث می‌شود آبی که باید تقطیر شود به طور قابل توجه کاهش یابد.

یکی از موارد استفاده عمده استخراج در جداسازی محصولات نفتی است، که ساختمان شیمیایی متفاوت دارند اما گستره دمای جوش آنها تقریباً یکسان است. روغن‌های روانکار ($bp > 300^\circ C$) با حلال‌های قطبی زود جوش مانند فنل، فورفورال، یا متیل پیرولیدن فرآوری می‌شوند تا آروماتیک‌ها استخراج و از روغنی که عمدتاً از پارافین‌ها و نفتن‌ها تشکیل شده است حذف شوند. در آروماتیک‌ها، ویسکوزیته بستگی ضعیفی به دما دارد اما به علت همپوشی گستره‌های نقطه جوش، آنها را نمی‌توان با تقطیر جداسازی کرد. با فرآیند مشابه، آروماتیک‌ها با استفاده از یک حلال قطبی دیرجوش از محصول کاتالیزی استخراج می‌شوند، و سپس ماده استخراج شده تقطیر می‌شود و اکسیلن‌ها، تولوئن، و بنزن خالص می‌دهد که به عنوان واسطه‌های شیمیایی به کار می‌روند. یکی از حلال‌هایی که برای این منظور به کار می‌رود ترکیب حلقوی $C_4H_8SO_2$ (سولفولان) است، که انتخاب پذیری بالایی برای آروماتیک‌ها دارد و فراریت آن خیلی کم است ($bp = 290^\circ C$).

در انتخاب بین تقطیر و استخراج، معمولاً تقطیر انتخاب می‌شود هرچند که تقطیر نیاز به گرمایش دارد. در استخراج، باید حلال را برای استفاده مجدد بازیابی کرد (معمولاً با تقطیر)، و عملیات ترکیبی تقطیر- استخراج از عملیات تقطیر معمولی بدون استخراج پیچیده‌تر و اغلب گران‌تر است. ولی، در استخراج انعطاف پذیری زیادی برای انتخاب شرایط عملیات وجود دارد، زیرا نوع و مقدار حلال، و همچنین دمای کارکرد را می‌توان تغییر داد. از این نظر، استخراج به جذب گاز شبیه‌تر است تا به تقطیر معمولی. در بسیاری از مسائل، انتخاب بین روش‌ها باید بر مبنای مطالعه مقایسه‌ای استخراج و تقطیر انجام شود [۱].

به طور کلی، در کاربردهایی که در زیر به آنها اشاره شده است استخراج مایع- مایع بر تقطیر ترجیح داده می‌شود [۲]:

- مواد معدنی حل شده یا مرکب در محلولهای آلی یا آبی.
- زدایش اجزایی که غلظت آنها کم است، مانند رنگ پیه و یا هورمونهای روغن حیوانی.
- هنگامی که یک جزء با نقطه جوش بالا با مقادیر نسبتاً کمی در یک پساب وجود دارد، مانند بازیابی اسید استیک از سلولز استات، زیرا تبخیر مقادیر زیاد آب به دلیل گرمای تبخیر بالا بسیار گران تمام می‌شود.
- بازیابی مواد حساس به گرما (چرا که استخراج مایع-مایع ارزانتر از تقطیر خلأ است).
- جداسازی یک مخلوط بر اساس گونه شیمیایی آن و نه فراریت نسبی.
- جداسازی مایعات با نقطه جوش نزدیک به هم که می‌توان در این حالت از تفاوت در حلالیت بهره گرفت.
- مخلوطهایی که آزنوتروپ تشکیل می‌دهند.

راه حل دستیابی به یک فرایند استخراج مؤثر، شناسایی حلال مناسب است. یک حلال مناسب باید علاوه بر غیر سمی بودن، ارزان بودن و بازیابی آسان، بجز برای جزء مورد نظر در جداسازی، به طور نسبی با دیگر اجزاء خوراک امتزاج ناپذیر باشد و برای آسانی جداسازی فازها، تفاوت دانسیته آن با خوراک زیاد باشد. کشش بین سطحی حلال و خوراک باید پایین باشد تا برای ایجاد قطره‌های کوچک، به شدت آشفتگی مکانیکی کمتری نیاز باشد و همچنین سرعت بهم پیوستن قطرات کم باشد.

۱-۲- دستگاه استخراج

در استخراج مایع- مایع، مانند جذب گاز و تقطیر، دو فاز باید باهم به خوبی تماس گیرند تا انتقال ماده، و جداسازی روی دهد. در جذب و تقطیر، اختلاط و جداسازی به سهولت و سریعاً انجام می‌شود. ولی، در استخراج، دو فاز دارای چگالی‌های قابل مقایسه اند، به طوری که انرژی موجود برای اختلاط و جداسازی در صورت استفاده از جریان ثقلی کم است، و خیلی کمتر از وقتی است که یکی از فازها مایع و دیگری گاز است. اختلاط دو فاز، اغلب، مشکل و جداسازی آنها مشکل‌تر است. ویسکوزیته هر دو فاز نسبتاً زیاد است و سرعت‌های خطی در اغلب دستگاه‌های استخراج کوچک اند. لذا، در بعضی از استخراج کن‌ها، انرژی برای اختلاط و جداسازی به طور مکانیکی انجام می‌شود. دستگاه استخراج می‌تواند به طور ناپیوسته یا پیوسته کار کند. مقداری از مایع خوراک را با مقداری حلال در یک مخزن همزن‌دار می‌توان مخلوط کرد. پس از آن لایه‌ها ته نشین و جدا می‌شوند. ماده استخراج شده لایه‌ای از حلال بعلاوه حل شونده استخراج شده است، و محصول تصفیه لایه ای است که از آن حل شونده حذف شده است. ماده استخراج شده می‌تواند سبک تر یا سنگین‌تر از محصول تصفیه باشد و لذا ماده استخراج شده در بعضی موارد از بالای دستگاه، و در موارد دیگر از پایین دستگاه خارج می‌شود. البته، اگر بیش از یک بار تماس لازم باشد، عملیات را می‌توان تکرار کرد؛ اما وقتی مقدار مواد زیاد است و چندین تماس نیازند، جریان پیوسته اقتصادی می‌شود. اغلب دستگاه‌های استخراج پیوسته‌اند و در آنها

تماس‌های مرحله‌ای پی در پی یا تماس‌های مجزا روی می‌دهد [۱]. در یک تقسیم بندی کلی انواع مختلف دستگاه‌های استخراج به استخراج کننده‌های ستونی، تماس دهنده‌های سانتریفیوژی و میکسر-ستلرها طبقه بندی شده‌اند. از این میان در ادامه انواع استخراج کننده‌های ستونی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳- استخراج کننده‌های ستونی

۱-۳-۱- ستون‌های بدون همزن

این استخراج کننده‌ها، ساده ترین نوع برای استخراج مایع-مایع می باشند. فضای کوچکی اشغال می‌کنند، ساخت و تغییرات آنها ساده و ارزان می باشد، اما بازده این نوع تماس دهنده‌ها نسبتاً پایین است. برجهای پاششی، ستونهای پرشده و ستونهای سینی دار مشبک متعلق به این گروه هستند.

۱-۳-۲- ستون‌های پاششی

ستون استخراج پاششی، ساده‌ترین و قدیمی‌ترین نوع تماس‌دهنده‌های دیفرانسیلی (غیرهمزن‌دار) است. این ستون تنها شامل یک محفظه توخالی که در آن فاز پراکنده به سمت بالا یا پایین توزیع می‌گردد، می‌باشد. این ستون‌ها بیشتر در عملیات‌های شستشوی ساده استفاده می‌شوند. در مجموع راندمان خوبی ندارند و بدترین عملکرد را از نظر اختلاط محوری دارند. معمولاً تعداد مراحل تئوری آن یک یا دو مرحله می‌باشد. در این ستون انتقال جرم پیوسته بین فازها وجود دارد و ترکیب هر فاز هنگامی که درون برج جریان دارد، دائماً در حال تغییر می‌باشد. در برجهای پاششی واقعی، تماس بین قطرات و فاز پیوسته اغلب در ناحیه‌ای که قطرات تشکیل میشوند بصورت مؤثر ظاهر می‌شود. علت

پایین بودن راندمان این ستون را می توان در بالا بودن میزان اختلاط معکوس^۱ در فاز پیوسته دانست. شکل ۱-۱ یک نمونه از ستون پاششی را نشان می دهد [۳].

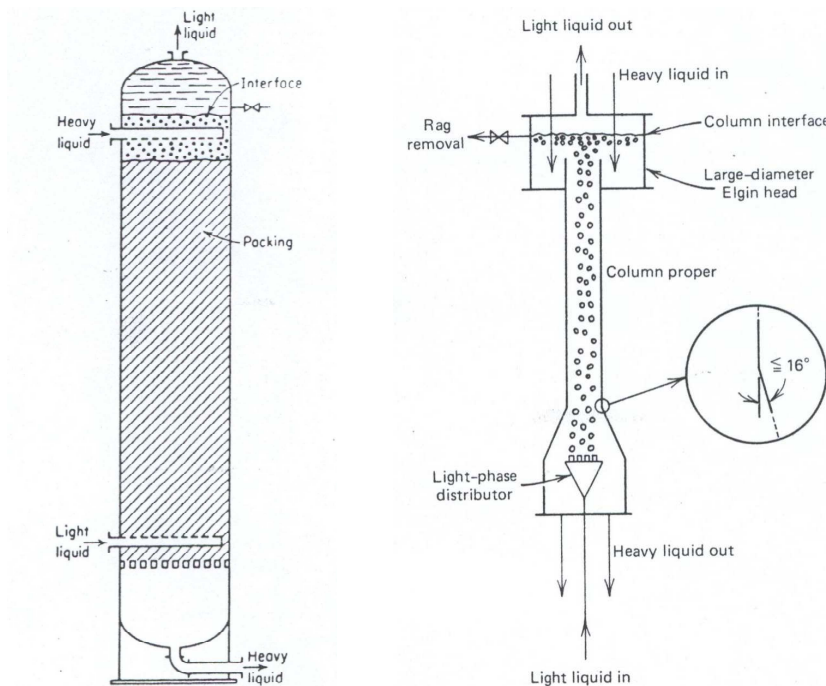
۱-۳-۳- ستون های پر شده^۲

در ستون های استخراج کننده مایع- مایع، راه رسیدن به راندمان بالا، کاهش یا حذف اختلاط معکوس می باشد که می توان مقدار آن را با اضافه کردن پکینگ به ستونهای پاششی، کاهش داد. زیرا بدین ترتیب سطح تماس افزایش یافته و در نتیجه انتقال جرم بهبود می یابد. پرکن های متنوعی (حلقوی، زین اسبی،...) در این ستونها استفاده می شوند.

در انتخاب نوع مواد جهت ساخت این پرکنها باید دقت شود زیرا می بایست آنها توانایی مرطوب شدن با فاز پیوسته را داشته باشند تا قطرات فاز پراکنده بر روی آنها ائتلاف نیابند. ارتفاع این ستون با محاسبه ارتفاع و تعداد واحدهای انتقال بدست می آید و همچنین قطر آن از ماکزیمم ظرفیت در نقطه طغیان محاسبه می گردد. این ستون در واحدهای انتقال کم کاربرد دارد و مکانیک ساده آن منجر به استفاده فراوان آن در صنایع هسته ای و صنایع پتروشیمی شده است. شکل ۱-۲ یک نمونه از یک ستون پر شده را نشان می دهد [۳].

¹ Back mixing

² Packed Column



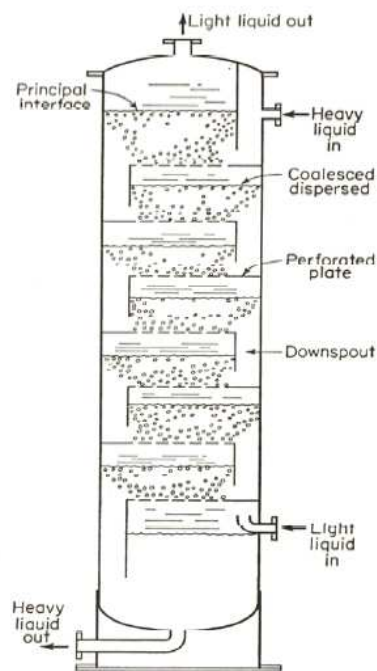
شکل ۱-۲- ستون استخراجی پر شده

شکل ۱-۱- ستون استخراجی پاششی

۱-۳-۴- ستون‌های سینی‌دار

این ستون‌ها به مراحل که توسط صفحات مشبک از هم جدا شده اند، تقسیم میشوند. این صفحات مشبک به منظور جلوگیری و یا کاهش اختلاط محوری در نظر گرفته شده اند. مایع سبک پراکنده می‌شود و قطرات پراکنده شده از طریق فاز پیوسته که در عرض صفحه جریان می‌یابد، بالا می‌رود. فاز پراکنده در بالا یا پایین سینی‌ها ائتلاف می‌یابد و بدین ترتیب ارتفاع هیدرولیکی کافی برای راندن مایع از سوراخ‌های سینی و پراکندگی مجدد فاز پراکنده در فاز پیوسته به وجود می‌آید که این ائتلاف و پراکندگی مجدد فاز پراکنده در افزایش سرعت استخراج نقش قابل ملاحظه‌ای ایفا می‌کند.

شکل ۱-۳-۱ ستون سینی‌دار را نشان می‌دهد [۳].

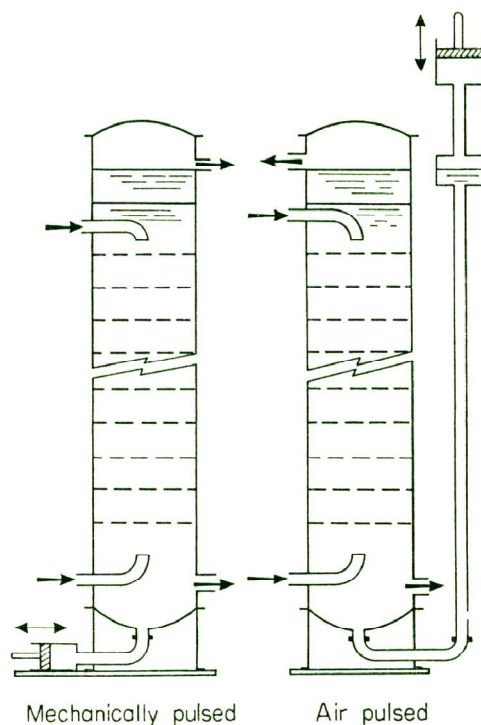


شکل ۱-۳- ستون سینی دار

۱-۳-۵- ستون‌های ضربه‌ای^۳

جهت بهبود راندمان ستون‌های پرشده و ستون‌های سینی‌دار می‌توان از ضربات و نوسانات پالس در سیستم استفاده کرد. افزایش در توربولنسی و سطح تماس از طریق خرد کردن فاز پراکنده عامل بهبود راندمان می‌باشد. ستون‌های ضربه‌ای معمولاً به دو صورت سینی‌دار و پرشده طراحی و ساخته می‌شوند و نوسانات توسط دستگاه تولید ضربه به مایع موجود در ستون وارد می‌شود. راندمان بالای ستون‌های ضربه‌ای و امکان تولید ضربه بطور خارجی، عوامل مهم در کاربرد فراوان آن در صنایع هسته‌ای می‌باشند. شکل ۱-۴ یک نمونه از یک ستون ضربه‌ای را نشان می‌دهد [۴].

³ Pulsed Column



شکل ۱-۴- ستون ضربه‌ای

۱-۳-۶- ستون‌های با همزن مکانیکی

با افزودن ابزار مکانیکی همزن دار در سیستم می توان سطح تماس به ازای واحد حجم را افزایش داد و بدین ترتیب اندازه و سایز تماس دهنده کاهش می یابد. از آنجایی که نیروی جاذبه و اختلاف دانسیته دو فاز عامل به وجود آوردن جریان ناهمسو در ستون می باشد، ممکن است همزن‌های مکانیکی موجب افزایش اختلاط معکوس در سیستم شود که جهت کاهش آن می توان از بافل های خاص استفاده کرد. در چنین تماس دهنده‌هایی هزینه نصب، تعمیرات و نگهداری به خصوص وقتی که از مایعات خورنده استفاده شود، افزایش می یابد.