

برج های تقطیر و استخراج

فرید سمیعی - ۹۲۵۴۱۳۷۵

رضا عزیزی - ۹۲۵۴۱۴۸۳

مقدمه

جداسازی مخلوط مایعات به چند جزء یکی از مهم ترین فرآیندهای مورد استفاده در صنایع شیمیایی و صنایع نفت است و تقطیر یکی از روشهای بسیار متداولی است که برای این منظور به کار میرود. این روش در مورد جداسازی اکثر مخلوط مایعات یک نواخت (هموژن) به کار میرود نظیر آب، الکل، بنزین و تولوئن و... در این مقاله سعی شده است که انواع تقطیر و استخراج، خصوصا از منظر پتروشیمی و صنایع نفتی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

۱. تقطیر و اصول تقطیر

در محدوده کاربرد تقطیر در صنایع شیمیایی، ستونهای تقطیر با ظرفیتهای بسیار بالاتری نسبت به هرگونه تجهیزات دیگر، طراحی و ساخته میشوند. مانند ستونهای تقطیر که از ۳/۰ تا ۱۰ متر قطر و از ۳ تا ۷۵ متر ارتفاع دارند. به طور کلی نتیجه می شود که در مواردی امکان استفاده از عمل تقطیر وجود دارد که محصولات عمل تقطیر به صورت خالص بوده و نیاز به تفکیک مجدد ندارند و بدین جهت می توان ادعا کرد که تقطیر متداولترین و مهم ترین عمل در میان عملیات جداسازی است.

تقطیر یک روش جداسازی است که بر اساس عمل تبخیر و میعان صورت می پذیرد و مواد به دلیل اختلاف نقطه جوشی از هم جدا می شوند. مایعاتی که دارای فشار بخار کم تر هستند دارای نقطه جوش بالاتر و مایعاتی که دارای فشار بخار بیشتری هستند نقطه جوش پایین تری دارند. در اصطلاح به موادی که دارای فشار بخار کم تر هستند مواد سنگین تر و موادی که دارای فشار بخار بالاتر هستند، سبک تر (فرارتر) گفته میشود. بنابراین مایعی که از مولکولهای کوچک تشکیل شده است و به آسانی به بخار تبدیل میشود جزء سبک و مایعی که از مولکولهای بزرگ تشکیل یافته است و به سختی به بخار تبدیل می شود جزء سنگین نامیده میشود. قابلیت تبخیر (فراریت) اصطلاحی است که مبین کیفیت تبخیر یک مایع میباشد. مایعاتی که به آسانی تبدیل به بخار می شوند دارای قابلیت تبخیر زیاد و مایعاتی که به سادگی تبدیل به بخار نمی شوند قابلیت تبخیر کم دارند. وقتی نقطه جوش مایعی پایین باشد فشار بخار آن زیاد و قابلیت تبخیرش زیاد است و برعکس مایعاتی که دارای فشار بخار کم هستند غیر فرارند و دارای قابلیت تبخیر کم هستند.

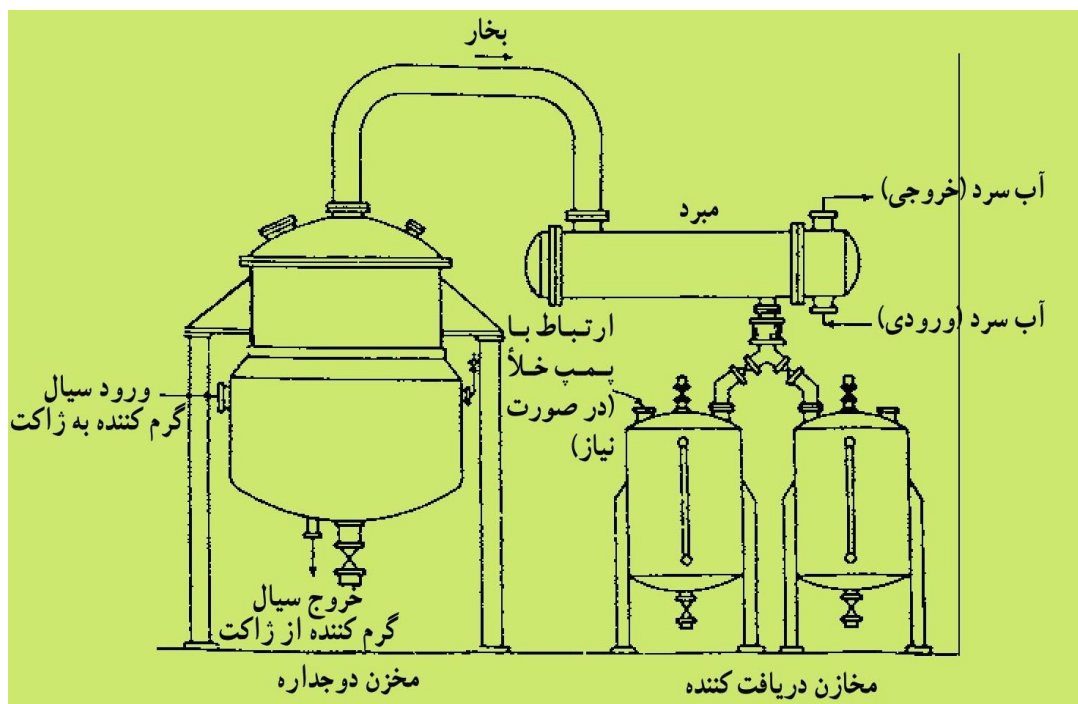
۲. انواع تقطیر

در عمل، چند روش اصلی برای تقطیر وجود دارد:

۱. تقطیر ساده (پیوسته یا ناپیوسته)
۲. تقطیر ناگهانی (پیوسته)
۳. تقطیر چند مرحله ای یا جزء به جزء (پیوسته یا ناپیوسته)

۲-۱. تقطیر ساده

یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی، تقطیر ساده است. در این روش، در ابتدا دیگ را از مخلوط مورد نظر پر می‌کنیم و تحت حرارت ثابت و یک نواخت قرار می‌دهیم. در این فرآیند، در اثر جوشیدن قسمتی از مایع بخار می‌شود و از بالای دیگ وارد یک مبرد و مجدداً مایع می‌شود. این بخار مایع شده نسبت به مایع باقی مانده در دیگ از جسم سبک غنی‌تر است و به همان میزان مایع باقی مانده، از جسم سبک‌تر و از جسم سنگین‌تر غنی‌تر است. به این ترتیب خوراک به دو محصول سبک‌تر و سنگین‌تر تبدیل شده است. در این روش فقط در صورتی که اختلاف فراریت مواد نسبت به هم خیلی زیاد باشد، امکان تولید محصولات به صورت خالص وجود دارد. این تقطیر ممکن است به دو صورت پیوسته یا ناپیوسته انجام شود. (شکل ۱)

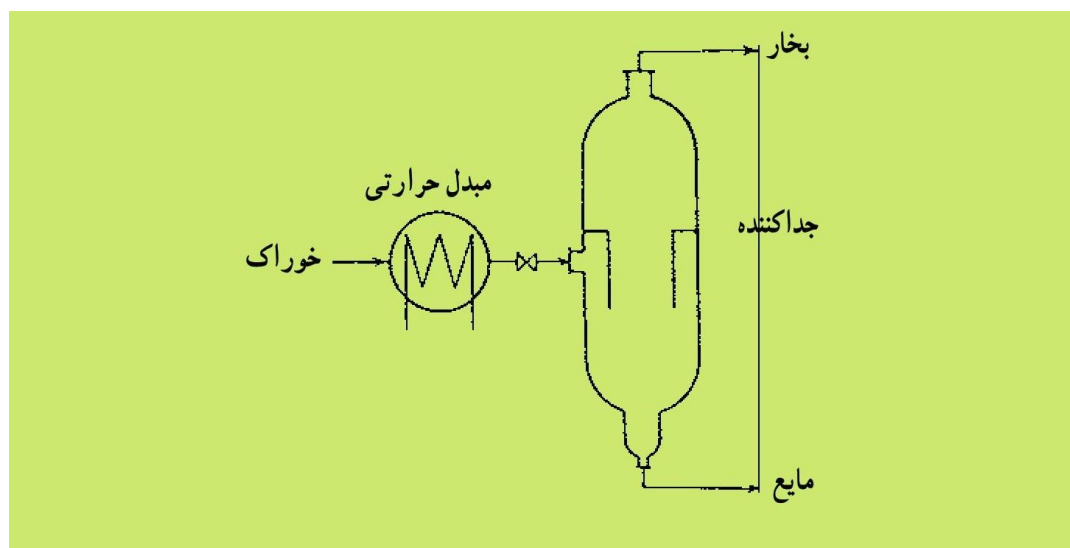


شکل ۱- تقطیرکننده ساده

۲-۲. تقطیر ناگهانی

این روش غالباً به صورت پیوسته انجام می‌گیرد. (شکل ۱۱-۳) بدین منظور با کاهش فشار و افزایش درجه حرارت خوراک، آن را به دو فاز مایع و بخار تبدیل می‌کنند و سپس آن را وارد یک ظرف جداکننده می‌کنند. در این ظرف فاز

بخار که قسمتهای سبک خوراک است از بالای ظرف خارج می شود و فاز مایع که سنگین تر است از پایین ظرف خارج می شود. از این روش در صنعت نفت به طور گسترده استفاده می شود. به عنوان مثال نفت خام با دمای 440 K و فشار 900 kPa وارد یک مخزن لوله ای می شود و در دمای 20 K و فشار 400 kPa آن را ترک می کند که تقریباً 15% خوراک که حاوی مواد سبک است تبخیر می شود. نکته مهم این است که با یک بار عمل تقطیر، با تبخیر ناگهانی یا تقطیر ساده، نمیتوان به خلص سازی ماده مورد نظر تا درجه دلخواه رسید، بنابراین برای خلص تر کردن خوراک باید متوسل به روش های دیگر تقطیر شد. (شکل ۲)



شکل ۲- تبخیرکننده ناگهانی

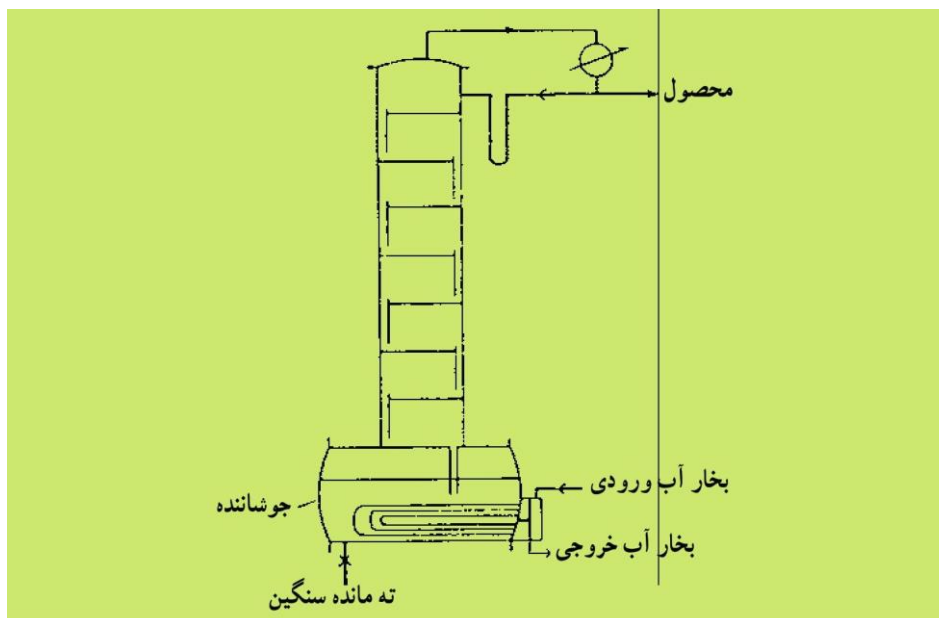
۲-۳. تقطیر جزء به جزء

در تقطیر ناپیوسته بیشتر اجزای سبک تر از مخزن (دیگ) تبخیر می شود. در نتیجه به تدریج و در طول زمان عملیات، مخزن از اجزای سنگین تر غنی تر می شود. تقطیر تا وقتی ادامه پیدا می کند که میزان اجزای سبک (فرار) در داخل مخزن به میزان موردنظر برسد. تقطیر ناپیوسته به عنوان یک فرآیند آسان در بسیاری از صنایع شیمیایی به کار میرود. در این حالت تمام خوراک در شروع عملیات در دیگ ریخته و حرارت داده می شود. سپس بخارها از درون یک ستون جداکننده (برج تقطیر) عبور می کنند. ترکیب محصولات بالای برج، بستگی به ترکیب خوراک، ارتفاع برج و میزان تماس مایع و بخار در داخلی برج دارد. (شکل ۳)

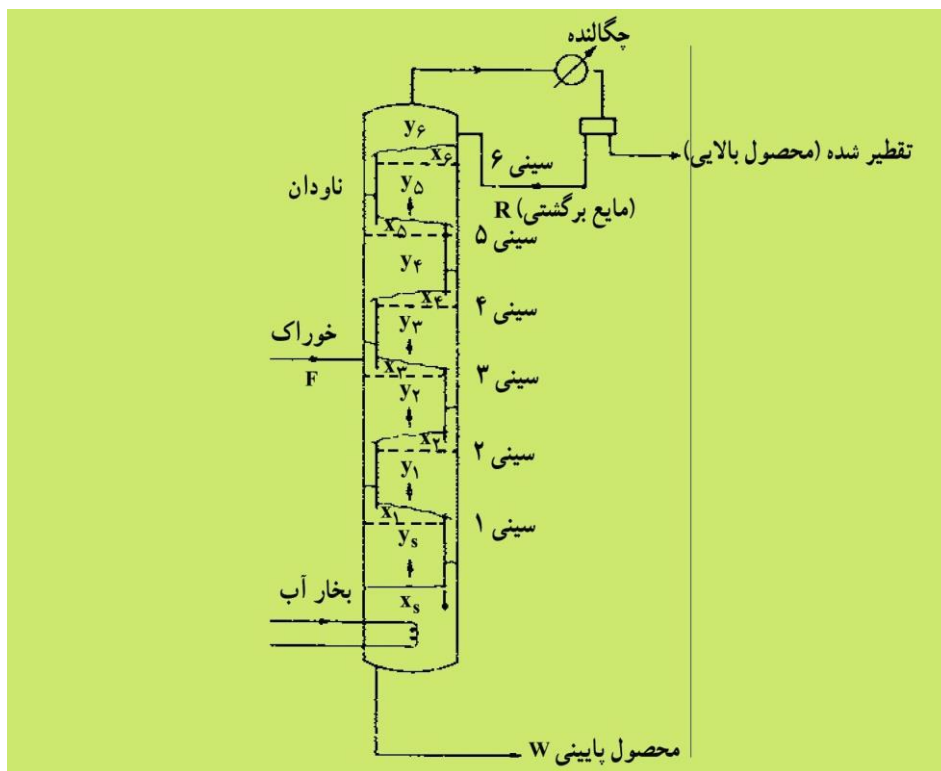
در شروع عملیات، محصول بالای برج، بیشترین درصد از ماده سبک را خواهد داشت. در هنگام عملیات محصول بالای برج، نسبت به مایع باقی مانده در ظرف همواره از اجزای سبک تر، غنی تر است با ادامه کار برج، خلوص محصول بالای برج، به تدریج کاهش پیدا می کند زیرا ترکیبات سنگین نیز تبخیر میشوند. بنابراین در تقطیر ناپیوسته مدت زمانی که عملیات ادامه مییابد، نقش مهمی در خلوص محصول دارد.

۴-۲. تقطیر جزء به جزء پیوسته

عملیات یک ستون تقطیر پیوسته مطابق شکل ۱۱-۵ است. یک ستون، شامل یک بدنه فلزی استوانه‌ای است که توسط سینیهای سوراخدار به چندین بخش تقسیم شده است. این سینیها قابلیت عبور بخار را به سمت بالا و گذراندن مایع را به سمت پایین دارند. بخاری که به طرف بالا میرود از آخرین سینی بالای برج عبور می کند، به یک چگالنده می رود و به مایع تبدیل می شود. قسمتی از مایع تولیدی به عنوان محصول گرفته میشود و قسمتی دیگر به بالاترین سینی داخل برج برگردانده میشود. مایع برگشتی از بالای برج، از روی هر سینی که عبور می کند از سرریز و ناودان به سینی پایینی می ریزد. مایع در پایین در داخل جوشاننده توسط بخار آب و یا یک جریان روغن داغ گرم می شود و قسمتی از آن به بخار تبدیل می شود و مایع باقی مانده به عنوان محصول از پایین برج خارج می شود. بخارهای حاصله از پایین برج با عبور از سوراخهای سینیهای برج به طرف بالا میرود. روی هر سینی مایع و بخار ورودی به آن در تماس با هم قرار میگیرند و اجزای سبک تر به داخل فاز بخار و اجزای سنگین تر به داخل فاز مایع می روند. بدین ترتیب نقش هر سینی در داخلی برج تقطیر، ایجاد تماس بین مایع و بخار، سبک تر کردن بخار و سنگین تر کردن مایع خواهد بود. در نتیجه بخار به تدریج که به طرف بالای برج حرکت می کند سبک تر می شود. به عکس مایع برگشتی از بالای برج به تدریج با پایین آمدن سنگین تر می شود. جریان خوراک در برج به جایی وارد می شود که جریان مایع یا بخار داخلی برج تقریباً دارای همان ترکیب خوراک باشد. قسمتی از برج که بالای نقطه خوراک است به عنوان بخش تصفیه و قسمت پایین به عنوان قسمت عاری سازی نامیده میشود. با توجه به این مطالب خوراک ورودی به برج در اثر تماس های متوالی مایع و بخار روی سینیهای داخلی برج به دو محصول سبک (خروجی از بالای برج) سنگین (خروجی از پایین برج) تبدیل می شود. با این روش، میتوان به طور پیوسته، محصولاتی با خلوص بالا تولید کرد. به دلیل ثابت بودن وضعیت عملیاتی، تقطیر غیر پیوسته ارجح است.



شکل ۳- ستون برای برج تقطیر ناپیوسته



شکل ۴- ستون تقطیر پیوسته

۳. فشار برج های تقطیر

معمولاً سعی می شود که به منظور راحتی و کاهش هزینه ها، تقطیر تحت فشار اتمسفریک انجام شود. در مواردی که خوراک ورودی به برج بسیار سنگین باشد، به دلیل بالا بودن نقطه جوش، احتمال تجزیه مواد قبل از رسیدن به نقطه جوش، ممکن است تقطیر زیر فشار اتمسفریک (تحت خلا) انجام گیرد. مثلاً در پالایشگاه نفت برای جدا کردن برش روغن از نفت خام جهت جلوگیری از تجزیه خوراک از برج تقطیر تحت خلا استفاده می شود. در ضمن در مواردی نیز که خوراک بسیار سبک است نقطه جوش خوراک تحت فشار اتمسفریک در زیر درجه حرارت محیط است در چنین شرایطی انجام عملیات تقطیر تحت فشار اتمسفریک پرهزینه است و لازم است که با افزایش فشار عملیات نقطه جوش محصولات را به درجه حرارت محیط رساند. در این حالت، عملیات تقطیر تحت فشار انجام خواهد شد؛ به عنوان مثال جهت جدا کردن پروپان از بوتان با توجه به این که نقطه جوش این مواد تحت فشار اتمسفریک زیر صفر درجه سانتیگراد است از برج تقطیر تحت فشار حدود ۱۰ اتمسفر استفاده می شود.

۴. استخراج

عمل استخراج فرآیندی است که به آن استخراج یا حلال نیز میگویند. در آن اجزای یک محلول مایع را از طریق تماس با حلالی که اجزای محلول را به نسبت متفاوت در خود حل می کند و باعث تشکیل دو فاز مایع نامحلول در هم می شود جدا می کند. اگر موادی که جزیی از محلول اولیه هستند به مقداری متفاوت در دو فاز مایع پخش شوند جداسازی نسبی حاصل می شود.

وقتی فشار بخار دو ماده خیلی به هم نزدیک باشد یا وقتی که در اثر حرارت دادن یکی از مواد، طبیعت و خاصیت خود را از دست دهد روش تقطیر کاربرد نداشته، از استخراج مایع - مایع استفاده می کنیم

۵. عملیات استخراج (فرآیند استخراج)

در تمام عملیات استخراج، محلولی که استخراج از آن انجام می شود "خوراک" و مایعی که خوراک با آن مجاور می شود "حلال" نامیده می شود. محلولی که از حلال غنی است، "استخراج شده" و ابع باقی مانده که از آن جدا شده است "پس مانده" نامیده می شود.

فرض کنید محلول دو جزیی A و B را داریم و می خواهیم ماده A را از ماده B جدا کنیم و چون فراریت این دو ماده نزدیک به یکدیگر است، استفاده از عمل تقطیر امکان پذیر نیست. به همین دلیل از عملیات استخراج به کمک حلال «S» استفاده می کنیم. ابتدا حلال S را با خوراک (محلول A و B) به خوبی مخلوط می کنیم تا جزء A در حلال حل شود. محلول «استخراج شده» که شامل S، A و مقدار کمی B است با «محلول پس مانده» که شامل B و مقدار کمی A است دو فاز را تشکیل می دهد و اگر زمان کافی به آنها داده شود از یکدیگر جدا می شوند. این دور عملیات یعنی (اختلاط خوراک و حلال) و «جداسازی محلول استخراج شده و محلول پس مانده» یک مرحله از عملیات استخراج را تشکیل میدهند. در کلیه دستگاه های استخراج (پیوسته یا ناپیوسته) عملیات استخراج در چند مرحله انجام می شود تا جداسازی به نحو مطلوب انجام شود. در فرایند های پیچیده تر استخراج، ممکن است برای جداسازی اجزای یک خوراک از دو حلال استفاده می شود.

۶. انتخاب حلال

معمولاً حلال های فراوانی برای عملیات استخراج قابل استفاده هستند؛ اما در هریک از آنها باید مشخصات زیر را برای حلال در نظر گرفت.

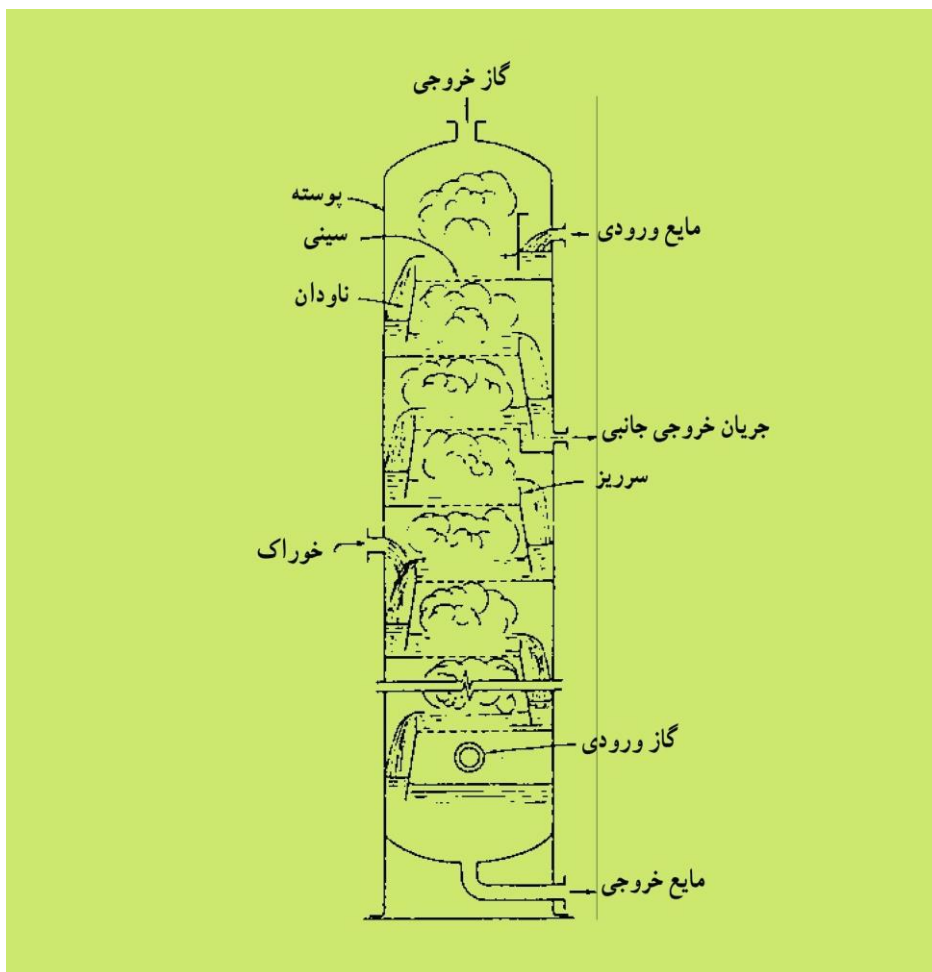
۱. حلال نباید سمی و قابل اشتعال باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.
۲. حلال باید از نظر شیمیایی پایدار بوده و با اجزای سیستم وارد واکنشهای شیمیایی نگردد.
۳. مؤثر بودن حلال برای جداسازی با پارامتری به نام ضریب گزینش سنجیده می شود. این پارامتر که بسیار شبیه به قدرت فراریت در تقطیر است مقایسه ای است بین میزان مواد موجود در فاز استخراج شده به میزان مواد موجود در فاز پس مانده، در حالت تعادل.
۴. هر قدر حلال مصرفی در یکی از اجزای خوراک نامحلول تر باشد محدوده دو فازی وسیع تری را ایجاد می کند و با مقدار کمتری از حلال امکان جداسازی میسر می شود.
۵. حلال باید به آسانی بازیابی شود، یعنی به راحتی از موادی که در خود حل کرده است جدا شود. در بیشتر فرآیندها برای بازیابی حلال از عملیات تبخیر یا تقطیر استفاده می شود.
۶. تفاوت دانسیته بین فازهای استخراج شده و پس مانده هم در سیستم ناپیوسته و هم در سیستم پیوسته، شرط مهمی برای جداسازی فازها است و هرچه این تفاوت بیشتر باشد بهتر است.

۷. هرچقدر کشش سطحی بین دو فاز تشکیل شده بیشتر باشد پیوستگی ذرات امولسیون راحتتر ولی پراکندگی یک مایع در دیگری مشکل تر می شود. به هم پیوستن ذرات معمولاً از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا این امر باعث می شود که زمان جداسازی فازها کوتاه تر شود و در نتیجه کشش بین سطوح باید زیاد باشد.

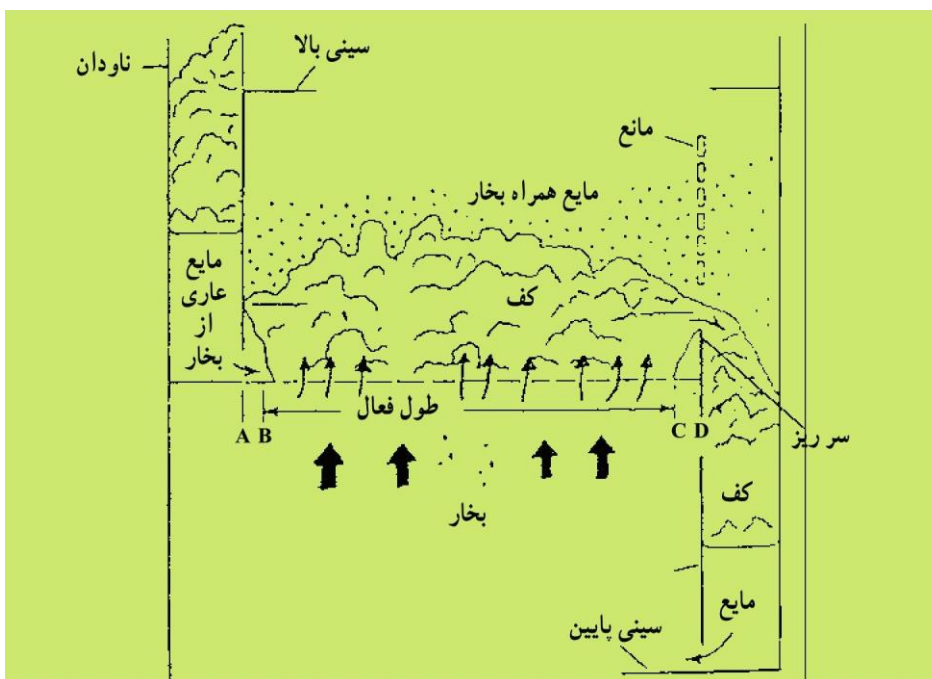
۷. برج های تقطیر

برجهای تقطیر جهت انجام فرایند تقطیر جزء به جزء در صنعت، از برج هایی استفاده می کنند که با توجه به ساختمان داخلی شان به دو دسته سینی دارا و آکنده تقسیم می شوند. به دلیل اهمیت این برج ها و کاربرد وسیع آنها در صنایع مختلف به خصوص صنایع پالایش و پتروشیمی، لازم است با ساختمان و عملکرد آنها آشنا شد.

۷-۱. برج های سینی دار: همانطور که قبلاً گفته شد در برج های سینی دار تماس بین فازهای مایع و بخار (گاز) روی سینیها انجام میشود. این گونه برج ها اغلب فلزی و استوانهای شکل هستند. یک طرح عمومی از برجهای سینی دار در شکل ۵ آمده است. در این برج ها مایع از بالای برج از روی سینیها عبور کرده و از طریق ناودان به طرف پایین حرکت می کند. بخار نیز از پایین از طریق منافذ سینیها به طرف بالا حرکت می کند و بدین ترتیب در روی هر سینی مایع و بخار با هم مخلوط می شوند و امکان انتقال جرم این دو فاز میسر می شود. حرکت بخار از طریق منافذ به طرف بالا مانع عبور مایع از داخل سوراخ ها به طرف پایین می شود. به منظور نگه داشتن ارتفاع مناسبی از مایع بر روی هر سینی، از سرریز استفاده می شود و وقتی که ارتفاع مایع بالاتر از ارتفاع سرریز شد از طریق ناودان به سینی پایینی میریزد. مایعی که سرریز شده است به صورت مخلوطی از مایع و بخار است و بخار همراه مایع، در طول ناودان از آن جدا می شود و مجدداً به طرف بالا حرکت می کند و بدین ترتیب مایع عاری از بخار، به سینی پایینی می ریزد. برای این که زمان لازم برای جدا شدن مایع از بخاری که به طرف بالا حرکت می کند وجود داشته باشد باید فاصله سینیها به اندازه کافی باشد تا از بردن مایع توسط بخار به سینی بالایی جلوگیری شود. شکل ۶ طرح ساده ای از این گونه پدیده ها را بر روی یک سینی نشان میدهد. فاصله بین سینیها از حدود ۲ اینچ (۵ سانتیمتر) تا حدود ۴ اینچ (۱۰ سانتیمتر) تغییر می کند و هرچه قطر برج بزرگتر باشد این فاصله نیز بیشتر میشود.

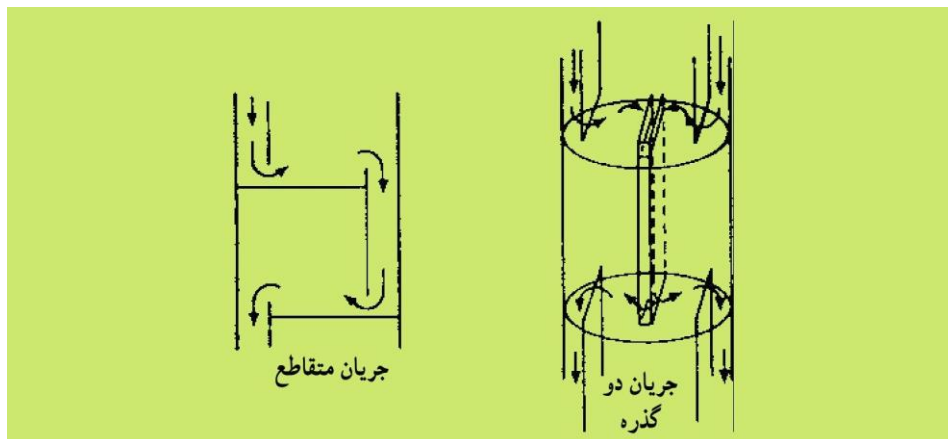


شکل ۵- طرح عمومی برج های سینی دار



شکل ۶- طرح ساده ای از نحوه جریان مایع و بخار بر روی یک سینی

نحوه جریان مایع بر روی سببینی: نحوه جریان مایع بر روی سینی، بستگی زیادی به نسبت میزان جریان مایع به میزان جریان بخار دارد. دو نوع جریان متداول بر روی سینیها عبارتند از: جریان متقاطع و جریان دو یا چند گذرها که شکل کلی از این دو نوع جریان در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- نحوه جریان مایع بر روی سینی

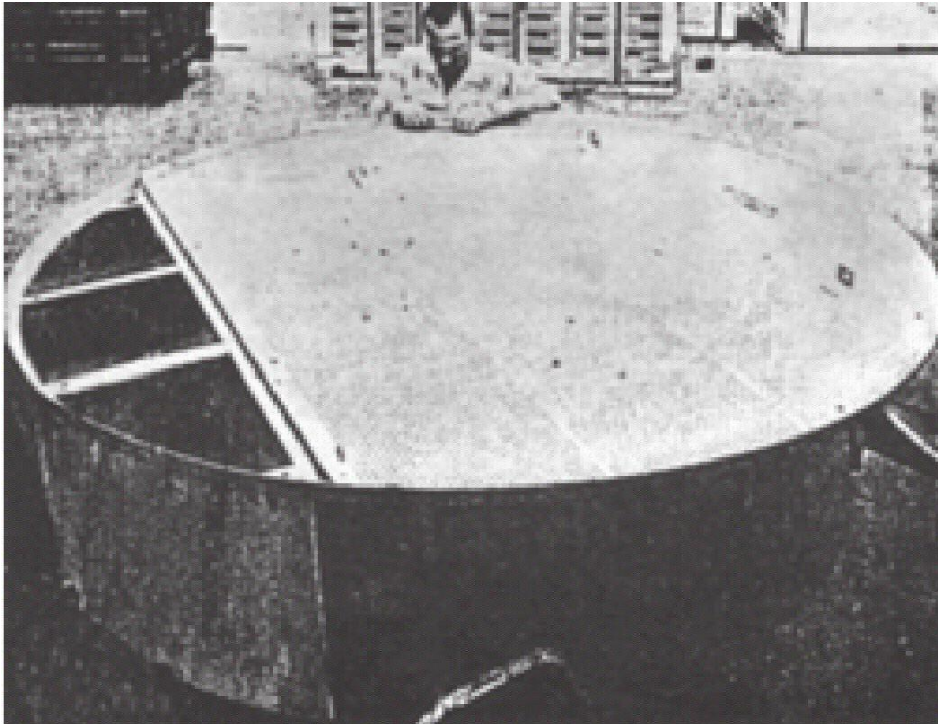
جریان متقاطع یکی از متداولترین نوع جریان بر روی سینی است و معمولاً برای میزان جریان های متوسط مایعات و گازها مورد استفاده است. جریان های دو یا چند گذره برای برجهای با قطر بزرگ و با میزان جریان بالای مایع، مورد استفاده اند. در جریانهای دوگذره جریان مایع به منظور کاهش بار ناودان به دو قسمت تقسیم می شود.

۸. انواع سینی ها

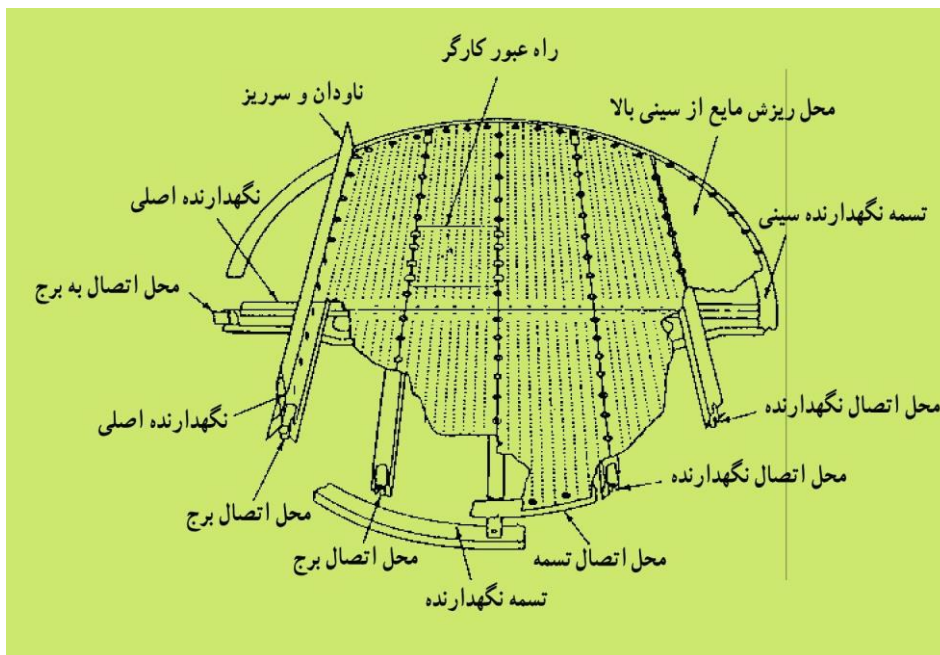
مهم ترین انواع سینیهای برج های تقطیر عبارت اند از:

سینیهای غربالی، سینیهای دریچه ای و سینیهای کلاهکی.

سینی های غربالی: یک شمای کلی از سینیهای غربالی در شکل ۸ آمده است. این سینیها بر اساسی ایجاد منافذی (سوراخهایی) به کمک مته بر روی یک صفحه فلزی ساخته می شوند. در نتیجه ساخت این سینیها ساده و ارزان است. اطلاعات مربوط به طراحی این گونه سینیها به راحتی در منابع مختلف موجود است. کارآیی این سینیها در شرایطی که میزان جریان مایع و بخار همواره ثابت باشد خوب است ولی استفاده از آن در واحدهایی که میزان جریان مایع یا بخار متغیر است توصیه نمی شود. سینیهای غربالی در مواردی که مایعات، قابلیت رسوبدهی داشته باشند و یا دارای ذرات جامد معلق باشند نیز به خوبی قابل استفاده است. زیرا این گونه سینیها در برابر گرفتگی مقاومند و می توانند دارای سوراخ های بزرگ باشند و در ضمن به راحتی قابل تمیز کردن هستند. قطر سوراخ ها بین ۸/۱ تا ۱ اینچ (۰,۳ تا ۲,۵۴ سانتیمتر) متغیر است و اکثراً این اندازه بین ۱/۴ تا ۱/۲ اینچ (۶,۶ تا ۱۲,۷ سانتیمتر) است. فاصله بین سوراخ ها معمولاً بین ۲,۵ تا ۵ اینچ (۶,۳۵ تا ۱۲,۷ سانتیمتر) در نظر گرفته می شوند. شکل ۹ اجزای تشکیل دهنده یک سینی غربالی را نشان میدهد.



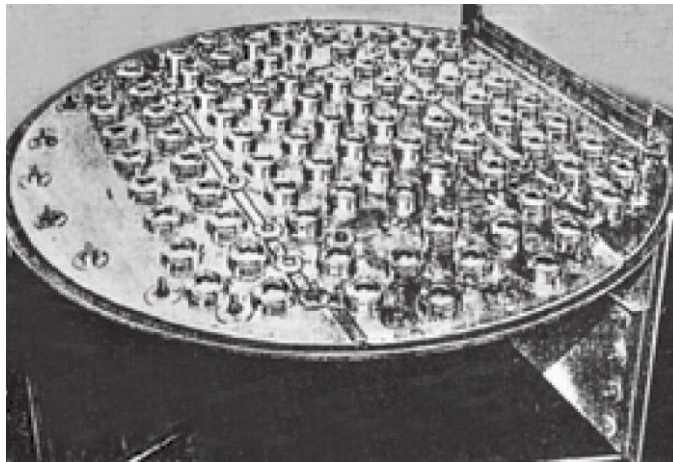
شکل ۸- طرح یک سینی غربالی با ناودان



شکل ۹- اجزای تشکیل دهنده یک سینی غربالی

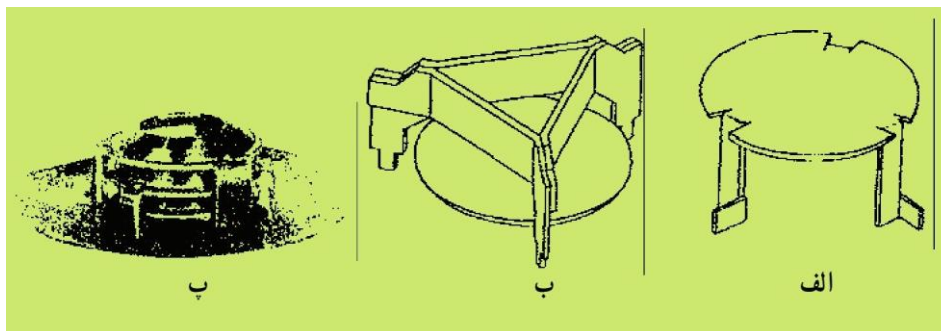
سینی های دریچه ای: شکل ۱۰ شمای کلی سینیهای دریچه ای را نشان میدهد. با تغییر میزان جریان های مایع و بخار داخل برج، سینیهای دریچه ای نسبت به سینیهای غربالی کارایی بهتری دارند. در نتیجه، با تغییر میزان جریان خوراک، قابلیت انعطاف بیشتری خواهند داشت. قطر سوراخ های این گونه سینیها نسبت به سینیهای غربالی بزرگتر است و توسط دریچه ای یک طرفه و متحرک که با تغییر فشار مایع و بخار از روی سطح سینی بالا میرود، پوشانده شده است. هر

دریچه دارای پایه ای است که فقط حرکت آن را به طرف بالا محدود می کند. در حالتی که میزان جریان بخار زیاد است، دریچه کاملاً باز میشود و بیشترین فضا را جهت عبور گاز از مجاری پایه تأمین می کند. وقتی که میزان جریان گاز کاهش پیدا می کند دریچه ها پایین تر می روند و مجاری عبور گاز کوچک تر می شود و بدین ترتیب سرعت عبور گاز از داخل مجاری پایه، تقریباً ثابت باقی میماند و کارایی سینی با تغییر جریان گاز عملاً تغییر نمی کند. از معایب سینیهای دریچه‌ای گران تر بودن آن نسبت به سینیهای غربالی (حدود ۲۰٪) و قابلیت بسته شدن منافذ توسط مایعات جرم زا است.



شکل ۱۰- شمای کلی سینی های دریچه ای

قطر سوراخ ها معمولاً حدود ۱٫۵ اینچ (۳٫۸۱ سانتیمتر) است ولی قطرهای بزرگ تر تا ۶ اینچ (۱۵٫۲۴ سانتیمتر) نیز گاهی اوقات به کار میرود. فاصله بین سوراخ ها ۳ تا ۶ اینچ (۷٫۶۲ تا ۱۵٫۲۴ سانتیمتر) است. سه نوع مختلف دریچه های این گونه سینیها در شکل ۱۱ آمده است.

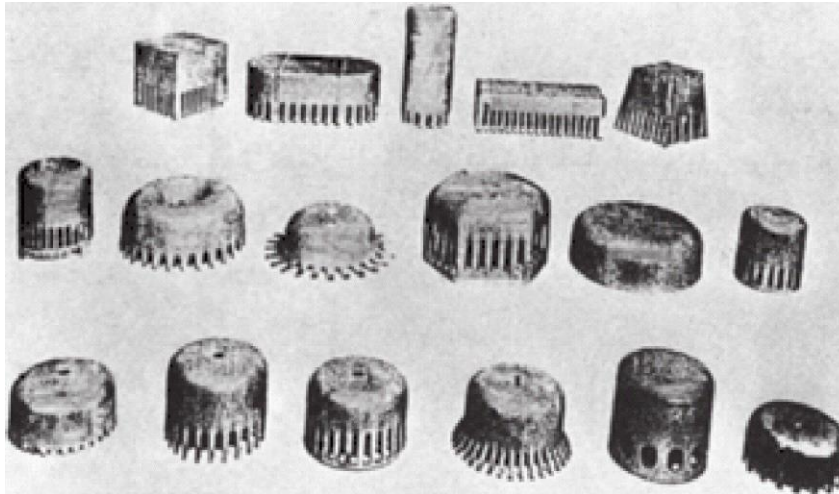


شکل ۱۱- چند نمونه از انواع سینی های دریچه ای

(الف) پایه متصل به دریچه ب و پ) پایه متصل به سینی

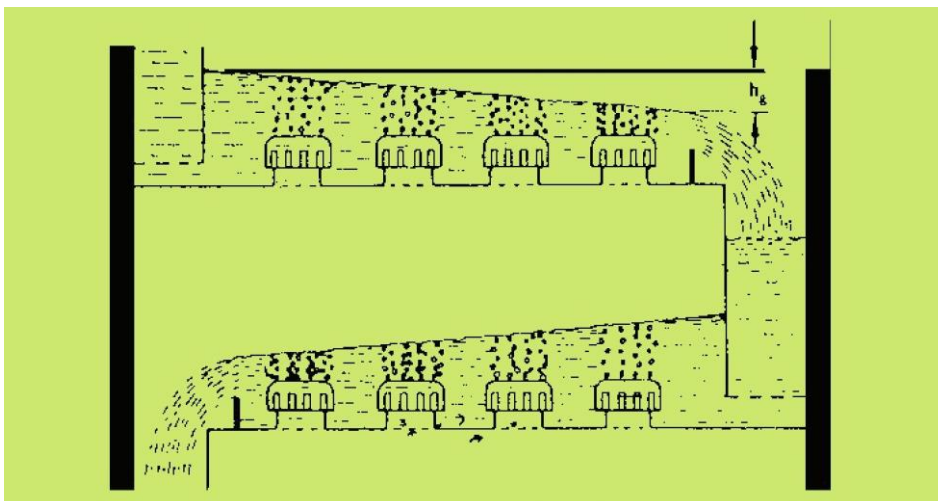
سل

سینیهای کلاهکی: انواع کلاهکها در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در یک سینی روی پایه قرار میگیرد و در نتیجه بخار با عبور از پایه و گذشتن از منافذ کلاهک، به داخل فاز مایع وارد میشود و با آن در تماس قرار میگیرد. این نوع سینیها می توانند در مواردی که میزان جریان مایع خیلی کم یا خیلی زیاد باشد مورد استفاده قرار گیرند.

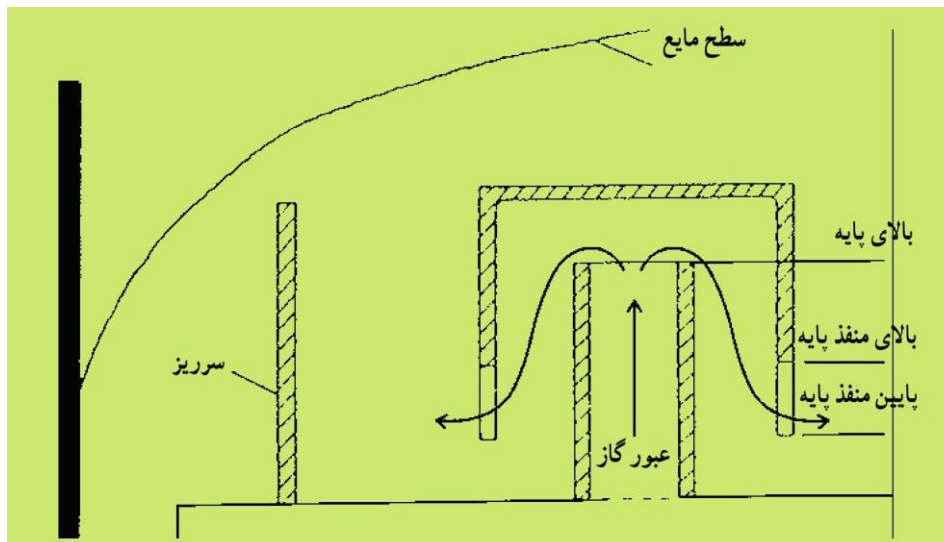


شکل ۱۲- چند نمونه کلاهک

شکل ۱۳ نحوه عبور گاز از داخل مایع را در یک سینی کلاهکی و شکل ۱۴ شکل ساده کلاهک را نشان می دهد. در سینیهای کلاهکی میزان مایعی که همراه بخار به طرف بالا می رود حدود ۳ برابر سینیهای غربالی است کارایی این گونه سینیها معمولاً مشابه یا کمتر از سینیهای غربالی است و قابلیت انعطاف آن در برابر تغییر میزان جریان خوراک ورودی بسیار کم است. در این گونه سینیها مشکلات تشکیل کک تشکیل پلیمر یا جرم گرفتگی وجود دارد. سینیهای کلاهکی تقریباً ۴ برابر گرانتر از سینیهای دریچهای هستند. بدین ترتیب در واحدهای جدید صنعتی عملاً استفاده از این گونه سینی ها منسوخ شده است.

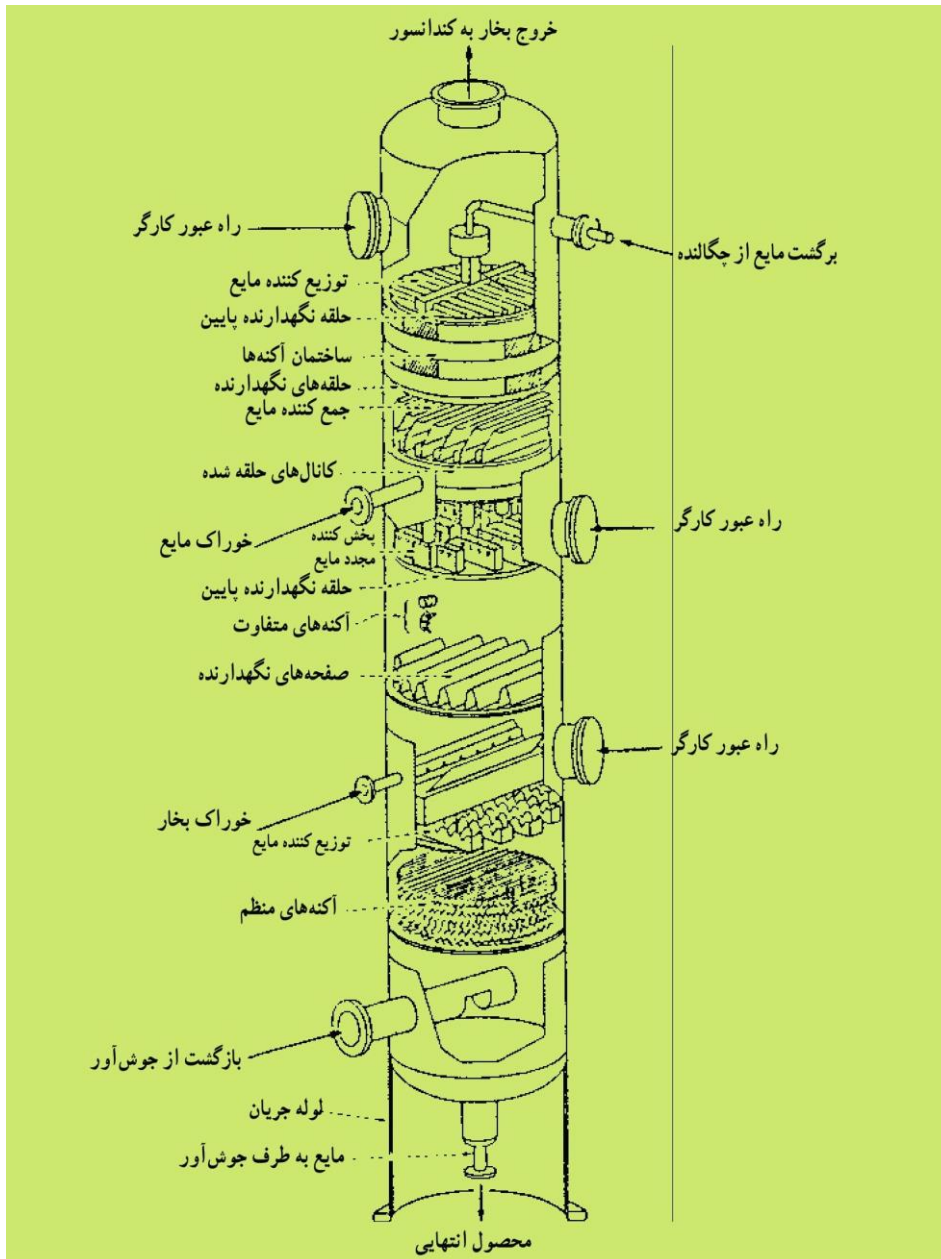


شکل ۱۳- نحوه عبور گاز از داخل فاز مایع روی سینی

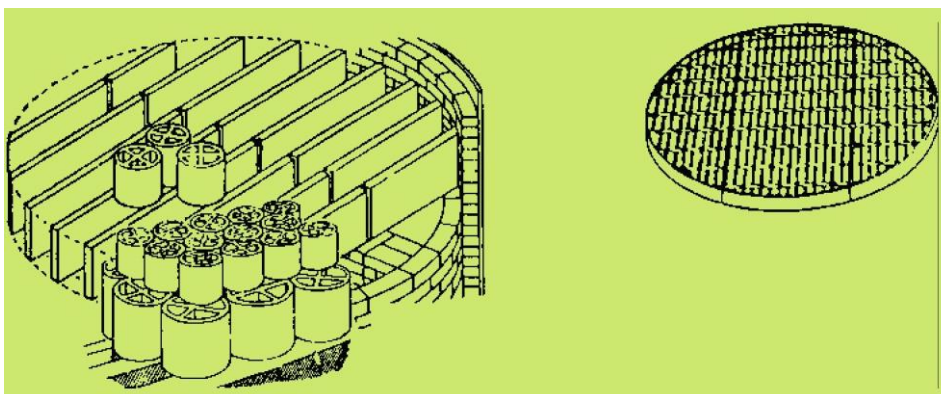


شکل ۱۴- شکل ساده کلاهک روی سینی

برج های آکنده : برج های آکنده جهت تماس بین دو سیال غیر قابل امتزاج گاز و مایع یا دو مایع به طور وسیع مورد استفاده است. به عنوان مثال : ایجاد تماس بین گاز و مایع در یک فرآیند جذب و یا تماس بین مایع و بخار در واحدهای تقطیر و همچنین تماس بین دو فاز مایع در واحدهای استخراج را میتوان در یک برج آکنده تأمین کرد. در مواردی که قطر برج کم (معمولاً کمتر از ۲ فوت) و یا این که افت فشار کم مورد نیاز است (برج های تحت خلا) و یا نیاز به استفاده از موادی مانند سرامیک یا پلاستیک است (به عنوان مثال برای جلوگیری از خوردگی). برج های آکنده میتوانند جایگزین برج های سینی دار شوند. در برج های با قطر بزرگ و به خصوص در مواردی که میزان جریان مایع کم و جریان بخار زیاد است استفاده از برج های آکنده به دلیل مشکل توزیع مناسب مایع روی سطح آکنه توصیه نمی شود. شکل ۱۵ شمای کلی از اجزای مختلف یک برج آکنده را نشان میدهد. در مواردی که از برج آکنده برای تماس مایع - بخار استفاده میشود، مایع روی سطح آکنه به طرف پایین جریان مییابد و بخار از فضای خالی داخلی آکنه به طرف بالا عبور می کند. هدف استفاده از آکنه تأمین تماس لازم بین مایع و بخار در یک سطح گسترده به منظور انجام بهتر عمل انتقال جرم بین دو فاز است. در عین حال مواد آکنه باید خروج اسان مایع و همچنین افت فشار کم برای جریان بخار را تأمین کنند. برای نگهداری بستر آکنه در داخلی برج، از صفحات نگهدارنده استفاده می شود که حداقل باید دارای ۷۵٪ سطح آزاد جهت عبور گاز با حداقل مقاومت در برابر جریان باشد. نمونه ای از صفحات نگهدارنده در شکل ۱۶ آمده است. در بالای بستر آکنه، از توزیع کننده مایع، جهت پخش یک نواخت مایع بر روی آکنه استفاده می شود.

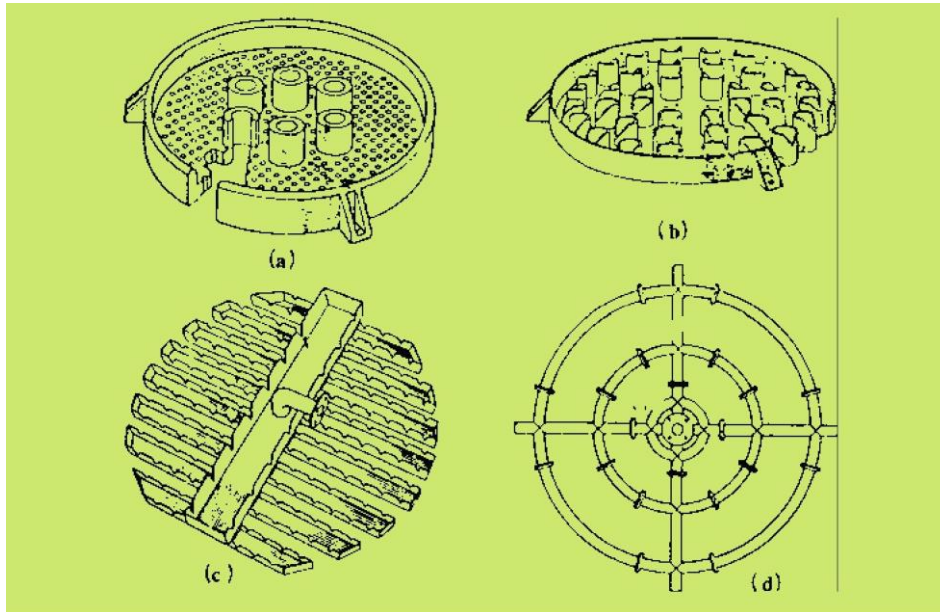


شکل ۱۵- شمای کلی برج آکنه



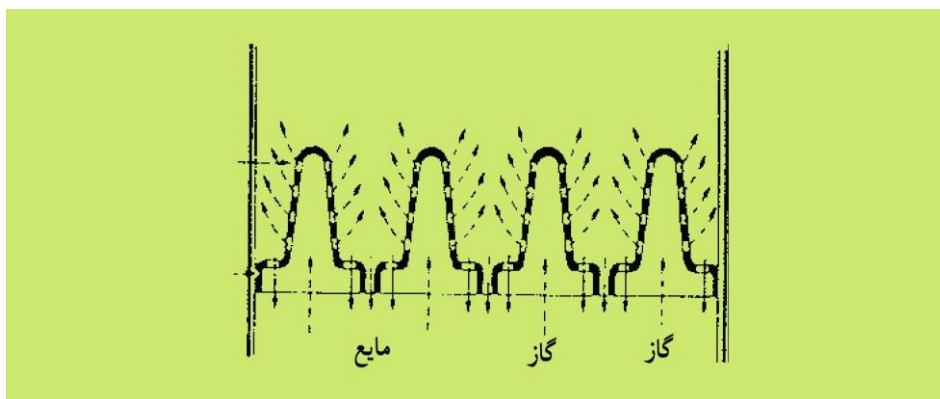
شکل ۱۶- صفحات نگهدارنده آکنه

چند نمونه از انواع توزیع کننده ها در شکل ۱۷ آمده است.



شکل ۱۷-چند نوع از انواع توزیع کننده های مایع

هنگامی که ارتفاع برج زیاد باشد استفاده از صفحات توزیع کننده میانی در داخل برج ضروری است. فاصله بین دو صفحه متوالی پخش کننده نباید از ۶ متر بیشتر باشد. جهت تزریق گاز از پایین برج و به منظور تأمین مسیر های متفاوت مایع و گاز در انتهای برج، می توان از صفحات توزیع گاز که در شکل ۱۸ آمده است استفاده کرد. در این صفحات ورودی گاز در سطحی بالاتر از سطح خورجی مایع قرار دارد.



شکل ۱۸- توزیع کننده گاز

۹. انواع آکنه ها

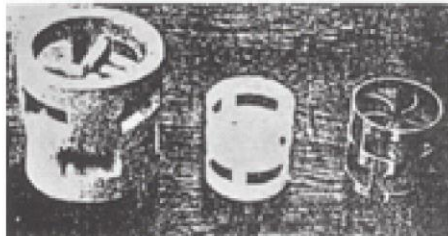
آکنه ها را می توان به سه دسته اصلی : ۱- مواد جامد خرد شده، ۲- آکنه های شکل داده شده، ۳- آکنه های منظم، تقسیم کرد. مواد جامد خرد شده ارزان ترین نوع مواد آکنه هستند و از اندازه ۱۰ تا ۱۰۰ میلیمتر با توجه به اندازه برج، استفاده میشوند. با وجود این که معمولاً این گونه آکنه ها مواد مقاوم در برابر خوردگی هستند گاهی به علت عدم تأمین

سطح مناسب جهت انتقال جرم و توزیع نامناسب جریان مایع بر روی آکنه، نسبت به انواع دیگر، کمتر به کار گرفته می شوند.

از انواع متداول آکنه های شکل داده شده می توان از حلقه های راشیگ، حلقه های پال، حلقه های سینگ، و نوع زین اسبی نام برد. در ضمن آکنه های جدیدتر مانند اینتالوکس، های پک به علت کارایی بهتر و ایجاد افت فشار کمتر، جایگزین انواع قدیمی تر شده اند. شکل ۱۹ تعدادی از این گونه آکنه ها را نشان می دهد. اکثر این آکنه ها از مواد مختلف مانند سرامیک، فلز، شیشه، پلاستیک یا لاستیک هستند. آکنه های سرامیکی در برابر خوردندگی مقاوم و به نسبت ارزان ولی نسبتاً سنگین هستند. اندازه آکنه های مورد استفاده روی قطر و ارتفاع برج، افت فشار و هزینه ساخت تاثیر می گذارد. به طور کلی با افزایش اندازه آکنه هزینه ساخت برج به ازای واحد حجم آکنه و همچنین افت فشار به ازای طول آن کاهش مییابد ولی با توجه به کاهش سطح تماس مایع - بخار میزان انتقال جرم نیز کاهش مییابد و ارتفاع برج نیز به دنبال آن افزایش خواهد یافت. در هر صورت معمولاً اندازه آکنه های مورد استفاده کمتر از ۵۰ میلیمتر است.



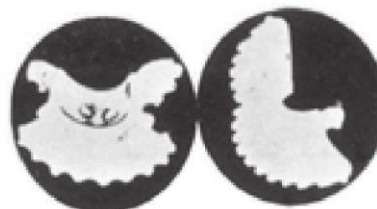
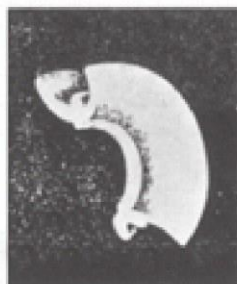
الف - حلقه های راشیگ و سینگ سرامیکی و فلزی در اندازه های مختلف



ب - حلقه های سرامیکی - پلاستیکی و فلزی پال



ب - حلقه های یک فلزی



ت - آکنه های اینتالوکس پلاستیکی

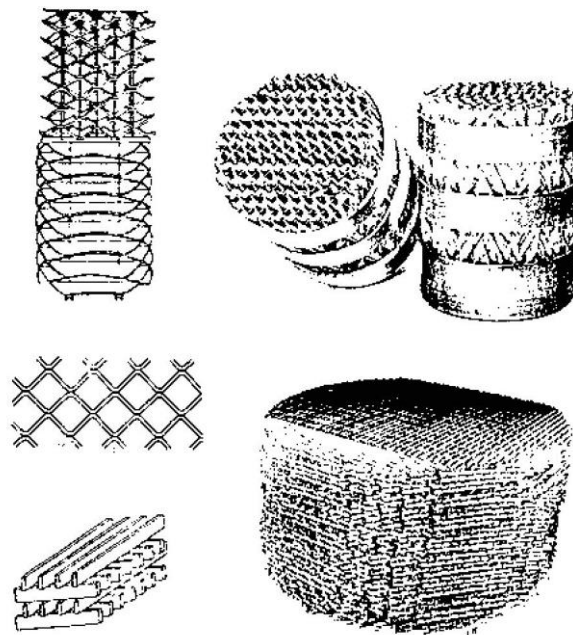
ت - آکنه های اینتالوکس زین اسبی سرامیکی
(Intalox Saddles)



ج - آکنه زین اسبی

شکل ۱۹ - انواع آکنه ها

معمولاً نحوه چیدن مواد جامد خرد شده و آکنه های شکل داده شده در داخل برج به صورت نامنظم است. جهت کاهش افت فشار و افزایش کارایی آکنه ها میتوان از آکنه های منظم استفاده کرد؛ این نوع آکنه ها اغلب از چندین لایه حلقه های بزرگ توری که به طور منظم بر روی هم قرار می گیرند تشکیل شده اند. شکل ۲۰ نمونه هایی از آکنه های منظم را نشان می دهد.



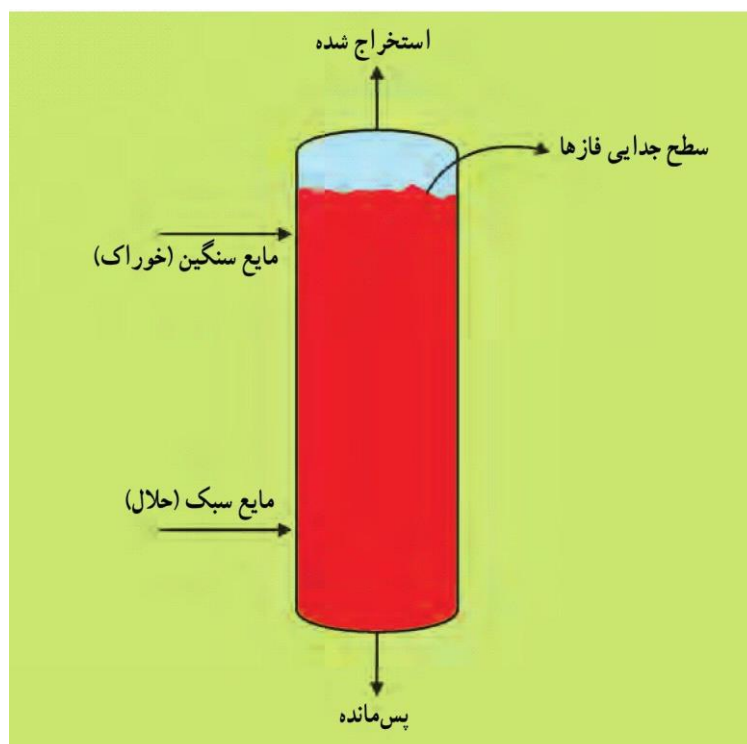
شکل ۲۰- چند نمونه آکنه منظم

۱۰. برج های استخراج

در کلیه دستگاه های استخراج باید دو عمل «اختلاط خوراک و حلال» و «جدا شدن محلول استخراج شده و محلول باقی مانده» که در مجموع یک مرحله از عملیات استخراج را تشکیل می دهند، انجام شود. در اغلب برج های استخراج بسته به خواص فیزیکی خوراک و حلال (نظیر حلالیت، دانسیته، کشش سطحی) و خلوص مورد نیاز برای محصول، چندین مرحله عملیات استخراج اجرا میشود. دستگاه های استخراج بسیار متنوع هستند. شکل زیر چند نوع از این دستگاه ها را نشان می دهد.

۱-۱۰. برج های پاششی:

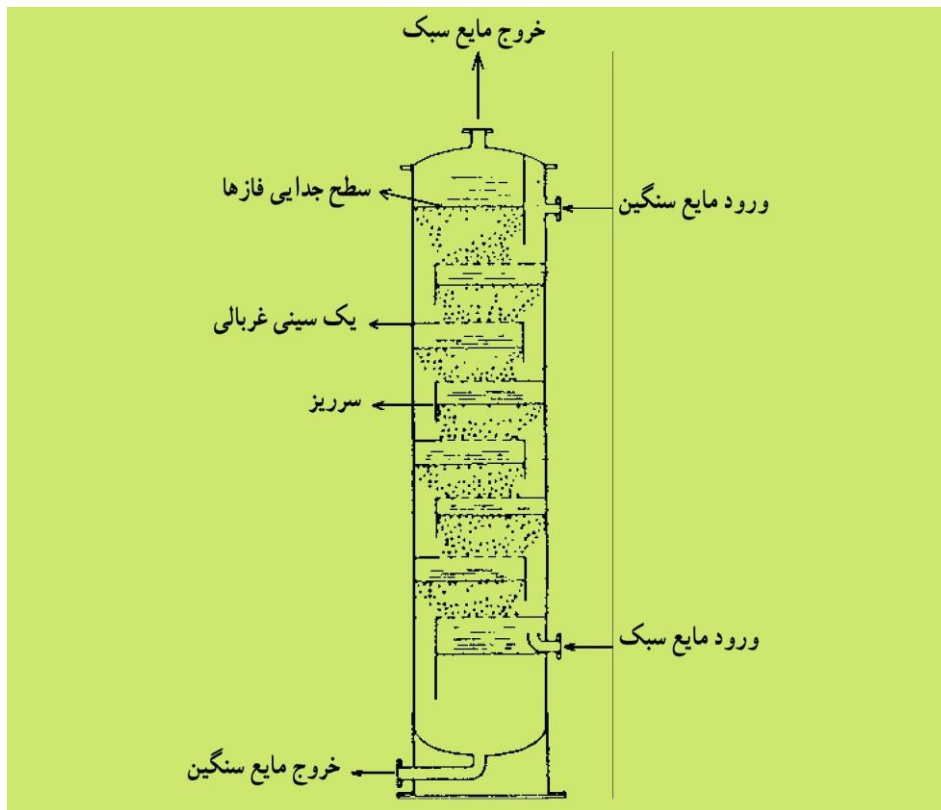
این دستگاهها ساده ترین وسیله برای اجرای عملیات استخراج می باشند که صرفاً شامل یک محفظه توخالی هستند که در بالا و پایین آن محل هایی برای ورود و خروج مایعات پیش بینی شده است. در این برج ها فقط یک مرحله عملیات استخراج اجرا می شود که در آن عمل اختلاط خوراک و حلال به سادهترین و بدترین شکل انجام میگردد. محلول استخراج شده و محلول پس مانده به دلیل اختلاف دانسیته از یکدیگر جدا، یکی از بالا و دیگری از پایین برج خارج میشوند. شکل ۲۱ چگونگی عمل این برج ها را نشان می دهد.



شکل ۲۱- عملیات استخراج تک مرحله ای در برج پاششی وقتی خوراک سنگین تر از حلال باشد.

۱۰-۲. برجهای سینی دار:

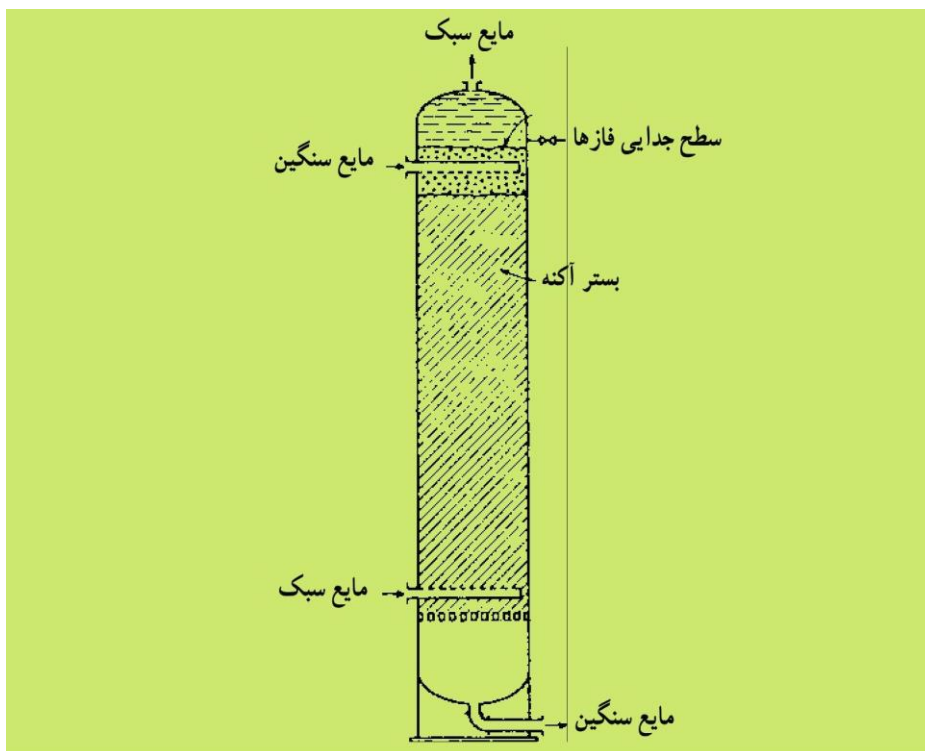
شکل ۲۲ یک برج سینی دار غربالی را که به منظور اجرای عملیات استخراج مورد استفاده قرار می گیرد نشان میدهد. مایع سبک از پایین برج وارد میشود و به سمت بالا حرکت می کند. به هنگام عبور این مایع از سوراخ های سینی به صورت قطرات کوچک درآمده در مایع سنگین که روی سینی حرکت میکند و از طریق سرریزها به سمت پایین برج جریان دارد، پخش می شود. بدین ترتیب عمل اختلاط دو مایع که یکی خوراک و دیگری حلال است انجام می شود. قطرات مایع سبک قبل از رسیدن به سینی بالاتر به یکدیگر پیوسته از مایع سنگین جدا می شود. بدین ترتیب عمل جداسازی فازها انجام شده و یک مرحله از عملیات استخراج کامل می شود. با طراحی صحیح، ارتفاع برج، و تعداد سینیها را به گونه ای پیش بینی می کنند تا تعداد مراحل استخراج به تعداد کافی برسد و محصول (جریان محلول استخراج شده) به خلوص مورد نظر دست یابد. بسته به دانسیته خوراک و حلال، مایع سبک و سنگین تعیین می شود. در سیستم هایی که دو فاز به آسانی مخلوط و سپس سریعاً از یکدیگر جدا می شوند، از برج های استخراج سینی دار غربالی استفاده می شود. بدیهی است این برج ها کارایی بالاتری نسبت به برج های استخراج پاششی دارند.



شکل ۲۲- برج استخراج با سینی غربالی که برای پخش مایع سبک طراحی شده است.

۱۱-۳. برج های آکنده:

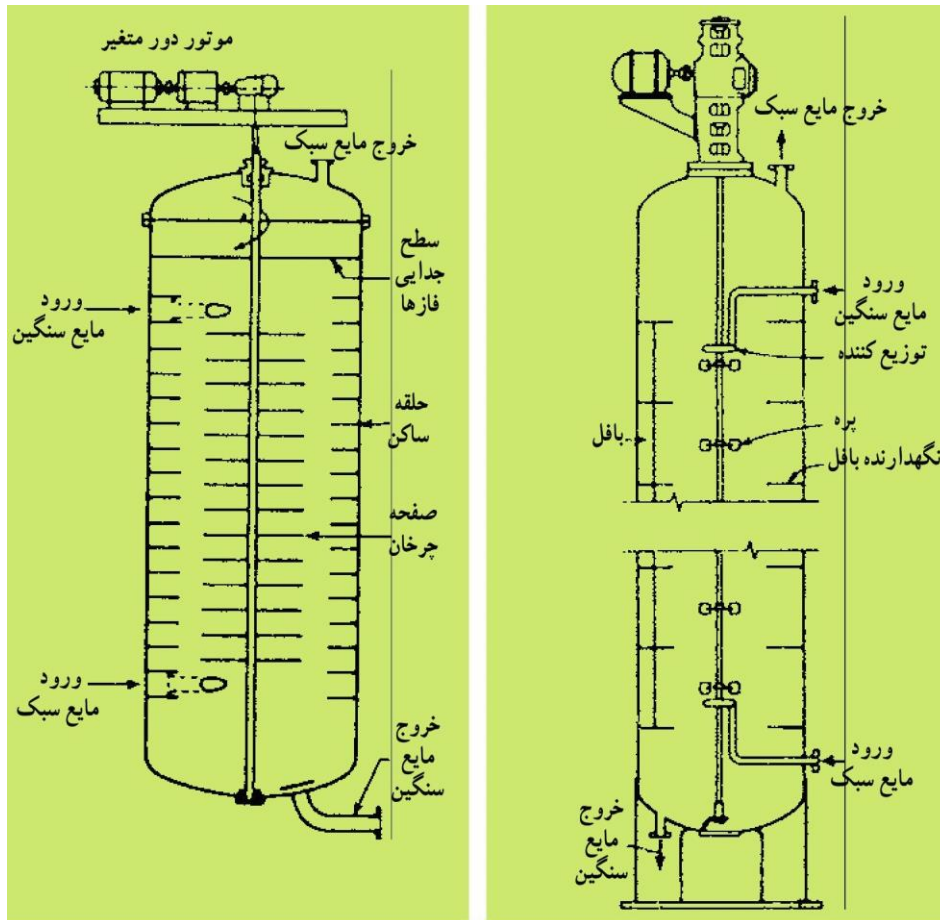
برج های آکنده نیز همانند برج های سینی دار در عملیات تقطیر، جذب (تماس گاز-مایع) و استخراج به کار می روند. در اجرای عملیات استخراج، این برج ها از مواد آکنه به صورت تصادفی پر می شوند. شکل ۲۳ این نوع برج ها را نشان میدهد که فاز مایع سبک از پایین برج وارد می شود و در داخل فاز سنگین که از بالا وارد شده است پخش میگردد. فضای خالی میان آکنه ها از مایع سنگین که یک فاز پیوسته را تشکیل داده، پر شده است. قطرات مایع سبک از لابه لای آکنه ها و از داخل مایع سنگین بالا می رود و در نهایت در قسمت بالای بستر آکنه به صورت یک فاز مجتمع می گردد. سطح جدایی فازها در بالای بستر آکنه تشکیل می شود. جهت اختلاط بهتر، اندازه آکنه ها باید به قدر کافی کوچک باشد. در هر حال اندازه هر آکنه نباید از قطر برج بیشتر باشد. در برج های آکنده نیز عملیات استخراج بهتر از برجهای پاششی انجام می شود. در مواردی که حلال یا خوراک خورنده باشد و استفاده از سینیهای فلزی امکان پذیر نباشد، استفاده از برج های آکنده با آکنه هایی از جنس سرامیک یا پلاستیک بهترین جایگزین است.



شکل ۲۳- برج های آکنده برای استخراج (مایع سبک پخش شده است)

۱۰-۴. استخراج کننده با همزن مکانیکی

در برجهای پاششی، سینی دار غربالی و آکنده وقتی که اختلاف دانسیته خوراک و حلال 0.1 g/cm^3 یا کمتر میباشد و کشش سطحی آنها زیاد است، پخش و اختلاط خوراک و حلال در یکدیگر به خوبی انجام نمی شود و در نتیجه عمل استخراج با کیفیت مطلوب انجام نخواهد شد. در چنین شرایطی با استفاده از همزن مکانیکی عمل پخش شدن به خوبی انجام و عمل اختلاط کامل می شود. در نتیجه عملیات استخراج به نحو مطلوب صورت می گیرد انواع مختلف همزن های مکانیکی در داخل برج های استخراج به کار میرود. شکل ۲۴ یک نوع برج استخراج با همزن مکانیکی با پره های توربینی را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، جهت اختلاط بهتر این برج مجهز به بافل و توزیع کننده فازهای مایع است. شکل ۲۵ نوع دیگری از برج های استخراج را که استخراج کننده با صفحات چرخان (RDC) نام دارد نشان می دهد. در این دستگاه با فلزهای عمودی وجود ندارد و اختلاط در اثر حرکت صفحات چرخان به وجود می آید که سرعت دوران صفحات چرخان از پره های توربینی بیشتر است.



شکل ۲۴- برج استخراج با همزن مکانیکی با پره های توربینی شکل ۲۵- برج استخراج RDC

۱۱. منابع

- ۱- مکانیک سیالات و هیدرولیک، تألیف: دکتر مدنی، ۱۳۷۴، تهران
- ۲- اصول بنیانی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی، تألیف: دیوید هیمبل بلاو، ترجمه دکتر مرتضی سهرابی، ۱۳۷۰ پلی تکنیک
- ۳- کنترل فرایندها، تألیف: کاک ناور + کاپل، ترجمه دکتر گودرزنیا، ۱۳۷۰
- ۴- طراحی و تنظیم سیستم های کنترل در واحدهای شیمیایی نفت و گاز، تألیف: سید پندار توفیقی، سال ۱۳۷۴، انتشارات شرکت نفت جنوب

5- <http://www.mechanism.ir/index.php/equipment/distillation-column/118-distillation-column>

6- https://en.wikipedia.org/wiki/Fractionating_column

7- <http://silis.blogfa.com/post-41.aspx>

8- <http://petrochemy.blogfa.com/post-2.aspx>

9- <http://daneshnameh.roshd.ir>

10- <http://sajjadpolymer2.parsiblog.com>

11- <http://simulearn.ir>