# تقطیر

# Distillation

تهیه و گردآورنده : مهدی متین نژاد

به نام خداوند بخشنده مهربان

## هدف از جداسازی :

**هدف از جداسازی، حذف مزاحمت‌ها ، غلیظ کردن محلول مورد نظر و یا سایر موارد است. برای جداسازی از اختلاف در خصوصیات فیزیکی استفاده می‌شود ، مثل فراریت ، حلالیت و ضریب تقسیم مواد و ..... در آنالیز و جداسازی مواد مختلف از تکنیک‌های ویژه‌ای برحسب نوع و ساختار مواد و مخلوط‌ها استفاده می‌شود که برخی از آنها که معروف بوده و حائز اهمیت بیشتری هستند ، در ذیل می‌آوریم و یک نگاه کلی به تعاریف آنها می اندازیم .**

## تبلور :

**هدف از تبلور ، جداسازی ناخالصی از اجسام جامد است . در این روش ، ابتدا جامد ناخالص را در یک حلال گرم حل می‌کنند ، سپس محلول را صاف می‌کنند . ناخالصی‌ها در فاز مایع باقی می‌مانند . اگر تبلور طی چند مرحله صورت گیرد ، به آن تبلور جزء به جزء می گویند . در این روش انتخاب حلال از اهمیت بالایی برخوردار است . اگر از تکنیک ذوب برای جداسازی ناخالصی از جامد استفاده شود، به آن تصفیه ذوب گویند .**
**این روش در جدا کردن ناخالصی‌های ژرمانیم و اسید بتروییک کاربرد دارد . در این فرآیند، ضریب تقسیم برابر با نسبت غلظت ناخالصی در فاز جامد به غلظت ناخالصی در فاز مایع است .**

## تقطیر :

**اگر هدف از تقطیر ، جداسازی یک مخلوط به اجزای بالا باشد ، از تقطیرساده برای جداسازی اجزاء استفاده می‌شود. اما اگر همه اجزاء فرار باشند، از تقطیر جزء به جزء برای جداسازی استفاده می‌شود . اگر یک مخلوط تولید آزئوتروپ کند ، ( مثل آب و الکل ) نمی‌توان از روش تقطیر جزء به جزء ، اجزای آن را جدا کرد . برای جداسازی این مخلوط از روش‌های تقطیر با بخار آب ، تقطیر در خلاء و تقطیر ناگهانی استفاده**

**می‌کنند . در تقطیر با بخار آب هیچگاه درجه حرارت تقطیر از نقطه جوش آب بیشتر نمی‌شود .**
**ترکیباتی نظیر تولوئن ، اتیلن ، گلیسیرین و اسیدهای چرب از این طریق جدا می‌شوند. برای جلوگیری از تجزیه مایعاتی که دارای نقطه جوش بالایی هستند از تقطیر در خلاءاستفاده می‌شود . با کاهش فشار ، نقطه جوش مایع کاهش پیدا می‌کند . در تهیه آب آشامیدنی از آب دریا و تهیه آب مقطر نیروگاه‌ها از تقطیر ناگهانی استفاده می‌شود . در این روش مایع بطور مداوم وارد و بخار بطور مداوم خارج می‌شود .**

## رسوب دادن :

**نوعی روش جداسازی است که اساس آن اختلاف حلالیت اجسام می‌باشد ، یعنی جزیی که حلالیت کمتری دارد زودتر جدا می‌شود . با افزایش نیروی جاذبه سرعت ته‌نشین شدن افزایش پیدا می‌کند . عمل سانتریفوژ در واقع بر همین اساس است .**

## استخراج :

**اساس این روش ، اختلاف حلالیت یک جزء در دو حلال غیر قابل حل در یکدیگر است . اگر دو حلال غیر قابل استخراج ، مایع باشند ، به این روش استخراج مایع ـ مایع گویند و اگر یک جسم جامد به وسیله یک حلال استخراج شود ، به آن استخراج جامد ـ مایع گویند (مثل استخراج اسانس‌ها ، عصاره ها و روغن از دانه‌های گیاهی ) . عموماً دو فاز مورد استفاده ، یکی آب است و دیگری یک حلال آلی .**

**مقداری از جسم در فاز آبی و مقداری نیز در فاز آلی می‌باشد. بازده استخراج با ضریب تقسیم نسبت مستقیم دارد . دوبار استخراج با حجم کمتر از حلال آلی همیشه موثر از یک بار استخراج با حجمی مساوی دو برابر حجم اول است . چون در حالت اول ، مقدار وزن ماده باقی‌مانده محلول در آب ، کمتر از حالت دوم خواهد بود .**

## کروماتوگرافی :

**اساس کروماتوگرافی ، جذب سطحی مواد و توزیع آنها در دو فاز می‌باشد . یکی از فازها ثابت و فاز دیگر متحرک است که نمونه مورد نظر در فاز متحرک جدا می‌شود .**
**فاز ثابت یا جامد است و یا مایع و فاز متحرک یا مایع است و یا گاز . اگر فاز ثابت ، جامد و فاز متحرک ، مایع باشد، به آن کروماتوگرافی مایع ـ جامد ( LSC ) گویند .**

**اگر فاز متحرک ، گاز و فاز ثابت ، جامد باشد ، به آن کروماتوگرافی گاز - جامد ( GSC ) گویند . اگر فاز متحرک ، مایع و فاز ثابت نیز مایع باشد به آن کروماتوگرافی مایع ـ مایع یا ( LLC) یا ( HPLC ) گویند و در نهایت اگر فاز متحرک ، گاز و فاز ثابت ، مایع باشد ، به آن کروماتوگرافی گاز - مایع( GLC ) یا ( VPC ) گویند . در LSC ، جدا شدن بر اساس جذب سطحی یا تعریض یون‌ها و یا تشکیل کمپلکس میباشد . در GSC اساس ، جداسازی جذب سطحی است . در LLC و GLC ، مواد بر اساس توزیع بین دو فاز جدا می‌شوند .**

**پس کروماتوگرافی روشی برای جداسازی مخلوط بدلیل اختلاف تحرک آنها می‌باشد . کروماتوگرافی LSC در واقع نوعی کروماتوموگرافی جذبی است که مواد بر اساس اختلاف در قابلیت جذب خود روی سطح جامد از یکدیگر جدا می‌شوند .**

**در GSC نیز اساس جداسازی جذب سطحی فاز گاز روی سطح جامد است . از این روش برای خالص سازی گازها استفاده می‌شود .**

## کروماتوگرافی تبادل یونی :

**کروماتوگرافی تبادل یونی ، روشی است که در آن ، یون‌ها بین یک محلول و یک فاز جامد ( رزین ) مبادله می‌شوند. این تبادل ، برگشت پذیر است. فاز جامد در آب ، غیر محلول بوده و دارای بنیان‌های اسیدی و بازی باشد . نوع معدنی این مواد جامد ، ممکن است شبیه زئولیت‌ها باشند و نوع جدید آنها از مشتقات $ZrO_2$ هستند و برای جداسازی فلزات قلیایی خاکی بکار می‌روند . رزین‌های تبادل یونی ، منشا آلی دارند و از پلیمرهای با وزن مولکولی بالا ساخته می‌شوند .**

**تشکیل این رزین‌ها بر اساس پلیمریزاسیون پلی‌استیرن و وینیل بنزن استوار است . رزین‌ها به دو نوع تعویض کننده آنیونی و کاتیونی تقسیم می‌شوند. هر کدام از این تعویض کننده‌ها به نوع بازی ضعیف و قوی و اسیدی ضعیف و قوی تقسیم می‌شوند . با توجه به آنچه گفته شد روش جداسازی مواد اجزای سازنده یک محلول گوناگونند .**

**یکی از این روش‌ها فرآیند تقطیر است که خود روش‌های مختلفی دارد و از جمله کاربردهای مهم آن در پالایش نفت و جداسازی اجزای آن است .**

## تقطیر

- **تقطیر ساده : اجزای سازنده محلولی از یک ماده حل شده غیر فعال را می‌توان با تقطیر ساده از هم جدا کرد . برای این کار محلول را می‌جوشانیم تا حلال فرار ، تبخیر و از ماده حل شده جدا شود . با سرد کردن بخار (میعان ) حلال مایع جمع‌آوری می‌شود و ماده حل شده به صورت باقی مانده تقطیر باقی می‌ماند .**
- **تقطیر جزء به جزء : اجرای سازنده محلول شامل دو جز فرار را که از قانون رائول پیروی می کند ، می توان با فرآیند تقطیر جزء به جزء از هم جدا کرد .**

**طبق قانون رائول ، فشار بخار محلول برابر با مجموع فشار بخار اجزای سازنده آن محلول است و سهم هر جزء ، برابر با حاصلضرب کسر مولی آن جزء در فشار بخار آن در حالت خاص است . ( با در نظر گرفتن اینکه سیستم ایده ال است )**

**فشار جزئی فاز بخار :**

$$P_{Total} = \sum_{1}^{i} p_i \qquad P_i = Y_i \times P_{Total}$$

**$Y_i$: کسر مولی در فاز گاز**

**فشار جزئی فاز مایع :**

$$P_i^L = X_i \times P_i^{Satutarte}$$

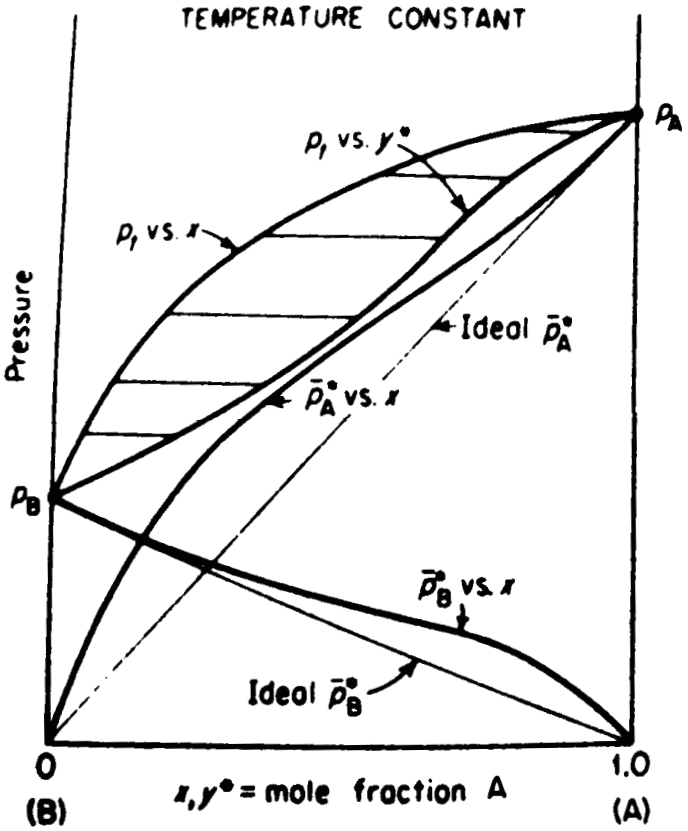
**$X_i$ : کسر مولی در فاز مایع**

## مراحل تقطیر با استفاده از قانون رائول :

**در تقطیر محلولی از A و B ، غلظت A در بخاری که خارج شده و مایع می‌شود ، بیش از غلظت آن در مایع باقی‌مانده است .**
**با ادامه عمل تقطیر ، ترکیب درصد اجزا در بخار و مایع دائما تغییر می‌کند و این در هر لحظه عمومیت دارد . با جمع آوری مایعی که از سرد شدن بخار حاصل می‌شود و از تقطیر مجدد آن و با تکرار پی در پی این عمل ، سرانجام می‌توان اجزای سازنده مخلوط اصلی را به صورتی واقعا خالص به دست آورد .**

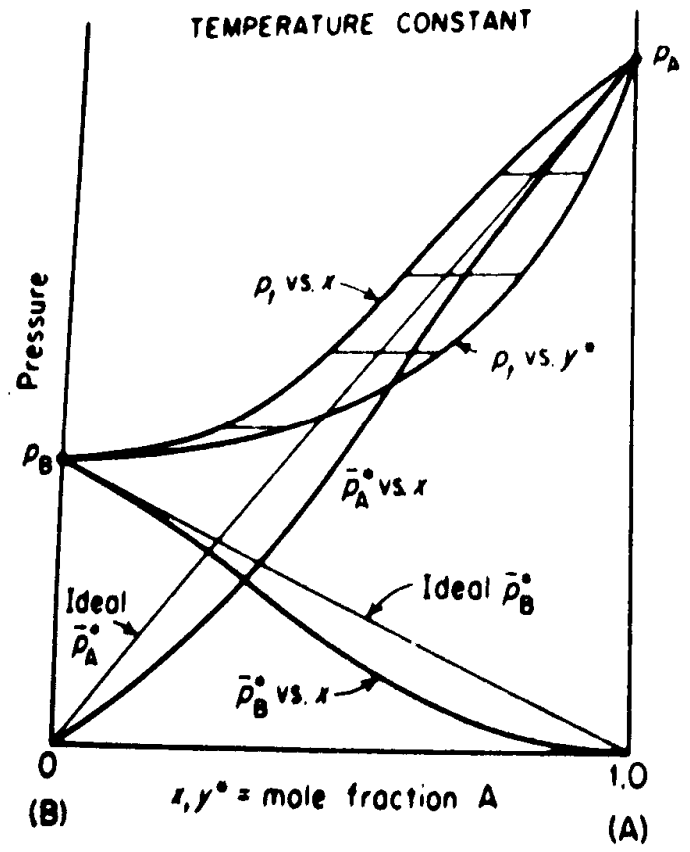
## انواع سیستمهای دارای انحراف از قانون رائول :

- سیستمهای که از قانون رائول انحراف مثبت دارند : در این حالت در منحنی فشار کل ، ماکسیممی وجود دارد . این ماکسیم مربوط به محلولی ، با ترکیب درصد معینی است که فشار بخار آن بالاتر از فشار بخار هر یک اجزای خالص است .این نوع محلول که محلول آزئوتروپ با نقطه جوش مینیمم نام دارد، در دمایی به جوش می‌آید که پایین‌تر از نقطه جوش هر یک از اجزای آن در حالت خاص است.




انحراف مثبت از حالت کامل

- سیستمهای که از قانون رائول انحراف منفی دارند : اگر سیستمی انحراف منفی از قانون رائول نشان دهد ، در منحنی فشار کل مینیممی وجود خواهد داشت . محلولی که غلظت متناظر با این مینیمم دارد ، فشار بخاری خواهد داشت که در هر دمایی ، پایین‌تر از فشار بخار هر یک از اجزای آن در حالت خاص است . چنین محلولی در دمایی بالاتر از نقطه جوش هر یک از اجزای سازنده در حالت خاص ، می‌جوشد . این محلول ، آزئوتروپ با نقطه جوش ماکزیمم نامیده می‌شود .




**انحراف منفی از حالت کامل**

## تعادل بخار با محلول آزئوتروپ :

برای بررسی این قسمت با طرح سوالی به بیان این بخش می پردازیم :

### بخار در حالت تعادل با مایع آزئوتروپی چگونه به دست می‌آید؟

بخار در حالت تعادل با مایع همگن که نقطه جوش ماکزیمم یا مینیمم دارد ، دارای همان غلظتی است که مایع آن دارد . از این رو آزئوتروپ‌ها ، مانند مواد خالص ، بدون تغییر تقطیر می‌شوند. از محلول جز به جز یک محلول دو جزئی که آزئوتروپی تشکیل می‌دهند، سرانجام یک جزء خالص و آزئوتروپ حاصل می‌شود ، ولی دو جزء آن ، بصورت خالص به دست نمی‌آید .

حال به بیان مبحث تقطیر می پردازیم :

در اینجا ، منظور از تقطیر ، در واقع جداسازی فیزیکی سازندگان یک محلول است که اساس آن اختلاف در نقطه جوش اجزاء سازنده است . هر چه جزء سازنده ، سنگین تر

باشد نقطه جوش آن زیاد است و هر چه جزء سازنده سبکتر باشد ، زودتر خارج می‌شود . در این مقاله انواع روشهای تقطیر را در برج تقطیر بررسی می‌کنیم .

## تقطیر تبخیر ناگهانی :

در این نوع تقطیر ، مخلوطی از مواد نفتی که قبلا در مبدلهای حرارتی و یا کوره گرم شده‌اند ، بطور مداوم به ظرف تقطیر وارد می‌شوند و تحت شرایط ثابت ، مقداری از آنها به صورت ناگهانی تبخیر می‌شوند . بخارات حاصله بعد از میعان و مایع باقیمانده در پایین برج بعد از سرد شدن به صورت محصولات تقطیر جمع آوری می‌شوند . در این نوع تقطیر خلوص محصولات چندان زیاد نیست .

## تقطیر با مایع برگشتی (تقطیر همراه با تصفیه) :

در این روش تقطیر ، قسمتی از بخارات حاصله در بالای برج ، بعد از میعان به صورت محصول خارج شده و قسمت زیادی به داخل برج برگردانده می‌شود . این مایع به مایع برگشتی موسوم است . مایع برگشتی با بخارات در حال صعود در تماس قرار داده می‌شود تا انتقال ماده و انتقال حرارت ، صورت گیرد . از آنجا که مایعات در داخل برج در نقطه جوش خود هستند ، لذا در هر تماس مقداری از بخار ، تبدیل به مایع و قسمتی از مایع نیز تبدیل به بخار می‌شود . نتیجه نهایی مجوعه این تماسها ، بخاری اشباع از هیدروکربنهای با نقطه جوش کم و مایعی اشباع از مواد نفتی با نقطه جوش زیاد می‌باشد.

در تقطیر با مایع برگشتی با استفاده از تماس بخار و مایع ، می‌توان محصولات مورد نیاز را با هر درجه خلوص تولید کرد، مشروط بر اینکه به مقدار کافی مایع برگشتی و سینی در برج موجود باشد. بوسیله مایع برگشتی یا تعداد سینیهای داخل برج می‌توانیم درجه خلوص را تغییر دهیم .

لازم به توضیح است که ازدیاد مقدار مایع برگشتی باعث افزایش میزان سوخت خواهد شد . چون تمام مایع برگشتی باید دوباره به صورت بخار تبدیل شود . امروزه به علت گرانی سوخت ، سعی می‌شود برای بدست آوردن خلوص بیشتر محصولات ، به جای ازدیاد مایع برگشتی از سینیهای بیشتری در برجهای تقطیر استفاده شود . زیاد شدن مایع برگشتی موجب زیاد شدن انرژی می‌شود . برای همین ، تعداد سینی ها را افزایش می‌دهند .

در ابتدا مایع برگشتی را ۱۰۰٪ انتخاب کرده و بعد مرتباً این درصد را کم مـی‌کننـد و بـه صورت محصول خارج می‌کنند تا به این ترتیب دستگاه تنظیم شود .

## انواع مایع برگشتی :

- **مایع برگشتی سرد :** این نوع مایع برگشتی با درجه حرارتی کمتر از دمـای بـالای برج تقطیر برگردانده می‌شود . مقدار گرمای گرفته شده ، برابر با مجموع گرمـای نهان و گرمای مخصوص مورد نیاز برای رساندن دمای مایع به دمـای بـالای بـرج است .

- **مایع برگشتی گـرم :** مایع برگشتی گرم با درجه حرارتی برابر بـا دمـای بخـارات خروجی برج مورد استفاده قرار می‌گیرد .

- **مایع برگشتی داخلی :** مجموع تمـام مایعهـای برگشـتی داخـل بـرج را کـه از سینی‌های بالا تا پایین در حرکت است ، مایع برگشـتی داخلـی گوینـد . مـایع برگشتی داخلی و گرم فقط قادر به جذب گرمای نهان می‌باشد . چون اصولاً طبـق تعریف اختلاف دمایی بین بخارات و مایعات در حال تماس وجود ندارد .

- **مایع برگشت دورانـی :** این نوع مایع برگشتی ،تبخیر نمی‌شود بلکه فقط گرمای مخصوص معادل با اختلاف دمای حاصل از دوران خود را از برج خارج می‌کند . این مایع برگشتی با دمای زیاد از برج خارج شده و بعد از سرد شدن با درجه حرارتی کمتر به برج برمی‌گردد . معمولا این نوع مایع برگشتی در قسـمتهای میـانی یـا

درونی برج به کار گرفته می‌شود و مایع برگشتی جانبی هم خوانده می‌شود . اثـر عمده این روش ، تقلیل حجم بخارات موجود در برج است .

## نسبت مایع برگشتی :

نسبت حجم مایع برگشتی به داخلی و محصول بالایی برج را نسبت مایع برگشتی گویند . از آنجا که محاسبه مایع برگشتی داخلی نیاز به محاسبات دقیق دارد ، لذا در پالایشگاهها عملاً نسبت مایع برگشتی بالای برج به محصول بالایی را به عنوان نسبت مایع برگشـتی بکار می‌برند که در طراحی برجها بسیار مورد اهمیت می باشد .

## تقطیر نوبتی :

این نوع تقطیرها در قدیم بسیار متداول بوده ، ولی امروزه به علت نیاز نیـروی انسـانی و ضرورت ظرفیت زیاد ، این روش کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد . امـروزه تقطیـر نـوبتی ، صرفاً در صنایع دارویی و رنگ و مواد آرایشی و موارد مشابه بکـار بـرده مـی‌شـود و در صنایع پالایش نفت در موارد محدودی مورد استفاده قرار می‌گیرد . بنابراین در موارد زیر تقطیر نوبتی از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌باشد .

- ← تقطیر در مقیاس کم
- ← ضرورت تغییرات زیاد در شرایط خوراک و محصولات مورد نیاز
- ← استفاده نامنظم از دستگاه
- ← تفکیک چند محصولی
- ← عملیات تولید متوالی با فرآیندهای مختلف

## تقطیر مداوم :

امروزه بعلت اقتصادی بودن مداوم در تمام عملیات پالایش نفـت از ایـن روش اسـتفاده می‌شود . در تقطیر مداوم برای یک نوع خوراک مشخص و برشهای تعیین شـده شـرایط عملیاتی ثابت بکار گرفته می‌شود . بعلت ثابت بودن شرایط عملیاتی در مقایسه با تقطیر نوبتی به مراقبت و نیروی انسانی کمتری احتیاج است.

**با استفاده از تقطیر مداوم در پالایشگاهها مواد زیر تولید می‌شود :**

* **گاز اتان و متان بعنوان سوخت پالایشگاه**
* **گاز پروپان و بوتان بعنوان گاز مایع و خوراک واحدهای پتروشیمی**
* **بنزین موتور**
* **نفتهای سنگین بعنوان خوراک واحدهای تبدیل کاتالیستی برای تهیه بنـزین بـا درجه آروماتیسیته بالاتر**
* **حلالها**
* **نفت سفید**
* **سوخت جت سبک و سنگین**
* **نفت گاز**
* **خوراک واحدهای هیدروکراکینگ و واحدهای روغن سازی**
* **نفت کوره ها**
* **انواع آسفالتها**

## تقطیر نفت خام :

**برای تفکیک برش‌های متشکله نفت خام ، عملیات فیزیکی و شیمیایی چندی بر روی آن به عمل می‌آورند تا فرآورده‌های مورد نیاز جامعه امروزی را تولیـد نماینـد . از مهمتـرین آنها تقطیر جزء به جزء نفت است که در برج تقطیر صورت می‌گیرد .**

**تقطیر جزء به جزء عبارت است از یک سری تبخیر و تبرید که در سینی‌های یـک بـرج استوانه‌ای صورت می‌گیرد . مایعات خالص در فشار محیط ، در دمایی به جوش می‌آینـد که در آن دما ، فشار بخار آن برابر فشار محیط گردد . مایعات مخلوط در حدود دمایی که حاصل جمع فشارهای جزئی عوامل تشکیل دهنده آنها برابر فشار محیط گردد به جـوش می‌آید . در نقطه جوش ، فازهای بخار و مایع در حال تعادل می‌باشند .**

چنانچه فشار ، کاهش یابد ، تبخیر صورت می‌گیرد و در حالت معکوس ، تبرید اتفاق می‌افتد . از فشار بخار برای محاسبه ترکیب گازهای مخلوط در حالت تعادل استفاده می‌شود . وقتی که اجزا تشکیل دهنده یک محلول در برج تقطیر بطور دائم جدا می‌شوند بخارهایی که به سمت بالا حرکت می‌کنند ، با ترکیبات فرارتر مایع برگشت کننده که به سمت پایین سرازیر است برخورد کرده و غلیظ‌تر می‌شوند .

## انواع تقطیر :

تقطیر ساده : Simple Distillation

تقطیری است ، بدون هیچ غنی سازی و خالص سازی محسوس برای بخار .
برای مثال ، بخاری که از یک مایع برخاسته است در جمع آوری کننده برج کاملاً متراکم می شود و هیچ تغییری در ترکیب آن در طی تراکم جزئی یا در برخورد با بخار متراکم شده قبلی نمی شود ( چنانچه درهریک از بی نهایت تعداد مراحل متوالی تبخیر ناگهانی ، مایع به مقدار بسیار جزئی تبخیر شود نتیجه حاصله از مجموع این مراحل معادل با یک عمل تقطیر جزئی یا تقطیر ساده خواهد بود ) .

تقطیر ناگهانی : Flash Distillation

تقطیری است که در آن یک نسبت محسوسی از مایع به سرعت به بخار تبدیل میشود. در چنین روشی است که بخار نهایی در تعادل با مایع نهایی است .این روش هم اکنون بطور گسترده در نمک زدایی از آب دریا به کار می رود .

تقطیر ناپیوسته : Batch Distillation

تقطیری است که در آن نمونه ای که باید تقطیر شود ابتدا وارد محفظه ای می شود و محفظه پر می شود ، پس از آنکه محفظه پر شد ، فرآیند شروع میشود و محصول در صورت لزوم ، تنها از کندانسور برج یا واحد بیرون کشیده می شود .این نوع تقطیر در مواردی استفاده می شود که محصول تولیدی کم باشد .

تقطیر پیوسته : Continuous Distillation

تقطیری است که در آن یک خوراک که معمولاً ترکیب اجزاء ثابتی دارد بطور مداوم به برج تقطیر خورانده می شود و محصول بطور مداوم از بالا ، پایین و گاهی اوقات از وسط آن بیرون کشیده می شود .

**معمولاً در مواردی که باید محصول زیادی تولید شود ، مثل سوخت جت ، بنزین ، مونومرهای پلاستیک و غیره مورد استفاده قرار می گیرد .**

تقطیر دو جزئی : Binary Distillation

**نوع دیگری از تقطیر است که فقط بین دو ماده شیمیایی صورت می گیرد . یک مثال خوب در این مورد جداسازی اتیل الکل ( اتانول) از آب است . اغلب مباحث پایه ای تقطیر و بسیاری از کارهای تئوری انجام شده روی تقطیر بر اساس تقطیر دو جزئی بوده است . علت این امر این است که این نوع تقطیر بسیار ساده است .**

تقطیر چند جزئی : Multi-component Distillation

**در واقع این نوع تقطیر، اغلب جداسازیهای مواد در مخلوطی بیش از دو جزئی است . یک مثال خوب برای این مورد پالایش نفت خام است . نفت خام یک ترکیب پیچیده از هیدروکربن ها است که بدون اغراق باید گفت که حاوی صدها ماده مختلف می باشدکه ما فعلاً بیشتر آنها را نه می توانیم استخراج کنیم و نه تولید کنیم . در حال حاضر می توان گفت که همه تقطیرهای صنعتی چندجزئی هستند . روشهای تئوری و تجربی تقطیر جند جزئی می توانند خیلی پیچیده باشند .**

جزء به جزء کردن : Fractionation

**عموماً این تقطیر جداسازی اجزاء یک مخلوط یا یک ترکیب پیچیده است . در تقطیر این عمل توسط یک برج یا ستون که در آن بخار به سمت بالا و مایع به سمت پایین حرکت می کند و در نتیجه آن یک تماس متقابل بوجود می آید ، انجام می شود .**

عریان کردن : Stripping

**بطور ساده عبارت است از جداسازی اجزاء به نسبت فراریت از مخلوط مایعات توسط تقطیر ، تبخیر یا عبور دادن بخار ، هوا یا دیگر گازها از میان مخلوط مایع .**

یکسو سازی : Rectification

**غنی سازی بخار حاصل از فرآیند در طی تقطیر توسط تماس و اثر متقابل با یک جریان متقابل از مایع متراکم شده حاصل از بخار .**

تراکم جزئی : Partial Compression

**تراکم جزئی بخار حاصله از فرآیند تقطیر برای تولید یک مایع غنی تر در یک نقطه جوش بالاتر از اجزاء سازنده آن ماده نسبت به بخار اولیه است .**

**بخار باقیمانده در نقطه جوش پایین تر از اجزاء سازنده اش غنی تراست .**

**تقطیر جزء به جزء :** Fractional Distillation

**تقطیری است که در آن از** Rectification **برای تولید محصولات تقریباً خالص (البته تا جایی که ممکن است) استفاده می شود .یک قسمت از بخار متراکم می شود و مایع حاصله توسط سینی ها و مواد آکنه در برج در تماس بیشتری با بخار قرار می گیرد . این اصطلاح همچنین برای هر نوع تقطیری که در آن محصولات جدا از هم جمع آوری شده و نقطه جوش مشابهی داشته باشند نیز بکار برده می شود .**

**تقطیر استخراجی :** Extractive Distillation

**نوع متفاوتی از تقطیر است که معمولاً با استفاده از برج تقطیر جزئی انجام می شود و مشخصه بارز آن اضافه کردن یک ماده با هدفی خاص به مواد ورودی با هدف تعدیل خصوصیات بخار حاصله از موادی که در حال تقطیر ند , است . ماده اضافه شده معمولاً حلال نامیده می شود و فراریت آن بسیار کمتر از تمامی موادی است که قرار است تقطیر شوند . این ماده معمولاً در نزدیکی بالای برج به مایع جریان برگشتی که به سمت پایین حرکت می کند اضافه می شود و در ریبویلر در پایین برج جدا می شود .اضافه کردن فورفورال به بوتادی اِن و بوتن برای سهولت در جداسازی بوتادی اِن مثالی از این نوع تقطیر است .**

**تقطیر تخریبی :** Destructive Distillation

**فرآیندی است که روی موادی با محتوای کربن بسیار بالا انجام می شود ، مثل زغال سنگ ،** Oil Shale **و** Tar Sand **. این فرآیند در دمای بالا و در غیاب هوا و اکسیژن صورت می گیرد که نتیجه آن تجزیه به جامد ، مایع و گاز است . اگر محصول نهایی ، کربن جامد باشد معمولاً کلمه** Carbonization **استفاده می شود . اصطلاحات دیگری که همان معنی** Destructive Distillation **را دارند،** Pyrolysis **و تجزیه حرارتی می باشد البته تقریباً .**

**تقطیر با بخار آب :** Hydro Distillation or Steam Distillation

**تقطیر توسط بخار ، جداسازی روغنهای ویژه و بخصوص از اجزاء گیاهان ( گلها ، برگها ، پوست و غیره ) توسط استفاده از بخار بسیار داغ می باشد . این فرآیند بطور عمده در صنایع عطر و رایحه سازی مورد استفاده قرار می گیرد .**

**تقطیر آزئوتروپ :** Azeotropic Distillation

**نوعی از تقطیر است که به مخلوط اولیه که ممکن است حاوی دو یا چند ماده باشد و مواد تشکیل آزئوتروپ بدهند ، ماده سومی اضافه میکنند تا بتوان کار جداسازی را انجام داد . با این عمل آزئوتروپ یا آزئوتروپ ها نقطه جوششان نسبت به حالت اولیه تغییر کرده و جداسازی اجزاء به سهولت بیشتری انجام می شود ( در یک نقطه آزئوتروپ جزء جرمی ماده مورد نظر در مایع و بخار یکی است و جداسازی در این حالت امکان پذیر نیست ) .**

**تقطیر در خلاء :** Vaccum Distillation

**تقطیری است در یک فشار پایین تر از فشار اتمسفریک اما نه آنقدر زیاد که تحت تقطیر مولکولی طبقه بندی شود . این نوع تقطیر برای مواد با نقطه جوش بالا و حساس به حرارت مثل ویتامین ها ، اسید های چرب و نفت ، مفید و مورد استفاده است .**

**تقطیر فوق خلاء یا مولکولی :** Molecular or High Vaccum Distillation

**به تقطیر در فشار پایین در حدود ۰/۰۰۱ میلیمتر جیوه گفته می شود .یک تقطیر مولکولی بر اساس این حقیقت انجام می شود که فاصله بین سطح مایع در حال تقطیر با کندانسور کمتر از مسیر آزاد متوسط ( میانگین فاصله طول مسیرهای طی شده در برخورد های متوالی ) در فشار و دمای عملیاتی است . این فرآیند برای مواد با حساسیت فوق العاده به دما مثل داروها و همچنین برای مواد با نقطه جوش فوق العاده بالا مثل گلیسیرید ها و بعضی از ویتامینها مناسب و مورد استفاده است .**

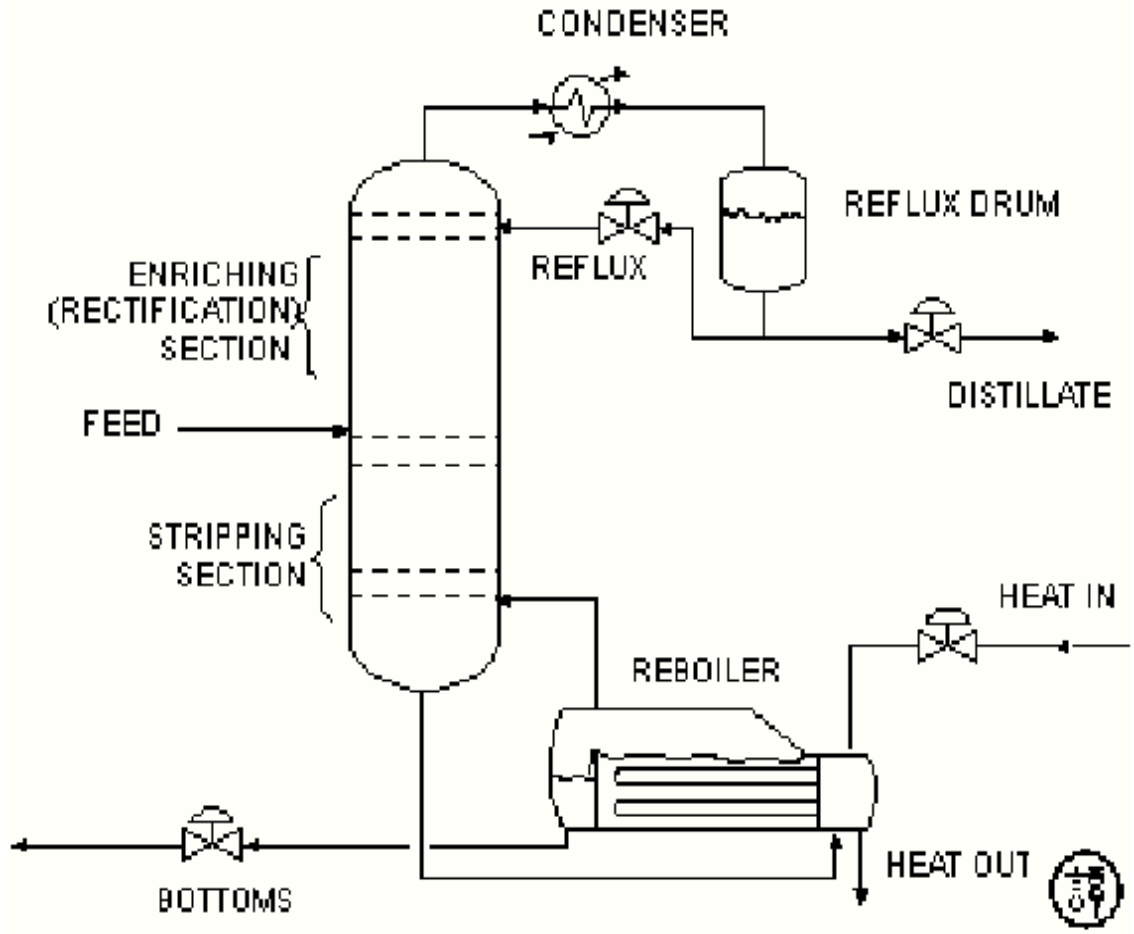
**در این مقاله سعی بر ان است که نمایی کلی از برج تقطیر سینی دار و چگونگی طراحی آن و مقایسه ای کلی با برج های پرشده انجام شود .**

**بطور کلی برج تقطیر شامل ۴ قسمت اصلی زیر می باشد:**

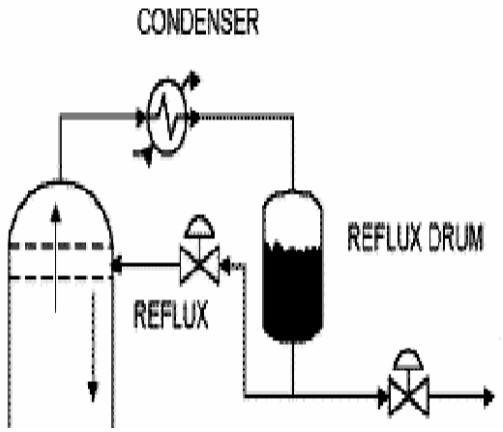
1. **برج** (Tower)
2. **سیستم جوشاننده** (Reboiler)
3. **سیستم چگالنده** (Condensor)
4. **تجهیزات جانبی شامل : انواع سیستمهای کنترل کننده ، مبدلهای حرارتی میانی ، پمپها و مخازن جمع آوری محصول .**

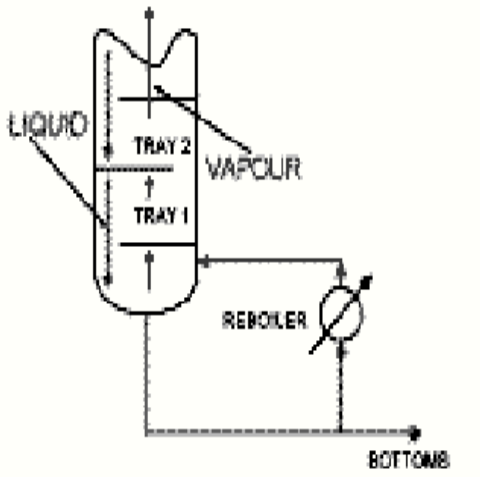
**اصولاً چه برج تقطیر سینی دار و چه برج تقطیر حاوی پرکن از همین تجهیزات شاید با بعضی تجهیزات کمکی برای مصارف و هدفهای خاصی باشند .**

## شمایی از یک برج تقطیر




## نمایی از بالا و پایین برج



## برج (Tower)

**بطور کلی برجهایی که در صنعت جهت انجام عمل تقطیر مورد استفاده قرار می گیرند، به دو دسته اساسی تقسیم می شوند :**
**۱. برجهای سینی دار (Tray Towers)**
**۲. برجهای پرشده (Packed Towers)**

**برج های سینی دار بر اساس نوع سینی های به کار رفته در آن به چهار دسته تقسیم می شوند :**

**۱. برجهای سینی دار از نوع کلاهکی (فنجانی) (Bubble Cap Tray Towers)**
**۲. برجهای سینی دار از نوع غربالی (Sieve Tray Towers)**
**۳. برجهای سینی دار از نوع دریچه ای(Valve Tray Towers)**
**۴. برجهای سینی دار از نوع فورانی (Towers Jet Tray)**

**هر کدام از انواع برجهای مذکور دارای مزایا و معایبی هستند که در بخشهای بعدی مورد بحث قرار خواهند گرفت .**

## طرز کار یک برج سینی دار :

**بطور کلی فرآیندی که در یک برج سینی دار اتفاق می افتد، عمل جداسازی مواد است . همانطور که ذکر شد فرآیند مذکور به طور مستقیم یا غیرمستقیم انجام می پذیرد . در فرآیند تقطیر منبع حرارتی (Reboiler) ، حرارت لازم را جهت انجام عمل تقطیر و تفکیک مواد سازنده یک محلول تأمین می کند . بخار بالا رونده از برج با مایعی که از بالای برج به سمت پایین حرکت می کند ، بر روی سینی ها تماس مستقیم پیدا میکنند . این تماس باعث ازدیاد دمای مایع روی سینی شده و نهایتا باعث نزدیک شدن دمای مایع به دمای حباب می گردد . با رسیدن مایع به دمای حباب به تدریج اولین ذرات بخار حاصل می شود .**
**این بخارات غنی از ماده فرار (ماده ای که از نقطه جوش کمتری و یا فشار بالاتری برخوردار است) می باشد . از طرفی دیگر در فاز بخار موادی که از نقطه جوش کمتری برخوردار هستند ،**

تحت عمل میعان قرار گرفته و بصورت فاز مایع به سمت پایین بـرج حرکـت مـی کنـد . مهمترین عملکرد یک برج ایجاد سطح تماس مناسب بین فازهای بخار و مایع است . هـر چه سطح تماس افزایش یابد عمل تفکیک با راندمان بالاتری صورت می گیرد . البته رژیم جریان مایع بر روی سینی نیز از جمله عوامل مهم بر عملکرد یک برج تفکیک می باشد .

## مزایا و معایب تقطیر :

در تقطیر ، تفاوت بین فاز جدید و فاز اصلی در میزان گرما یا انرژی آنها اسـت . حـرارت معمولاً بسادگی داده و یا گرفته می شود . ولی مسلماً هزینه چنین عملیاتی باید در نظـر گرفته شود .

محدودیت این روش عبارتست از : در تقطیر به منظور تغییر توزیـع سـازندگان محلـول نمیتوان از میان حلالهای موجود حلالی را که دارای بالاترین اثر جداسازی باشد به عنوان یک ماده خارجی به محلول افزود . چون گازی که در اثر گرما از فاز مایع حاصـل میشـود مسلماً از همان سازندگانی خواهد بود که در مایع نیز موجود می باشند .

چون فاز گاز از نظر شیمیایی شباهت زیادی با فاز مایع دارد لذا تغییرات حاصل در ترکیب نسبی که از توزیع کنندگان بین دو فاز ناشی میشود معمولاً چندان زیاد نیست در واقـع گاهی اوقات تغییر در ترکیب نسبی به اندازه ای ناچیز است که فرآیند غیر عملی میشود . حتی ممکن است هیچ نوع تغییری در ترکیب نسبی به وجود نیاید . بنـابراین جداسـازی مستقیم و تهیه محصولات خالص بدون نیاز به عملیات بعدی که معمـولاً توسـط تقطیـر امکان پذیر است .

یکی از عوامل مهم در تقطیر فراریت نسبی $\alpha$ است ، هر چه اختلاف بـین غلظتهـای فـاز مایع و بخار بالاتر بوده و جداسازی مواد توسط فرآینـد تقطیـر آسـانتر و بهتـر صـورت میگیرد . این معیار همان ضریب تفکیک یا فراریت نسبی است .

در واقع میتوان اساس کار جداسازی و به خصوص تقطیر را جدا کردن یک سری از مواد با ضریب فراریت نسبی بیان کرد . برای نوشتن یکسری از معادلات لازم است فرضـهایی را انتخاب کرد که عبارتند از :

۱- دو جزئی بودن سیستم

۲- جزء فرار A و جزء غیر فرار B

۳- تبعیت از قانون رائول

۴- در تعادل بودن مایع با بخار

۵- ایده آل بودن بخار

**ضریب فراریت نسبی**

$$\alpha_{AB} = \frac{\left(\frac{Y}{X}\right)_A}{\left(\frac{Y}{X}\right)_B}$$

**در رابطه بالا :**

**$\alpha_{AB}$ : ضریب فراریت نسبی**

**Y: کسر مولی در فاز گاز (جزء فرار A و جزء غیر فرار B)**

**X : کسر مولی در فاز مایع (جزء فرار A و جزء غیر فرار B)**

$$P_A^S \times X_A = PY_A \rightarrow \left(\frac{Y}{X}\right)_A = \frac{P_A^S}{P} \quad \Rightarrow \alpha_{AB} = \frac{P_A^S}{P_A^S}$$

$$P_B^S \times X_B = PY_B \rightarrow \left(\frac{Y}{X}\right)_B = \frac{P_B^S}{P}$$

**اشاره به این نکته ضروری است که چون P تابعی از دما است لذا ضریب فراریت نسبی هم تابعی از دما است .**

**در عمل ، تقطیر را با یکی از دو روش اصلی زیر میتوان انجام داد :**

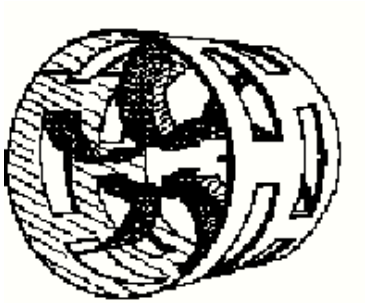
**۱ – این روش بر مبنای تولید بخار است ، و در آن مخلوط مایعی که باید جداسازی شود جوشیده و بخار حاصل چگالیده میشود بدون این که هیچ مایعی به دستگاه تقطیر برگردانده شود .**

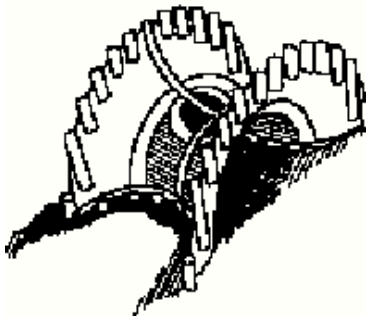
**۲ - این روش بر مبنای برگشت قسمتی از مایع چگالیده شده به دستگاه تقطیر است به طوری که این مایع برگشتی با بخارهایی که در حال ورود به چگالنده اند به خوبی تماس میگیرد .**

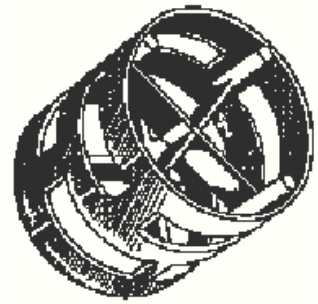
**هر یک از این دو روش را به صورت فرآیندهای پیوسته یا ناپیوسته میتوان انجام داد . البته در بالا درباره مایع برگشتی (Recycle) و تقطیر صحبت شد .**

**نمایی از چند نوع پر کن و سینی می بینیم :**

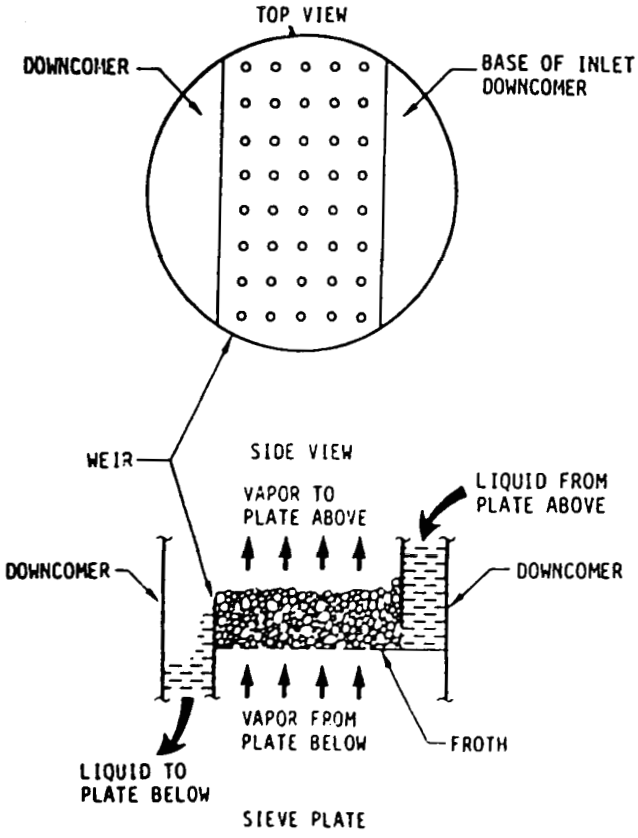
# پرکن ها

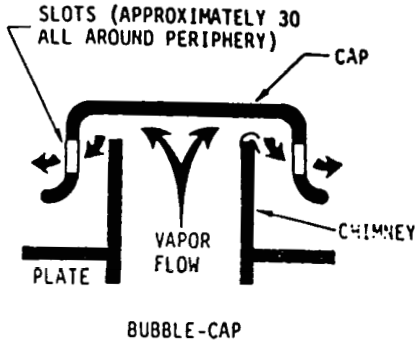


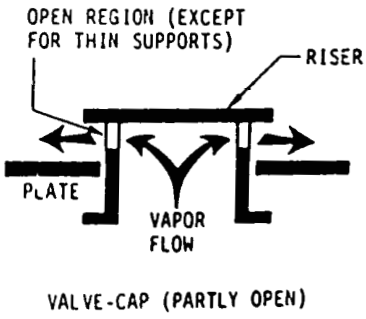




# سینی ها



عملیات تقطیر در برجهای استوانه ای انجام میشود که دارای تعدادی سینی است . محصول خروجی از برج همیشه مایع است و ممکن است چند محصول متفاوت از برج جدا شود ، مانند برج تقطیر اتمسفریک پالایشگاهها .

مایع بالای برج را محصول تقطیر شده و مایع خارج شده از پایین برج Bottom میگویند.

در واقع میتوان گفت که برج تقطیر یکسری برجهای تبخیر ناگهانی Flash Dram است سینی هایی که در برج تعبیه شده به بدنه برج ، پرچ یا پیچ و یا جوش داده می شود که نمونه ای از این اتصالات را در آینده می بینید . در برجهای تقطیر صنعتی و استاندارد فاصله هر سینی از هم نباید کمتر از (1 ft) باشد پس اگر تعداد سینی های یک برج (n) باشد لذا فضای سینی ها برابر (n+1)ft است . برای اینکه بخار از فاصله بین سینی ها عبور نکند در سینی ها حفره هایی تعبیه می کنیم .

قرارگیری و آرایش این سینی نیز به نوبه خود در میزان انتقال جرم مفید است زیرا این حفره ها سطح تماس بین بخار و مایع را افزایش داده در نتجه انتقال جرم بیشتر شده و غلظت ماده با ارزش در خروجی محصول بیشتر میشود . هر نوع پرکن یا حفره یا سینی هزینه مخصوص به خود در طراحی ، انعطاف پذیری در مقابل تغییرات ، کارایی و ..... دارد برای این منظور می توان از جدول زیر استفاده کرد :

**TABLE 1** Relative Performance Ratings[a] of Trays and Packings

| | Trays | | | Packings | |
|---|---|---|---|---|---|
| Parameter | Bubble-cap | Sieve | Valve | High-void | Normal |
| Vapor capacity | 3 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Liquid capacity | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| Efficiency | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| Flexibility | 5 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| Pressure drop | 3 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Cost | 3 | 5 | 4 | 1 | 3 |

[a] 5 = Excellent; 4 = very good; 3 = good; 2 = fair; 1 = poor.
*Source:* Fair and Bolles, 1968.

مهمترین عاملی که در برجهای تقطیر مورد نظر است تعادل ماده ما بین دو فاز مایع و بخار است . بازده برج به عوامل زیر بستگی دارد :

۱- بزرگ بودن سطح تماس مایع و بخار که هرچه بیشتر باشد تبادل و جداسازی بهتر انجام میشود . در برجهای سینی دار افزایش سطح با افزایش تعداد سینی در برجهای سینی دار و در برجهای پرکن با افزایش تعداد پرکن این کار صورت میپذیرد .

البته باید توجه داشت که با افزایش تعداد سینی در برجهای سینی دار و در برجهای پرکن با افزایش تعداد پرکن طول برج زیاد شده و در نتیجه آن هزینه های مربوط به طراحی برج سیر صعودی دارد .

۲- زمان تماس بین دو فاز بخار و مایع هر چه بیشتر باشد راندمان بهتری حاصل میشود . برای افزایش این پارامتر میتوان دبی ها را به حالت بهینه تبدیل کرد یا افزایش سطح تبادل داد .

۳- طرز و نوع جریان مایع و بخار در داخل برج در راندمان مؤثر است .

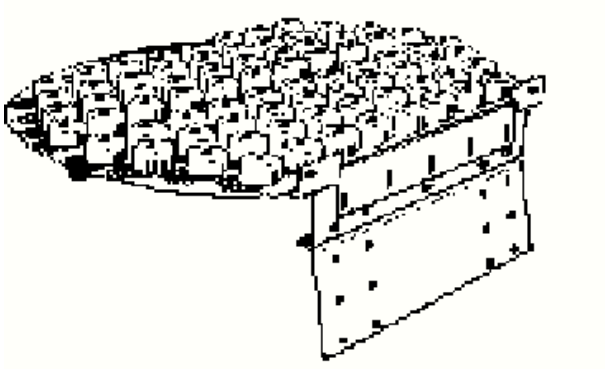
با توجه به آنچه گفته شد در برجهای سینی دار از چهار نوع سینی استفاده می شود ، اما سه نوع آن بیشتر کاربرد دارد :

۱- برجهای سینی دار از نوع کلاهکی (فنجانی) Bubble Cap Tray Towers

تعداد معینی سوراخ در سینی ایجاد می شود و روی آن یک کلاهک که تقریباً لبه آن تا کف سینی می رسد نصب می شود . دور این کلاهک ها را به صورت مثلث و یا مستطیل سوراخ کرده اند و یا لبه آنها را به این دو شکل کنگره داده اند . تهیه این سینی ها و نصب آنها مشکل می باشد و در ضمن افت فشار بخار در این برجها تا حدودی بیشتر از حالت بعدی است .

در برجهای تقطیر با سینی کلاهکی ، تعداد سینی ها در مسیر برج به نوع انتقال ماده و شدت تفکیک بستگی دارد . قطر برج و فاصله میان سینی‌ها به مقدار مایع و گاز که در واحد زمان از یک سینی می‌گذرد ، وابسته است . هر یک از سینی‌های برج ، یک مرحله تفکیک است زیرا روی این سینی ها ، فاز گاز و مایع در کنار هم قرار می‌گیرند و کار انتقال ماده از فاز گازی به فاز مایع یا برعکس در هر یک از سینی‌ها انجام می‌شود .

برای اینکه بازدهی انتقال ماده در هر سینی به بیشترین حد برسد ، باید زمان تماس میان دو فاز و سطح مشترک آنها به بیشترین حد ممکن برسد .



بخشهای مختلف برج تقطیر با سینی کلاهکی عبارتست از :

- **بدنه و سینی ها :** جنس بدنه معمولا از فولاد ریخته است . جنس سینی‌ها معمولا از چدن است . فاصله سینی‌ها را معمولاً با توجه به شرایط طراحی ، درجه خلوص و بازدهی کار جداسازی بر می‌گزینند . در بیشتر پالایشگاههای نفت ، برای برجهای تقطیر به قطر 4ft فاصله میان 18 – 50 سانتیمتر قرار می دهند . با بیشتر شدن قطر برج ، فاصله بیشتری نیز برای سینی‌ها در نظر گرفته میشود .

- **سرپوشها یا کلاهکها :** جنس کلاهکها از چدن می‌باشد . نوع کلاهکها با توجه به نوع تقطیر انتخاب می‌شود و تعدادشان در هر سینی به بیشترین حد سرعت مجاز عبور گاز از سینی بستگی دارد .

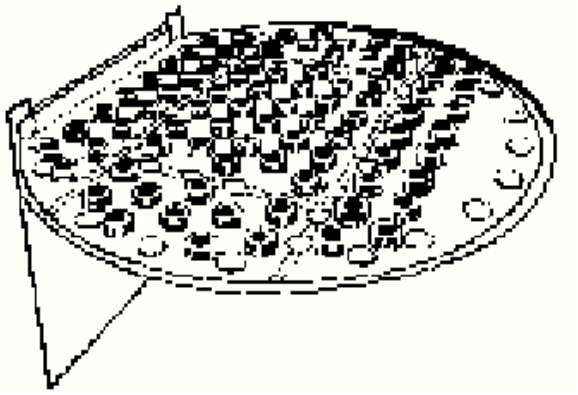
- **موانع یا سدها :** برای کنترل بلندی سطح مایع روی سینی ، به هر سینی سدی به نام وییر (Wier) قرار می‌دهند تا از پایین رفتن سطح مایع از حد معنی جلوگیری کند . بلندی سطح مایع در روی سینی باید چنان باشد که گازهای بیرون آمده از شکافهای سرپوشها بتوانند از درون آن گذشته و زمان گذشتن هر حباب به بیشترین حد ممکن برسد . بر اثر افزایش زمان گذشتن حباب از مایع ، زمان تماس گاز و مایع زیاد شده ، بازدهی سینی‌ها بالا می‌رود .

۲-برجهای سینی دار از نوع غربالی Sieve Tray Towers

تمام سینی مورد نظر به اندازه مساوی سوراخ می شود مایع روی سینی قرار میگیرد و بخار از زیر سینی توسط سوراخ ها وارد مایع گشته و از آن میشود . مزیت این سینی راحتی تهیه و نصب آن داخل برج میباشد و عیب آنها محدود بودن قطر سوراخ ها است .

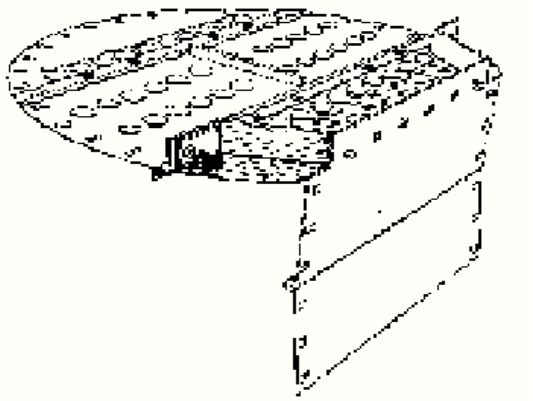
**اگر کمی بزرگتر انتخاب شود بخار نمی تواند مایع روی سینی را نگه دارد و مـایع ریـزش می کند و بازده کاهش می یابد و اگر کوچک انتخاب شود با مدتی کـار کـردن سـوراخها گرفته میشود و راه عبور بخار بسته میشود . در برجهای با سینی غربالی ، اندازه مجراها یا شبکه‌ها باید چنان برگزیده شوند که فشار گاز بتواند گاز را از فاز مایع با سرعتی مناسب عبور دهد .**

**عامل مهمی که در بازدهی این سینی ها موثر است، شیوه کارگذاری آنها در بـرج اسـت . اگر این سینی ها کاملا افقی قرار نداشته باشند ، بلندی مایع در سطح سـینی یکنواخـت نبوده و گذر گاز از همه مجراها یکسان نخواهد بود . خورندگی فلز سینی ها هـم در ایـن نوع سینی ها اهمیت بسیار دارد . زیرا بر اثر خورندگی ، قطر سوراخها زیاد می‌شود که در نتیجه مقدار زیادی بخار با سرعت کم از درون آن مجاری خورده شده گذر خواهد کرد . و می‌دانیم که اگر سرعت گذشتن گاز از حد معینی کمتر گردد ، مایع از مجرا به سوی پایین حرکت کرده بازدهی کار تفکیک کاهش خواهد یافت .**



**۳- برجهای سینی دار از نوع دریچه ای** Valve Tray Towers

**در این سینی ها کنگره ها توسط فنجانها یا کلاهک های قابل حرکت به بالا پوشیده شده است . جریان بخـار کلاهـک هـا را بلنـد میکند ، بنابراین بخار فضایی بـرای عبـور جریانش ایجاد میکند . ایـن بلنـد کـردن کلاهک ها جریان بخار را به داخل مایع بـه صورت افقی هـدایت مـی کنـد . در ایـن سینی اختلاط بهتر از سینی های غربـالی امکان پذیر است .**



**این نوع سینی ها مانند سینی های غربالی هستند . با این اختلاف که دریچه‌ای متحرک روی هر مجرا قرار گرفته است .**
**در صنعت نفت ، دو نوع از این سینی ها بکار می‌روند :**

1. **انعطاف پذیر : همانطور که از نام آن برمی‌آید ، دریچه‌ها می‌توانند بین دو حالت خیلی باز یا خیلی بسته حرکت کنند .**

2. **صفحات اضافی : در این نوع سینی ها ، دو دریچه یکی سبک که در کف سینی قرار می گیرد و دیگری سنگین که بر روی سه پایه‌ای قرار گرفته ، تعبیه شده است . هنگامیکه بخار کم باشد ، تنها سرپوش سبک به حرکت در می‌آید . اگر مقدار بخار از حد معینی بیشتر باشد ، هر دو دریچه حرکت می‌کنند .**

## مقایسه انواع گوناگون سینی‌ها :

**در صنعت نفت ، انواع گوناگون سینی‌ها در برجهای تقطیر ، تفکیک و جذب بکار برده می‌شوند . ویژگیهایی که در گزینش نوع سینی برای کار معینی مورد توجه قرار می‌گیرد ، عبارت است از :**

- **بازدهی تماس بخار و مایع**
- **ظرفیت سینی**
- **افت بخار در هنگام گذشتن از سینی**
- **زمان ماندن مایع بر روی سینی**
- **مشخصات مایع و ... .**

**چون در صنعت بیشتر سینی‌های کلاهکدار بکار برده می‌شوند ، برای مقایسه مشخصات سینی‌های دیگر ، آنها را نسبت به سینی‌های کلاهکدار ارزیابی می‌کنند .**

## برجهای پر شده :

**در برجهای پرشده ، بجای سینی‌ها از تکه‌ها یا حلقه‌های پـرکن اسـتفاده مـی‌شـود . در برجهای پرشده حلقه‌ها یا تکه‌های پرکن باید به گونه‌ای برگزیده و در برج ریختـه شـوند که هدفهای زیر عملی گردد :**

۱. **ایجاد بیشترین سطح تماس میان مایع و بخار**

۲ . **ایجاد فضا مناسب برای گذشتن سیال از بستر پرکن**

**جنس مواد پر کننده** :

**این مواد باید چنان باشند که با سیال درون برج ، میل ترکیبی نداشته باشند .**

استحکام مواد پرکننده :

**جنس مواد پرکننده باید به اندازه کافی محکم باشد تا بر اثر اسـتفاده شکسـته نشـده و تغییر شکل ندهد .**

شیوه قرار دادن مواد پرکننده :

**مواد پرکننده به دو صورت منظم و نامنظم درون برج قرار می‌گیرند .**

۱. **پر کردن منظم : از مزایای این نوع پر کردن ، کمتر بودن افت فشار است کـه در نتیجه می‌شود حجم بیشتر مایع را از آن گذراند .**

۲. **پر کردن نامنظم : از مزایای این نوع پر کردن ، می‌توان به کـم هزینـه بـودن آن اشاره کرد . ولی افت فشار بخار در گذر از برج زیاد خواهد بود .**

## مقایسه برجهای پرشده با برجهای سینی‌دار :

۱- **در برجهای پرشده ، معمولا افت فشار نسبت به برجهای سـینی‌دار کمتـر است . ولی اگر در مایع ورودی برج ، ذرات معلق باشد ، برجهای سینی‌دار**

بهتر عمل می‌کنند . زیرا در برجهای پرشده ، مواد معلق ته‌نشین شـده و سبب گرفتگی و برهم خوردن جریان مایع می‌گردد .

۲- اگر برج بیش از حد متوسط باشد ، برج سینی‌دار بهتر است . زیرا اگـر در برجهای پرشده قطر برج زیاد باشد ، تقسیم مـایع در هنگـام حرکـت از بستر پرشده یکنواخت نخواهد بود .

۳- در برجهای سینی‌دار می‌توان مقداری از محلول را به شـکل فرآینـدهای کناری از برج بیرون کشید ولی در برجهای پرشده این کار، شدنی نیست .

۴- کارهای تعمیراتی در درون برجهای سینی‌دار ، آسانتر انجـام مـی‌گیـرد . تمیز کردن برجهای انباشته ، از آنجا که باید پیش از هر چیز آنها را خالی کرده و بعد آنها را تمیز نمایم ، بسیار پرهزینه خواهد بود .

## طراحی :

یک برج تقطیر را به دو روش طراحی میکنند :

در طراحی یک برج مقصود این است که تعداد سینی ، ارتفاع و قطر یک برج را محاسـبه کنیم . یک برج تقطیر را به دو روش ترسیمی طراحی میکنند :

۱- روش مک کیب : McCabe - Theile Method

در این روش بر اساس اطلاعات تعادلی یک سیستم برای مثال سیسـتم آب – متـانول و بدون در نظر گرفتن مسئله انتقال حرارت تعداد سینی های ایده آل را بدست می آوریم .

۲- روش پانچون – ساواریت : Ponchon – Savarite Method

در این روش مسئله انتقال حرارت وارد میشود و با در نظر گرفتن انتقال حرارت تعـداد سینی های ایده آل بدست می آید .

اگر محاسبه تعداد سینی های تئوری از دو روش زیاد تغییر نکرد و حدود ۱ یا ۲ سینی بود نشان دهنده اینست که در هر دو روش کار طراحی درست انجام شده است و اگر اختلاف داشت به این معنی است که استفاده از روش مک کیب بهتر و اصولی تر است . با بدسـت آوردن تعداد سینی های ایده آل این تعداد را در ۲ ، ۲/۵ و یا ۵ برای بدست آوردن تعداد سینی واقعی ضرب می کنیم .

فرض می کنیم که زمان تماس آنقدر بوده که به اندازه کافی مایع و بخار به تعادل رسیده و همچنین اینکه مایع در جریان ، اشباع و در حد نقطه جوش و بخار اشباع و در نقطه شبنم قرار دارد و فقط تغییر فاز وجود دارد .

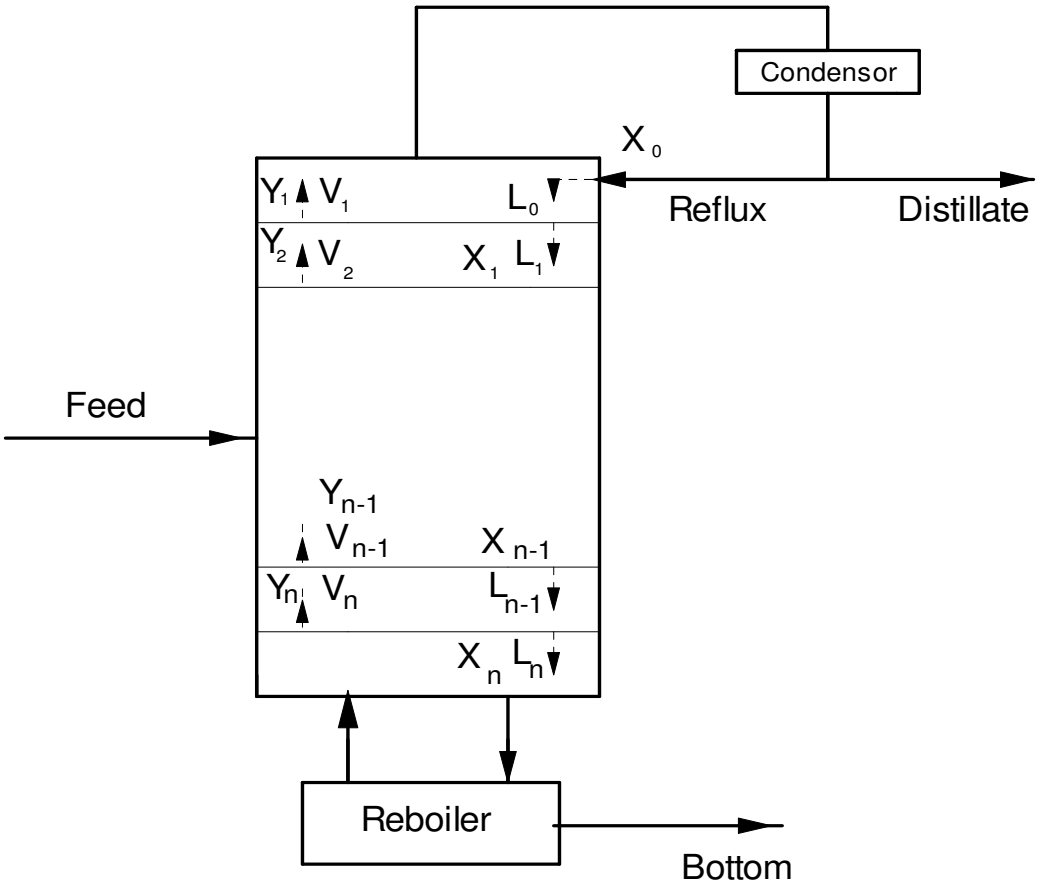
**با فرض اینکه فشار در داخل برج افت نمی کند دمای پایین برج از بالای برج بیشتر است . تعداد سینی برای جداسازی به ضریب فراریت بستگی دارد و با تعداد سینی کم هم میتوان به خلوص مورد نظر رسید :**

| سیستم | ضریب فراریت نسبی | تعداد سینی برای جداسازی |
|---|---|---|
| $NH_3 - H_2O$ | ۹/٦ | ٦ |
| $CH_3OH - H_2O$ | ۳/٦ | ۱۰ |
| Banzene - Toluene | ۲/٥ | ۳۰ |
| $H_2O - CH_3COOH$ | ۱/۳ | ۷۰ |

**قراردادها :**

**۱- سینی ها را از بالا به پایین شماره گذاری می کنند .**

**۲- خروجی هر سینی اندیس همان سینی را می گیرد .**



**موازنه جرم سینی اول :** $V_2 + L_0 = V_1 + L_1$

**موازنه جرم سینی اول به صورت جزئی :** $V_2Y_2 + L_0X_0 = V_1Y_1 + L_1X_1$

**معادله خط تبادل سینی اول :** $$Y_2 = \frac{L_1}{V_2} X_1 + \frac{V_1Y_1 - L_0X_0}{V_2}$$

**در برج مایع و بخاری که اندیس یکسان دارند در حال تعادل باهم و مایع و بخاری که اندیس یکسان ندارند در حال تبادل با یکدیگر هستند .**

**سینی n ام :** $V_{n+1} + L_0 = V_1 + L_n \Rightarrow$

$$V_{n+1}Y_{n+1} + L_0X_0 = V_1Y_1 + L_nX_n$$

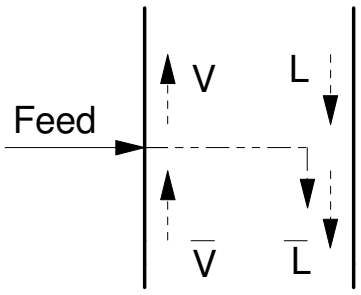
$$\Rightarrow \quad Y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} X_n + \frac{V_1Y_1 - L_0X_0}{V_{n+1}}$$

بررسی حالتهای مختلف ورود خوراک به برج :

**الف ) خوراک مایع سرد : خوراک پس از ورود به برج از بخار پایین سینی خوراک کسب انرژی می کند و به مایع اشباع تبدیل می شود و همینطور هم مقداری از بخار نیز سرد شده و به مایع اشباع تبدیل می گردد .**

**f = مقدار مول بخاری که به ازای ورودی یک مول خوراک به برج اضافه میشود .**

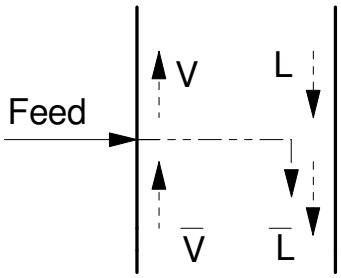
**q = انرژی لازم برای تبدیل یک مول خوراک به بخار اشباع تقسیم بر $\lambda$ خوراک .**




$$\bar{L} \rangle L \qquad f \langle 0.0$$

$$\bar{V} \rangle V \qquad q \rangle 1.0$$

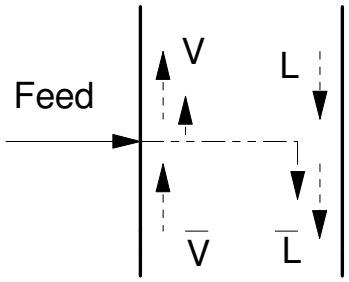
**ب ) خوراک مایع اشباع : خوراک فقط به مایع داخل برج می افزاید .**




$$\bar{L} = L + F \qquad f = 0.0$$

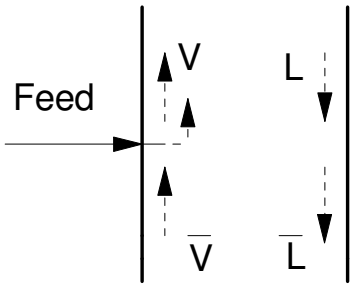
$$\bar{V} = V \qquad q = 1.0$$

**پ ) خوراک مخلوطی از مایع و بخار اشباع : خوراک مقداری به فاز بخار و مقداری به فـاز مایع می افزاید .**



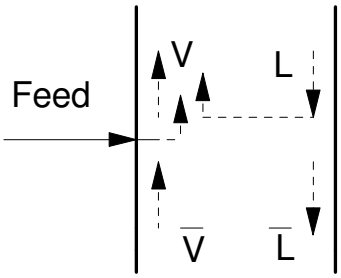

$$\overline{L} \rangle L \qquad 0.0 \langle f \langle 1.0$$
$$\overline{V} \rangle V \qquad 0.0 \langle q \langle 1.0$$

**ت ) خوراک بخار اشباع : خوراک ورودی به مقدار بخار داخل برج می افزاید .**




$$V = \overline{V} + F \qquad f = 1.0$$
$$\overline{L} = L \qquad q = 0.0$$

**ث ) خوراک بخار داغ : خوراک مقداری از مایع اشباع داخل برج را به بخار اشباع تبـدیل کرده و خود به بخار اشباع تبدیل می شود .**

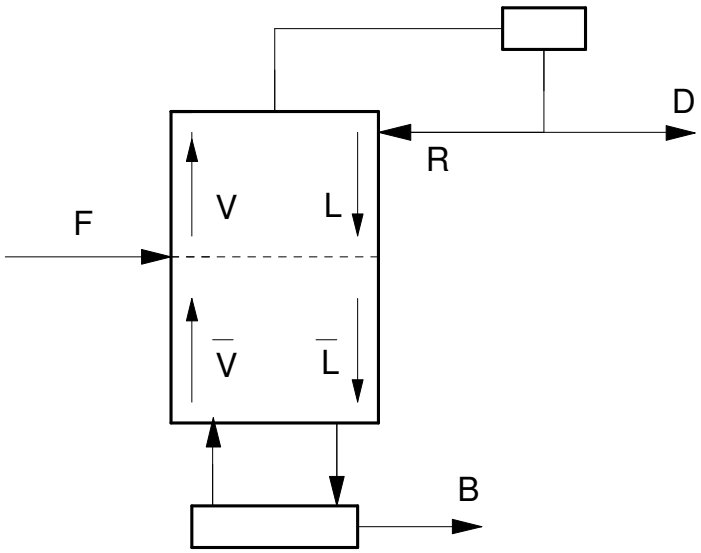



$$\overline{L} \langle L \qquad f \rangle 1.0$$
$$V \rangle \overline{V} \qquad q \langle 0.0$$

$$q + f = 1.0$$

**البته این یک بیان ریاضی است و هیچ مفهوم فیزیکی ندارد .**
**با توجه به روابط بالا می توانیم بنویسیم که :**

$$V = \overline{V} - fF$$
$$\overline{L} = L + (1 - f)F$$




**موازنه بالای سینی خوراک :**

$$V=L+D$$
$$VY=LX+DX_D \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Y=\frac{L}{V}X+\frac{D\times X_D}{V}$$

**خط تبادل بالای برج**

**موازنه بالای سینی خوراک :**

$$\overline{L}=\overline{V}+B \Rightarrow$$
$$\overline{L}X=\overline{V}Y+BX_B$$

$$\Rightarrow Y=\frac{\overline{L}}{\overline{V}}X-\frac{B\times X_B}{\overline{V}}$$

**خط تبادل پایین برج**

**نقطه تلاقی دو خط تبادل همان محل ورود خوراک به برج است لذا از قطع دادن دو خط $X_F$ بدست می آید .**

$$V=\overline{V}-fF \qquad F=D+B$$
$$\overline{L}=L+(1-f)F \qquad FX_f=DX_D+BX_B$$

**در نتیجه :**

$$Y = \frac{-(1-f)}{f} X + \frac{X_f}{f}$$

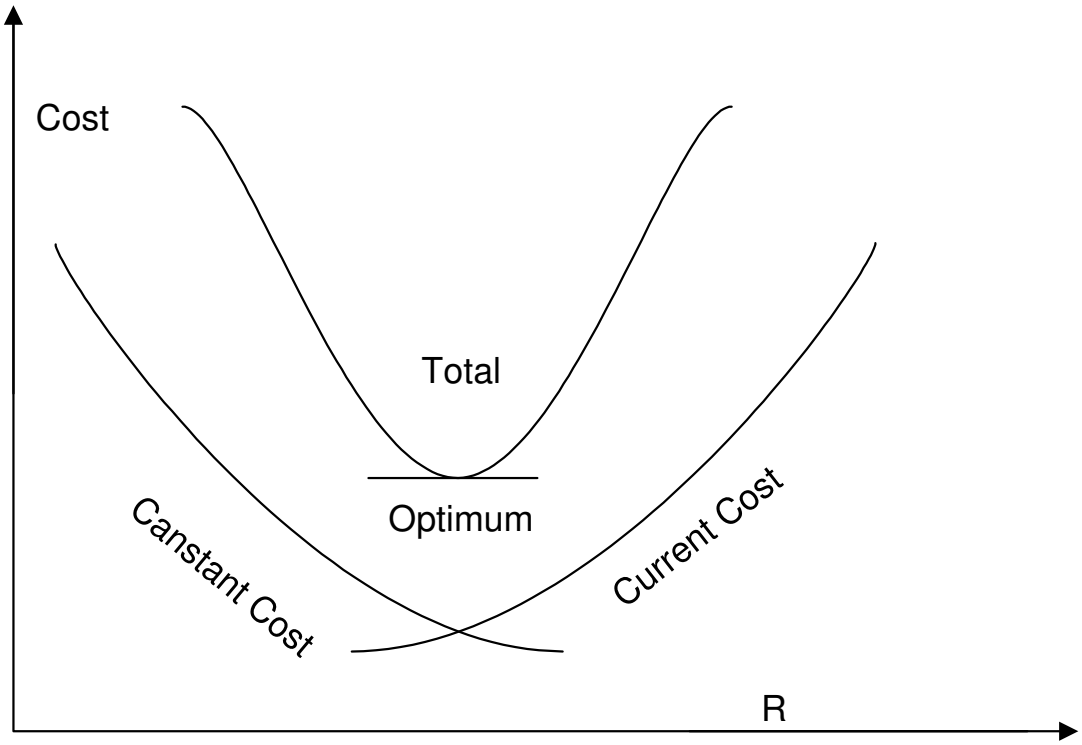
**خطوط تبادل قبلی را نمی توان رسم کرد چون مقادیر V و L و ... را نداریم پس فقط نقاط $X_D$ و $X_B$ و $X_f$ را روی منحنی X–Y رو خط عملیات مشخص می کنیم و با توجه به f خط خوراک را در نقطه $X_f$ رسم می کنیم .**

**اکنون می خواهیم خط تبادل بالای برج را با استفاده از نسبت برگشت بدست آوریم :**

$$\left.\begin{aligned} &\frac{L}{D} = R \\ &V = L + D \\ &Y = \frac{L}{V} X + \frac{D \times X_D}{V} \end{aligned}\right\} \longrightarrow \quad Y = \frac{R}{R+1} X + \frac{X_D}{R+1}$$

**از قطع دادن رابطه بالا با خط قطری داریم :** $X=X_D$

**مقدار برگشتی یا نسبت برگشتی R دست ما است . با تغییر R تعداد سینی ها نیز دچـار تغییر می شود و همچنین در طراحی یک برج باید مقدار هزینه هایی که نسبت برگشـتی به سیستم تحمیل می کند در نظر گرفت و تعداد سینی بهینه را بدست آورد .**



تعداد سینی  جریان برگشتی

$$R_{\infty} \rightarrow N_{\min}$$

$$R_{\min} \rightarrow N_{\infty}$$

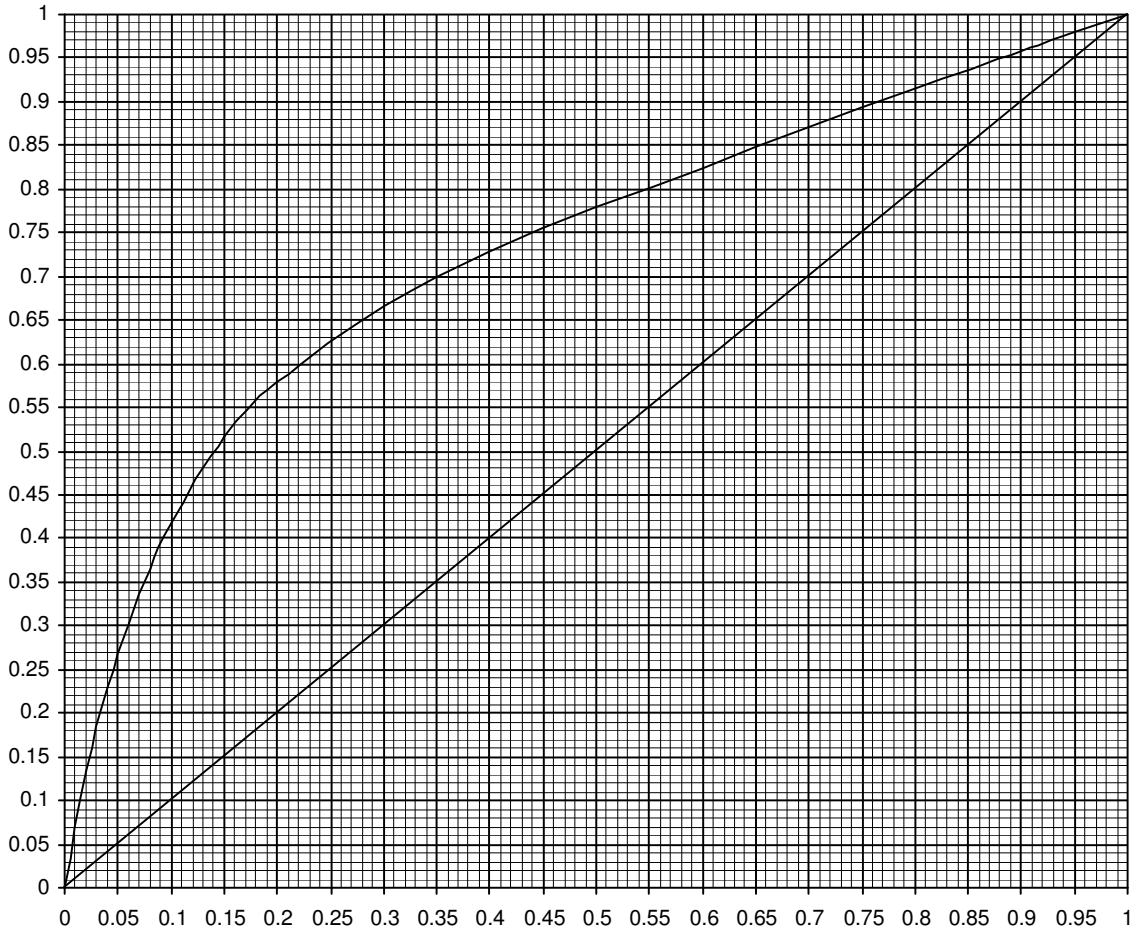
این روش ها ترسیمی است در روش مک کیب منحنی X–Y را رسم کرده و خط قطری یا خط عملیات Operating Line را رسم کرده نقاط $X_D$ ، $X_F$ و $X_B$ که از معلومات مسئله است روی خط قطری مشخص می کنیم . در مک کیب دبی های داخل برج را بدون تغییر فرض می کنیم و تمام سیالات در داخل برج اشباع می باشند . ولی کیفیت مایع و بخار سینی به سینی تغییر می کند . و همچنین در سینی n ام ، $X_n$ برابر با $X_B$ و در سینی اول $X_0$ برابر $X_D$ است . چون بخار $V_1$با کسر مولی $Y_1$ کندانس شده و به $X_0$ و D تبدیل شده لذا $Y_1$ با $X_0$ برابر است .

## مراحل طراحی برج تقطیر از روش مک کیب :

۱ – بدست آوردن D و $X_D$ و B و $X_B$ و f از موازنه جرم کلی و موازنه انرژی و از روابط داده شده در بالا .

۲ – رسم منحنی تعادل با استفاده از داده های تعادلی سیستم مورد نظر .

## منحنی تعادلی آب - متانول



**۳ – رسم خط خوراک از $X=X_f$ با شیب :**

$$\frac{-(1-f)}{f}$$

**۴ – از نقطه $X_D$ به محل تلاقی خط خوراک و منحنی تعادلی وصل می کنیم و ادامه میدهیم تا محور عرضی را قطع کند محل تلاقی خط رسم شده با محور عرضی عبارتست از :**

$$\frac{X_D}{R_{\min}+1}$$

**۵ – با معلوم بودن $X_D$ مقدار $R_{min}$ را مشخص می کنیم .**

**۶ – با توجه به نسبت برگشت مایع برگشتی به برج مقدار R بهینه را بدست می آوریم :**

$$R_{Opt} = R \times R_{\min}$$

**۷ – با استفاده از $R_{Opt}$ ، از نقطه $X_D$ به نقطه زیر روی محور عرضی وصل می کنیم (خط تبادل بالای برج ) :**

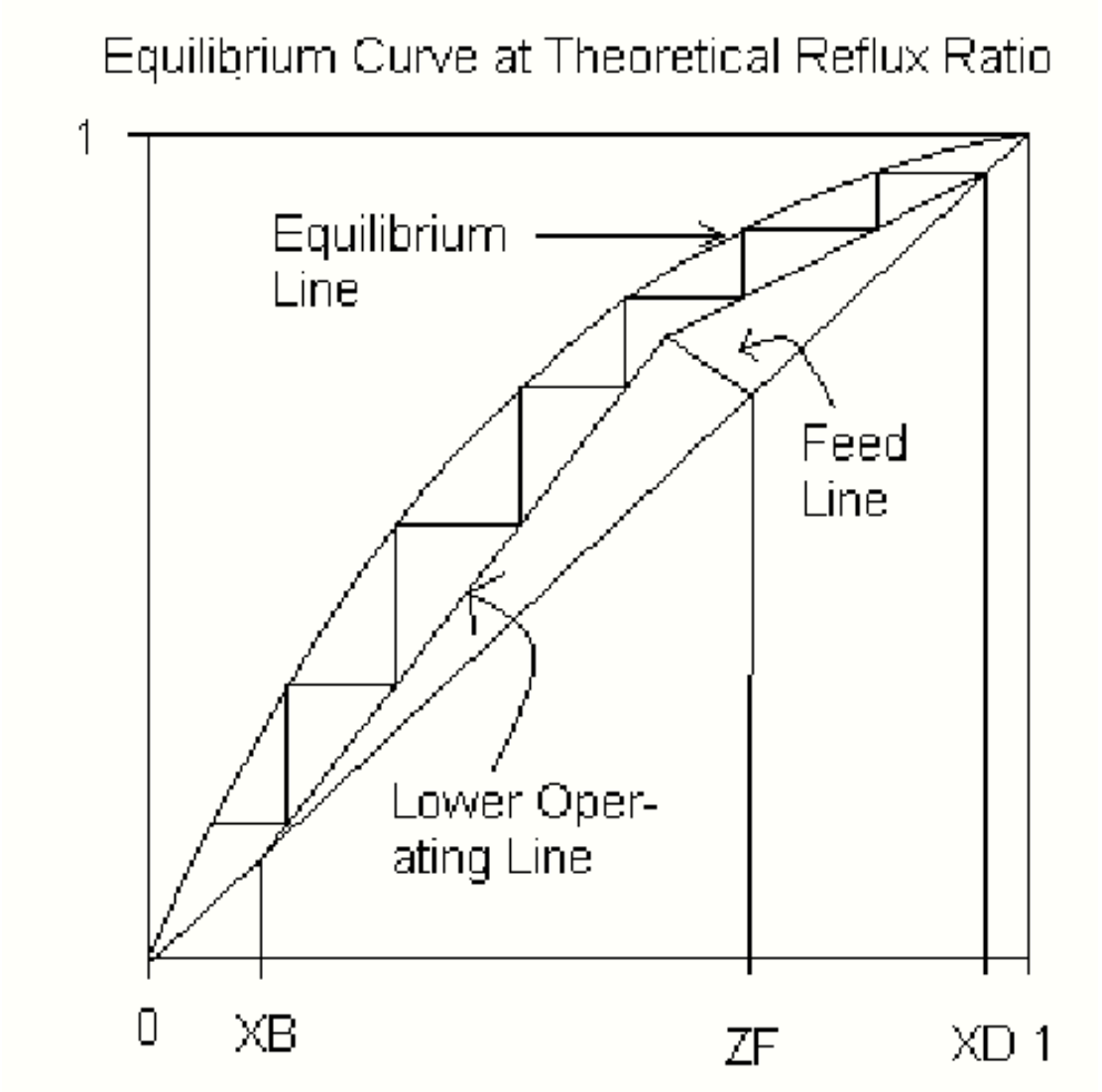
$$\frac{X_D}{R_{Opt}+1}$$

**۸ – از محل تلاقی خط بالای برج با خط خوراک به نقطه $X_B$ وصل می کنیم (خط تبادل پایین برج ) .**

**۹ – از نقطه $X_D$ شروع به رسم پلکان می کنیم ، به صورت افقی و عمودی تا از $X_B$ بگذرد یا با آن تلاقی پیدا کند . برای محاسبه کیفیت بخار – مایع هر سینی می توان با استفاده از رأس پلکان استفاده نمود . با پیدا کردن کیفیت بخار – مایع هر سینی با استفاده از روابط زیر می توان دبی سیال در بین سینی مورد نظر را پیدا کرد .**

$$R_{Opt} = \frac{L}{D} \Rightarrow L = R_{Opt} \times D \qquad V = L + D$$

$$\overline{V} = V - fF$$




## کندانسورها :

**کندانسورها مبدل های حرارتی پوسته لوله ای ( Shell & Tube) هستند که وظیفه آنها تغییر فاز است که بخار اشباع را به مایع اشباع تبدیل می کند . مبنای طراحی کندانسورها ، بر پایه تفاوت گاز و بخار استوار است. گاز در بالاتر از دمای بحرانی است و بخار در پایین‌تر از دمای بحرانی قرار دارد . اگر مایعی بعد از حرارت در یکی از دو حالت گاز یا بخار باشد ، در حالت گاز و بالاتر از دمای بحرانی ، با تراکم هرگز نمی‌توان آن را مایع کرد ، ولی در حالت بخار و پایین‌تر از دمای بحرانی این عمل امکان‌پذیر است و کندانسورها بر پایه تبدیل بخار به مایع با تراکم استوار شده‌اند .**

## تقسیم بندی کندانسورها :

در تقسیم بندی کندانسورهاچند روش وجود دارد :

- تقسیم بندی نوع اول :

۱. کندانسورهای سطحی

۲ . کندانسورهای تماسی

کندانسور سطحی :

ساده‌ترین کندانسور سطحی ، مبرّدی است که در آزمایشگاهها وجود دارد . در این کندانسورها ، منبع سرمایی وجود دارد که گرمای بخار را می‌گیرد و به این ترتیب بخار ، به مایع تبدیل می شود . اگر مانعی مابین سرما و بخار وجود داشته باشد ، کندانسور از نوع سطحی است ، یعنی تماس منبع سرما و بخار ، غیر مستقیم است . از داخل مبرد ، بخار در جریان است و از خارج ، مایع سرد کننده عبور می‌کند .

کندانسور تماسی :

در کندانسورهای تماسی ، نحوه تماس منبع سرما با بخار به صورت مستقیم است و مانعی مابین آنها وجود ندارد . یک کندانسور تماسی ، از یک ستون با بشقابکهای متعدد تشکیل یافته است که مسیر حرکت بخار از پایین ستون به بالا و مسیر حرکت مایع از بالای ستون و از درون بشقابک بالایی به پایین ستون و بشقابکهای زیرین است . در کندانسور تماسی ، انتقال حرارت کامل است و اتلاف گرما وجود ندارد ، اما در بیشتر مواقع نمی‌توان این نوع تراکم را انجام داد ، چون جداسازی بسیار مشکل است .

راندمان کندانسورها :

راندمان کندانسور تماسی از کندانسور سطحی بیشتر است و این ، به آن علت است که کندانسور تماسی از مراحل مختلف و بشقابکهای متعدد تشکیل یافته است و مانند این است که عمل تراکم چندین بار تکرار می‌شود .

❖ **تقسیم بندی نوع دوم :**

۱. **کندانسورهای کلی**

۲. **کندانسورهای جزئی**

**کندانسورهای کلی :**

**کندانسورهایی هستند که در آنها تمام بخار ورودی تبدیل به مایع اشباع می شود .**

**کندانسورهای جزئی :**

**کندانسورهایی هستند که در آنها بخشی از بخار ورودی تبدیل به مایع و بخشی دیگر به صورت بخار اشباع خارج می شود .**

❖ **تقسیم بندی نوع سوم :**

۱- **مبدل افقی – میعان داخل پوسته و سیال سرد کننده داخل لوله است .**

۲- **مبدل افقی - میعان داخل لوله و سیال سرد کننده داخل پوسته است . از این نوع مبدل به ندرت به عنوان کندانسور استفاده میشود .**

۳- **مبدل عمودی - میعان داخل پوسته و سیال سرد کننده داخل لوله است .**

۴- **مبدل عمودی - میعان داخل لوله و سیال سرد کننده داخل پوسته است .**

## کندانسور برج تقطیر :

**کندانسوری که در برج تقطیر تعبیه شده است، یک مبدل حرارتی است. در داخل لوله‌های کندانسور برج تقطیر ، یک مایع سرد در جریان است که می‌تواند آب باشد، اما اگر محلول بالای برج ، فراریتش خیلی پایین باشد، برای کندانس کردن آن ، انرژی زیادی لازم است و باید از سیالاتی استفاده شود که درجه سردی‌اش زیاد باشد، مانند ازت مایع . همینطور زمانی از ازت مایع استفاده می‌گردد که دبی محصول بالایی زیاد باشد . کندانسور می‌تواند به صورت کامل عمل کند ، یعتی تمام بخار بالای برج را به مایع اشباع تبدیل کند و مایع برگشتی را تا نقطه حباب کندانس می‌کند .زمانی هم می‌تواند به صورت کندانس جزئی یا چگالش پاره‌ای عمل کند .**

**در مواقعی که نقطه جوش مایع فرار خیلی پایین باشد از کندانس جزئی استفاده میشود . همین طور زمانی که محصول بالایی برج به صورت بخار لازم باشد، کندانس جزئی بکار می‌آید و چگالش کامل لازم نیست . در چنین حالتی اگر زمان تماس دو فاز به حد کافی باشد و تعادل نسبی ایجاد شود، این مرحله ایده‌آل فرض می‌شود و بالای برج خود ، کندانسور می‌شود .**

## هزینه کندانسور :

**با فرض اینکه آب مورد استفاده برای خنک کردن در $90^{o}F$ وارد شود و ضریب انتقال حرارت جابه جایی برابر 100 باشد سطح انتقال حرارت این مبدل عبارتست از :**

$$A_C = \left(\frac{\Delta H_V}{3000}\right) \times Ln\left(\frac{T_b - 90}{T_b - 120}\right) \times V$$

**$A_C$ : سطح مبدل حرارتی کندانسور ،**

**$\Delta H_V$ : آنتالپی تبخیر ،**

**$T_b$ : نقطه شبنم مایع استخراج شده ،**

**V : سرعت دبی جرمی .**

**هزینه نصب برای مبدل حرارتی برای کندانس کردن عبارتست از :**

$$C_C = \left(\frac{M\ \&\ S}{280}\right) \times 101.3 \times \left(2.29 + F_C\right) \times A_C^{0.65}$$

**$C_C$ : هزینه نصب کندانسور**

**$F_C$ : فاکتور تصحیح طراحی کندانسور**

**با فرض اینکه آب مورد استفاده برای خنک کردن در $90^{o}F$ وارد شود و ضریب انتقال حرارت جابه جایی برابر 100 باشد مقدار آب مورد نیاز برای خنک سازی عبارتست از :**

$$W_C = \left(\frac{\Delta H_V}{30}\right) \times V$$

$$C_C = 3.26 \times 10^{-4} \times \left(C.W.C\right) \times \left(\Delta H_V\right) \times V$$

$\Delta H_V$ : آنتالپی تبخیر ،

V : سرعت دبی جرمی ،

$C_C$ : هزینه کندانسور ،

$W_C$ : مقدار آب سرد مورد نیاز در کندانسور

C.W.C : هزینه آب سرد کننده .

## ریبویلر یا دوباره جوش آورها :

مبدل های حرارتی پوسته لوله ای ( Shell & Tube) هستند که وظیفه آنها تغییر فاز است که مایع اشباع را به بخار اشباع تبدیل می کند .

تقسیم بندی ریبویلرها :

۱- Forced Circulation Reboiler

۲- Horizental Thermosyphon Reboiler

۳- Kettle Reboiler

Forced Circulation Reboiler

مکانیزم انتقال حرارت در این مبدل Convective Boiling است . برای حرکت دادن سیال به داخل این مبدل از یک پمپ استتفاده می شود و سیال در حین حرکت تبخیر می گردد . این ریبویلر برای سیالات با ویسکوزیته بالا ، رسوب زا ، شرایط خلاء و سرعتهای تبخیر کم استفاده می شود .

Horizontal Thermosyphon Reboiler

مکانیزم انتقال حرارت در این مبدل هم از نوع Convective Boiling است . این ریبویلر به برج ارتفاع می دهند ، چون از انرژی پتانسیل سیال در ارتفاع استفاده میکند . از این وسیله برای سیالات با ویسکوزیته بالا و رسوب زا نمی توان استفاده کرد چون پمپ ندارد و برای فشارهای کمتر از ۰/۳ بار استفاده می شود .

Kettle Reboiler

مکانیزم انتقال حرارت در این مبدل ها از نوع Pool Boiling (جوش مخزنی ) است و شکل آن در شماتیک کلی برج در قبل دیده شد . از این ریبویلر در تقطیر زیاد استفاده می شود . در این ریبویلر Circulation مایع وجود ندارد و ضریب انتقال حرارت آن کوچکتر از دو نوع بالا است برای سیالات رسوب زا معمولاً Kettle Reboiler مناسب نیست .

**با توجه به پارامترهای زیر انتخاب ریبویلر میسر است :**
**الف) نوع سیال فرآیندی به لحاظ ویسکوزیته و رسوب زایی**
**ب) فشار عملیاتی (خلاء یا اتمسفریک )**
**ج) آرایش تجهیزات فرآیندی .**

## هزینه ریبویلر :

**هزینه نصب مبدل حرارتی ریبویلر برابر است با :**

$$C_R = \left(\frac{M\ \&\ S}{280}\right) \times 328 \times \left(\frac{\Delta H_V}{11250}\right)^{0.65} \times V^{0.65}$$

$\Delta H_V$ **: آنتالپی تبخیر پایین ،**
$V$ **: سرعت دبی جرمی ،**
$C_R$ **: هزینه نصب ریبویلر**

**اگر ما از بخار آب برای تولید گرما استفاده کنیم دما نیروی محرک نباید از** $30 - 40^oF$ **کمتر باشد تا از جوش فیلمی جلوگیری کند .**
**همچنین باید بیشترین ضریب انتقال حرارت را نیز در نظر گرفت چون ضریب انتقال حرارت بین بخار کندانس شونده و مایع جوش آمده بالا است بخار مورد نیاز از رابطه زیر بدست می آید :**

$$W_S = \left(\frac{\Delta H_V}{\Delta H_S}\right) \times V$$

$$C_S = 8.74 \times 10^{-3} \times S.C \times \Delta H_V \times V$$

$W_S$ **: مقدار بخار مورد نیاز در ریبویلر**
$S.C$ **: هزینه بخار**
$C_S$ **: هزینه نصب کندانسور**
$\Delta H_V$ **: آنتالپی تبخیر**
$\Delta H_S$ **: آنتالپی اشباع**
$V$ **: سرعت دبی جرمی .**

## هزینه برج تقطیر :

**رابطه زیر برای هزینه نصب و ساخت پوسته و سینی ها یک برج است که به قطر ، ارتفاع و گوناگونی برج وابسته است . همچنین طراح یک برج اثر فشار برج و جنس فلز سازنده برج را نیز باید در هزینه ها در نظر بگیرد :**

$$C_{DT} = \left( \frac{M \ \& \ S}{280} \right) \times 120 \times D_T \times H^{0.65} \times \left( 218 + F_C \right)$$

$C_{DT}$ : **هزینه پوسته و سینی ها**

$F_C$ : **فاکتور ملاحظات طراحی**

$D_T$ : **قطر برج**

$H$ : **ارتفاع برج**

## کل هزینه های برج :

$$\mathbf{TAC = Capital\ Cost\ /\ Payback\ Period + Operating\ Cost}$$

## مشکلات برج تقطیر :

**مشکلاتی که برای یک برج تقطیر ممکن است پیش بیاید به دو دسته تقسیم می شود :**

**۱- مشکلات مکانیکی**

**۲- مشکلات فرآیندی**

**مشکلات مکانیکی :**

**این مشکلات عبارتست از :**

- **کنده شدن سینی ها از جای خود**
- **شکستن پایه کلاهکها در انواع سینی های مختلف**

**این مشکلات به علت دبی زیاد بخار یا مایع روی می دهد .**

**مشکلات فرآیندی :**

**این مشکلات عبارتست از :**

- **رسوب کرفتگی حفرها (Fouling) : به علت استفاده از سیالات رسوب زا یا سوراخ شدن لوله های موجود در ریبویلر و کندانسور در اثر خورده شدن به وجود می آید .**

- **طغیان (Flooding) : ممکن است میزان مایعی که روی یک سینی را پوشانده است آنقدر زیاد شود که دیگر جایی برای عبور بخار باقی نگذارد . برای جلوگیری از این پدیده باید میزان دبی مایع در برج کنترل شود .**
- **بارش (Weeping) : اگر شدت مایع از شدت گاز بیشتر باشد چنانکه مایع از درون حفرات به جای اینکه از روی ناودانی به سمت سینی پایین منتقل شود انگاه با عمل اخلالگر بارش روبه رو هستیم .**

## قوانین سرانگشتی برج تقطیر :

**۱- ضخامت برج به طور استاندارد ۱۰ ، ۱۲ ، ۱۴ و ۱۶ میلیمتر است .**

**۲- ۵۰٪ فضای بین سینی ها برای عملکرد مطلوب برج باید همیشه خالی باشد .**

**۳- به طور استاندارد قطر کلاهک ها ۳ ، ۴ و ۶ اینچ است که از دیدگاه دانسیته بالاتر آنها ، نوع ۳ اینچ مطلوبترین است .**

**۴- فاصله بین کلاهک ها ۰/۲۵ تا ۱ برابر قطر آنها است .**

**۵- شکل یا هندسه حفرات به روی کلاهکها ، متعدد و متفاوت بوده که از دایره ای ، مثلثی ، مستطیلی و .... تا ذوزنقه ای میباشد که در موارد زیادی ذوزنقه ای بهترین جواب را داده است .**

**۶- هر سه کلاهک به روی سینی یک مثلث متساوی الاضلاع را تشکیل می دهد .**

**قطر برج تابعی از فاصله بین سینی های برج می باشد و ارتفاع برج قطر برج تابعی از فاصله بین سینی ها و تعداد واقعی سینی است .**

$$d_T \propto f(t)$$

$$H_T = (n+1)\times(t)$$

**در فرآیند جذب سرعت گاز و در فرآیند دفع از سرعت مایع استفاده می کنیم**

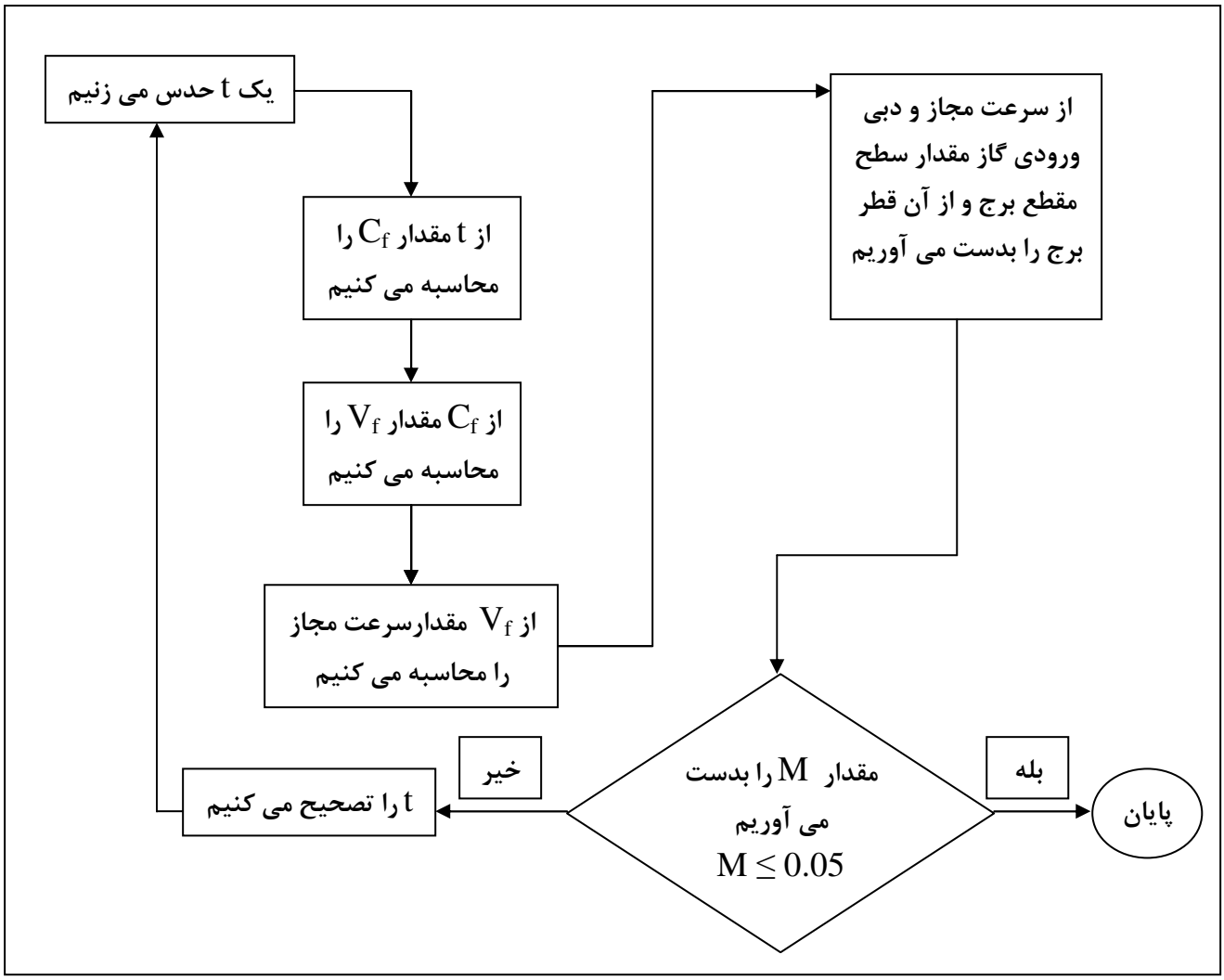
$$V_W \langle\langle V^G \langle V_f$$

$$V^G \cong V = (79\cdots85\%)\times V_f$$

**این درصدها منتج از ثبات توده کف آلود است . یعنی اگر توده کف آلود ثبات و پایداری کمی داشت از ۷۰٪ در غیر این صورت از ۸۵٪ و یا میانگین استفاده می کنیم .**

**از جدول موجود در کتاب تریبال $t$ و $d_t$ را می خوانیم و با استفاده از درون یابی و برونیابی مقدار را در الگوریتم دخالت می دهیم .**

## الگوریتم تعیین قطر و ارتفاع برج :




**سینی های غربالی**

$$C_F = \left[ a \times Log\left( \frac{1}{\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}} \right) + b \right] \times \left( \frac{\sigma}{20} \right)^{0.2} \times \left( \frac{5A_h}{A_a} + 0.5 \right)$$

**سینی های کلاهکدار**

$$C_F = \left[ a \times Log\left( \frac{1}{\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}} \right) + b \right] \times \left( \frac{\sigma}{20} \right)^{0.2}$$

b و a : توابع خطی از t

σ : کشش سطحی

$A_h$ : مساحت حفره

$A_a$ : مساحت فعال $A_h / A_a = (10 - 12)\%$

$$V_f = C_F \times \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$$

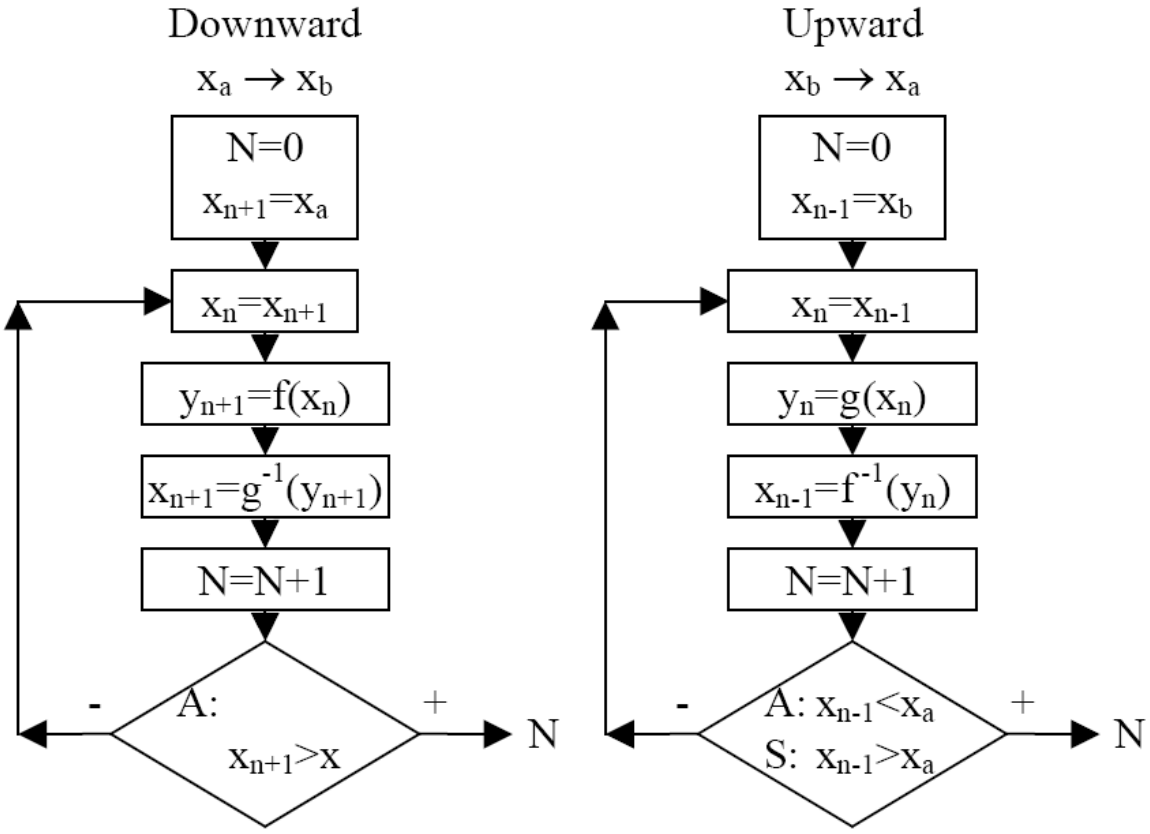
$\rho_G$ : دانسیته گاز

$\rho_L$ : دانسیته مایع

$$\left.\begin{aligned} Q &= V \times A_t \\ A_t &= \pi/4\, d_{T\&2}^2 \end{aligned}\right\} \longrightarrow d_{T\&2} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$M = \left| \frac{d_{T\&1} - d_{T\&2}}{d_{T\&1}} \right|$$

## الگوریتم تعیین تعداد سینی در برج :



$$\alpha = \frac{y(1-x)}{x(1-y)} \qquad N = \frac{x_n - x_b}{x_n - x_{n+1}}$$

$$y^* = g(x) = \frac{\alpha\ x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

$$x^* = g^{-1}(y) = \frac{\frac{1}{\alpha} y}{1 + (\frac{1}{\alpha} - 1)y} = \frac{y}{\alpha + (1-\alpha)y}$$

$$x_{n+1} = g^{-1}(y_{n+1}) = \frac{y}{\alpha + (1-\alpha)y}$$

$$y_{n+1} = f(x_n) = \frac{L}{V} x_n + \frac{Dx_D}{V}$$

$$y_{n+1} = f(x_n) = \frac{\overline{L}}{\overline{V}} x_n - \frac{Bx_B}{\overline{V}}$$

overall tray efficiency

$$\varepsilon = \frac{N}{N_{ACT}}$$

## منابع :


۱- Handbook of separation Techniques for Chemical Engineers by Philip A. Schweitzer(1997)

۲- Heat Exchanger , Design , Selection & Construction by E.A.D.Saunders(1988)

۳- Transfer Operation by Green Korn & Robert Albert(1928)

ترجمه : دکتر طاهره کاغذچی

۴- Oldershaw , C. F. Perforated Plate Columns for Analytical Batch Distillations, Ind. Eng. Chem. Vol 13, No 4 , 1991, 265-268

۵- Douglas, James. Conceptual Design of Chemical Processes. McGraw-Hill, Inc. 1988, Section A.3.

۶- http://lorien.ncl.ac.uk/ming/distil/distil0.htm

۷- http://mimshimi82.persianblog.com

۸- http://ingche.persianblog.com

۹- http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.php

۱۰- http://www.usb.ac.ir/fa/faculties/engineering/chemistry/unit operation lab.htm