فصل پنجم
برج های تقطیر

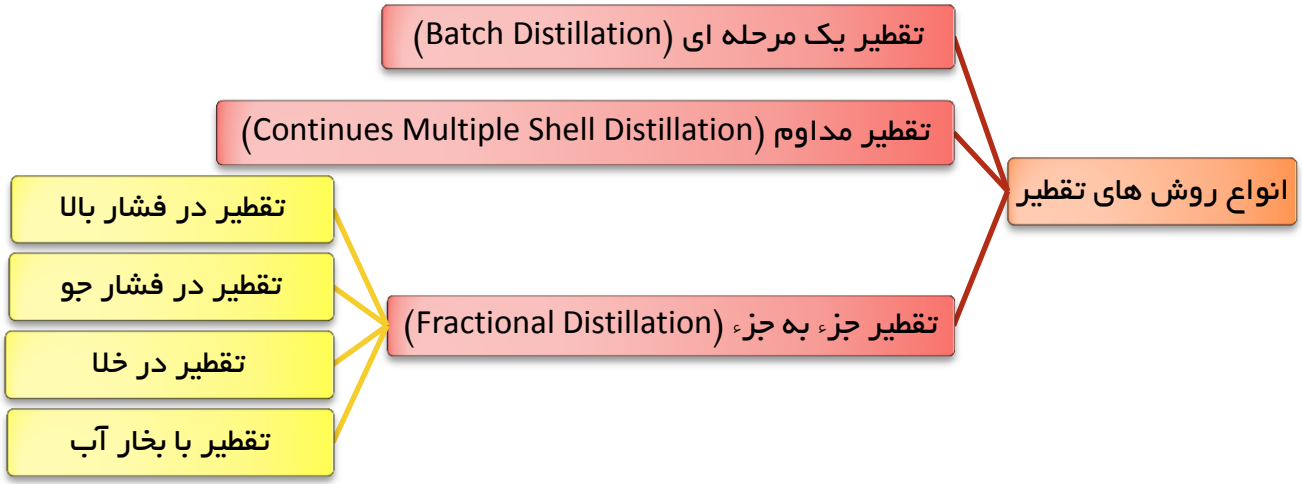
- تقطیر
- روش آزمایشگاهی تقطیر
- تعاریف اولیه
- انواع روش های تقطیر
  - تقطیر یک مرحله ای
  - تقطیر مداوم
  - تقطیر جزء به جزء
    - تقطیر در فشار بالا
    - تقطیر در فشار جو
    - تقطیر در خلا
    - تقطیر با بخار آب
- برج های تقطیر
  - برج های سینی دار
    - انواع سینی ها
      - سینی با کلاهک حبابی
      - سینی سوراخ دار(مشبک-غربالی)
      - سینی دریچه دار
      - سینی از نوع افشانکی(فورانی)
  - برج های انباشته(پر شده)
  - ساختمان پکینگ ها
- مقایسه برج های سینی دار و انباشته
- عمده ترین اشکالات یک برج
- ✓ منابع درس تفکیک گرها و برج های تقطیر

تصویر: مجتمع گازی پارس جنوبی

تقطیر

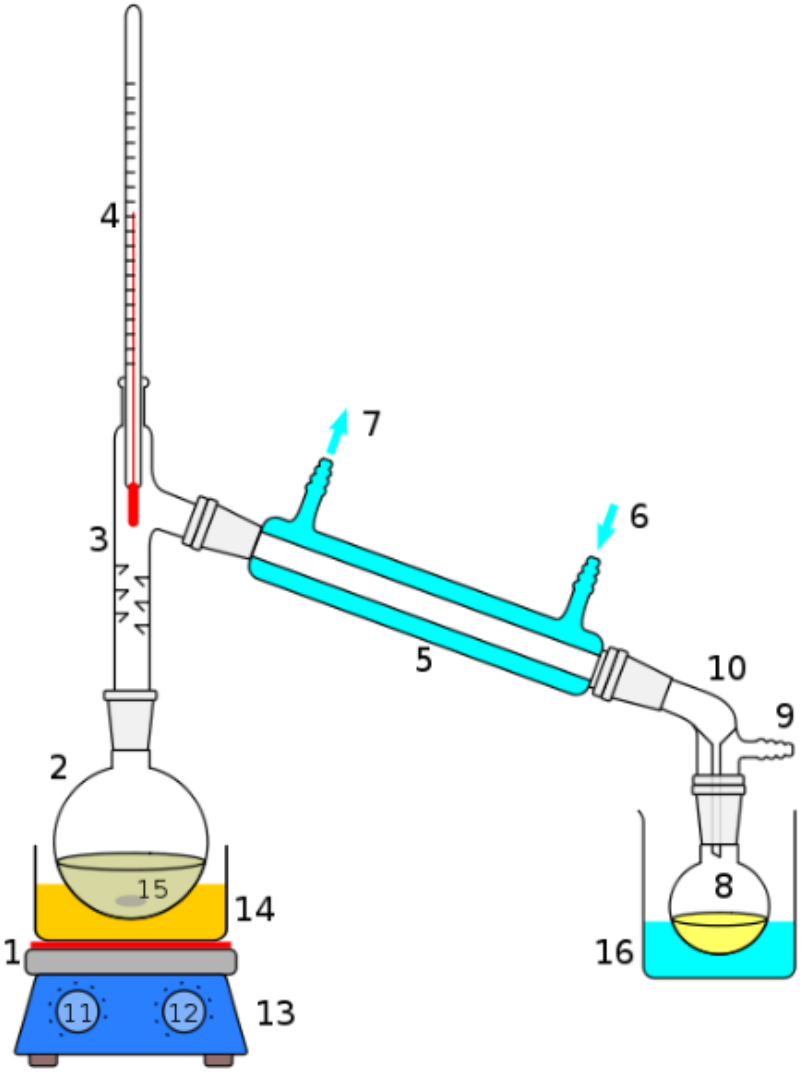
- **تقطیر:**
  - یک روش جداسازی بوده که بر اساس عمل تبخیر و میعان صورت می گیرد. بدین صورت که در ابتدا مخلوطی از چند جزء مختلف که دارای نقطه جوش متفاوتی هستند، در جوشنده(boiler) حرارت داده می شوند. در ادامه یک یا چند جزء موجود در مخلوط تبخیر شده و از مخلوط اولیه، جدا می شوند. در نهایت بخار حاصل طی یک فرآیند میعان به مایع تبدیل شده و بدین ترتیب اجزای مخلوط اولیه از هم جدا می شوند.
  - تقطیر یک فرآیند تفکیک فیزیکی بوده و هیچ واکنش شیمیایی در آن صورت نمی گیرد.
  - عمل تقطیر در مخازن بزرگی انجام می شود که غالبا استوانه ای شکل بوده و برج تقطیر نامیده می شوند.
- **انواع روش های تقطیر**

روش های متفاوتی جهت انجام عمل تقطیر وجود دارند. در این درس به سه مورد از مهمترین موارد تقطیر خواهیم پرداخت که عبارتند از:



روش آزمایشگاهی تقطیر

❖شکل زیر، نمونه ای از برج تقطیر در مقیاس آزمایشگاهی را نشان می دهد. در این روش که قبل از انجام تقطیر یک مخلوط در برج های تقطیر صنعتی صورت می گیرد، چگونگی تقطیر مخلوط در مقیاس آزمایشگاهی بررسی می شود.



❖مهمترین اجزای این دستگاه عبارتند از:

۱) گرمکن الکتریکی
۲) بالن تقطیر
۳) برج تقطیر
۴) دماسنج(برای تعیین دمای جوش)
۵) مبرد
۶) ورودی آب سرد
۷) خروجی آب سرد
۸) بالن جمع آوری محصول
۹) ورودی گاز یا خلاء
۱۰) جمع آوری کننده بخارات
۱۱) تنظیم کننده درجه حرارت
۱۲) تنظیم کننده سرعت همزن
۱۳) صفحه گرمکن
۱۴) حمام روغن یا شن
۱۵) همزن
۱۶) حمام آب سرد

تعاریف اولیه

❖ **تعاریف اولیه:**

- **خوراک تقطیر**

مخلوط ورودی به داخل برج تقطیر را در اصطلاح، خوراک(feed) می نامند. خوراک ممکن است گاز، مایع و یا سیال دوفازی گاز و مایع باشد.

- **محصول بالاسری**

آنچه که از بالای برج تقطیر به عنوان خروجی آن جمع آوری می شود، محصول بالاسری(Overhead Product) نامیده می شود. محصول بالاسری، غنی از جزء با نقطه جوش پایین تر است.

- **محصول ته مانده**

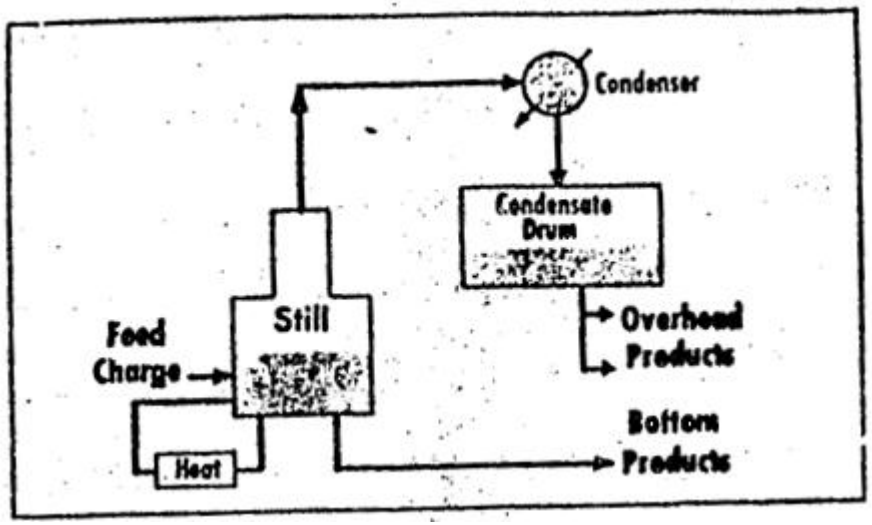
ماده ای که از پایین برج تقطیر خارج می شود، ته مانده و یا محصول انتهایی(Bottom Product) نامیده می شود. محصول ته مانده، غنی از جزء و یا اجزاء سنگین(با دمای جوش بالا) است.

- **نسبت برگشت(پس ریز)**

نسبت مولی و یا وزنی، مقدار مایع برگشتی به برج، به مقدار مایع و یا بخاری را که از برج خارج می شود را نسبت برگشت (Reflux Ratio) می نامند و آن را با R نشان می دهند.

تقطیر یک مرحله ای

- **تقطیر یک مرحله ای(ساده) :**
  - **این روش یکی از ابتدایی ترین روش ها جهت انجام عمل تقطیر بوده است.**
  - **در این روش، در ابتدا مقداری خوراک وارد برج تقطیر شده و دمای آن در دستگاه تقطیر(still) به صورت مرحله به مرحله افزایش یافته و محصولات بالاسری با توجه به دمای تعیین شده، بدست می آیند.**
  - **زمانی که خوراک داخل دستگاه تقطیر تا حداکثر دمای مورد نظر گرم شد، باقیمانده آن را تخلیه کرده و اجازه داده می شود تا دستگاه سرد شود.**
  - **پس از انجام عملیات فوق، خوراک جدید وارد شده و عمل تقطیر، تکرار می شود.**



تقطیر مداوم

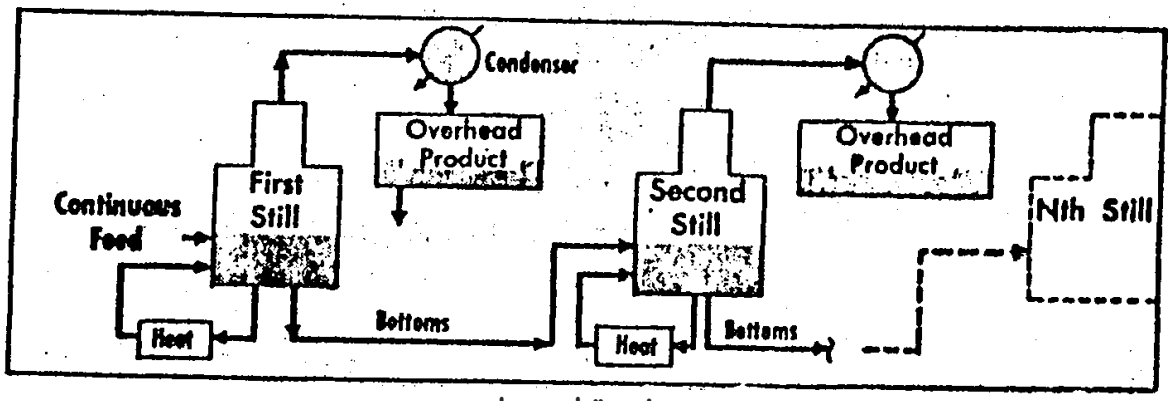
- **تقطیر مداوم (چند مرحله ای) :**
  - از چند دستگاه تقطیر یک مرحله ای که بصورت سری به هم وصل شده اند، تشکیل می شود.
  - خوراک برج اول بصورت مداوم جریان دارد.
  - دما در برج دوم بیشتر از برج اول و دمای برج سوم بیشتر از برج دوم بوده و این روند افزایش دما تا آخرین برج ادامه دارد.
  - محصول بدست آمده در بالای هر برج به درجه حرارت آن بستگی داشته و هرچه دمای یک برج بیشتر باشد، محصول بدست آمده سنگین تر است.
  - تعداد برج ها به تعداد محصولات مورد نظر بستگی دارند.
  - چنانچه کیفیت خوراک و یا درجه حرارت برج تغییری نداشته باشد، کیفیت محصول هر برج تقریبا ثابت می ماند.

- **راه های افزایش کیفیت و درصد خلوص محصول در تقطیر مداوم**

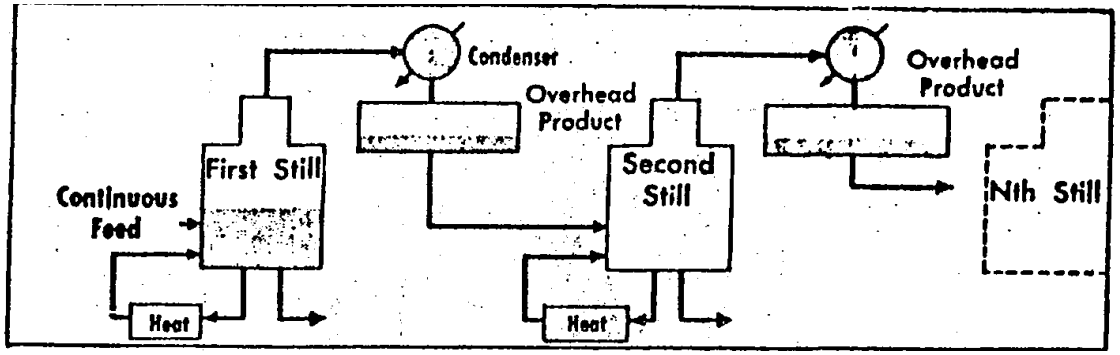
۱) می توان محصول بالاسری هر برج را پس از مایع کردن به برج بعدی هدایت کرده و این عملیات را برای برج های بعد نیز تکرار نمود. نتیجه این روش، تولید محصول با کیفیتی مناسب خواهد بود.

۲) در روش دوم، می توان محصول بالاسری هر برج را پس از مایع کردن دوباره به همان برج برگرداند(reflux) و عمل تقطیر را برای آن تکرار کرد. با این روش می توان کیفیت مایع برگشتی را بالا برد.

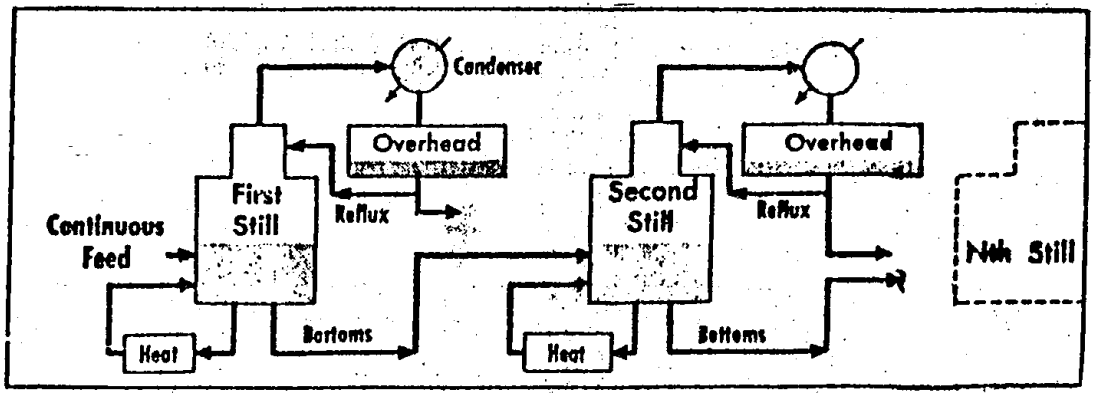
- در ادامه به روش تقطیر جزء به جزء خواهیم پرداخت که تکامل یافته روش تقطیر مداوم است.
- شکل های صفحه بعد، نحوه انجام عمل تقطیر مداوم و راه های افزایش کیفیت و درصد خلوص محصول را بصورت شماتیک نشان می دهند.



روش تقطیر مداوم



افزایش کیفیت محصول به روش اول



افزایش کیفیت محصول به روش دوم

تقطیر جزء به جزء

تقطیر جزء به جزء

- همانطور که در بخش قبل بیان شد، تقطیر جزء به جزء توسعه یافته روش تقطیر مداوم است.
- امروزه در واحد های بزرگ صنعتی، از این روش تقطیر استفاده می شود.
- در این روش، معمولا خوراک داغ از پایین یک برج تقطیر وارد شده و در راستای عمود به سمت بالا حرکت می کند.
- در پایین برج که دما بیشتر است محصولات سنگین تر تولید می شوند. با حرکت به سمت بالا دما کاهش یافته و محصولات سبک تری تولید می شوند.

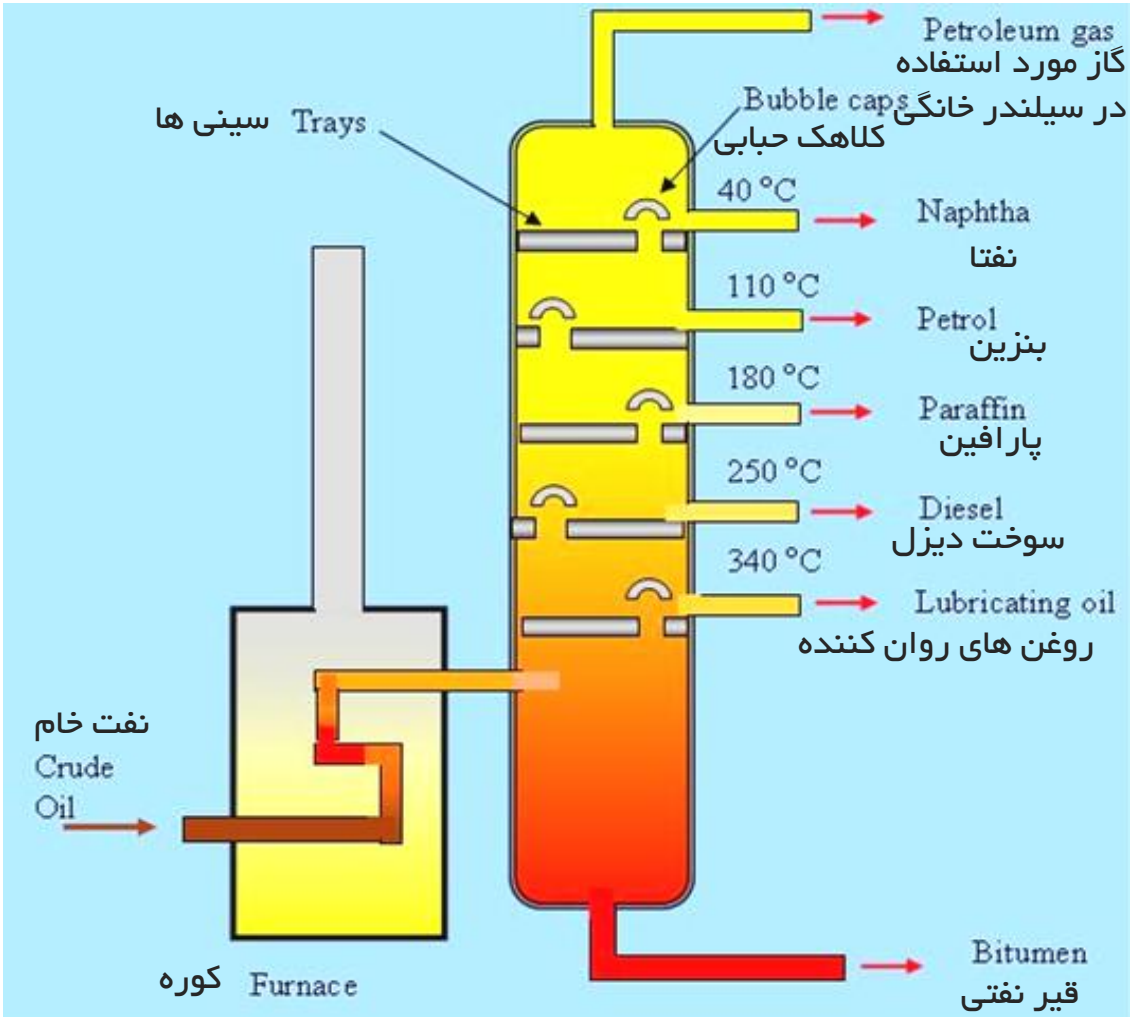
- برج های تقطیر مورد استفاده در این روش به دو دسته کلی زیر تقسیم بندی می شوند:
  - برج های سینی دار (Tray Towers)
  - برج های انباشته (Packed Towers)

- انواع روش های تقطیر جزء به جزء عبارتند از:
  - تقطیر در فشار بالا (Pressurized Distillation)
  - تقطیر در فشار جو (Atmospheric Distillation)
  - تقطیر در خلا (Vacuum Distillation)
  - تقطیر با بخار آب (Steam Distillation)

- در ادامه به بررسی انواع روش های تقطیر جزء به جزء خواهیم پرداخت.

تقطیر جزء به جزء

- شکل زیر نمونه ای از برج تقطیر از نوع سینی دار را به همراه محصولات آن، به صورت شماتیک نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، از بالا به پایین برج ، محصولات سنگین تری تولید می شوند.



تقطیر در فشار بالا

- همانطور که در فصل قبل بیان شد، افزایش فشار، باعث افزایش دمای جوش ترکیب های خالص می شود.
- جدول زیر، تاثیر افزایش فشار را بر افزایش دمای جوش برخی هیدروکربورها، نشان می دهد:

هیدروکربن	دمای جوش در فشار جو (14.7 psi)	دمای جوش در فشار 50 psi	دمای جوش در فشار 100 psi
متان	- 258 °F	- 226 °F	- 205 °F
پروپان	- 44 °F	15 °F	56 °F
بوتان	31 °F	98 °F	146 °F
پنتان	97 °F	173 °F	226 °F

- حال فرض کنید که می خواهیم اجزای نمونه ای از گاز طبیعی را که دارای اجزای سبک است، از هم جدا کنیم. اگر این کار را بخواهیم در دمای استاندارد جوی(60 °F) انجام دهیم، غیر ممکن است، زیرا دمای جوش اجزای گاز طبیعی بسیار پایین بوده و غالبا منفی است.
- با افزایش فشار می توان دمای جوش اجزا را افزایش داد و این امکان را بوجود آورد که بتوان اجزای یک ترکیب گازی را نیز با تقطیر از هم جدا کرد.
- پس از به جوش آمدن هر جزء و جدا شدن آن از ترکیب اولیه، آن جزء مجددا در سیستم میعان کننده و در فشار بالا مایع شده و جمع آوری می شود.
- با این روش می توان برخی محصولات مانند متان، اتان، پروپان و بوتان با درصد خلوص بالا تولید کرد.
- بنابراین می توان گفت که در روش تقطیر در فشار بالا که غالبا تقطیر در فشار نیز نامیده می شود، اجزای یک ترکیب هیدروکربوری سبک را می توان از هم جدا نمود.

تقطیر در فشار جو

- این روش تقطیر، جهت تفکیک نفت خام و بدست آوردن محصولات جانبی از برج تقطیر در پالایشگاه نفت مورد استفاده قرار می گیرد.
- در برج های تقطیر سینی دار، محصولات تقطیر در فشار جو را می توان از سینی های مختلف گرفت.
- همانطور که می دانیم، با حرکت در امتداد برج به سمت بالا، محصولات سبک تری تولید می شوند.
- جدول زیر، برخی از محصولات عمده تقطیر در فشار جو را بیان می کند:

محصول	هیدروکربورها	دمای خروجی برج ($^{\circ}C$)*	محل خروج از برج*	کاربرد
LPG	$C_1 - C_4$	20	سر برج	گاز مورد استفاده در سیلندر خانگی
نفتا (naphta)	$C_5 - C_9$	70	نیمه بالایی برج	استفاده در مواد شیمیایی نظیر چسب و ...
بنزین (gasoline)	$C_5 - C_{10}$	120	نیمه بالایی برج	بنزین اتومبیل
نفت پارافینی (paraffinic oil)	$C_{10} - C_{16}$	170	نیمه بالایی برج	سوخت جت، پارافین مورد استفاده جهت ایجاد گرما و روشنایی
نفت دیزل	$C_{14} - C_{20}$	270	نیمه پایینی برج	سوخت دیزل مورد استفاده در قطار و ...
روغن های روان کننده (lubricating oil)	$C_{20} - C_{50}$	340	نیمه پایینی برج	استفاده به عنوان روغن های روان کننده، واکس و براق کننده
نفت کوره (fuel oil)	$C_{20} - C_{70}$	600	نیمه پایینی برج	سوخت مورد استفاده در کارخانه ، کشتی و استفاده جهت ایجاد گرما
قیر نفتی (bitumen)	$> C_{70}$	>600	ته برج	استفاده در ایزوگام، آسفالت خیابان و ...

* در این موارد ممکن است اطلاعات داده شده کاملا دقیق نباشد.

تقطیر در خلا

- تعریف فشار خلا:
در اصطلاع به فشار های کمتر از فشار جو(۷۶۰ میلیمتر جیوه)، فشار خلا می گویند.
- تعریف واحد کراکینگ(cracking unit):
به یک واحد عملیاتی گفته می شود که در آن ترکیبات سنگین بر اثر دمای بالا و غالبا با استفاده از کاتالیزگر به ترکیبات سبک تر شکسته می شوند.
- چنانچه بخواهیم محصولات سنگین مربوط به واحد تقطیر در فشار اتمسفری را جهت تهیه "خوراک نفت–گاز و یا واکس" واحد های کراکینگ در یک برج با فشار جوی تقطیر کنیم به دمای بسیار بالایی نیاز است. علاوه بر این ممکن است برخی اجزای سبک نیز قبل از رسیدن به دمای بالا شکسته شوند.
- بنابراین بهترین روش جهت تقطیر این اجزای سنگین، کاهش فشار بوده که در نتیجه دمای جوش اجزا نیز کاهش می یابد. در اینصورت به دمای کمتری جهت تقطیر نیاز است.
- معمولا در تقطیر در خلا، فشار خلا برابر با ۴۰ میلیمتر جیوه است.
- برج های مورد استفاده در تقطیر خلا نسبت به تقطیر در فشار جو ، حجم بیشتر و فشار کمتری دارند. در نتیجه قطر این برج ها از قطر برج های واحد تقطیر در فشار جوی بیشتر است.

- شکل مقابل، نمونه ای از واحد تقطیر مجهز به واحدهای تقطیر در فشار جو و تقطیر در خلا را نشان می دهد.

تقطیر با بخار آب

- وقتی که تقطیر در مجاورت بخار ماده مخلوط نشدنی صورت می‌گیرد، فشار بخار یک ماده تحت تأثیر دیگری قرار نگرفته و مخلوط در دمایی که مجموع فشارهای بخار جزئی هر دو ماده برابر با فشار محیط می گردد، تقطیر می‌شود.

- جهت بررسی این روش، آزمایش زیر را در نظر بگیرید:
فرض کنید که می خواهیم در دمای ۱۴۰ درجه فارنهایت و فشار۵۳۷ میلی متر جیوه، بنزن را تقطیر کنیم. در این دما، فشار بخار بنزن برابر با ۳۸۸ میلی متر جیوه است. به عبارت دیگر باید فشار را به اندازه ۳۸۸– ۵۳۷= ۱۴۹ میلیمتر جیوه کم کرد تا بنزن تبخیر شود.
راه دیگر افزودن مقداری بخار آب با فشار بخار جزئی ۱۴۹ میلی متر جیوه است. با این کار فشار بخار کل که مجموع فشار بخار بنزن و فشار بخار آب است برابر با ۵۳۷ میلی متر جیوه خواهد شد و بنزن تبخیر می شود.
از فصل قبل به باد داریم که نسبت مولکولی دو ماده در یک مخلوط، برابر با نسبت فشار بخار آنها است. به عبارت دیگر در این آزمایش به ازای هر ۳۸۸ مولکول بنزن، ۱۴۹ مولکول آب وجود دارد.

- با این روش می توان در یک فشار ثابت، دمای جوش یک ماده را کاهش داد. از اینرو از این روش جهت تقطیر مواد سنگین که دمای جوش بالا دارند نیز استفاده می شود.
- در روش تقطیر با بخار آب، ابتدا بخار آب از طریق بخش ورودی برج، جهت لخت کردن(Stripping) یک ترکیب هیدروکربوری از مواد سبک وارد می شود. در ادامه، این بخار محصول حاصل از لخت شدن را با خود از برج خارج می کند. چون آب با با ترکیبات هیدروکربوری مخلوط نمی شود، می توان با استفاده از میعان، آن را از محصول تقطیر جدا کرده و دوباره در چرخه تقطیر با بخار آب به کار برد.

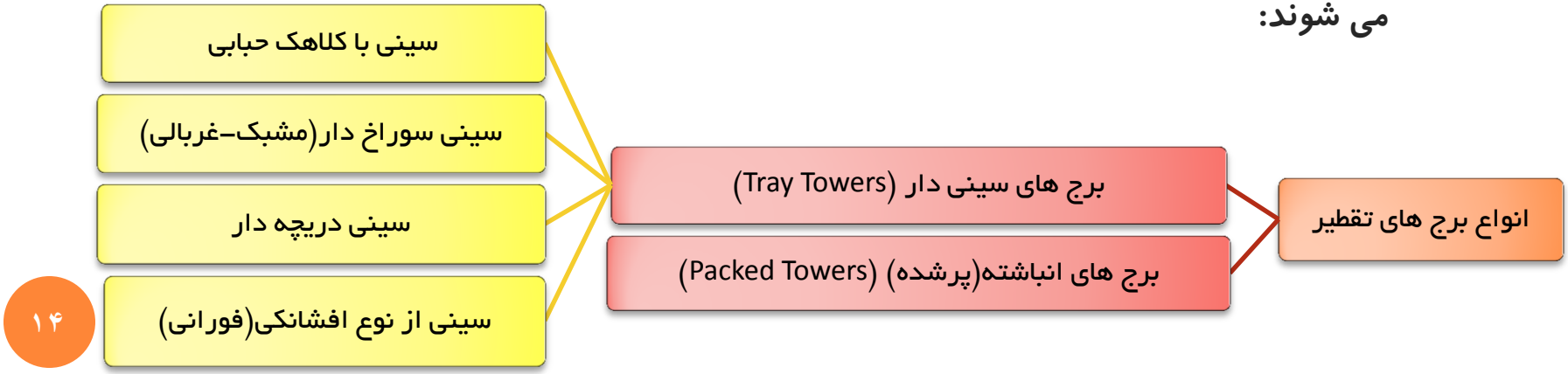
تقطیر با بخار آب – برج های تقطیر

- در انتهای این بخش، می توان کاربرد روش های تقطیر را به صورت زیر بیان کرد:

روش تقطیر	کاربرد
تقطیر در فشار بالا	افزایش دمای جوش یک ماده، تقطیر ترکیبات هیدروکربوری سبک مانند گاز طبیعی
تقطیر در فشار جو	تقطیر نفت خام
تقطیر در خلا	کاهش دمای جوش یک ماده، تقطیر ترکیبات هیدروکربوری سنگین مانند نفت–گاز، واکس و ترکیبات باقی مانده از تقطیر در فشار جو
تقطیر با بخار آب	کاهش دمای جوش یک ماده، تقطیر مواد سنگین با دمای جوش بالا

برج های تقطیر

- همانطور که قبلا بیان شد، برج های تقطیر مورد استفاده در صنعت نفت به دو دسته کلی زیر تقسیم می شوند:



برج های سینی دار

- این نوع برج ها که به طور گسترده در صنعت نفت به کار می روند، جهت تفکیک هیدروکربورها به اجزای تشکیل دهنده به کار می روند.
- در این نوع برج ها، تعدادی سینی بصورت افقی و موازی و به فاصله معین از یکدیگر قرار دارد.
- درجه حرارت هر سینی ثابت بوده و با درجه حرارت سینی های بالایی و پایینی متفاوت است. از پایین به بالا، دمای سینی ها کاهش یافته و محصول سبک تری تولید می شود.
- با توجه به جنس خوراک ورودی و عملیاتی که باید روی آن انجام شود، ممکن است از جوشاننده و یا بخار آب جهت تامین دمای مورد نیاز استفاده شود.
- اجزای تشکیل دهنده یک برج سینی دار عبارتند از:
  - برج (Tower)
  - سینی (Tray)
  - سیستم جوشاننده (Reboiler)
  - سیستم میعان کننده (Condenser)
  - تجهیزات جانبی (سیستم های کنترل کننده، مبدل های حرارتی میانی، پمپ ها و مخازن جمع آوری محصول)

- انواع سینی ها:
  - سینی با کلاهک حبابی (Bubble Cap Tray)
  - سینی سوراخ دار(مشبک–غربالی) (Sieve Tray)
  - سینی دریچه دار (Valve Tray)
  - سینی از نوع افشانکی(فورانی) (Jet Tray)

سینی با کلاهک حبابی

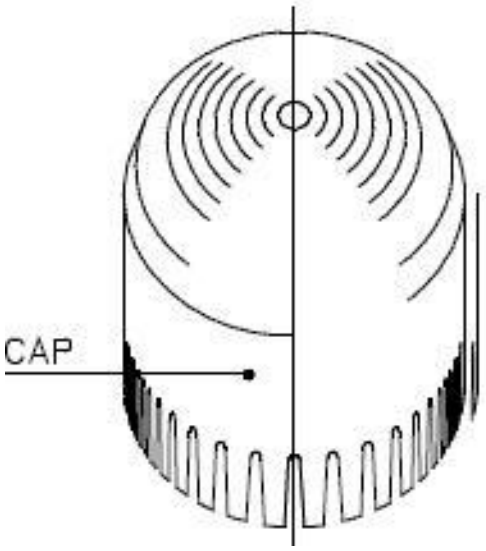
- در ادامه این فصل به بررسی انواع سینی ها می پردازیم.
- سینی ها جهت بهبود انتقال جرم بین دو فاز مایع وگاز و در نتیجه جهت بالابردن بازدهی برج تقطیر به کار می روند.
- هر سینی طراحی مخصوص به خود داشته و دارای مزایا و کاربردهای مخصوصی است.

نمونه ای از سینی با کلاهک حبابی

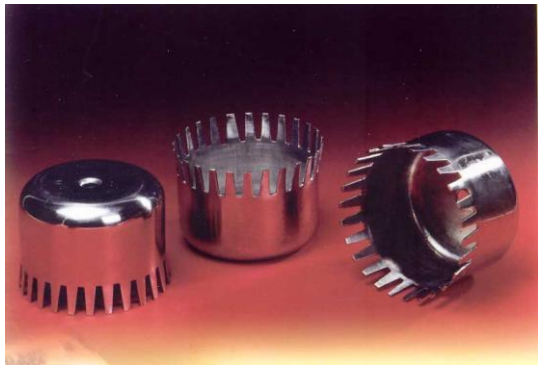
- در سینی با کلاهک حبابی جهت افزایش تماس بین دو فاز مایع و گاز، می بایست ارتفاعی از مایع روی سینی باقی بماند تا بخارات از این مایع عبور کرده و به سینی های بالاتر برسند.
- در سینی های با کلاهک حبابی، مایع روی صفحه ای قرار می گیرد که در روی آن سوراخ هایی تعبیه شده است. در روی سوراخ ها استوانه ای تعبیه شده که به آن Chimney (لوله،دودکش) می گویند.
- ارتفاع مایع روی سینی بوسیله ارتفاع Chimney تعیین می شود. مایع می تواند از طریق ناودان (Down Comer) به سینی زیرین برگردد.
- زمانی که مایع به سینی زیرین می ریزد، بخارات نیز از راه Chimney به سینی بالاتر رفته و پس از ورود به Chimney بوسیله کلاهک بالای آن، جهت بخارات عوض شده و وارد مایع روی سینی می شوند.
- دور تا دور دیواره کلاهک در قسمت پایین، شیار و یا دندانه هایی وجود دارد که بخارات از طریق آن وارد مایع می شوند.

سینی با کلاهک حبابی

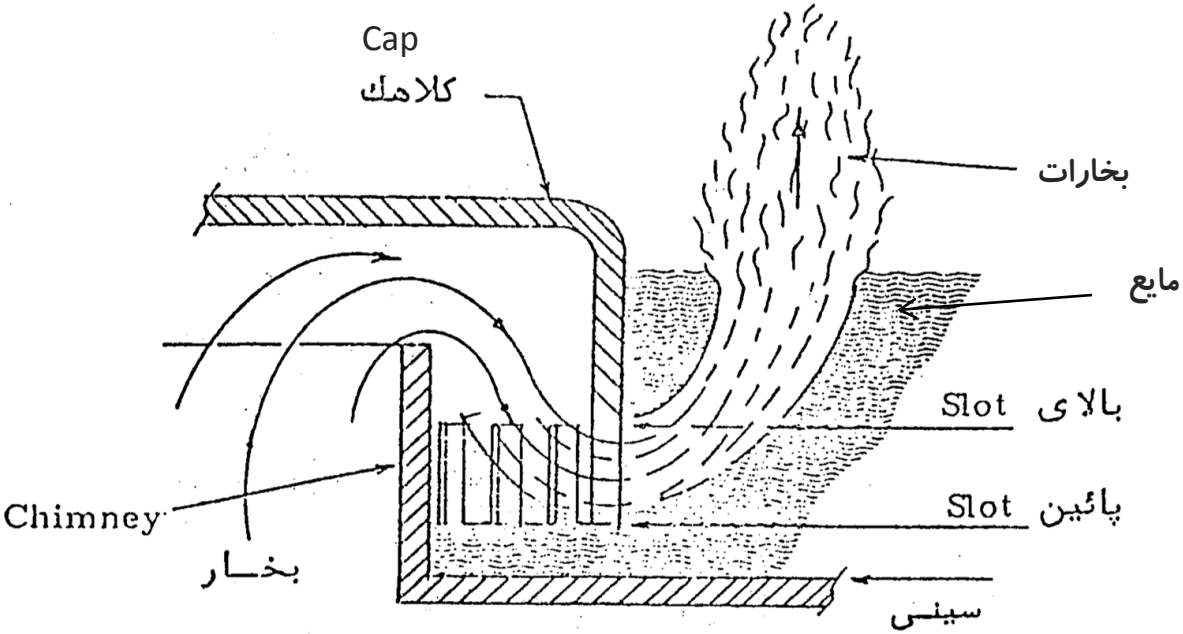
- اجزای یک سینی با کلاهک حبابی عبارتند از:
  - صفحه (Plate)
  - کلاهک حبابی (Bubble Cap)
  - دیواره سینی (Weir)
  - ناودان (Down Comer)
  - مجرای عبور گاز به سینی بالاتر (Chimney)



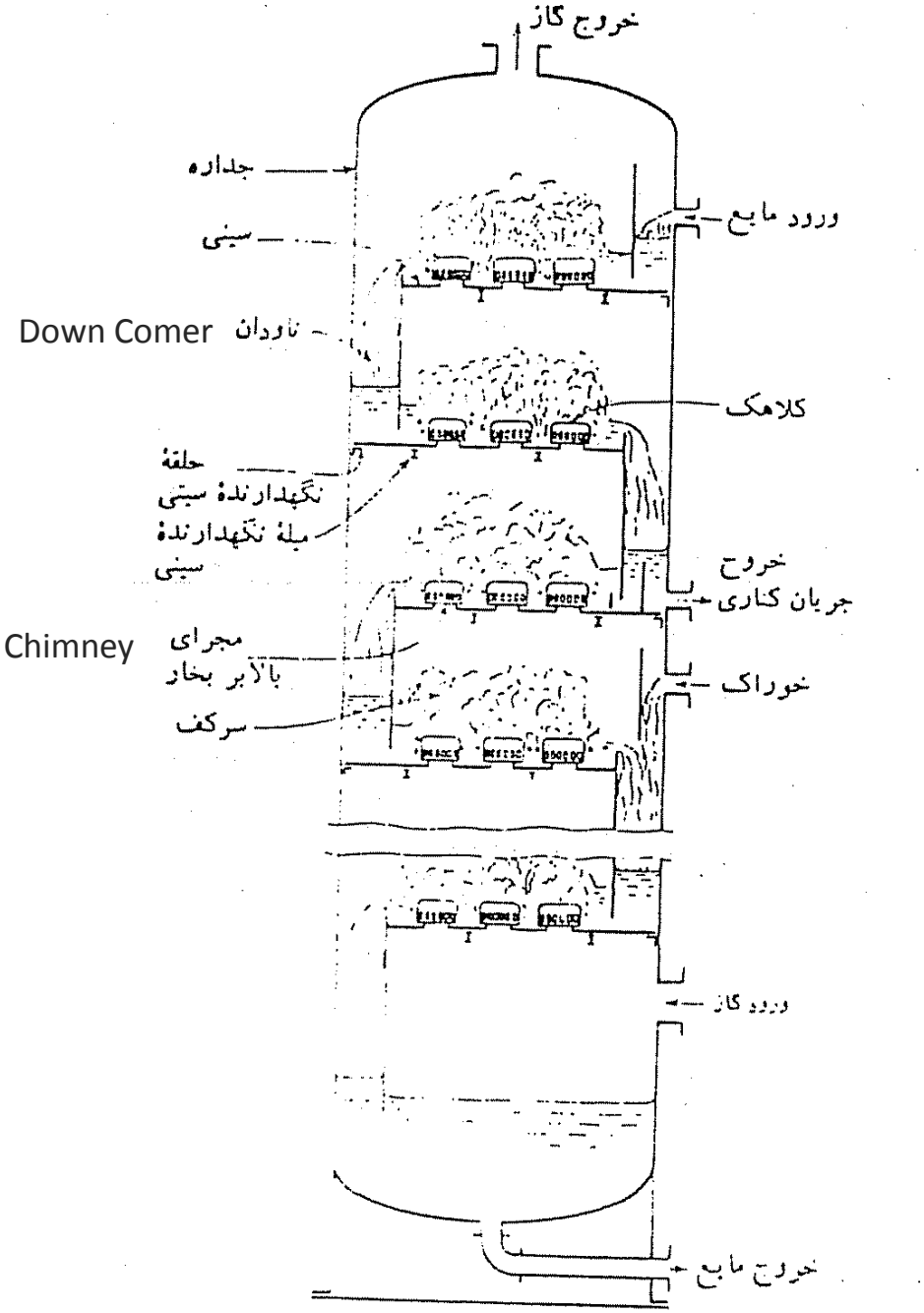
نمایش شماتیک یک کلاهک



نمونه ای از یک کلاهک



اجزای یک سینی با کلاهک حبابی



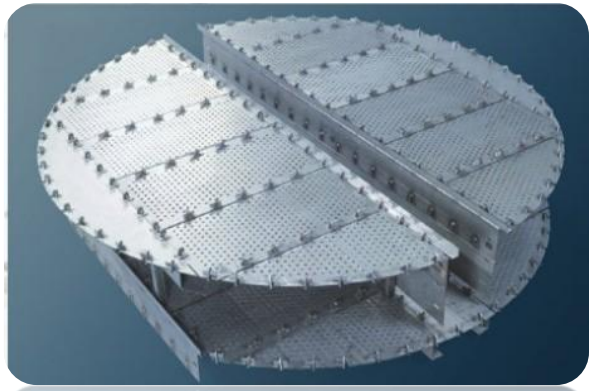
نمایشی از برش طولی یک برج محتوی سینی های کلاهک دار

سینی با کلاهک حبابی – سینی سوراخ دار(مشبک–غربالی)

- تعریف نسبت تغییر ظرفیت: عبارتست از نسبت حداکثر به حداقل جریان گاز و یا مایع در برج
- مزایای سینی های کلاهک دار:
  - در برج هایی که باید سرعت مایع کم باشد قابل استفاده اند.
  - تماس یکنواخت و مناسب بین مایع و بخار
  - افت فشار پایین
  - ظرفیت بالا
  - در برج هایی که نسبت تغییر ظرفیت(TurnDown Ratio) زیاد مورد نظر باشد، قابل استفاده اند.
- معایب این سینی ها:
  - قیمت بالا
  - به سرعت ذرات جامد روی آن تجمع یافته و کثیف می شوند.
  - خوردگی در آن تاثیر زیادی داشته و باعث افزایش قطر سوراخ آن می شود.

- سینی سوراخ دار(مشبک–غربالی)

در این نوع سینی ها، یک صفحه دایره ای شکل با تعداد زیاد سوراخ به کار رفته است. همچنین معمولا این نوع سینی دارای یک دیواره نگاهدارنده مایع و یک ناودان جهت هدایت مایع به سینی پایین تر نیز می باشد.



نمونه ای از سینی غربالی

سینی سوراخ دار(مشبک-غربالی) - سینی دریچه دار

- مزایای سینی های سوراخ دار عبارتست از:
  - قیمت مناسب و هزینه نصب کم تری نسبت به سینی های دیگر دارند
  - روش طراحی آنها کاملا روشن است
  - امکان از کار افتادن آن کم است
  - داشتن عملکرد مناسب در حد سینی های کلاهکی
  - بازدهی بهتر از سینی های افشانکی دارند

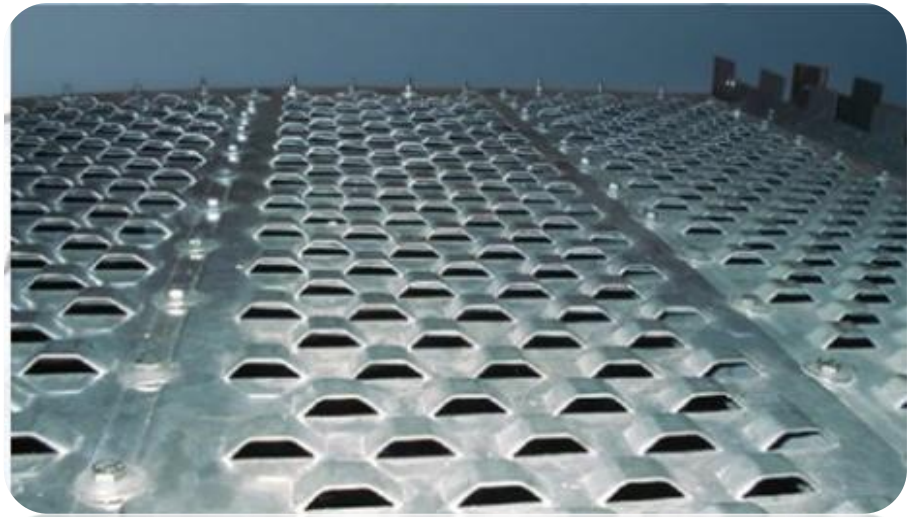
- معایب این سینی ها :
  - در صورت زیاد بودن نسبت تغییر ظرفیت، قابل استفاده نیستند.
  - در صورت کم بودن سرعت مایع، نمی توان از آن استفاده کرد.

سینی دریچه دار

- این نوع سینی، شبیه سینی مشبک دار دارای سوراخ هایی است. با اینحال قطر سوراخ از سوراخ های موجود در سینی مشبک دار بیشتر بوده و در روی سوراخ، یک شیر تعبیه شده است.
- شیر به گونه ای طراحی شده که در یک جهت اجازه صعود بخارات را داده و در جهت عکس، مانع از بازگشت بخارات می شود.
- این نوع سینی ها، نیاز به سرویس منظم دارند، به گونه ای که در صورت کثیف شدن و مسدود شدن سوراخ های سینی، عملکرد برج مختل می شود.

سینی دریچه دار

- مزایای این نوع سینی عبارتست از:
  - از سینی های کلاهک دار ارزان ترند.
  - با داشتن شعاع عملیاتی بالا، افت فشار تقریبا ثابتی دارند.
  - نسبت تغییر ظرفیت در آنها زیاد است.
  - بازدهی بالایی دارند.
- معایب این سینی ها :
  - فرسودگی و خوردگی پایه های آن زیاد است.
  - اگر در هنگام سرویس کردن، ترکیب های سنگین در آن وارد شوند، دریچه ها می چسبند و عملکرد برج مختل می شود.

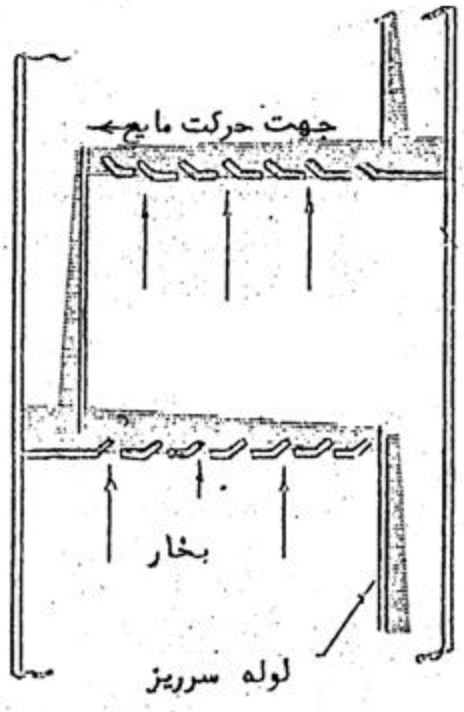


نمونه ای از سینی دریچه دار

شیرهای یکطرفه به کار رفته درسینی دریچه دار

سینی از نوع افشانکی(فورانی)

- این نوع سینی ها، دارای سوراخ هایی به شکل نیم دایره اند که نیم دایره مربوط به سوراخ از سینی جدا نشده و به صورت زاویه دار و رو به بالا است.
- ناودان های مورد استفاده در آن، مانند ناودان های مورد استفاده در سینی های کلاهک دار است و Chimney در این نوع سینی ها وجود ندارد.
- سطح مایع بر روی سینی، بوسیله سطح سینی و عبور بخاراتی که از سینی زیرین به بالا می آیند، نگه داشته می شود.
- مانند سینی های سوراخ دار، در صورت کاهش سرعت بخار، مایع از سوراخ ها به پایین ریخته و بازدهی سینی و در نتیجه بازدهی برج تقطیر کم می شود.
- مزایای سینی های افشانکی عبارتست از:
  - قیمت مناسبی دارند.
- معایب سینی های افشانکی :
  - برای نسبت تغییر ظرفیت ثابت قابل استفاده اند.



اجزای یک سینی افشانکی

برج های انباشته(پر شده)

- در این نوع برج ها، جهت افزایش سطح تماس مایع و گاز، برج از ذرات و قطعاتی به نام پکینگ پر می شود.
- یک برج تقطیر انباشته، دارای اجزای زیر است:
  - پوسته که می تواند از جنس فلز، پلاستیک تقویت شده، شیشه و ... باشد.
  - نگهدارنده پکینگ ها
  - توزیع کننده مایع
  - دوباره توزیع کننده های میانی و نگهدارنده های پکینگ میانی
  - نازل های ورودی و خروجی گاز و مایع
- پکینگ(Tower Packing):

پکینگ، ذرات و قطعاتی است که در برج های انباشته مورد استفاده قرار می گیرد. این ذرات که از جنس های مختلف فلزی، سرامیکی، پلاستیکی و ... ساخته می شوند، از طریق افزایش سطح تماس بین گاز بالا رونده و مایع سرریز شونده، بازدهی برج تقطیر را بالا می برند.

- تخلخل(Porosity) پکینگ:

عبارتست از نسبت حجم فضای خالی موجود در پکینگ به حجم کل پکینگ

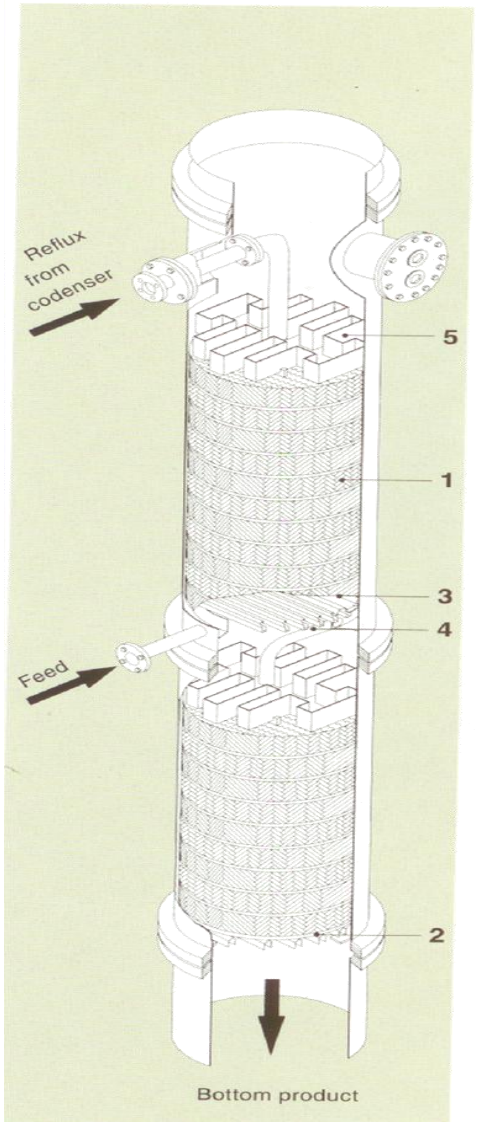
- سطح مخصوص(Specific Surface) پکینگ:

به صورت نسبت مساحت کل پکینگ به حجم کل پکینگ تعریف می شود.

- تصاویر زیر، نمونه های مختلفی از پکینگ را نشان می دهند:

برج های انباشته(پر شده)

- شکل زیر، اجزای یک برج انباشته را بصورت شماتیک نشان می دهد:

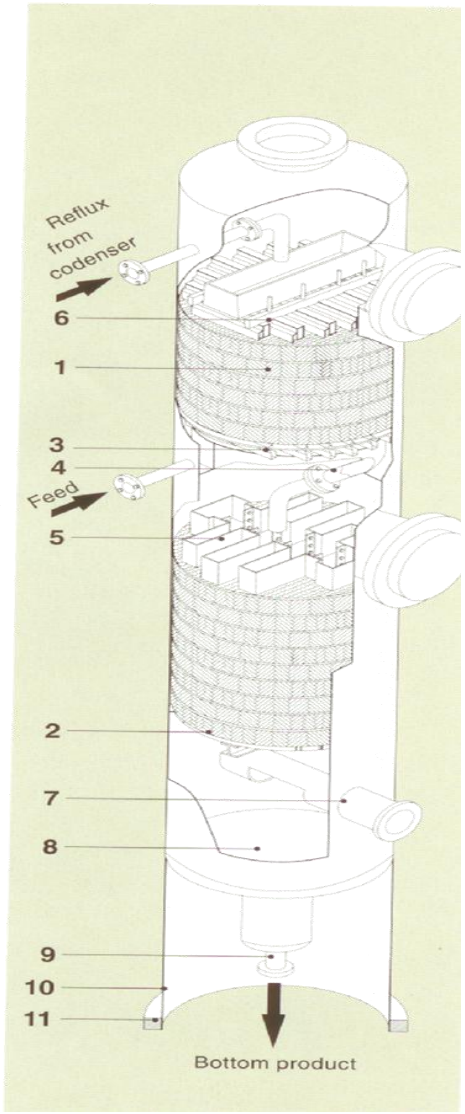


Sulzer packing in various types and different materials	1
Support grid for the packing	2
Liquid collector	3
Feed pipe to distributor	4
Liquid distributor mounted on locating grid	5
Locating grid	6
Steam inlet pipe	7
Column sump	8
Circulation pipe to reboiler	9
Skirt	10
Anchorage	11

Variations on the above design

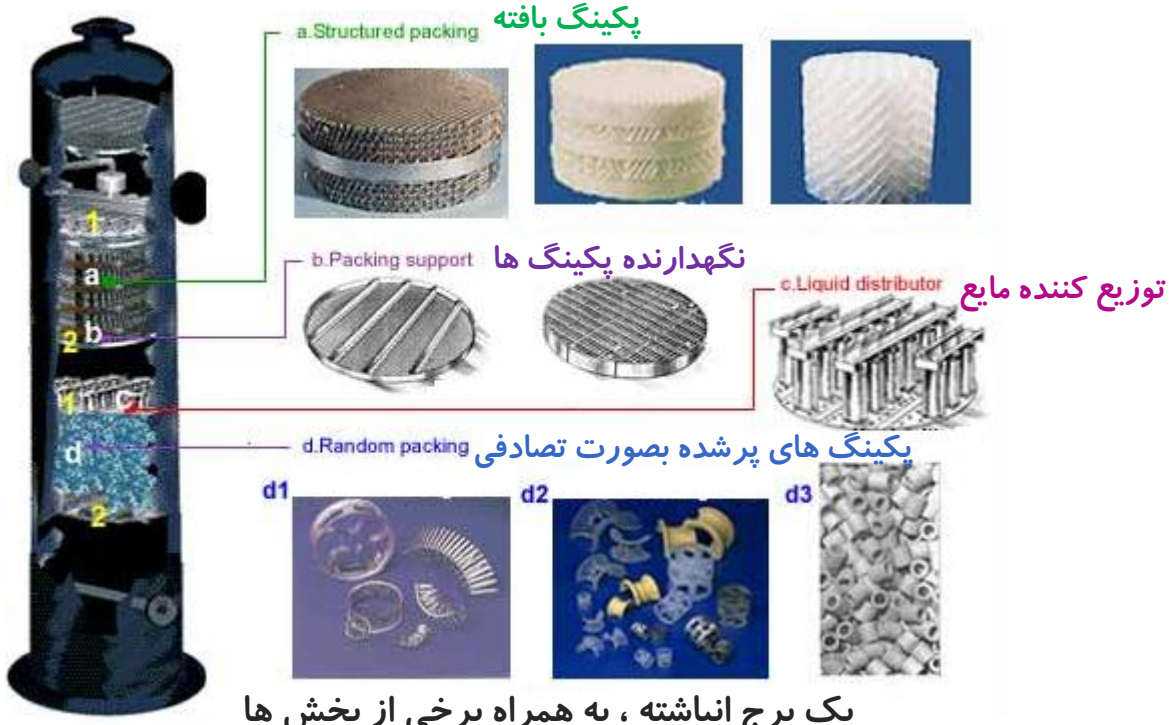
Feed:
- vapor
- two phases with flash box

Side stream:
- liquid from collector
- vapor collector



برج های انباشته(پر شده)

- شکل زیر، یک برج انباشته را به همراه برخی از بخش ها، نشان می دهد.
- پکینگ یک برج پرشده، باید دارای ویژگی های زیر باشد:
  - داشتن سطح مخصوص بالا
  - داشتن میزان تخلخل بالا
  - می بایست از لحاظ شیمیایی خنثی بوده و با گاز و یا مایع واکنش ندهد.
  - از نظر مکانیکی باید دارای استحکام کافی باشد.
  - وزن آن مناسب بوده و بسیار بالا نباشد.
  - از لحاظ قیمت، مناسب باشد.



یک برج انباشته ، به همراه برخی از بخش ها

ساختمان پکینگ ها

- همانطور که می دانیم، یک برج پرشده متشکل از قطعاتی به نام پرکن (Packing) است. این قطعات، آکنه نیز نامیده می شوند.
- پکینگ ها و یا به عبارتی آکنه ها، به دو صورت زیر ساخته می شوند:
  - پکینگ های منظم
  - پکینگ های نا منظم

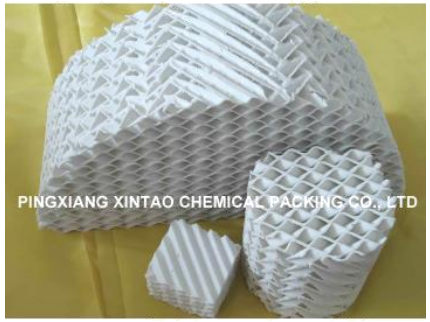
- پکینگ های منظم
  - پکینگ های منظم دارای ساختمانی شکل یافته از صفحات فلزی ، پلیمری و یا سرامیکی می باشند.
  - به طور کلی، این پکینگ ها در سه نوع شیاردار ، رنده ای و صاف ساخته می شوند.
  - به منظور وجود لایه یکنواخت مایع روی هر صفحه پکینگ ، آنها را به صورت مشبک و نا صاف می سازند.
  - افت فشار کم در برج و امکان برقراری شدت جریان بیشتر در داخل برج از مزایای این نوع می باشد.
  - از معایب این پکینگ هزینه بالای آن نسبت به پکینگ نامنظم است.

- شکل روبرو، نمونه هایی از پکینگ های منظم را نشان می دهد:

ساختمان پکینگ ها

- پکینگ های نا منظم
  - در این نوع پکینگ، قطعات پرکننده به طور نا منظم به روی هم ریخته می شوند.
  - در این موارد، استفاده از موادی مانند شن و زغال که دارای تخلخل زیاد می باشند نا مناسب است.
  - پکینگ های نا منظم با توجه به کاربردشان در شکلهای مختلف ساخته می شوند.
  - در هنگام پر کردن برج، برای جلوگیری از شکستن پکینگ های نا منظم، ابتدا برج را از آب پر می کنند.

  - شکل زیر، نمونه هایی از پکینگ های نا منظم را نشان می دهد:



مقایسه برج های سینی دار و انباشته

- در این بخش، به مقایسه برج های سینی دار و انباشته می پردازیم:

۱) در برج های انباشته، معمولا افت فشار نسبت به برج های سینی دار کمتر است. بنابراین در مواردی مانند تقطیر خلا که افت فشار اهمیت دارد، از برج های انباشته استفاده می شود.

۲) اگر درجه خورندگی خوراک بالا باشد، از برج های انباشته استفاده می شود.

۳) در اندازه قطرهای بالا، عملکرد برج های سینی دار بهتر است. زیرا در برج انباشته با افزایش قطر برج، تقسیم مایع به خوبی صورت نمی گیرد.

۴) در برج های سینی دار می توان از جریان های جانبی استفاده کرده و چند خوراک را وارد برج نمود، ولی در برج های انباشته این کار ممکن نیست.

۵) هزینه تمیز کردن و نگهداری برج های انباشته به مراتب از برج های سینی دار بیشتر است.

۶) اطلاعات مربوط به طراحی برج های سینی دار، بیشتر از برج های انباشته است.

۷) در شرایطی که مایع داخل برج دارای خاصیت کف کنندگی باشد، از برج های سینی دار استفاده می شود.

۸) اگر نسبت دبی مایع به بخار(L/V) کم باشد ، از برج های انباشته استفاده می شود.

۹) میزان ماندگی(Hold Up) سیال در برج های انباشته، کمتر از برج های سینی دار است.

عمده ترین اشکالات یک برج

- مهمترین اشکالاتی که ممکن است در یک برج تقطیر روی دهد، عبارتند از:
  ۱) طغیان (Flooding)
  ۲) ضربان (Pulsing)
  ۳) وزش (Blowing)
  ۴) قیفی شدن (Coning)
  ۵) ماندگی (Hold Up)
  ۶) ریزش (Weeping)
  ۷) خمیدگی سینی (Tray Defection)
  ۸) عدم تراز بودن سینی (Tray Levelness)
  ۹) Dumping

- طغیان (Flooding)

در شرایطی که سرعت گاز و یا بخار بالا باشد، ارتفاع مایع در ناودان افزایش یافته و در اصطلاح طغیان اتفاق می افتد. در بدترین وضعیت ممکن ، حرکت گاز و مایع متوقف می شود.

- ضربان (Pulse)

زمانی که سرعت بخار و یا قطر منافذ کم باشد، بخار نمی تواند از منافذ عبور کند و در اینحالت، حالت ضربانی بوجود می آید. این پدیده باعث می شود که در صفحات بالایی هیچ بخاری خارج نشود.

- وزش (Blowing)

در این پدیده، دبی یا سرعت بخار افزایش یافته و میزان ماندگی مایع در بخار بسیار بالا خواهد بود.

عمده ترین اشکالات یک برج

- **قیفی شدن (Coning)**

در این پدیده، عمق مایع روی روزنه کم بوده و در نتیجه گازی که از روزنه خارج می شود، دارای سرعت بالایی است. در اینحالت، مایع در قسمت خروجی شکل قیفی پیدا کرده و بازدهی عمل تقطیر کاهش می یابد.

- **ماندگی (Hold Up)**

ماندگی در برج ها پدیده بسیار مهمی است و بر عملکرد و بازدهی برج، تاثیر نامطلوبی دارد. انواع ماندگی عبارتست از:

  - **ماندگی مایع در بخار**
  - **ماندگی بخار در مایع**

در عمل میزان ماندگی را نمی توان به صفر رساند، ولی می توان مقدار آن را کاهش داد. جهت کاهش ماندگی باید سرعت گاز را کم کنیم. کاهش بیش از حد سرعت گاز نیز، منجر به بروز پدیده ریزش می شود.

- **ریزش (Weeping)**

در سرعت های پایین گاز، مایع عبوری از روی سینی از منافذ موجود در سینی، به سینی های پایین تر جاری می شود که این پدیده را ریزش می نامند. این پدیده نیز، بازدهی برج را کاهش می دهد. به عبارت دیگر، در پدیده ریزش، انتقال مایع به سینی پایین تر، از مسیری جز ناودان صورت می گیرد.

- **خمیدگی سینی (Tray Defection)**

هر سینی پس از مدتی به دلیل وزن زیاد خود سینی و مایع روی آن، حالت خمیدگی پیدا می کند. میزان مجاز خمیدگی سینی برای برج های با قطر بزرگ، $\frac{1}{4}$ اینچ و برای برج های با قطر کوچک $\frac{1}{8}$ اینچ است. به هر حال، این پدیده نیز یک پدیده نامطلوب در برج ها محسوب می شود.

عمده ترین اشکالات یک برج

- **عدم تراز بودن سینی** (Tray Levelness)

عدم تراز بودن سینی، موجب عدم تماس مناسب بین بخار و مایع و در نهایت کاهش بازدهی برج می شود. میزان عدم تراز بودن در سینی، نباید بیش از $\frac{1}{4}$ اینچ باشد.

- Dumping

در شرایطی که ارتفاع مایع روی سینی، از فشار گاز زیرین نگهدارنده مایع بیشتر شود، مایع از سوراخ های سینی به سینی پایین تر رفته که این پدیده ریزش را Dumping می گویند. لازم به ذکر است که این اصطلاح برای همان پدیده ریزش، در برج های سینی دار کلاهکی به کار می رود.

منابع درس تفکیک گرها و برج های تقطیر

- McCain, W.D., The Properties of Petroleum Fluids, 2nd Ed., 1990.
- Perry's Chemical Engineering Handbook, Sixth Edition, McGraw-Hill Co., 1984.
- Petroleum Production Engineering, A Computer-Assisted Approach, Boyun Guo, William C. Lyons, Ali Ghalambor, Elsevier Science & Technology Books,2007.
- **جدا کننده و برج ها، حمید سلامی زاده، شرکت ملی نفت ایران، مرکز آموزش فنون و تکنولوژی اهواز، قسمت آموزش بهره برداری گاز و گاز مایع، خرداد ۸۴.**
- **اصول اساسی تقطیر، شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی.**
- Applied Progress design for Chemical engineering, Mc Cabe, Smith, Treybal , 1998.