



شرکت
پژواک پژوه صنعت

برج تقطیر سینی دار

وب سایت:

<http://www.pps-edu.com>

آدرس

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

شماره تماس

021-33286250

بسمه تعالی

مقدمه:

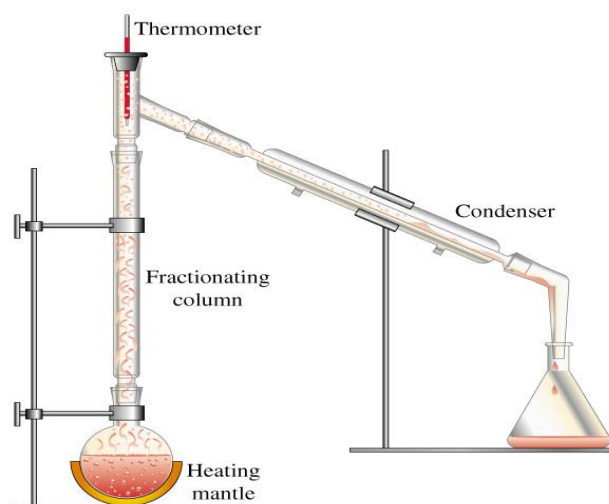
روش‌های مختلفی برای جداسازی اجزای سازنده یک محلول وجود دارد که یکی از این روش‌ها فرایند تقطیر می‌باشد. تقطیر بیشتر برای جداسازی فیزیکی برش‌های نفتی استفاده می‌شود که اساس آن، اختلاف در نقطه جوش هیدروکربن‌های مختلف است. هر چه هیدروکربن سنگین‌تر باشد، نقطه جوش آن زیاد تر است و هرچه هیدروکربن سبک تر باشد، زودتر تبخیر می‌شود. تقطیر، معمول‌ترین روشی است که برای تخلیص مایعات به کار می‌رود. در این عمل مایع را به کمک حرارت تبخیر می‌کنند و بخار مربوطه را در ظرف جداگانه‌ای متراکم می‌کنند و محصول تقطیر را بدست می‌آورند.

تقطیر در عمل به دو روش انجام می‌شود. روش اول شامل تولید بخار از طریق جوشاندن یک مخلوط مایع، سپس میعان بخار، بدون اینکه هیچ مایعی مجدداً به محفظه تقطیر بازگردانده شود. در روش دوم قسمتی از بخار مایع شده، به دستگاه تقطیر باز می‌گردد و این مایع برگشتی در مجاورت بخاری که به طرف مبرد می‌رود، قرار می‌گیرد. هر کدام از این روش‌ها می‌توانند پیوسته یا ناپیوسته باشند. چنانچه ناخالصی‌های موجود در مایع اولیه فرار نباشند، در باقیمانده تقطیر بجا می‌مانند و تقطیر ساده جسم را خالص می‌کند. در صورتی که ناخالصی‌ها فرار باشند، تقطیر جزء به جزء مورد احتیاج خواهد بود. اگر فقط یک ماده فرار بوده و اختلاف نقطه جوش این ماده با ناخالصی‌های موجود در آن زیاد باشد (حدود ۳۰ درجه) می‌توان برای جدا کردن این ماده از ناخالصی‌ها از تقطیر ساده استفاده نمود. از تقطیر ساده معمولاً در جداسازی مخلوط مایعاتی استفاده می‌شود که نقطه جوشی در محدوده ۴۰ تا ۱۵۰ درجه دارند. زیرا در دمای بالاتر از ۱۵۰ درجه بسیاری از ترکیبات آلی تجزیه می‌شوند و در دمای جوش کمتر از ۴۰ درجه مقدار زیادی از مایع در ضمن تقطیر هدر می‌رود.

فشار بخار کل یک مخلوط تابعی از فشار بخار هر یک از اجزا و کسر مولی آنها می‌باشد. بر اساس قانون راولت فشار بخار جزئی یک ترکیب فرار در یک محلول ایده‌آل با حاصلضرب فشار بخار در کسر مولی آن برابر است. بنابراین در بخار موجود بر سطح محلول فرار، ذرات کلیه اجزا شرکت کننده در محلول یافت می‌شوند. رابطه بین فشار بخار کل (P_t) با فشار جزئی (P_i^{sat}) و کسر مولی اجزا (X_i) به صورت زیر است:

$$P_t = P_a^{sat} X_a + P_b^{sat} X_b + P_c^{sat} X_c + P_d^{sat} X_d + \dots$$

اگر محلولی شامل دو ماده شیمیایی فرار باشد که یک جز دارای فشار بخاری بیشتر از جز دیگر باشد، بخار حاصل از تقطیر آن در مقایسه با مایع، دارای درصد بیشتری از جسم فرارتر خواهد بود. در شکل (۱) نمایی ساده از تقطیر نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایی ساده از تقطیر ساده.

انواع تقطیر

۱. تقطیر ساده

هنگامی که ناخالصی غیر فراری مانند شکر به مایع خالصی اضافه شود، فشار بخار مایع تنزل می یابد. زیرا وجود جز غیر فرار به مقدار زیادی غلظت ماده فرار را پایین می آورد. یعنی دیگر تمام مولکول هایی که در سطح مایع موجودند، مولکولهای جسم فرار نیستند و بدین ترتیب قابلیت تبخیر مایع کم می شود. تقطیر ساده را می توان به دو صورت تعریف کرد:

- تقطیر ساده غیر مداوم: در این روش تقطیر، مخلوط حرارت داده می شود تا بحال جوش درآید. بخار حاصل غنی از جزء سبک مخلوط می باشد که پس از عبور از کندانسور تبدیل به مایع شده و از سیستم تقطیر خارج می گردد. به تدریج غلظت جزء سنگین مخلوط در مایع باقیمانده زیاد می شود و نقطه جوش آن بالا می رود. به این ترتیب، در هر لحظه از عمل تقطیر، ترکیب فاز بخار حاصل و مایع باقی مانده تغییر می کند.
- تقطیر ساده مداوم: در این روش، مخلوط اولیه (خوراک) بطور مداوم با مقدار ثابت در واحد زمان، در گرم کننده گرم می شود تا مقداری از آن بصورت بخار درآید و به محض ورود به ستون تقطیر، جزء سبک مخلوط بخار از جزء سنگین جدا می شود و از بالای ستون تقطیر خارج می گردد و بعد از عبور از کندانسور به صورت مایع در می آید. جزء سنگین نیز از ته ستون تقطیر خارج می شود. قابل ذکر است که همیشه جزء سبک حاوی مقداری جزء سنگین و جزء سنگین نیز حاوی مقداری از جزء سبک است.

۲. تقطیر تبخیر آبی (ناگهانی)

وقتی محلول چند جزئی مانند نفت خام حرارت داده می شود، اجزای تشکیل دهنده آن به ترتیب وزن مولکولی (از سبک به سنگین) زودتر بخار می شود. برعکس وقتی بخار حاصل سرد می شود، جزء سبک تر دیرتر مایع می گردد. با توجه به این خاصیت، می توان نفت خام را به روش دیگری که به آن "تقطیر آبی" گفته می شود، تقطیر نمود. در این روش، نفت خام حرارت داده می شود و سپس با کاهش ناگهانی فشار اجزای آن تبدیل به بخار می گردد. با سرد کردن بخار، اجزا به ترتیب وزن مولکولی مایع می شوند. یعنی هرچه جزیی سنگین تر باشد، زودتر مایع می گردد. این فرآیند تا جداسازی کامل اجزای نفت خام از هم ادامه دارد.

۳. تقطیر در خلا

باتوجه به اینکه نقطه جوش مواد سنگین نفتی نسبتا بالاست و نیاز به دما و انرژی زیادی دارد، و از طرفی ممکن است مقاومت این مواد در مقابل حرارت بالا کم باشد و تجزیه شوند، لذا برای جداکردن آنها از خلا نسبی استفاده می شود. در این صورت مواد در دمای پایین تر از نقطه جوش معمولی خود به جوش می آیند. پس تقطیر در خلا به انرژی و دمای کمتر نیاز دارد و همچنین مولکول ها تجزیه نمی شوند. امروزه در بیشتر موارد در عمل تقطیر، از خلا استفاده می شود. یعنی هم تقطیر جزء به جزء و هم تقطیر آبی را در خلا انجام می دهند.

۴. تقطیر به کمک بخار آب

یکی دیگر از روش های تقطیر، استفاده از بخار آب می باشد. در این روش بخار آب را به دستگاه تقطیر وارد می کنند و بدون آنکه خلا ایجاد گردد، اجزای نفت خام در درجه حرارت کمتری تبخیر می شوند. این فرآیند معمولا زمانی انجام می شود که در نقطه جوش آب، فشار بخار اجزای جدا شونده بالا باشد و در نتیجه این اجزا به همراه بخار آب از مخلوط جدا می گردند. غالبا به کمک تقطیر با بخار آب می توان ترکیبات آلی فراری را که با آب مخلوط نمی شوند یا تقریبا با آن غیرقابل اختلاط هستند تفکیک و تخلیص کرد. در این روش مخلوط آب و ترکیب آلی با هم تقطیر می شوند. عمل تقطیر یک مخلوط غیرقابل امتزاج در صورتی که یکی از اجزا آب باشد، تقطیر با بخار آب نامیده می شود.

۵. تقطیر آزنوتروپی

از این روش تقطیر معمولاً در مواردی که نقطه جوش اجزاء مخلوط بهم نزدیک باشند استفاده می‌شود. جداسازی مخلوط اولیه، با افزایش یک حلال خاص که با یکی از اجزای کلیدی، آزنوتوپ تشکیل می‌دهد امکان‌پذیر است. آزنوتروپ محصول تقطیر یا ته مانده ستون می‌باشد و بعد حلال و جزء کلیدی را از هم جدا می‌کنند. معمولاً، ماده افزوده شده آزنوتروپی با نقطه جوش پایین تشکیل می‌دهد که به آن آزنوتروپ شکننده می‌گویند. آزنوتروپ اغلب شامل همه اجزای خوراک است، اما نسبت اجزای کلیدی به سایر اجزای خوراک خیلی متفاوت بوده و بیشتر است.

۶. تقطیر استخراجی

جداسازی اجزای با نقطه جوش تقریباً یکسان از روش تقطیر ساده مشکل و حتی اگر مخلوط ایده‌آل باشد به دلیل تشکیل آزنوتروپ، جداسازی کامل آنها غیرممکن است. برای چنین سیستم‌هایی با افزایش یک جزء سوم به مخلوط که باعث تغییر فراریت نسبی ترکیبات اولیه می‌شود، جداسازی ممکن می‌شود. جزء افزوده شده باید مایعی با نقطه جوش بالا باشد، قابلیت حل شدن در هر دو جزء کلیدی را داشته و از لحاظ شیمیایی به یکی از آنها شبیه باشد.

۷. تقطیر جزء به جزء

اجزای سازنده یک محلول شامل دو یا چند ماده فرار را که از قانون راولت پیروی می‌کنند، می‌توان با فرایند تقطیر جزء به جزء از هم جدا کرد. طبق قانون راولت، فشار بخار محلول برابر با مجموع فشارهای جزئی اجزای سازنده آن است و سهم هر جزء برابر با حاصلضرب کسر مولی یک جزء در فشار بخار آن در حالت خالص است. در تقطیر محلولی از A و B، غلظت A در بخاری که خارج شده و مایع می‌شود، بیش از غلظت آن در مایع باقی مانده است. با ادامه عمل تقطیر، ترکیب درصد اجزا در بخار و مایع دائماً تغییر می‌کند و این نکته در تمام نقاط عمومیت دارد. با جمع‌آوری مایعی که از سرد شدن بخار حاصل می‌شود و از تقطیر مجدد آن و تکرار پی در پی این عمل، سرانجام می‌توان اجزای سازنده مخلوط اصلی را به صورتی واقعاً خالص بدست آورد. برای سهولت، در اینجا فقط محلول‌های ایده‌آل دو تایی را که محتوی دو جزء فرار R و S باشند در نظر می‌گیریم. محلول ایده‌آل به محلولی اطلاق می‌شود که در آن اثرات بین مولکول‌های متجانس مشابه با اثرات بین مولکول‌های غیر متجانس باشد. گرچه فقط محلول‌های ایده‌آل به طور کامل از قانون راولت پیروی می‌کنند، ولی بسیاری از محلول‌های آلی به محلول‌های ایده‌آل نزدیک هستند.

۸. تقطیر جزء به جزء محلول های غیر ایده آل

گرچه بیشتر مخلوط های یکنواخت مایع به صورت محلول های ایده آل عمل می کنند، ولی نمونه های بسیاری وجود دارد که نحوه عمل آنها ایده آل نیست. در این محلول ها، مولکول های غیرمتجانس در مجاورت یکدیگر به طور یکسان عمل نمی کنند. انحراف حاصل از قانون راولت به دو روش انجام می گیرد.

بعضی از محلول ها فشار بخاری بیشتری از فشار بخار پیش بینی شده ظاهر می سازند و گفته می شود که انحراف مثبت دارند. بعضی دیگر فشار بخار کمتری از فشار پیش بینی شده آشکار می کنند و می توان گفت انحراف منفی نشان می دهند. در انحراف مثبت، نیروی جاذبه بین مولکول های مختلف دو جزء سازنده ضعیف تر از نیروی جاذبه بین مولکول های مشابه یک جزء است و در نتیجه در حدود ترکیب درصد معینی فشار بخار مشترک دو جزء بزرگتر از فشار بخار جزء خالصی می شود که فرارتر است. بنابراین مخلوط هایی که ترکیب درصد آنها در این حدود باشد درجه جوش کمتری از هر یک از دو جزء خالص دارند. مخلوطی که در این حدود، حداقل درجه جوشش را دارد باید به صورت جزء سوم در نظر گرفته شود. این مخلوط نقطه جوش ثابتی دارد زیرا ترکیب درصد بخاری که در تعادل با مایع است با ترکیب درصد خود مایع برابر است. چنین مخلوطی را آزنوتروپ یا مخلوط آزنوتروپ با نقطه جوشش مینیمم می نامند. از تقطیر جزء به جزء این مخلوط ها، محصول خالص به دست نمی آید، بلکه جزیی که ترکیب درصد آن از ترکیب درصد آزنوتروپ بیشتر باشد تولید می شود. در انحراف منفی از قانون راولت نیروی جاذبه بین مولکول های مختلف دو جزء قویتر از نیروی جاذبه بین مولکول های مشابه یک جزء، است و در نتیجه در ترکیب درصد معینی فشار بخار مشترک دو جزء کمتر از فشار بخار جزء خالصی می شود که فرارتر است. بنابراین مخلوط هایی که ترکیب درصد آنها در این حدود باشد، حتی نسبت به جزء خالصی که نقطه جوش بیشتری دارد در درجه حرارت بالاتری می جوشند. در اینجا ترکیب درصد به خصوصی وجود دارد که به آزنوتروپ با جوشش ماکزیمم مربوط می شود. تقطیر جزء به جزء محلول هایی که ترکیب درصدی غیر از ترکیب درصد آزنوتروپ دارند، باعث خروج جزیی مخلوطی می شود که ترکیب درصد آن از آزنوتروپ بیشتر باشد.

ستونهای تقطیر جزء به جزء

این ستون ها انواع متعددی دارد، ولی در تمام آنها ویژگی های مشابهی موجود است. این ستون ها مسیر عمودی را به وجود می - آورند که باید بخار در انتقال از ظرف تقطیر به مبرد از آن بگذرد. این مسیر به مقدار قابل ملاحظه ای از مسیر دستگاه تقطیر ساده طویل تر است. هنگام انتقال بخار از ظرف تقطیر به بالای ستون، مقداری از بخار متراکم می شود. چنان چه قسمت پایین این ستون نسبت به قسمت بالای آن در درجه حرارت بیشتری نگهداری شود، مایع متراکم شده و درحالی که به پایین ستون می -

ریزد دوباره به طور جزئی تبخیر می‌شود. بخار متراکم نشده، همراه بخاری که از تبخیر مجدد مایع متراکم شده حاصل می‌شود، در داخل ستون بالا می‌روند. این اعمال باعث تقطیر مجدد مایع می‌شود، به طوریکه در هر یک از مراحل فاز بخاری که به وجود می‌آید نسبت به جزء فرارتر غنی‌تر می‌شود. ماده متراکم شده‌ای که به پایین ستون می‌ریزد، در مقایسه با بخاری که با آن در تماس است، در هر یک از مراحل نسبت به جزئی که فراریت کمتری دارد غنی‌تر می‌شود. در شرایط ایده‌آل بین فازهای مایع و بخار در سراسر ستون تعادل برقرار می‌شود و فاز بخار بالایی تقریباً به طور کامل از جزء فرارتر تشکیل می‌شود و فاز مایع پایینی نسبت به جزئی که فراریت کمتری دارد غنی‌تر می‌شود. مهم‌ترین شرایطی که برای ایجاد این حالت لازم است عبارتند:

✓ باید تماس کامل و مداوم بین فازهای بخار و مایع در ستون وجود داشته باشد.

✓ طول ستون کافی باشد.

چنانچه این دو شرط وجود داشته باشد می‌توان با یک ستون طویل ترکیباتی که اختلاف کمی در نقطه جوش دارند به طور رضایت بخش از هم جدا کرد، زیرا طول ستون مورد نیاز و اختلاف نقاط جوش اجزا با هم نسبت عکس دارند. معمول‌ترین راه ایجاد تماس لازم بین فازهای مایع آن است که ستون با مقداری ماده بی اثر مانند شیشه یا سرامیک یا تکه‌های فلزی به اشکال مختلف که سطح تماس وسیعی را فراهم می‌کنند، پر شود. یکی دیگر از راه‌های بسیار موثر ایجاد این تماس بین مایع و بخار آن است که نوار چرخانی از فلز یا تفلون که با سرعت زیادی در داخل ستون بچرخد به کار رود. این عمل نسبت به ستون‌های پر شده‌ای که قدرت مشابهی دارند، این مزیت را دارد که ماده کمی را در داخل ستون نگاه می‌دارد (منظور از این نگه داری، مقدار مایع و بخاری است که برای حفظ شرایط تعادل در داخل ستون لازم است).

۹. تقطیر با مایع برگشتی

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 جرم 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 مجموعه این تماس‌ها، بخاری اشباع از هیدروکربن‌ها 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 مصرف انرژی 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. در هنگام راه‌اندازی سیستم، ابتدا مایع برگشتی را صد درصد انتخاب کرده و بعد مرتباً این درصد را کم می‌کنند و به 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 دمای بالای برج تقطیر برگردانده می‌شود. مقدار گرمای گرفته شده، برابر با مجموع گرمای نهان و گرمای مخصوص مورد نیاز برای رساندن دمای مایع به دمای بالای برج است.

مایع برگشتی گرم: مایع برگشتی گرم با درجه حرارتی برابر با دمای بخارات خروجی برج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مایع برگشتی داخلی: مجموع تمام مایع‌های برگشتی داخل برج را که از سینی‌های بالا تا پایین در حرکت است، مایع برگشتی داخلی گویند. مایع برگشتی داخلی و گرم فقط قادر به جذب گرمای نهان می‌باشد. چون اصولاً طبق تعریف اختلاف دمایی بین بخار و مایع در حال تماس وجود ندارد.

مایع برگشت دورانی: 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. معمولاً این نوع مایع برگشتی در قسمت‌های میانی یا درونی برج بکار گرفته می‌شود و مایع برگشتی جانبی هم خوانده می‌شود. اثر عمده این روش، تقلیل حجم بخارات موجود در برج است.

نسبت مایع برگشتی

حجم مایع برگشتی به داخل برج نسبت به محصول خروجی از بالای برج را نسبت مایع برگشتی یا رفلکس 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 برگشتی بکار می‌برند.

شرح دستگاه

اجزای دستگاه:

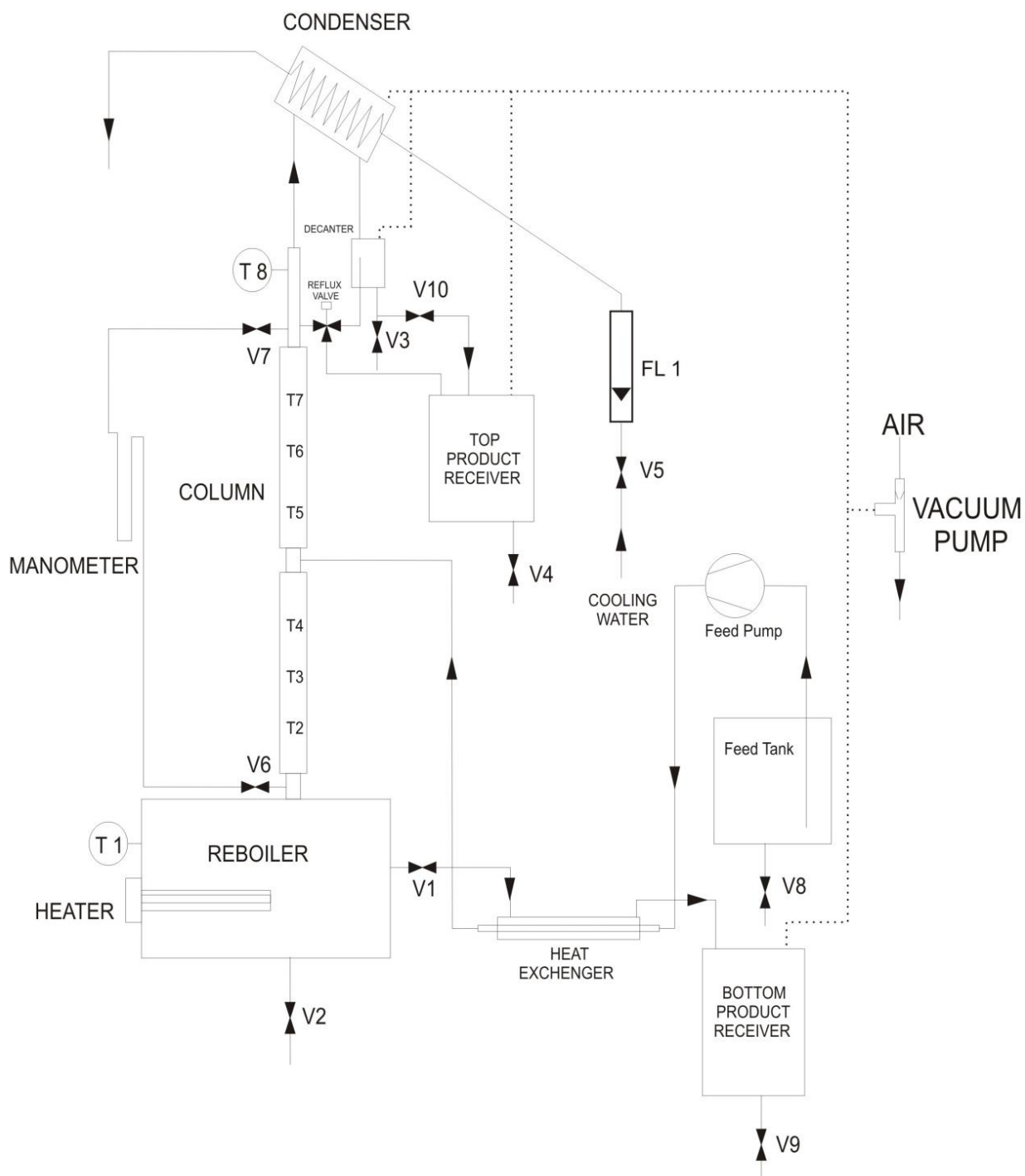
در پایین دستگاه یک جوش آورنده از جنس استیل به حجم ۱۰ لیتر قرار دارد. برای پر کردن این مخزن درپوش سفید رنگ روی آنرا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بگردانید و پس از پر کردن مخزن دوباره آنرا ببندید و سفت کنید. برای تخلیه این مخزن بعد از سرد شدن دستگاه، شیر زیر مخزن را باز کنید.

در سمت راست جوش آورنده و در پایین ترین قسمت، مخزن محصول پایین برج قرار دارد. این مخزن از جنس شیشه و به حجم ۵ لیتر می باشد.

در بالای این مخزن، یک مخزن دیگر قرار دارد که مخزن اصلی خوراک می باشد. این مخزن در زمانی که برج به صورت پیوسته کار می کند مورد استفاده قرار می گیرد. در بالای این مخزن یک مخزن دیگر به حجم ۵ لیتر قرار دارد که مخزن محصول بالای برج نام دارد. در بالای مخزن جوش آورنده یک ستون شیشه‌ای قرار گرفته که در بین آن شش عدد سینی غربالی قرار گرفته است. بر روی هر شش سینی یک سنسور دمایی دقیق قرار دارد که دمای سیال روی سینی را نمایش می دهند.

بالتر از این ستون شیشه‌ای، کندانسور استیل نصب شده است. بخار پس از وارد شدن به کندانسور چگالیده شده و به داخل یک مخزن نیم لیتری ریخته می شود که یک نوع جداکننده فاز می باشد. 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 V₁₀ سیال داخل جداساز به مخزن محصول بالای برج جاری می شود.

در زیر مخزن جداساز یک شیر برای نمونه گیری قرار دارد (V₃). شیرهای V₄-V₈-V₉ به ترتیب برای تخلیه مخازن. محصول بالای برج، خوراک و محصول پایین برج استفاده می شود.



خلاصه شیرهایی که در طول آزمایش زیاد استفاده می شوند.

ورودی روتامتر	V ₅	تعیین فشار ستون بوسیله مانومتر	V ₇ و V ₆
ورودی اجکتور برای ایجاد خلا	V ₁₂	تخلیه مخزن زیر کندانسور	V ₃
تخلیه مخزن جمع آوری الكل	V ₄	ورودی مخزن جمع آوری اتانول	V ₁₀

هشدار: پس از انجام آزمایش دستگاه از مواد تخلیه گردد.

آشنایی با قسمتهای الکترونیکی دستگاه:

۱- برای نمایش دمای پایین و بالای برج، آب ورودی و خروجی و همچنین دمای سینی ها، ۷ عدد دماسنج بر روی برج تعبیه شده است. یک دما سنج مربوط به خوراک ورودی به وسط برج و شش تای دیگر به سینی ها مربوط می شود. ۴ دمای دیگر که در جدول زیر آمده اند، از روی صفحه نمایش موجود روی دستگاه خوانده می شوند (توجه کنید که دقت دمای دما سنج ها ۰,۱ درجه و دقت دماهای خوانده شده از روی صفحه نمایش، ۱ درجه است).

T ₄	T ₃	T ₂	T ₁
آب خروجی از کندانسور	آب ورودی به کندانسور	دمای بخار ورودی به کندانسور	دمای جوش آور

۲- برای روشن کردن پمپ خوراک بر روی تابلو یک کلید قرار دارد. با قرار دادن این کلید در حالت روشن، پمپ خوراک روشن

شده و خوراک را به وسط برج می فرستد. برای جوش آورنده و رفلکس نیز دو کلید بر روی تابلو تعبیه شده است.

۳- در پایین جعبه برق دستگاه یک ولوم قرار دارد که برای تنظیم مقدار برگشتی (Reflux) بکار برده می شود. دو عدد بر روی

این ولوم 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 جمعا مقدار درصد را نمایش میدهند. در صد

درصد مقدار رفلکس کل محصول به داخل ستون برگردانده می شود و در صفر درصد مقدار رفلکس کل محصول به مخزن

محصول بالای برج ریخته می شود.

۴- بر روی تابلو فرمان این دستگاه یک ولوم قرار دارد که برای تنظیم توان جوش آورنده از آن استفاده می شود. برای تغییر توان،

به آرامی ولوم را بچرخانید و برای محاسبه توان الکتریکی اعمال شده توسط جوش آورنده، مقادیر ولتاژ و آمپر که بر روی

نمایش دهنده های دیجیتالی نشان داده می شوند را در هم ضرب کنید.

در کنار جعبه برق کلید خاموش و روشن کردن کلی دستگاه قرار دارد.

قبل از روشن کردن دستگاه به موارد زیر توجه کنید:

- حتما داخل جوش آورنده به اندازه کافی خوراک ریخته شود (از وسط آبنا بالاتر باشد).

- از وصل شدن آب سرد و تخلیه به محل مناسب مطمئن شوید.

- برای راه اندازی دستگاه، بیش از نصف مخزن باید از آب و اتانول پر شود. ولوم را بچرخانید تا ولت متر عدد ۲۰۰ (حدودی کافی

است) را نشان دهد و با دقت به دمای جوش آورنده توجه نمایید تا وقتی که دما به ۶۰ درجه رسید، ولوم را کاهش دهید تا ولت

متر حدودا عدد ۱۷۰ را نشان دهد.

آزمایش ۱: تعیین افت فشار در طول ستون

یک مخلوط ۱۰ لیتری از ۵۰ درصد مولی آب و ۵۰ درصد مولی اتانول تهیه نمایند که این مخلوط شامل ۲/۳۶ لیتر آب و ۷/۶۴ لیتر اتانول خواهد بود.

$$V_w + V_{Et} = 10 \text{ Liter}$$

$$v_{Et} = \text{Volume of 1 mol Ethanol} = \frac{1 \text{ cm}^3}{0.7895 \text{ gr}} \times \frac{46.069 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} = 58.35 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}$$

$$v_w = \text{Volume of 1 mol Water} = \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ gr}} \times \frac{18.0153 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} = 18.0153 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}$$

$$V_w = n_w \times v_w$$

$$V_{Et} = n_{Et} \times v_{Et}$$

$$V_{Total} = n_{Et} \times 58.35 + n_w \times 18.0153 = 10000 \text{ cm}^3, \quad \frac{n_{Et}}{n_{Et} + n_w} = 0.50$$

با حل دو معادله داریم:

$$V_w = n_w \times v_w = 130.95 \times 18.0153 = 2360 \text{ cm}^3 = 2.36 \text{ Liter Water}$$

$$V_{Et} = n_{Et} \times v_{Et} = 130.95 \times 58.35 = 7640 \text{ cm}^3 = 7.64 \text{ Liter Ethanol}$$

مخزن را با ۱۰ لیتر از مخلوط آماده شده پر کنید. درب مخزن را محکم ببندید و دستگاه را روشن کنید و نمایش دهنده دمای T_1 را نگاه کنید. سپس شیر V_5 را باز کنید تا دبی ۳ لیتر در دقیقه بر روی روماتر دیده شود. ولوم مربوط را بچرخانید تا ولت متر روی ۲۰۰ تنظیم گردد.

دمای T_1 نشان دهنده گرم شدن مخلوط داخل جوش آور است. شیر V_6 و V_7 را باز کنید. این شیرها بالا و پایین برج را به مانومتر متصل می کند. در این حالت اختلاف فشاری دیده نخواهد شد. مجدداً شیرهای V_6 و V_7 ببندید.

وقتی مخلوط داخل جوش آور گرم شد بخار شروع به بالا آمدن می کند. در این حالت بخار وارد کندانسور می شود و بعد از میعان وارد مخزن جداساز می گردد. در این حالت کلید رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم مربوط به رفلاکس را کاملاً در جهت عقربه های 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 سینی‌ها می‌لغزد و به پایین می‌رود زمانی که دماها (دمای روی سینی‌ها) به حالت ثابت رسیدند می‌توان گفت شرایط موازنه در برج برقرار گشته است و حالت پایا برقرار گردیده است.

نرخ تبخیر بوسیله شیر V4 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 مخزن پایین‌تر (مخزن محصول بالای برج) هدایت کنید و شیر آن را ببندید. سپس در فواصل زمانی مشخص (مثلا ۵ دقیقه) با استفاده از کرومومتر، شیر V4 را باز کنید و محصول را داخل یک ظرف مدرج بریزید. این عمل را تا جایی تکرار کنید که به یک عدد تقریبا واحد برای اندازه‌گیری دبی ایجاد محصول برسید. در این حالت شیر V6 و V7 را باز کرده و میزان اختلاف فشار را یادداشت کنید. مجددا شیرهای V6 و V7 را ببندید. این عمل را برای مقادیر ۱۸۵ و ۱۷۰ ولت تکرار کنید و در هر مرحله میزان نرخ تبخیر و اختلاف فشار را یادداشت کنید.

POWER I*V (Kw)	Boilup rate (Litrs/hrs.)	Pressure drop (cm H ₂ O)

آزمایش ۲: تعیین بازده کل ستون

یک مخلوط ۱۰ لیتری از ۵۰ درصد مولی آب و ۵۰ درصد مولی اتانول با توجه به روش قبل تهیه نمایید که این مخلوط شامل ۲/۳۶ لیتر آب و ۷/۶۴ لیتر اتانول خواهد بود.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج ۲۵۰ سی‌سی، یک کرومومتر و یک دانسیته‌متر نیاز می‌باشد. جوش آورنده را از مخلوط ۱۰ لیتری پر کرده و درب سفید رنگ آنرا محکم ببندید. رفلاکس را روشن کرده و در حالت صد درصد قرار دهید هیت‌ر را با حداکثر توان روشن کنید و به محض جاری شدن رفلاکس ولوم را به ۱۸۰ کاهش دهید. دستگاه را برای ۱۰ دقیقه رها کنید تا موازنه در برج برقرار گردد. همانطور که در آزمایش قبل گفته شده، نرخ تبخیر را بدست آورید. ابتدا رفلاکس را قطع کنید و محتویات مخزن جداساز را به وسیله V3 خالی کنید. سپس در فواصل مساوی مقدار محصول را به وسیله نمونه‌گیری با شیر V3 اندازه‌گیری کنید تا به عدد واحدی برسید. به خاطر داشته باشید قبل از نمونه‌گیری ۱۰ میلی لیتر از ماده داخل لوله را دور بریزید.

به مقدار زیاد نمونه گیری نکنید، زیرا این عمل باعث بر هم خوردن موازنه جرم در طول ستون خواهد شد از مخزن جوش آور نیز یک نمونه تهیه کنید. سپس خلوص نمونه های تهیه شده را بوسیله دانسیته متر اندازه گیری کنید. از پایین و بالای برج هر ۱۰ دقیقه یک نمونه گرفته و این کار را ۲ بار تکرار کنید. دماها را یادداشت کرده و میانگین دمای ستون را محاسبه کنید. این عمل را برای نرخ تبخیرهای گوناگون انجام دهید تا تمام محدوده عملکردی ستون را پوشش دهید.

محاسبه راندمان:

Boil-up rate = Litrs/hrs.

Over Composition (X_A) d (Mol Percent Ethanol) =

a)

b)

Average = (Mol Percent Ethanol)

Bottom Composition (X_A) b (Mol Percent Ethanol) =

a)

b)

Average top column temperature = °C

Average bottom column temperature = °C

Average column temperature = °C

مثال:

(X_A) d = ۰,۷۵, (X_B) d = ۰,۲۵

(X_A) b = ۰,۴۳, (X_B) b = ۰,۵۷

A اتانول و B آب است.

حال مقدار معادل y را از data equilibrium بیابید.

$\alpha_d = ۱,۱۶۸$, $\alpha_b = ۱,۳۴۰۵$

$\alpha_{av} = \sqrt{1.168 \times 1.3405} = ۱,۲۵$

از معادله Fenske

$$n + 1 = \frac{\log \left[\left(\frac{0.75}{0.25} \right) \left(\frac{0.57}{0.43} \right) \right]}{\log 1.25}$$

$$= 6.2$$

$$n = 5.2$$

تعداد سینی ها از روش تئوری برابر ۵,۲ است.

$$\text{بازده} = \frac{5.2}{8} \times 100 = 65\%$$

همینطور برای هر نمونه بازده را محاسبه کنید و میانگین آن بازده کلی برج است.

Summary of Theory

To calculate the number of theoretical plates for a given separation at total reflux, Fenske developed the following formula:

$$n + 1 = \frac{\log \left[\left(\frac{x_A}{x_B} \right)_d \cdot \left(\frac{x_B}{x_A} \right)_b \right]}{\log(\alpha_{AB})_{av}}$$

where n = number of theoretical plates
 x_A = mole fraction of more volatile component
 x_B = mole fraction of least volatile component
 α_{av} = average relative volatility

Subscripts D, B indicate distillate and bottom respectively

$$\alpha_{av} = \sqrt{\alpha_d \cdot \alpha_b}$$

The efficiency is given by,

$$E = \frac{\text{Number of theoretical plates}}{\text{Number of actual plates}} \times 100\%$$

Knowing the composition of distillate and bottom and the corresponding volatilities, the column efficiency can be determined.

آزمایش ۳: تقطیر با میزان ثابت رفلاکس

یک مخلوط ۱۰ لیتری از ۵۰ درصد مولی آب و ۵۰ درصد مولی اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل ۲/۳۶ لیتر آب و ۷/۶۴ لیتر اتانول خواهد بود.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج ۲۵۰ سی‌سی، یک کرنومتر و یک دانسیته‌متر نیازمند هستید. جوش آور (Boiler) را از مخلوط ۱۰ لیتری پر کنید و درب آنرا محکم ببندید. ابتدا توان هیتر را روی صد درصد تنظیم کنید و به محض جاری شدن رفلاکس توان را با کم کردن ولوم تا مقدار ۱۸۰ کم کنید. دستگاه را روی حالت رفلاکس کامل قرار دهید و حدود ۱۰ دقیقه دستگاه را رها کنید تا شرایط موازنه در ستون ایجاد شود.

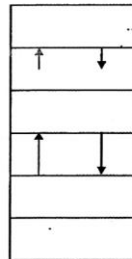
بهتر است این آزمایش در نرخ‌های مختلف رفلاکس انجام گردد. برای این منظور ابتدا مقدار رفلاکس را روی ۸۳٪ تنظیم نمایید. در این حالت محصول به نسبت ۵ به ۱ وارد ستون و وارد مخزن محصول بالای برج می‌گردد. از بالا و پایین ستون به وسیله شیرهای V_3 و V_2 نمونه تهیه کنید. هیچ‌گاه بیش از حد نمونه برداری نکنید. توجه داشته باشید نمونه‌ها ممکن است داغ باشند. این نمونه برداری را هر ۱۰ دقیقه و ۲ بار از بالا و پایین برج انجام دهید و دماها را یادداشت کنید. پس از آنکه دمای نمونه‌ها به

دمای مجاز دانسیته‌متر رسید (دمای نوشته بر روی دانسیته‌متر)، درصد آن را تعیین نمایید و دمای میانگین برج را محاسبه کنید. این آزمایش را با توان‌های مختلف هیتر تکرار کنید تا رنج کامل عملکرد برج را پوشش دهد.

Top product composition (Vol Percent Methanol)	Bottom product composition (Vol Percent Water)

Summary of Theory

Since there is no feed, no bottom product or no top product, the liquid flow in the column is equal to the vapour flow in the column.



$$V = L$$

A material balance over the M.V.C. (most volatile component) gives

$$V y_n = L x_{n+1}$$

Since $V = L$ this gives

$$y_n = x_{n+1}$$

آزمایش ۴: حالت دائمی تقطیر در حالت پیوسته

۵ لیتر از مخلوط ۶۵ درصد مولی اتانول (۰/۷ لیتر آب و ۴/۳ لیتر اتانول) در مخزن خوراک بریزید. به مقدار کافی مخلوط دو جزیی حاوی ۲۵ درصد مولی اتانول و ۷۵ درصد مولی آب (۴/۸ لیتر آب و ۵/۲ لیتر اتانول) تهیه کنید و داخل جوش‌آور بریزید تا به سطح سرریز شیر V1 برسد. درب آن را محکم ببندید. شیر V1 را باز کنید (توجه شود که مقدار دقیق درصد حجمی اتانول در محلول های خوراک و جوش آور، توسط دانسیته متر اندازه گیری شده و یادداشت شوند).

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج ۲۵۰ سی‌سی، یک کرومومتر و یک دانسیته‌متر نیاز می‌باشد.

Boiler را روشن کنید. نمایشگر دمای T1 که دمای جوش آورنده است، نگاه کنید. سپس شیر V5 را باز نموده تا آب سرد در کندانسور جریان یابد و دبی فلومتر را روی $3\text{lit} / \text{min}$ تنظیم نمایید.

ولوم مربوط به تنظیم توان هیتر را کاملاً در جهت عقربه های ساعت بگردانید تا توان هیتر صد درصد گردد. وقتی بخار بالا آمد، دمای سنسورها به سرعت بالا می‌رود در اینجا آزمایش را با رفلاکس کامل شروع می‌کنیم دکمه رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم آن را در جهت عقربه‌های ساعت بگردانید تا رفلاکس صد در صد حاصل شود. ولتاژ هیتر را روی ۱۴۰ قرار دهید.

وقتی ستون ۱۵ دقیقه به حال خود ماند، رفلاکس را روی ۸۳ درصد تنظیم نمایید پمپ خوراک را روشن نمایید و ولوم آن را روی حداکثر مقدار خود قرار دهید. حداکثر دبی این پمپ ۳ لیتر بر ساعت می باشد. شیر V1 پایین برج را باز کنید. ابتدا مقداری محلول وارد مخزن جمع آوری محصول پایین برج می شود تا سطح مایع در Boiler به نیمه برسد. این مقدار اولیه را تخلیه کنید تا در آزمایش خطایی ایجاد نکند.

وقتی حدود ۱ لیتر از مخزن خوراک به داخل ستون منتقل شد، بوسیله شیر V3 از محصول بالای برج نمونه تهیه کنید. بوسیله شیر V1 از پایین ستون نیز نمونه تهیه کنید. این عمل را هر ۱۰ دقیقه ۲ بار تکرار کنید.

می‌توانید این آزمایش را برای توان‌های مختلف (مثلاً ولوم بر روی ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ ولت تنظیم شود) انجام دهید به طوریکه بازه عملکرد برج را پوشش دهد. برای این آزمایش تعداد سینی‌های تئوری را به وسیله داده‌های موجود به دست آورده و راندمان برج را محاسبه کنید.

وزن مولکولی (g/mol)	فرمول	دانسیته (g/cm ^۳)	
۴۶/۰۷	C _۲ H _۶ O	۰/۷۸۹	اتانول
۱۸	H _۲ O	۱/۰۰۰	آب

آزمایش ۵: حالت دائمی تقطیر در حالت پیوسته و خلا (در صورت وقت کافی آزمایش ۵ هم انجام شود)

این مرحله مشابه مرحله قبل است با این تفاوت که کمپرسور باید به اجکتور برج وصل شود و خلا ۰/۲ بار در برج ایجاد گردد و در توان‌های حرارتی پایین آزمایش انجام شود.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج ۲۵۰ سی سی، یک کرومتر و یک دانسیته‌تر نیاز می‌باشد.

۵ لیتر از مخلوط ۶۵ درصد مولی اتانول در مخزن خوراک بریزید. به مقدار کافی مخلوط دو جزیی حاوی ۲۵ درصد مولی اتانول و ۷۵ درصد مولی آب (۴/۸ لیتر آب و ۵/۲ لیتر اتانول) تهیه کنید و داخل جوش‌آور بریزید تا سطح محلول به لوله خروجی ته ماند که بر روی ریپویلر نصب شده است، برسد. درب آن را محکم ببندید. شیر لوله‌ای که بر روی جوش‌آور نصب شده است را باز نمایید تا ریختن محلول از جوش‌آور به داخل مخزن شیشه‌ای را مشاهده کنید. و آن را مجدداً ببندید.

کلید Boiler را در حالت روشن قرار دهید. شیر زیر روتامتر را باز نموده تا آب سرد در کندانسور جریان یابد و دبی فلومتر را روی $2 \text{ lit} / \text{min}$ 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 سنسورهای سینی‌ها به سرعت بالا میرود در اینجا آزمایش را با رفلاکس کامل شروع میکنیم دکمه رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم آن را در جهت عقربه‌های ساعت بگردانید تا رفلاکس صد در صد حاصل شود. توان هیتر را روی نصف قرار دهید.

وقتی ستون ۱۰ دقیقه به حال خود ماند، رفلاکس را روی ۸۳ درصد تنظیم نمایید. پمپ خوراک را روشن نمایید و آن را روی یک سوم تنظیم کنید چون پمپ در بیشترین حالت دبی شش لیتر بر دقیقه را تامین می‌کند، وقتی ولوم آن را روی یک سوم تنظیم کنید دبی دو لیتر بر دقیقه خواهیم داشت. شیر خروجی ته‌ماند پایین برج را باز کنید.

وقتی حدود ۱ لیتر از مخزن خوراک به داخل ستون منتقل شد از محصول بالای برج نمونه تهیه کنید. بوسیله شیر زیر جوش‌آور نیز از پایین ستون نمونه تهیه کنید. این عمل را هر ۱۰ دقیقه تا ۲ بار تکرار کنید. می‌توانید این آزمایش را برای توان‌های مختلف هیتر انجام دهید به طوریکه بازه عملکرد برج را پوشش دهد. اکنون جدول زیر کامل نمایید.

دمای آب کندانسور		دما		درصد حجمی اتانول			
خروجی	ورودی	جوش‌آور	پایین	بالا	ولت‌متر	آمپر	
					۱۷۰		
					۱۸۰		
					۱۸۰		
					۱۸۰		

ادامه جدول (درجه ولوم خوراک حدوداً روی ۳/۵ درجه باشد.)

ولیوم رفلاکس	T _۴	T _۳	T _۲	T _۱	دبی خوراک	دبی آب سرد
۰					۰ L/hrs.	۲ L/min
۵۰					۰ L/hrs.	۲ L/min
۵۰					۲ L/hrs.	۲ L/min
۸۳					۲ L/hrs.	۲ L/min

محاسبات

برای این آزمایش تعداد سینی‌های تئوری را به وسیله داده‌های موجود به دست آورده و راندمان برج را محاسبه کنید.

یک نمونه داده برای این چند آزمایش

ولیوم رفلاکس	T _۴	T _۳	T _۲	T _۱	دبی خوراک	دبی آب سرد	فشار نسبی
۰	۴۱	۳۰	۷۷	۸۴	۰ L/hrs.	۲ L/min	۰
۵۰	۴۱	۳۰	۷۷	۸۵	۰ L/hrs.	۲ L/min	۰
۵۰	۴۱	۳۰	۷۶	۸۳	۲ L/hrs.	۲ L/min	۰
۸۳	۳۸	۳۱	۷۱	۷۹	۲ L/hrs.	۲ L/min	بار ۰/۳ -

دمای آب کندانسور		درصد حجمی اتانول		دما	
خروجی	ورودی	پایین	بالا	جوش آور	آمیر
		۵۰	۹۴	۸۴	۱۷۰
		۴۸	۹۶	۸۵	۱۸۰
		۵۵	۹۵	۸۳	۱۸۰
		۵۰	۹۶	۷۹	۱۵۵