



شرکت

پژواک پژوه صنعت

برج تقطیر آکنده

وب سایت:

<http://www.ppsedu.com>

آدرس

تهران - شهرک صنعتی خاوران-سایت آهنکاران- خیابان چهارم غربی - پلاک آبی ۳۳۱۷

شماره تماس

021-33286250

## بسمه تعالی

### مقدمه:

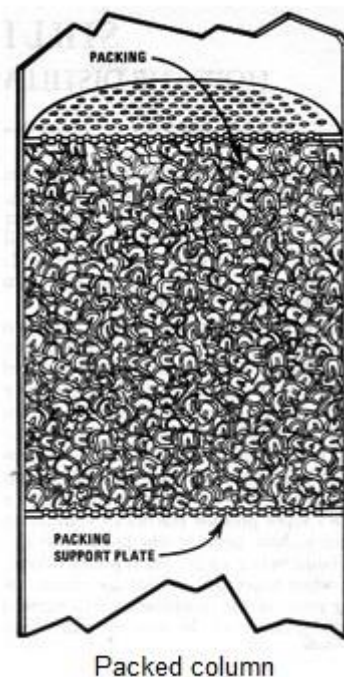
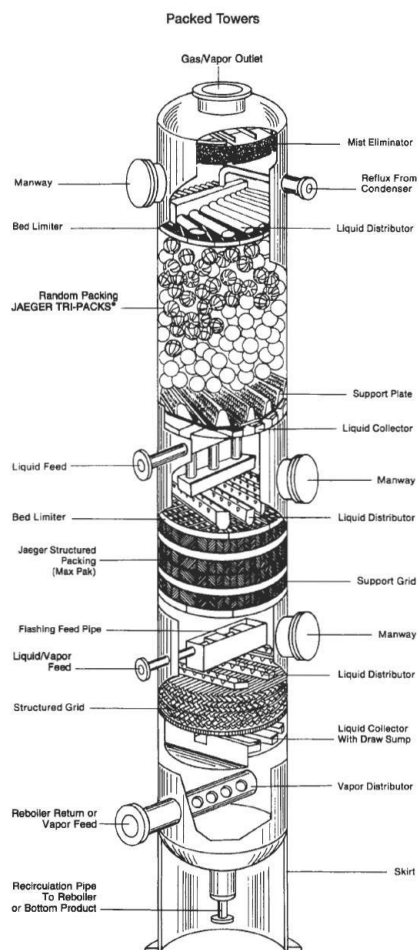
یکی از مهمترین فرایندهایی که در صنایع مربوط به نفت انجام می‌شود، جداسازی اجزای موجود در یک ترکیب است که هر کدام از این اجزا می‌توانند ارزش بسیار بالایی در مقایسه با ترکیب اولیه داشته باشند. اگر مخلوطی که جداسازی می‌شود همگن باشد، جداسازی می‌تواند تنها با افزودن و یا ایجاد فاز دیگری در سیستم انجام شود. به عنوان مثال در جداسازی یک مخلوط گازی، فاز دیگر می‌تواند به وسیله چگالش جزئی انجام شود. بخار حاصل از چگالش جزئی، غنی از ترکیبات فرار و مایع حاصله غنی از ترکیبات با فراریت کمتر خواهند بود. به عنوان یک روش دیگر به جای تولید یک فاز اضافی می‌توان به مخلوط گازی، فاز جدیدی نظیر یک حلال را افزود که به طور انتخابی یکی یا چند تا از ترکیبات مخلوط را در خود حل کنند. در اینجا یک مرحله جداسازی دیگر خواهیم داشت تا حلال را از سیال حل شده در آن جدا کرده و برای استفاده مجدد به دستگاه جداساز برگردانیم. در صورتیکه یک مخلوط ناهمگن داشته باشیم، جداسازی می‌تواند به طور فیزیکی و با استفاده از تفاوت دانسیته بین فازها انجام گیرد.

جداسازی فازهای مختلف یک مخلوط ناهمگن باید قبل از جداسازی مخلوط های همگن انجام گیرد، زیرا این جداسازی هم ساده بوده و هم باعث تسهیل در جداسازی همگن خواهد شد. جداسازی ممکن است به روش های پیوسته، نیمه پیوسته و غیر پیوسته صورت گیرد. جداسازی های فازی که احتمالاً باید انجام گیرند عبارتند از: گاز - مایع، مایع - جامد، مایع، مایع - مایع، جامد - گاز و جامد - جامد که در بیشتر فرایندها، جداسازی گاز - مایع و مایع - مایع، مورد نیاز می‌باشد.

دستگاه های بکار رفته در عملیات گاز- مایع به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- ✓ دستگاه‌هایی که در آنها گاز پراکنده می‌شود. این گروه شامل مخازنی که در آنها حباب گاز ایجاد می‌شود و یا انواع برج‌های سینی دار را می‌توان نام برد. در این دستگاه ها فاز گاز به صورت حباب یا کف در فاز مایع پراکنده می‌شوند.
- ✓ دستگاه‌هایی که در آنها فاز مایع پراکنده می‌شود. این گروه شامل دستگاه‌هایی می‌باشد که در آنها مایع به صورت یک فیلم نازک و یا به صورت قطره‌ای درآمده و در فاز گاز پراکنده می‌شود. در این میان برج‌های دیواره مرطوب، برج‌های پاششی و پاشنده ها و نیز ستون های پر شده را می‌توان نام برد. ستون های پر شده مهمترین نوع از دستگاه‌های این گروه به حساب می‌آیند.

اساس کار برج‌ها، افزایش سطح تماس بین فازها می‌باشد که این افزایش ممکن است توسط سینی یا پرکن تامین شود. چگونگی تماس گاز و مایع بسته به نوع دستگاه متفاوت است. در ساخت برج ها بر حسب شرایط عملیاتی و خوردگی می‌توان از انواع مواد مانند شیشه، فلزات، فلزات با آستر شیشه‌ای، کربن نفوذ ناپذیر و ... استفاده کرد. عموماً شکل برج‌ها به صورت استوانه‌ای است. معمولاً برج های جداسازی، بر اساس عملیات انتقال جرمی که بین فازها انجام می‌شود و بیشتر در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند به برج‌های تقطیر، برج‌های استخراج و برج های جذب و دفع تقسیم‌بندی می‌شوند.



### برج‌های پرشده

روش کار برج‌های پر شده به صورت برج‌های سینی‌دار بوده و تفاوت این دو برج را می‌توان چنین بیان کرد: در برج‌های سینی‌دار در فواصل معین صفحات سوراخ داری قرار داده شده که عمل انتقال جرم بین فازها توسط آن تسهیل می‌شود. اما در برج‌های پرشده سینی وجود ندارد بلکه تمام برج از اجسامی با جنس و شکل معین پر شده است که به این اجسام آکنه (Packing) می‌گویند. در این دستگاه‌ها مایع و گاز به صورت متقابل و یا ناهمسو در تماس مداوم با یکدیگر قرار می‌گیرند. برای ایجاد سطح تماس زیاد بین دو فاز، در این برج‌ها از قطعات آکنه استفاده می‌شود. در دستگاه‌های مذکور، فاز مایع از بالا وارد برج شده و در اثر عبور از روی آکنه‌ها سبب بوجود آوردن سطح تماس زیادی بین دو فاز می‌گردد. در شکل (۱) نمایی از برج پر شده و فضای داخلی آن نشان داده شده است.

### آکنه‌ها

آکنه‌ها ذرات و قطعاتی با مساحت سطح زیاد هستند که با قرار گرفتن این ذرات یا قطعات در برج‌های پرشده سطح تماس بین فازها افزایش یافته و انتقال جرم بیشتر می‌گردد. در این برج‌ها نیز همانند برج‌های سینی‌دار مایع از بالا و گاز از پایین جریان پیدا می‌کند. جهت نگه داشتن بستر آکنه‌ها، یک سینی زیرین تعبیه می‌شود.



شکل ۲: چند نمونه متفاوت از آکنه ها

آکنه داخل برج بایستی دارای خصوصیات زیر باشد:

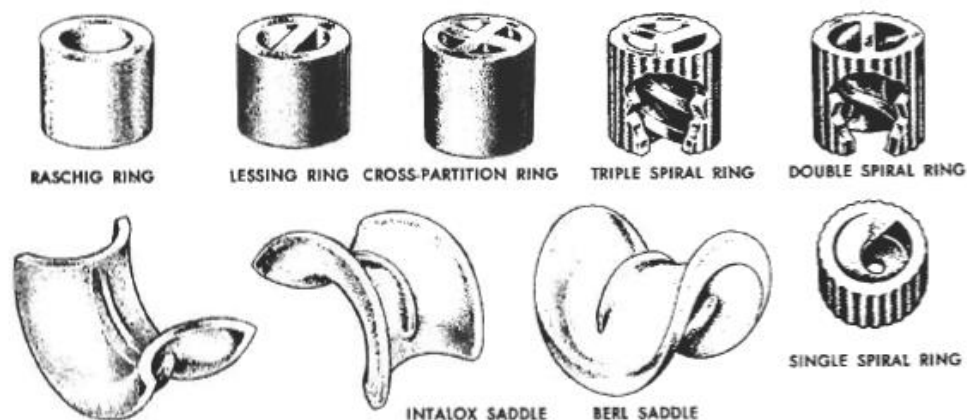
۱. سطح تماس زیادی را بین مایع و گاز ایجاد کند. یعنی سطح آکنه به ازاء واحد حجم ستون باید بزرگ باشد.
۲. دارای خصوصیات مطلوب جهت جریان سیال باشد و این بدان معنی است که کسر حجمی تهی در ستون پر شده مقدار بزرگی باشد. آکنه بایستی امکان عبور حجم زیادی از سیال را از سطح مقطع کوچکی بدون آکنه پدیده‌های انباشتگی (loading) و طغیان (flooding) رخ دهد، فراهم سازد.
۳. از لحاظ شیمیایی در مقابل سیالاتی که بکار می‌رود بی اثر باشد.
۴. دارای استحکام باشد تا استفاده از آن به آسانی امکان پذیر باشد.
۵. ارزان قیمت باشد.
۶. افت فشار گاز در هنگام عبور از بستر باید کم باشد.

آکنه ها عموماً بر دو نوع منظم و نامنظم تقسیم‌بندی می‌شوند. آکنه های منظم طی دو دهه اخیر به بازار عرضه شده‌اند که در برخی موارد حتی بر سینی ها نیز برتری دارند و دارای مزایای زیر هستند:

- افت فشار بسیار کمتر در مقایسه با سینی ها
- ارتفاع کمتر به ازاء تبادل جرم مساوی با سینی ها
- قابلیت پاسخگویی به محدوده وسیعی از دبی مایع

### آکنه های نامنظم

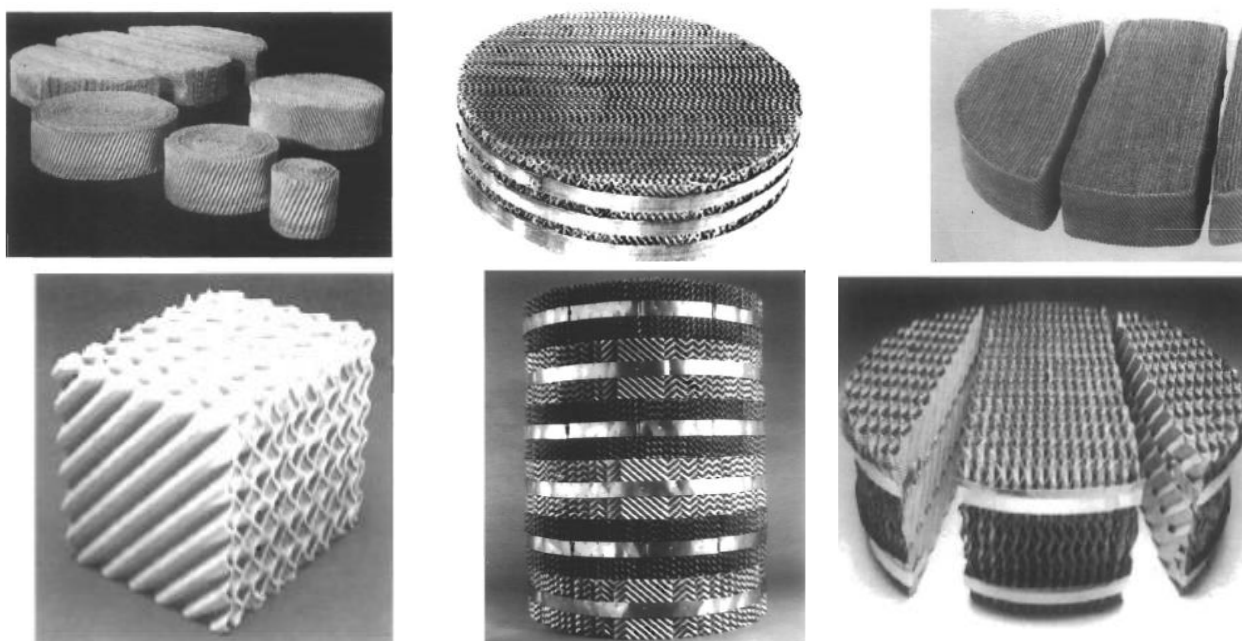
در این روش، آکنه ها را به درون ستون می‌ریزند و آکنه ها پس از فرود بطور نامنظم انباشته می‌شوند. در گذشته از سنگ های خرد شده، شن و ذغال برای پر کردن استفاده می شد. امروزه از پرکن‌های متنوعی در برج ها استفاده می‌شود. از جمله می‌توان به حلقه‌های لسینگ (lessing)، آکنه های زینی شکل به نام برل (Berl) و اینتالوکس (Intalox)، حلقه‌های پال (Pall) با نام‌های Flesi rings، Cascade rings و Hy-pak و... اشاره نمود. در شکل (۳) چندین نوع از آکنه های نامنظم نشان داده شده است.



شکل ۳: آکنه های نامنظم.

### آکنه های منظم

این نوع آکنه ها بسیار متنوع می باشند. سینی های جریان متقابل حالتی از پرکردن منظم به حساب می آیند. در صورت استفاده از این حالت افت فشار گاز کاهش یافته و امکان استفاده از شدت جریان های زیاد فاز گاز فراهم می شود. البته هزینه مربوط به پرکردن برج به روش منظم بیشتر از پرکردن نامنظم خواهد بود. استفاده از حلقه های راشینگ منظم در اندازه های بزرگ، اقتصادی می باشد. در شکل (۴) چندین نوع از پرکن های منظم نشان داده شده است.



شکل ۴: نمونه هایی از آکنه های منظم.

### محصول بالاسری (Overhead Product)

آنچه از بالای برج به عنوان خروجی دریافت می‌شود، محصول بالاسری نامیده می‌شود که معمولاً غنی از جزئی است که نقطه جوش کمتری دارد.

### محصول ته ماند (Bottom Product)

ماده ای که از پایین برج خارج می‌شود، ته مانده یا محصول انتهایی (Bottom) نام دارد و معمولاً غنی از جزء یا اجزای سنگین‌تر (که نقطه جوش بالاتری دارند) خواهد بود.

### نسبت برگشت (پس ریز) (Reflux Ratio)

نسبت مقدار مایع برگشتی به برج بر حسب مول یا وزن به مایع یا بخاری که به عنوان محصول از سیستم خارج می‌شود را نسبت برگشتی می‌گویند و آن را با حرف R نشان می‌دهند.

### نسبت برگشتی و اثرات آن بر شرایط کارکرد برج

با افزایش نسبت مایع برگشتی تعداد مراحل یا ارتفاع برج مورد نیاز جهت تفکیک (طول برج) کاهش می‌یابد، اما در مقابل بار حرارتی کندانسور و جوش‌آور و مقادیر بخار و مایع در طول برج افزایش می‌یابد. در این صورت نه تنها لازم است سطوح گرمایی مورد نیاز به آنها اضافه شود، بلکه به دلیل افزایش میزان جریان مایع و بخار سطح مقطع برج نیز افزایش می‌یابد. هنگامی که مقدار نسبت برگشتی R زیاد باشد تعداد مراحل و طول برج به کمترین مقدار خود می‌رسد و تمام محصول بالاسری به عنوان مایع برگشتی وارد برج می‌شود و این حالت را برگشت کامل یا (Total Reflux) می‌نامند. در شرایطی که R در کمترین مقدار خود باشد طول برج و تعداد مراحل در بیشترین مقدار خود خواهد بود و عمل تفکیک به شکل کاملی انجام نخواهد شد. مقدار عملی R معمولاً بین حالت برگشت کامل و حداقل میزان R است. در بیشتر موارد مقدار مایع برگشتی بر روی درجه حرارت برج نیز تأثیر می‌گذارد. معمولاً در یک برج تقطیر دمای انتهای آن به مراتب بیشتر از دمای پایین آن است و این اختلاف دما در طول برج وجود خواهد داشت. میزان جریان برگشتی به عنوان یک عامل کنترلی بر روی درجه حرارت سیستم خواهد بود.

### جوش آور (Reboiler)

جوش‌آورها که معمولاً در قسمت انتهایی برج یا کنار آن قرار داده می‌شوند، وظیفه تأمین حرارت یا انرژی لازم را برای انجام عمل تقطیر به عهده دارند. معمولاً جوش‌آورها به عنوان یک مرحله تعادلی در عمل تقطیر و به عنوان یک سینی در برج های سینی دار در نظر گرفته می‌شوند.

### چگالنده (Condenser)

نقش چگالنده تبدیل بخارات حاصل از جوشش مخلوط، به مایع می‌باشد. این امر در اصطلاح میعان یا چگالش نامیده می‌شود و دستگاهی که در آن عمل مذکور انجام می‌شود چگالنده نام دارد. چگالنده‌ها به دو دسته اساسی تقسیم می‌شوند:

۱. چگالنده‌های کامل (Total Condenser)

۲. چگالنده‌های جزئی (Partial Condenser)

در صورتیکه تمام بخار بالای برج به مایع تبدیل شود و بخشی از آن وارد برج شده و بخش دیگر وارد مخزن جمع‌آوری محصول گردد عمل میعان کامل (Total Condensation) انجام شده است. اما اگر بخشی از بخارات حاصل مایع شده و بخش دیگر به صورت بخار از کندانسور خارج شود به آن یک کندانسور جزئی گفته می‌شود.

### افت فشار برای جریان های تک فازه

افت فشار حاصله از عبور یک سیال از درون بستر پر شده ای از جامد نظیر کره، استوانه، شن، ماسه و ... وقتی که این سیال به تنهایی فضای خالی موجود را پر کند با استفاده از معادله Ergun بدست می آید.

$$\frac{\Delta p}{Z} \frac{g_c \varepsilon^3 d_p \rho_g}{(1-\varepsilon) G'^2} = \frac{150(1-\varepsilon)}{Re} + 1.75$$

این معادله در مورد گازها و یا مایعات صادق است. عبارت سمت چپ، یک نوع ضریب اصطکاک بشمار می‌آید. در عبارت سمت راست معادله، میزان ضریب اصطکاک برای هر یک از انواع جریان دیده می‌شود. اگر جریان کاملاً آرام باشد قسمت اول آن مؤثر است و اگر کاملاً متلاطم باشد، جمله دوم آن مؤثر واقع می‌شود. البته یک گرایش تدریجی از یک نوع جریان به نوع دیگر وجود دارد و لذا هریک از دو جمله اهمیت نسبی خود را با تغییر شدت جریان ظاهر می‌کنند.  $Re = \frac{d_p G'}{\mu}$  و  $d_p$  قطر مؤثر ذرات است، یعنی قطر کره‌ای که نسبت سطح به حجم آن نظیر آکنه مورد نظر باشد.

### افت فشار برای جریان دو فازه

در حرکت همزمان گاز و مایع، نتایج بدست آمده توسط محققین مختلف، در مورد افت فشار تفاوت‌های چشمگیری را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها احتمالاً به دلیل تفاوت جرم حجمی آکنه‌ها و یا اختلاف در ضخامت دیواره‌ها می‌باشد. بنابراین تخمین افت فشار چندان دقیق نیست. در غالب موارد استفاده از نمودار توصیه می‌شود. افت فشار مربوط به پرکن‌ها را از شرکت‌های سازنده آنها می‌توان کسب نمود.

### شرح دستگاه:

در پایین دستگاه یک جوش‌آورنده از جنس استیل به حجم ۱۵ لیتر قرار دارد. برای پر کردن این مخزن درپوش سفید رنگ روی آن را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بگردانید و پس از پر کردن مخزن دوباره آن را ببندید و سفت کنید. برای تخلیه این مخزن، شیر  $V_2$  را بعد از سرد شدن دستگاه باز کنید. در سمت راست جوش‌آورنده و در پایین ترین قسمت مخزن محصول پایین برج قرار دارد. حجم این مخزن ۵ لیتر می‌باشد.

در بالای این مخزن، یک مخزن دیگر قرار دارد که مخزن اصلی خوراک می‌باشد. این مخزن زمانی که برج به صورت پیوسته کار می‌کند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بالای این مخزن یک مخزن دیگر به حجم ۵ لیتر قرار دارد که مخزن محصول بالای برج می‌باشد. در بالای مخزن جوش‌آورنده یک ستون شیشه‌ای قرار گرفته که دارای دو قسمت آکنه هر کدام به ارتفاع

۱۶ سانتیمتر می‌باشد. کل ارتفاع برج ۶۴ سانتیمتر است که دو سنسور دمایی دیجیتالی در فواصل ۱۶ و ۴۸ سانتیمتری بر روی آکنه‌ها نصب شده‌اند.

بالای ستون، یک کندانسور استیل قرار دارد. بخار پس از وارد شدن به کندانسور چگالیده شده و به داخل یک مخزن نیم لیتری ریخته می‌شود که یک نوع جدا کننده دو فاز می‌باشد. سپس درصد رفلاکس تعیین خواهد کرد که چه مقدار از این سیال دوباره به ستون برگردد و چه مقدار از این سیال به مخزن محصول بالای برج جاری شود. اگر شیر رفلاکس خاموش باشد، با باز کردن شیر  $V_{10}$  سیال داخل جداساز به مخزن محصول بالای برج جاری می‌شود. در زیر مخزن جداساز یک شیر برای نمونه گیری قرار دارد ( $V_3$ ). شیرهای  $V_4$  و  $V_9$  به ترتیب برای تخلیه مخازن محصولات بالا و پایین برج استفاده می‌شوند.

### آشنایی با قسمت‌های الکترونیکی دستگاه

در کنار جعبه برق کلید خاموش و روشن کردن کلی دستگاه قرار دارد. با روشن کردن سوئیچ کناری و نارنجی رنگ، برق وارد تابلو برق می‌شود. در بالای تابلو برق دو نمایشگر برای ولتاژ ( $V$ ) و آمپر ( $A$ ) قرار دارد که در ابتدا هر دو مقدار صفر را نشان می‌دهند. با استفاده از ولوم Power در قسمت پایین سمت راست تابلو برق، مقدار ولتاژ و آمپر تغییر خواهد کرد. در واقع این مقدار توان هیتز جوش آور می‌باشد. در زیر نمایشگر ولتاژ و آمپر، نمایشگری برای نمایش دماهای  $T_1$ ،  $T_2$ ،  $T_3$  و  $T_4$  وجود دارد که به ترتیب دمای جوش آور ( $T_1$ )، دمای بالای برج ورودی به کندانسور ( $T_2$ )، دمای آب سرد ورودی ( $T_3$ ) و دمای آب گرم خروجی ( $T_4$ ) است.

برای روشن کردن پمپ خوراک بر روی تابلو یک سوئیچ صفر و یک (Feed Pump) قرار دارد با قرار دادن این کلید در حالت روشن، پمپ خوراک روشن شده و خوراک را به وسط برج می‌فرستد. در کنار آن، یک سوئیچ برای روشن کردن شیر رفلاکس (Reflux) وجود دارد. در زیر سوئیچ رفلاکس یک ولوم برای تنظیم درصد رفلاکس به برج می‌باشد. دو عدد بر روی این ولوم‌ها قابل خواندن است. یکی دور دایره و یکی داخل یک مربع و در ضمیمه سیاه رنگ قرار دارد، عددی که دور دایره قرار دارد رقم یکان و عددی که داخل مربع سیاه رنگ قرار دارد رقم دهگان است که جمعاً مقدار درصد را نمایش می‌دهند. در ۱۰۰٪ مقدار رفلاکس، کل محصول به داخل ستون برگردانده می‌شود و در صفر درصد مقدار رفلاکس، کل محصول به مخزن محصول بالای برج ریخته می‌شود.

قطر بیرونی حلقه راشینگ	قطر درونی حلقه راشینگ	ارتفاع حلقه راشینگ	قطر درونی ستون	ارتفاع ستون
12.5 mm	7.5 mm	14 mm	54 mm	64 cm

قبل از روشن کردن دستگاه توجه کنید که حتماً داخل جوش آورنده به اندازه کافی خوراک ریخته شود (از وسط آب‌نما بالاتر باشد). همچنین از وصل شدن آب سرد و تخلیه به محل مناسب مطمئن شوید.

نکته: در تمام آزمایش‌ها می‌توانید از محلول باقیمانده از آزمایش قبل استفاده کنید، البته باید توجه داشته باشید که حتماً درصد حجمی الکل محلول را پیش از شروع آزمایش اندازه بگیرید، زیرا به دلیل اتلاف‌های موجود، این مقدار تغییر می‌کند.



## شرح آزمایش‌ها

### آزمایش ۱: تعیین افت فشار در طول ستون

یک مخلوط ۱۶ لیتری از آب و اتانول (۷۰ درصد حجمی اتانول) تهیه نمایید و داخل مخزن جوش آور بریزید. درب مخزن را محکم ببندید و دستگاه را روشن کنید. سپس شیر  $V_5$  را تا حدی باز کنید که دبی ۳ لیتر در دقیقه بر روی روماتر دیده شود. ولوم مربوط به تنظیم توان هیتر را روی بیشترین مقدار تنظیم نمایید.

سپس کلید دستگاه را روی حالت روشن قرار دهید. افزایش دمای  $T_1$  نشان دهنده گرم شدن مخلوط داخل جوش آور است. شیرهای  $V_6$  و  $V_7$  را باز کنید. این شیرها پایین و بالای برج را به مانومتر متصل می‌کنند. در این حالت اختلاف فشاری دیده نخواهد شد. این دو شیر را در طول آزمایش باز بگذارید و در زمان نیاز اختلاف فشار را بخوانید.

وقتی مخلوط داخل جوش آور گرم شد، بخار شروع به بالا آمدن می‌کند. در این حالت بخار وارد کندانسور می‌شود و بعد از میعان وارد مخزن جداساز می‌گردد. در این حالت کلید رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم مربوط به رفلاکس را کاملاً در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا رفلاکس کامل حاصل شود.

پس از رسیدن محصول به سر ریز موجود در مخزن جداساز، تمام محصول به داخل برج سرازیر خواهد شد این محصول پس از سرازیر شدن به بالای برج بر روی آکنه‌ها می‌لغزد و به پایین می‌رود. زمانی که دماسنج‌های تعبیه شده بر روی برج به حالت پایدار رسیدند و تغییر نکردند می‌توان گفت شرایط موازنه در برج برقرار گشته است و حالت پایا برقرار گردیده است. اختلاف فشار بالا و پایین برج را اندازه‌گیری کنید (توجه شود که در توان‌های پایین هیتر، اختلاف فشار بسیار کم می‌باشد و برای تعیین آن دقت زیادی لازم است).

نرخ تبخیر بوسیله شیر  $V_3$  قابل اندازه‌گیری می‌باشد. برای این منظور ابتدا رفلاکس را خاموش کنید (کلید رفلاکس را در وضعیت خاموش قرار دهید) و کل محصول جمع شده در زیر کندانسور را به وسیله شیر  $V_{10}$  به مخزن پایین‌تر هدایت کنید و شیر آن را ببندید. تمام محصولی که وارد مخزن محصول بالای برج شده را خالی کنید و سپس در فواصل مشخص (مثلاً ۲ دقیقه) با استفاده از کرومومتر، شیر  $V_3$  را باز کنید و محصول را داخل یک ظرف مدرج ۲۵۰ سی‌سی بریزید. این عمل را تا جایی تکرار کنید که به یک عدد تقریباً واحد برای اندازه‌گیری دبی ایجاد محصول برسید. این عمل را برای توان‌های بالاتر تکرار کنید و در هر مرحله میزان نرخ تبخیر و اختلاف فشار و دمای سیال را یادداشت کنید و جدول زیر را کامل نمایید.

نکته: دماسنج یک در قسمت پایین ستون و دماسنج دو، در قسمت بالای ستون قرار دارد.

دمای دماسنج دو	دمای دماسنج یک	$T_1$ (Boiler)	Foaming (Status)	$\Delta P$ (cm H <sub>2</sub> O)	Boil-Up rate (cm <sup>3</sup> /min)	V (v)
						140
						150
						160

### خواسته‌ها

- ۱- نمودار آهنگ تبخیر بر حسب افت فشار را ترسیم نمایید.
- ۲- روند نمودار را به دقت بررسی کنید و آن را توجیه نمایید (دلیل صعودی و یا نزولی بودن نمودار را توضیح دهید).

## آزمایش ۲: تقطیر ساده

برای انجام این آزمایش به یک یا دو استوانه مدرج ۲۵۰ سی‌سی، چند بشر یا ارلن برای نمونه‌گیری و یک الکل سنج نیاز دارید. یک مخلوط ۱۰ لیتری از ۷۰ درصد حجمی اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل ۷ لیتر اتانول خواهد بود. جوش آورنده را از مخلوط پر کرده و درب سفید رنگ آن را محکم ببندید. رفلاکس را خاموش نگه دارید و شیر آب کندانسور را با دبی متوسط (3 L/min) باز نمایید. با باز گذاشتن شیر  $V_{10}$  اجازه دهید محتویات مخزن جداساز به مخزن محصول بالای برج منتقل شود.

هیتر را با ولتاژ ۱۷۰ روشن کنید (می‌توانید ابتدا توان هیتر را بالاتر انتخاب کنید و بعد از افزایش دما، ولتاژ را به ۱۷۰ برسانید). دستگاه را حدوداً به مدت ۳۰ دقیقه رها کنید. پس از این مدت هیتر را خاموش کرده و ۲۰ دقیقه صبر کنید تا دمای مخزن کاهش یابد. سپس به آرامی و با دقت زیاد، شیر زیر مخزن جوش آور را کمی باز کنید و حدود ۱۰ میلی‌لیتر از آن را در ظرفی ریخته و آن را دور بریزید (چون ممکن است این ۱۰ میلی‌لیتر در مجاری باشد و درصد اتانول آن با محلول داخل جوش‌آور متفاوت باشد). سپس ۳ نمونه تهیه کرده و اجازه دهید دمای آن به دمای محیط یا دمای مجاز الکل سنج (معمولاً ۲۵ درجه) برسد. درصد حجمی اتانول را در هر ۳ نمونه تعیین کنید. این مقادیر را در جدول زیر یادداشت کرده و میانگین آن را به عنوان درصد حجمی اتانول در ته‌ماند برج تقطیر ساده در نظر بگیرید.

میانگین	۳	۲	۱	مراحل نمونه‌گیری
				درصد حجمی اتانول در ته‌ماند برج

## خواسته‌ها

- ۱- از درصد حجمی اتانول در ته‌ماند، درصد مولی آن را محاسبه کنید.
- ۲- با در نظر گرفتن تقطیر ساده، کسر مولی اتانول در محصول بالای برج را محاسبه نمایید.
- ۳- به نظر شما آیا وجود آکنه تأثیری بر خلوص محصول تقطیر در این مرحله داشته است؟

### آزمایش ۳: محاسبه ضریب فراریت نسبی در تقطیر به میزان ثابت رفلاکس

برای انجام این آزمایش به یک یا دو استوانه مدرج ۲۵۰ سی‌سی، چند بشر یا ارلن برای نمونه‌گیری و یک الکل سنج نیاز دارید. یک مخلوط ۱۰ لیتری ۷۰ درصد حجمی اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل ۷ لیتر اتانول خواهد بود. مخلوط را داخل جوش آور بریزید و در آن را محکم کنید.

ابتدا توان هیتر را روی صد درصد تنظیم کنید و به محض جاری شدن رفلاکس، توان را تا ۵۵۰ وات کم کنید. دستگاه را روی حالت رفلاکس کامل قرار دهید و حدود ۱۰ دقیقه صبر کنید تا شرایط موازنه در ستون ایجاد شود.

این آزمایش در نرخ‌های مختلف رفلاکس می‌تواند انجام گردد. برای این منظور ابتدا مقدار رفلاکس را روی ۸۳٪ تنظیم نمایید. در این حالت محصول به نسبت ۵ به ۱ وارد ستون و مخزن محصول بالای برج می‌گردد. به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه صبر کنید تا دماها ثابت شده و برج پایدار شود. از بالا و پایین ستون به ترتیب به وسیله شیرهای  $V_3$  و  $V_2$  نمونه تهیه کنید. هیچ گاه بیش از حد نمونه برداری نکنید. توجه داشته باشید نمونه‌ها داغ می‌باشند. پس از آنکه دمای نمونه‌ها به دمای مجاز الکل سنج رسید (دمای نوشته بر روی الکل سنج)، درصد آن را تعیین نمایید. این آزمایش را با مقدار رفلاکس‌های مختلف تکرار کنید و جدول زیر را کامل نمایید.

Reflux	درصد حجمی اتانول در محصول بالا	$x_T$	$\alpha_T$	درصد حجمی اتانول در محصول پایین	$x_B$	$\alpha_B$	$T_1$	دماسنج یک	دماسنج دو
83%									
70%									
50%									

### خواسته‌ها

- ۱- برای هر مقدار رفلاکس ضریب فراریت را در بالا و پایین برج محاسبه نمایید.
- ۲- ضریب فراریت در بالا و پایین برج را با هم مقایسه کنید.
- ۳- ضریب فراریت را در رفلاکس‌های مختلف با هم مقایسه کنید.

#### آزمایش ۴: تقطیر در حالت پیوسته

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج ۲۵۰ سی سی، یک کرومومتر و یک الکل سنج نیاز می‌باشد. ۵ لیتر از مخلوط ۷۰ درصد حجمی اتانول و آب تهیه کنید و در بشر مربوط به خوراک بریزید به مقدار کافی مخلوط دوجزئی حاوی ۵۰ درصد حجمی اتانول تهیه کنید و داخل جوش‌آور بریزید تا به سطح سرریز شیر  $V_1$  برسد. درب آن را محکم ببندید. شیر  $V_1$  را کمی باز کنید.

ولوم مربوط به Boiler را در حالت روشن قرار دهید. سپس شیر  $V_5$  را باز نموده تا آب سرد در کندانسور جریان یابد و جریان روتامتر را روی 3 L/min تنظیم نمایید.

ولوم مربوط به تنظیم توان هیتر را کاملاً در جهت عقربه‌های ساعت بگردانید تا توان هیتر صد درصد گردد. وقتی بخار بالا آمد دمای سنسور  $T_1$  و دماسنج‌های دیجیتالی یک و دو و همچنین دمای سنسور  $T_2$  به سرعت بالا می‌رود. در اینجا آزمایش را با رفلکس کامل شروع کنید. دکمه رفلکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم آن را در جهت عقربه‌های ساعت بگردانید تا رفلکس صد درصد حاصل شود. توان هیتر را روی ۷۰۰ وات قرار دهید.

پس از مدت زمان ۱۵ دقیقه، رفلکس را روی ۸۳ درصد تنظیم نمایید. پمپ خوراک را روشن نمایید و آن را روی دو سوم تنظیم کنید. چون پمپ در بیشترین حالت دبی سه لیتر بر ساعت را تامین می‌کند، وقتی ولوم آن را روی دو سوم تنظیم کنید، دو لیتر بر ساعت خواهیم داشت. شیر  $V_1$  پایین برج را باز کنید.

وقتی حدود 0.5 لیتر از مخزن خوراک به داخل ستون منتقل شد، بوسیله شیر  $V_3$  از محصول بالای برج نمونه تهیه کنید. بوسیله شیر  $V_2$  از پایین ستون نمونه تهیه کنید این عمل را هر ۱۰ دقیقه تا ۳ بار تکرار کنید. از داده‌های مرحله ۲ و ۳ برای محاسبات استفاده نمایید. پس از پایداری برج مانند آزمایش ۱ نرخ تبخیر را سه بار در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری نمایید. سپس میانگین آن را به عنوان نرخ تبخیر در نظر گرفته و دبی جرمی گاز در برج را بدست آورید و در محاسبات از آن استفاده کنید. می‌توانید این آزمایش را برای توان‌های مختلف هیتر انجام دهید.

$\alpha_B$	$X_B$	درصد حجمی محصول پایین	$\alpha_T$	$X_T$	درصد حجمی محصول بالا	نمونه گیری
						۱
						۲
						۳

Average Boil-Up	3	2	1	
Boil-Up rate(cm <sup>3</sup> / min)				

#### خواسته ها:

۱- HETP (ارتفاع معادل با یک واحد تئوری) را محاسبه نمایید.

۲- NTU (تعداد واحدهای انتقال) را محاسبه کنید.

## آزمایش ۵: تقطیر پیوسته در خلأ

در ابتدا لازم به ذکر است که در این بخش به یک دستگاه پمپ هوا نیاز است. خروجی پمپ هوا را به شیر  $V_{12}$  (ورودی اجکتور) وصل کنید. پمپ را روشن کرده و از روی گیج فشار مقدار خلأ نسبی را تنظیم کنید. با استفاده از شیر  $V_{11}$  می‌توانید مقدار خلأ را در مقدار معینی ثابت کنید. آزمایش ۴ را برای مقادیر خلأ 0.2، 0.4 و 0.6 بار تکرار کنید و نتایج آن را با حالت اتمسفری مقایسه کنید.

نکته: بیشتر از 0.6 بار خلأ نسبی ایجاد نکنید. حداکثر خلأ قابل قبول برای دستگاه 0.8 بار است.

## روش محاسبات

Z	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	M	α	x
ارتفاع برج	۲/۱	-۰/۳۷	۱/۲۴	جرم مولکولی	ضریب فراریت	کسر مولی اتانول

$$Z = HETP \times NTU$$

$$HETP = K_1 G^{K_2} Diameter^{K_3} H^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\alpha_{av} \rho_{av}}{\mu_{av}} \right)$$

$$\alpha_{av} = \sqrt{\alpha_{Bo} \times \alpha_{Up}} \quad , \quad \rho_{av} = x\rho_{Et} + (1-x)\rho_{Water} \quad , \quad \mu_{av} = x\mu_{Et} + (1-x)\mu_{Water}$$

$$G = \text{Mas velocity of gas in column} = \frac{(D+L)(xM_{Et} + (1-x)M_{Water})}{t \times A} =$$

$$\frac{D(R+1)(xM_{Et} + (1-x)M_{Water})}{t \times A} = \frac{\text{Mas of product}}{t \times A} \quad \left( \frac{Kg}{m^2.s} \right)$$

اکنون می‌توان تعداد مراحل را بدست آورد:

$$NTU = \frac{Z}{HETP}$$