

برج تقطیر Distillation

مقدمه:

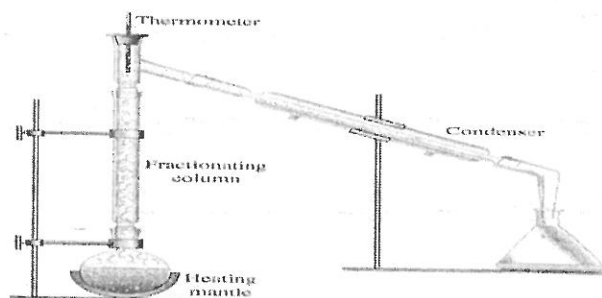
روش‌های مختلفی برای جداسازی مواد اجزای سازنده یک محلول وجود دارد که یکی از این روش‌ها فرایند تقطیر می‌باشد. تقطیر در واقع جداسازی فیزیکی برش‌های نفتی است که اساس آن، اختلاف در نقطه جوش هیدروکربن‌های مختلف است. هر چه هیدروکربن سنگین‌تر باشد، نقطه جوش آن زیاد است و هر چه هیدروکربن سبک‌تر باشد، زودتر تبخیر 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 می‌کنند. 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 30 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 40 تا 150 درجه دارند زیرا در دمای بالاتر از 150 درجه بسیاری از ترکیبات آلی تجزیه می‌شوند و در دمای جوش کمتر از 40 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 جزیی 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 می شود. 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 در محلولی شامل دو ماده شیمیایی فرار باشد که یک جز دارای فشار بخار بیشتری از جز دیگر باشد بخار حاصل از آن در مقایسه با مایع دارای درصد بیشتری از جسم فرارتر خواهد بود. در شکل (1) نمایی ساده از تقطیر نشان داده شده است.



شکل 1: نمایی ساده از تقطیر ساده.

انواع تقطیر

1- تقطیر ساده

هنگامی که ناخالصی غیرفراری 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 مولکولهایی 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:

الف- تقطیر ساده غیرمداوم: در این روش تقطیر، مخلوط حرارت داده می‌شود تا بحال جوش درآید بخار حاصل غنی از جزء سبک مخلوط می‌باشد که پس از عبور از کندانسور تبدیل به مایع شده و از سیستم تقطیر خارج می‌گردد. به تدریج غلظت جزء سنگین مخلوط در مایع باقیمانده زیاد می‌شود و نقطه جوش آن بالا می‌رود. به این ترتیب، هر لحظه از عمل تقطیر، ترکیب فاز بخار حاصل و مایع باقی مانده تغییر می‌کند.

ب- تقطیر ساده مداوم: در این روش، مخلوط اولیه (خوراک دستگاه) بطور مداوم با مقدار ثابت در واحد زمان، در گرم‌کننده گرم می‌شود تا مقداری از آن بصورت بخار درآید، و به محض ورود به ستون تقطیر، جزء سبک مخلوط بخار از جزء سنگین جدا می‌شود و از بالای ستون تقطیر خارج می‌گردد و بعد از عبور از کندانسور به صورت مایع در می‌آید جزء سنگین نیز از ته ستون تقطیر خارج می‌شود. قابل ذکر است که همیشه جزء سبک مقداری جزء سنگین و جزء سنگین نیز دارای مقداری از جزء سبک است.

2- تقطیر تبخیر آبی (ناگهانی)

وقتی محلول چند جزئی مانند نفت خام حرارت داده شود اجزای تشکیل دهنده آن بترتیب وزن مولکولی (از سبک به سنگین) زودتر بخار می‌شود. برعکس وقتی بخار حاصل سرد شود، جز سبک‌تر دیرتر مایع می‌گردد. با توجه به این خاصیت، می‌توان نفت خام را به روش دیگری که به آن "تقطیر آبی" گفته می‌شود، تقطیر نمود. در این روش، نفت خام حرارت داده می‌شود سپس با کاهش ناگهانی فشار اجزای آن تبدیل به بخار می‌گردد. با سرد کردن مایع، به ترتیب سنگینی، اجزا مایع می‌شوند یعنی هرچه جزیی سنگین‌تر باشند، زودتر مایع می‌گردد تا اجزای نفت خام از هم جدا شود.

3- تقطیر در خلا

با توجه 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 گردد، لذا برای جداکردن آنها از خلا نسبی استفاده می‌شود. در این صورت مواد در دمای پایین‌تر از نقطه جوش معمولی خود به جوش می‌آیند. پس تقطیر در خلا به انرژی و دمای کمتر نیاز دارد و همچنین مولکول‌ها تجزیه نمی‌شوند. امروزه در بیشتر موارد در عمل تقطیر، از خلا استفاده می‌شود. یعنی هم تقطیر جزء به جزء و هم تقطیر آبی را در خلا انجام می‌دهند.

4- تقطیر به کمک بخار آب

یکی دیگر از روش‌های تقطیر استفاده از بخار آب می‌باشد. در این روش بخار آب را به دستگاه تقطیر وارد می‌کنند و بدون آنکه خلا ایجاد گردد، اجزای نفت خام در درجه حرارت کمتری تبخیر می‌شوند. این مورد معمولا در زمانی انجام می‌شود که در نقطه جوش آب، فشار بخار اجزای جدا شونده بالا باشد تا به همراه بخار آب از مخلوط جدا گردند. غالبا به کمک تقطیر با بخار آب می‌توان ترکیبات آلی فراری را که با آب مخلوط نمی‌شوند یا تقریبا با آن غیرقابل اختلاط هستند تفکیک و تخلیص کرد. در این روش مخلوط آب و جسم آلی با هم تقطیر می‌شوند. عمل تقطیر یک مخلوط غیرقابل امتزاج در صورتی که یکی از اجزا آب باشد تقطیر با بخار آب نامیده می‌شود.

5- تقطیر آزنوتروپی

از این روش تقطیر معمولا 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 می‌کند. معمولا، ماده افزوده شده آزنوتروپی با نقطه جوش پایین تشکیل می‌دهد که به آن شکننده آزنوتروپ می‌گویند. آزنوتروپ اغلب شامل اجزای خوراک است، اما نسبت اجزای کلیدی به سایر اجزای خوراک خیلی متفاوت بوده و بیشتر است.

6- 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 غیر ممکن 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.

7- تقطیر جزء به جزء

اجزای سازنده محلول شامل دو یا چند فرار را که از قانون راولت پیروی می‌کنند، می‌توان با فرایند تقطیر جزء به جزء از هم جدا کرد. طبق قانون راول، فشار بخار محلول برابر با مجموع اجزای سازنده آن است و سهم هر جزء برابر با حاصلضرب کسر مولی یک جزء در فشار بخار آن در حالت خاص 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 در هر نقطه عمومیت دارد. با جمع آوری مایعی که از سرد شدن بخار حاصل می‌شود و از تقطیر مجدد آن و با تکراری پی در پی این عمل، سرانجام می‌توان اجزای سازنده مخلوط اصلی را به صورتی واقعاً خالص بدست آورد. از نظر سهولت در اینجا فقط محلول‌های ایده‌آل دو تایی را که محتوی دو جز 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.

8- تقطیر جزبه جز محلول‌های غیر ایده‌آل

گرچه بیشتر مخلوط‌های یکنواخت مایع به صورت محلول‌های ایده‌آل عمل می‌کنند ولی نمونه‌های بسیاری وجود دارد که نحوه عمل آنها ایده‌آل نیست. در این محلول‌ها مولکول‌های غیرمتجانس در مجاورت یکدیگر به طور یکسان عمل نمی‌کنند انحراف حاصل از قانون راولت به دو روش انجام می‌گیرد.

بعضی از محلول‌ها فشار بخار بیشتری از فشار بخار پیش بینی شده ظاهر می‌سازند و گفته می‌شود که انحراف مثبت دارند. بعضی دیگر فشار بخار کمتری از فشار پیش بینی شده آشکار می‌کنند می‌گویند که انحراف منفی نشان می‌دهند. در انحراف مثبت نیروی جاذبه بین مولکول‌های مختلف دو جز سازنده ضعیف‌تر از نیروی جاذبه بین مولکول‌های مشابه یک جز است و در نتیجه در حدود ترکیب درصد معینی فشار بخار مشترک دو جز بزرگتر از فشار بخار جز خالصی می‌شود که فرارتر است. بنابراین مخلوط‌هایی که ترکیب درصد آنها در این حدود باشد درجه جوش کمتری از هر یک از دو جز خالص دارند. مخلوطی که در این حدود حداقل درجه جوشش را دارد باید به صورت جز 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 آزئوتروپ یا مخلوط آزئوتروپ با نقطه جوشش مینیمم می‌نامند. از تقطیر جز به جز این مخلوط‌ها، محصول خالص به دست نمی‌آید بلکه جزیی که ترکیب درصد آن از ترکیب درصد آزئوتروپ بیشتر باشد تولید می‌شود. در انحراف منفی از قانون راولت نیروی جاذبه بین مولکول‌های مختلف دو جز قویتر از نیروی جاذبه بین مولکول‌های مشابه یک جز است و در نتیجه ترکیب درصد معینی فشار بخار مشترک دو جز کمتر از فشار بخار جز خالص می‌شود که

فرارتر است. بنابراین مخلوط‌هایی که ترکیب درصد آنها در این حدود باشد حتی نسبت به جز خالصی که نقطه جوش بیشتری دارد در درجه حرارت بالاتری می‌جوشند. در اینجا ترکیب درصد به خصوصی وجود دارد که به آزنوتروپ با جوشش ماکزیمم مربوط می‌شود. تقطیر جز به جز محلول‌هایی که ترکیب درصدی غیر از ترکیب درصد آزنوتروپ دارند باعث خروج جزئی مخلوط می‌شود که ترکیب درصد آن از آزنوتروپ بیشتر باشد.

9- ستونهای تقطیر جز به جز

این ستون‌ها انواع متعددی دارد ولی در تمام آنها ویژگی‌های مشابهی وجود دارد. این ستون‌ها مسیر عمودی را به وجود می‌آورند که باید بخار در انتقال از ظرف تقطیر به مبرد از آن بگذرد. این مسیر به مقدار قابل ملاحظه‌ای از مسیر دستگاه تقطیر ساده طولی‌تر است. هنگام انتقال بخار از ظرف تقطیر به بالای ستون مقداری از بخار متراکم می‌شود. چنانچه قسمت پایین این ستون نسبت به قسمت بالای آن در درجه حرارت بیشتری نگهداری شود مایع متراکم شده و در حالی که به پایین ستون می‌ریزد دوباره به طور جزئی تبخیر می‌شود. بخار متراکم نشده همراه بخاری که از تبخیر مجدد مایع متراکم شده حاصل می‌شود و در داخل ستون بالاتر می‌رود. این اعمال باعث تقطیر مجدد مایع می‌شود و به طوریکه در هر یک از مراحل فاز بخاری که به وجود می‌آید نسبت به جز 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 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 جز 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 می توان با یک ستون طویل ترکیباتی که اختلاف کمی در نقطه جوش دارند به طور رضایت بخش از هم جدا کرد زیرا طول ستون مورد لزوم و اختلاف نقاط جوش اجزا با هم نسبت عکس دارند. معمول ترین راه ایجاد تماس لازم بین فازهای مایع آن است که ستون با مقداری ماده بی اثر مانند شیشه یا سرامیک یا تکه های فلزی به اشکال مختلف که سطح تماس وسیعی را فراهم می کند پر شود. یکی از راه های 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 ستون های پر شده ای که قدرت مشابهی دارند این مزیت را دارد که ماده کمی را در داخل ستون نگاه می دارد (منظور از این نگه داری مقدار مایع و بخاری است که برای حفظ شرایط تعادل در داخل ستون لازم است).

10- 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 می شود. این مایع به مایع برگشتی موسوم است. مایع برگشتی با بخارات در حال صعود در تماس قرار داده می شود 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 می شود. نتیجه نهایی مجموعه این تماس ها، بخاری اشباع از هیدروکربن ها با نقطه جوش کم و مایعی اشباع از مواد نفتی با نقطه جوش زیاد می باشد. در تقطیر با مایع برگشتی با استفاده از تماس بخار و مایع، می توان 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 سینی های داخل برج می توانیم 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 می شود برای بدست آوردن خلوص بیشتر محصولات، به جای ازدیاد مایع برگشتی از سینی های 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 رفلاکس 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:

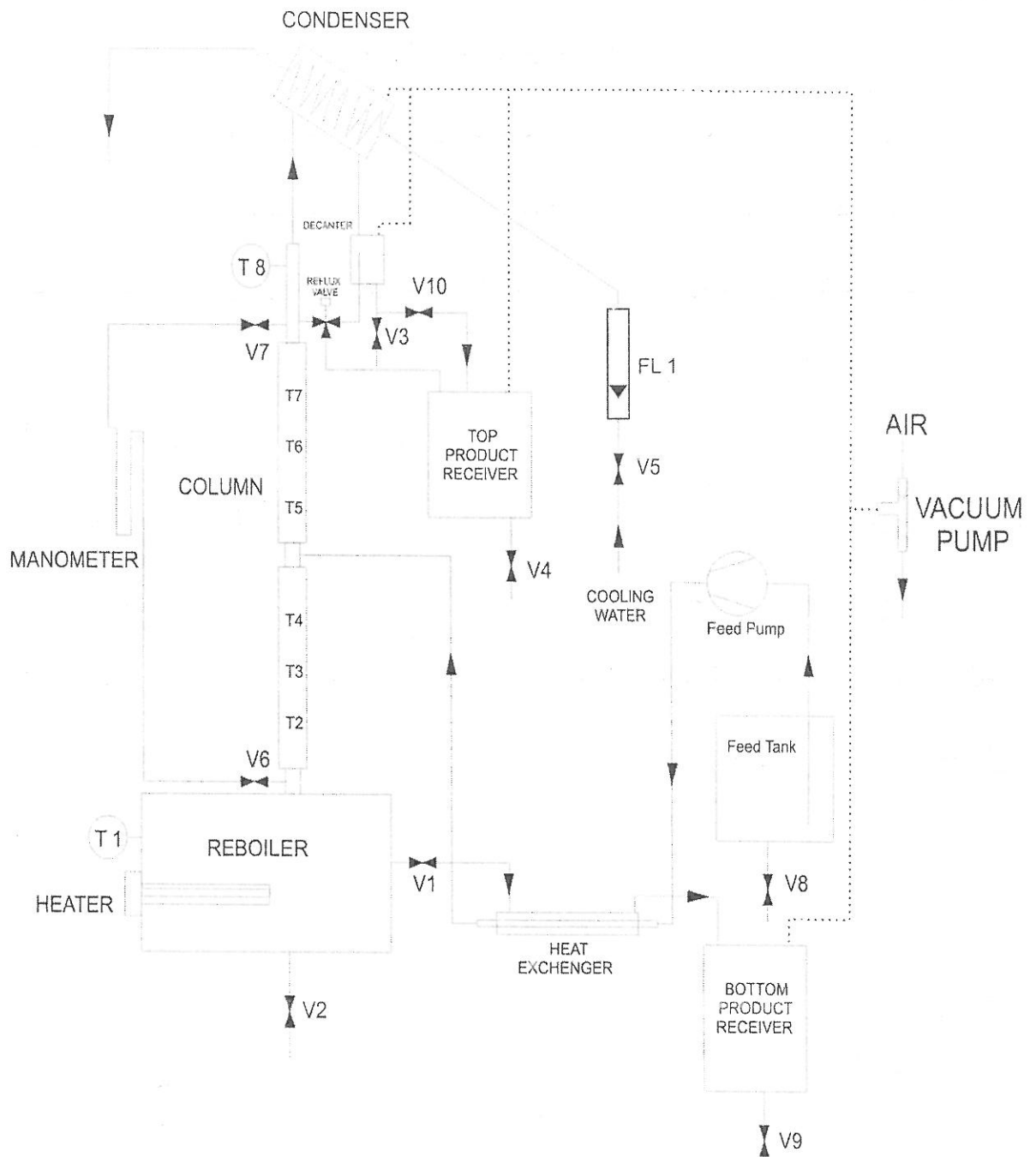
در پایین دستگاه یک جوش آورنده از جنس استیل و به حجم 10 لیتر قرار دارد. برای پر کردن این مخزن در پوش سفید رنگ روی آنرا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بگردانید و پس از پر کردن مخزن دوباره آنرا ببندید و سفت کنید. برای تخلیه این مخزن شیر V2 را بعد از سرد شدن دستگاه باز کنید.

در سمت راست جوش آورنده و در پایین ترین قسمت مخزن محصول پایین برج قرار دارد. این مخزن از جنس شیشه و به حجم 10 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 می‌کند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بالای این مخزن یک مخزن دیگر به حجم 5 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 سینی یک سنسور دمایی دقیق قرار دارد که دمای سیال روی سینی را نمایش می دهد. بالاتر از این ستون شیشه‌ای، 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 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 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 V9-V8-V4 به ترتیب برای تخلیه مخازن محصول بالای برج، خوراک و محصول پایین برج استفاده می شود.



آشنایی با قسمتهای الکترونیکی دستگاه:

برای نمایش دمای جوش آورنده، بالای برج، کندانسور یک نمایش دهنده الکترونیکی بر روی تابلوی دستگاه قرار دارد. بر روی سینی‌ها نیز دماسنج‌هایی نصب شده است که به طور مستقل خاموش و روشن می‌شوند و پس از هر بار آزمایش باید به صورت دستی خاموش گردند. 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 می‌فرستد. برای جوش آورنده و رفلاکس نیز دو کلید بر روی تابلو تعبیه شده است.

در پایین جعبه برق دستگاه یک ولوم قرار دارد که برای تنظیم مقدار برگشتی (Reflux) بکار برده می‌شود. 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 جمعاً مقدار درصد را نمایش می‌دهند. در صد درصد مقدار رفلاکس کل محصول به داخل ستون برگردانده می‌شود و در صفر درصد مقدار رفلاکس کل محصول به مخزن محصول بالای برج ریخته می‌شود.

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

بر روی دستگاه برج تقطیر یک عدد اتوترانس نصب شده است که به وسیله آن می‌توان هیتر را کم و یا زیاد نمود. این اتوترانس دارای یک ولیم تنظیم توان می‌باشد. می‌توان با چرخش ولیم روی اتوترانس توان موردنظر را اعمال نمود.

در بالای تابلو برق، یک آمپرسنج نصب شده است که در هر لحظه مقدار شدت جریان الکتریکی را نشان می‌دهد. دماها را از T1 تا T8 نامگذاری کنید.

| T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| دمای ریویلر | دمای گاز قبل از کندانسور | دمای آب ورودی به کندانسور | دمای آب خروجی از کندانسور |

در یک طرف ریویولر یک آبنا قرار دارد و در سمت دیگر آن یک سنسور قرار داده شده است. باید دقت گردد که حدود 80 درصد آبنا از محلول پر شده باشد زیرا در غیر اینصورت سنسور مذکور از فعال شدن هیتر جلوگیری می‌کند.

هشدار:

اگر بر روی اتوترانس پیچ تنظیم توان روی صفر نباشد ولی شدت جریانی نداشته باشیم دقت نمایید که سطح محلول داخل ریویولر از وسط کمتر بوده و سنسور کنترل‌کننده، از فعال شدن هیتر جلوگیری می‌نماید برای رفع مشکل باید محلول داخل مخزن افزایش یابد.

این برج دارای 6 عدد سینی می‌باشد که بر روی هر سینی یک عدد سنسور دمایی قرار داده شده است دمای هر یک از سینی‌ها بر روی مانیتور کامپیوتر نمایش داده می‌شود و می‌توان تغییرات دما را مشاهده و ثبت نمود. یا می‌توان از روی دستگاه نصب شده بر روی برج تقطیر، دماها را خواند.

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 می‌فرستد. برای جوش آورنده و رفلاکس نیز دو کلید بر روی تابلو تعبیه شده است.

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.

آزمایش 1

هدف: تعیین افت فشار در طول ستون

یک مخلوط 10 لیتری از 50 مول درصد آب و 50 مول درصد اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل 2/36 لیتر آب و 7/64 لیتر اتانول خواهد بود.

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

$$v_{Et} = \text{Volume of 1 mol Ethanol}$$

$$v_w = \text{Volume of 1 mol Water}$$

$$V_w = n_w \times v_w$$

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

مخزن را با 10 لیتر از مخلوط آماده شده پر کنید. درب مخزن را محکم ببندید و دستگاه را روشن کنید و نمایش دهنده دما را روی T1 تنظیم نمایید. سپس شیر V5 را باز کنید تا فلوی 3 لیتر در دقیقه بر روی روتامتر دیده شود. ولوم مربوط به تنظیم تران هیتر را روی 25 تنظیم نمایید. در این حالت توان هیتر 750 وات خواهد بود.

سپس کلید Boiler را روی حالت روشن قرار دهید. دمای T1 نشان دهنده گرم شدن مخلوط داخل جوش آور است. شیر V6 و V7 را باز کنید. این شیرها بالا و پایین برج را به مانومتر متصل می کند. در این حالت اختلاف فشاری دیده نخواهد شد. مجددا شیرهای V6 و V7 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 تماما 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 تقریباً دماها به حالت ثابت رسیدند می‌توان گفت شرایط موازنه در برج برقرار گشته است و حالت پایا برقرار گردیده است.

نرخ تبخیر بوسیله شیر V3 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 هدایت کنید و شیر آن را ببندید. سپس در فواصل مشخص (مثلاً 5 دقیقه) با استفاده از کرنومتر، شیر V3 را باز کنید و محصول را داخل یک ظرف مدرج 250 سی‌سی بریزید. این عمل را تا جایی تکرار کنید که به یک عدد تقریباً واحد برای اندازه‌گیری دبی ایجاد محصول برسید در این حالت شیر V6 و V7 را باز کرده و میزان اختلاف فشار را یادداشت کنید. مجدداً شیرهای V6 و V7 را ببندید.

این عمل را برای توان‌های بالاتر هیتر تا 3kW با فواصل 250W تکرار کنید و در هر مرحله میزان نرخ تبخیر و اختلاف فشار و دمای سیال روی هر سینی را یادداشت کنید.

| POWER (Kw) | Boil up rate (lit/hr) | Pressure drop (cm H ₂ O) | Degree of Foaming on Trays |
|-------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 0.25 = 250 | | | |
| 0.50 = 500 | | | |
| 0.75 = 750 | | | |
| 1.00 = 1000 | | | |
| 1.25 = 1250 | | | |
| 1.50 = 1500 | | | |

جداول را تکمیل و نمودار boil up rate (cm³/min) بر حسب dp (cm H₂O) رسم کنید

| P (watt) | Boil-Up rate(cm ³ /min) | ΔP (cm H ₂ O) | Foam | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|-------------|---------------------------------------|--|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

آزمایش 2

تعیین بازده کل ستون :

یک مخلوط 10 لیتری از 50 مول درصد آب و 50 مول درصد اتانول با توجه به روش قبل تهیه نمایید که این مخلوط شامل 2/36 لیتر آب و 7/64 لیتر اتانول خواهد بود.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج 250 سی سی ، یک کرنومتر و یک دانسیته متر نیاز می باشد. جوش آورنده را از مخلوط 10 لیتری پر کرده و درب سفید رنگ آنرا محکم ببندید. رفلاکس را روشن کرده و در حالت صد درصد قرار دهید هیترا با حداکثر توان روشن کنید و سپس آنرا به 50 درصد کاهش دهید. دستگاه را برای نیم ساعت رها کنید تا به موازنه در برج بر قرارگردد. 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 نمونه گیری با شیر V3 اندازه گیری کنید تا به عدد واحدی برسید. به خاطر داشته باشید قبل از نمونه گیری 10 میلی لیتر از ماده داخل لوله را دور بریزید.

هرگز به مقدار زیاد نمونه گیری نکنید زیرا این عمل باعث برهم خوردن موازنه جرم در طول ستون خواهد شد از مخزن جوش آور نیز یک نمونه تهیه کنید. سپس خلوص نمونه‌های تهیه شده را بوسیله دانسیته‌متر اندازه‌گیری کنید. از پایین و بالای برج هر 10 دقیقه یک نمونه گرفته و این کار را تا 5 بار تکرار کنید. دماها را از T1 تا T8 نامگذاری کنید و 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.

محاسبات

محاسبه راندمان:

Boil-up rate = Litres/hr

Over Composition (XA)d (mol percent methanol) =

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

Average = (mol percent methanol)

Bottom Composition (XA)b (mol percent methanol) =

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

Average top column temperature = °C

Average bottom column temperature = °C

Average column temperature = °C

مقدار معادل y را از equilibrium data بیابیداز معادله Fenske، n را بیابید.

تعداد سینی ها از روش تئوری چقدر است؟

بازده کلی برج چقدر است.

جداول را کامل کنید.

| دفعات تست | Boil Up rate(cm ³ /min) | خلوص بالای برج | خلوص پایین برج | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|--------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |

| T | x | y |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

داده های تعادلی آب - اتانول

نرخ تبخیر متوسط = سانتی متر مکعب بر دقیقه

خلوص متوسط اتانول در بالای برج = مولی

خلوص متوسط اتانول در پایین برج = مولی

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

Summary of Theory

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

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

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

$$\alpha_{av} = \sqrt{\alpha_D \alpha_B}$$

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 3**هدف: تقطیر به میزان ثابت رفلاکس**

یک مخلوط 10 لیتری از 50 مول درصد آب و 50 مول درصد اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل 2/36 لیتر آب و 7/64 لیتر اتانول خواهد بود.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج 250 سی سی ، یک کرنومتر و یک دانسیته‌متر نیازمند هستید.

جوش آور (Evaporator tank) را از مخلوط 10 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 کم کنید. دستگاه را روی حالت رفلاکس کامل قرار دهید و حدود 15 دقیقه دستگاه را رها کنید تا شرایط موازنه در ستون ایجاد شود.

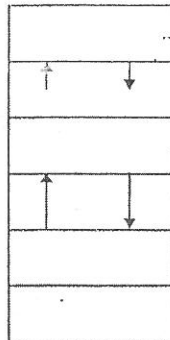
این آزمایش در نرخ‌های مختلف رفلاکس انجام گردد برای این منظور ابتدا مقدار رفلاکس را روی 83٪ تنظیم نمایید. در این حالت محصول به نسبت 5 به 1 وارد ستون و وارد مخزن محصول بالای برج می‌گردد. از بالا و پایین ستون به وسیله

شیرهای V3 و V2 نمونه تهیه کنید. هیچ گاه بیش از حد نمونه برداری نکنید. توجه داشته باشید نمونه‌ها ممکن است داغ باشند. این نمونه برداری را هر 10 دقیقه و 5 بار از بالا و پایین برج انجام دهید و دماهای T2 تا T7 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 (mol percent methanol) | Bottom product composition (mol 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

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

محاسبات

| P(watt) توان بویلر | خلوص بالای برج | خلوص پایین برج | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|-----------------------|-------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

بر اساس روش McCabe تعداد سینی های لازم را با توجه به میزان رفلکس و درصد اتانول بالای برج به دست م آورید و

راندمان را محاسبه کنید.

آزمایش 4

حالت دایمی تقطیر در حالت پیوسته :

5 لیتر از مخلوط 65 مول درصد اتانول در مخزن خوراک بریزید به مقدار کافی مخلوط دو جزیی حاوی 25 مول درصد اتانول و 75 مول درصد آب (4/8 لیتر آب و 5/2 لیتر اتانول) تهیه کنید و داخل جوش آور بریزید تا به سطح سرریز شیر V1 برسد درب آن را محکم ببندید. شیر V1 را باز کنید.

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج 250 سی سی، یک کرنومتر و یک دانسیته متر نیاز می باشد.

کلید Boiler را در حالت روشن قرار دهید نمایشگر دما را روی دمای T1 که دمای جوش آورنده است، تنظیم کنید سپس شیر V5 را باز نموده تا آب سرد در کندانسور جریان یابد و فلوی فلومتر را روی 3lit / 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 سنسورهای T1 تا T8 به سرعت بالا می رود در اینجا آزمایش را با رفلاکس کامل شروع میکنیم دکمه رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم آن را در جهت عقربه های ساعت بگردانید تا رفلاکس صد در صد حاصل شود. توان هیتر را روی نصف قرار دهید.

وقتی ستون 15 دقیقه به حال خود ماند رفلاکس را روی 83 درصد تنظیم نمایید پمپ خوراک را روشن نمایید و آن را روی یک سوم تنظیم کنید چون پمپ در بیشترین حالت شش لیتر بر ساعت را می دهد وقتی ولوم آن را روی یک سوم تنظیم کنید دو لیتر بر دقیقه خواهیم داشت. شیر V1 پایین برج را باز کنید.

وقتی حدود 3 لیتر از مخزن خوراک به داخل ستون منتقل شد بوسیله شیر V3 از محصول بالای برج نمونه تهیه کنید بوسیله شیر V2 از پایین ستون نمونه تهیه کنید این عمل را هر 10 دقیقه تا 5 بار تکرار کنید.

می توانید این آزمایش را برای توان های مختلف هیتر انجام دهید به طوریکه بازه عملکرد برج را پوشش دهد.

| | وزن مولکولی (g/mol) | فرمول | دانسیته (g/cm ³) |
|--------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| اتانول | 46/07 | C ₂ H ₆ O | 0/789 |
| آب | 18 | H ₂ O | 1/000 |

| دفعات نمونه گیری | غلظت بالای برج | غلظت پایین برج |
|------------------|----------------|----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |

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

دستگاه استخراج مایع - مایع Liquid-liquid-Extraction

مقدمه:

وقتی جداسازی از طریق تقطیر کارآیی ندارد یا با دشواری روی می‌دهد، روش استخراج از مایع که یکی از جایگزین‌های اصلی است، به کار می‌رود. مخلوط‌هایی که از اجزا با نقطه جوش نزدیک به هم تشکیل شده‌اند یا موادی که حتی در شرایط خلا نمی‌توانند در دمای تقطیر مقاومت کنند، اغلب با استخراج از ناخالصی‌ها جدا می‌شوند. در استخراج از تفاوت خواص شیمیایی به جای اختلاف فشار بخار استفاده می‌شود. جداسازی یک جزء یا چند جزء موجود در یک مخلوط مایع توسط یک حلال مناسب که در حلال اول تقریباً یا بطور کامل نامحلول است، تحت عنوان عملیات جداسازی مایع - مایع شناخته می‌شود. بدیهی است شرط لازم برای جداسازی اجزاء مورد نظر از مخلوط اولیه، حلالیت بیشتر این اجزاء در حلال مورد استفاده است. این عملیات در مواردی نظیر تولید مایعات آلی خالص از روغن‌های صنعتی، برای خالص‌سازی حلال اولیه صورت می‌گیرد. اگر مواد مورد استخراج در دو فاز بصورت متفاوت پراکنده شوند آنگاه یک جداسازی صورت گرفته است که می‌توان برای بهبود راندمان عملیات، از تعداد مراحل مختلف و یا جریان برگشتی استفاده نمود.

عملیات جداسازی مایع - مایع بیشتر در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که:

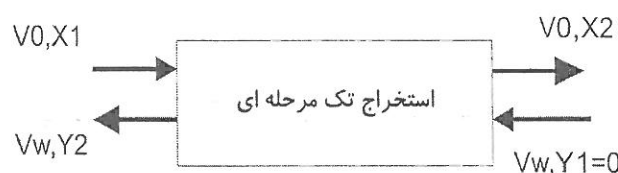
- جداسازی توسط عمل تقطیر به علت تشکیل آزنوتروپ غیر ممکن باشد. مثلاً جداسازی اتانول از آب تشکیل آزنوتروپ می‌دهد که می‌توان اتانول را توسط پنتان جداسازی نمود.
- هزینه تقطیر بالا باشد. مثلاً اسید استیک توسط تقطیر به سختی از محلول رقیق آن با آب خالص جدا می‌گردد، در حالی که توسط عمل استخراج با اتیل استات و سپس تقطیر محلول اسید استیک و اتیل استات جداسازی ارزان‌تر تمام می‌شود.
- اجزاء جداشونده به حرارت حساسیت داشته باشند، مثل مواد دارویی و غذایی.
- نمک‌های معدنی که نقطه جوش بالایی دارند.

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با بخش‌های مختلف یک سیستم جداسازی مایع-مایع و همچنین بررسی تاثیر متغیرهای عملیاتی نظیر دبی حلال آبی و روغن بر راندمان جداسازی می‌باشد. تعیین ضریب توزیع و ضریب انتقال جرم در برج آکنده دستگاه از دیگر اهداف این آزمایش می‌باشد.

تئوری فرآیند استخراج مایع - مایع:

در انتخاب بین تقطیر و استخراج، معمولاً تقطیر انتخاب می‌شود، هرچند که تقطیر نیاز به گرمایش دارد. در استخراج، باید حلال را برای استفاده مجدد (معمولاً با تقطیر) بازیابی کرد و عملیات ترکیبی تقطیر - استخراج از عملیات تقطیر معمولی بدون استخراج پیچیده‌تر و اغلب گران‌تر است. ولی، در استخراج انعطاف‌پذیری زیادی برای انتخاب شرایط عملیات وجود دارد، زیرا نوع و مقدار حلال و همچنین دمای کارکرد را می‌توان تغییر داد. از استخراج برای جداسازی بیش از دو جزء می‌توان استفاده کرد و در بعضی کاربردها به جای یک حلال باید از مخلوط حلال‌ها استفاده شود. در عملیات استخراج مایع - مایع، محلولی که باید جزء از آن استخراج گردد خوراک (اینجا روغن) نامیده می‌شود. مایعی که در تماس با خوراک قرار می‌گیرد و اجزائی از خوراک را در خود حل می‌کند حلال (اینجا حلال آبی) نامیده می‌شود. به حاللی که از جزء استخراج شونده غنی باشد Extract و به مایع باقیمانده که جزء مورد نظر از آن خارج شده است Raffinate گفته می‌شود.

جهت تعیین میزان راندمان جداسازی و همچنین تعیین ضریب انتقال جرم از موازنه‌های کلی و جزئی جرم استفاده می‌گردد. بدین منظور شکل زیر را که در آن عملیات جداسازی مایع - مایع بصورت شماتیک نشان داده شده است در نظر بگیرید:



از آنجا که مواد مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از:

| ماده | جزء جداشونده | حلال | حلال جدا کننده |
|------|--|-----------------------|---------------------|
| | اتانول | روغن کانولا | آب (حلال آبی) |
| نماد | X و Y: غلظت اتانول به ترتیب در فاز آلی و آبی | V_0 : دبی حجمی روغن | V_w : دبی حجمی آب |

لذا تئوری ذکر شده در این بخش نیز با اندیس‌های نشانگر مرتبط با این مواد ارائه می‌گردد. فرض کنید:

1: اندیس نشانگر بالای برج

2: اندیس نشانگر پایین برج

با توجه به نکات ذکر شده فوق می‌توان مقدار اتانول جداشده از فاز آلی را بصورت زیر محاسبه نمود:

$$m = V_0 (X_1 - X_2)$$

همچنین مقدار اتانول انتقال یافته به فاز آبی از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$m = V_w (Y_1 - 0)$$

با توجه به رابطه بقای جرم جزء جداشونده خواهیم داشت:

$$V_0(X_1 - X_2) = V_w(Y_1 - 0)$$

همچنین ضریب انتقال جرم در برج آکنده مورد استفاده بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{Log Mean Driving Force} = \frac{\Delta X_1 - \Delta X_2}{\ln \frac{\Delta X_1}{\Delta X_2}} \quad K = \frac{\text{Rate of Acid Transfer}}{\text{Volume of packing} \times \text{Mean Driving Force}}$$

در رابطه مربوطه به محاسبه غلظت متوسط لگاریتمی مقدار هر یک از پارامترهای مورد نیاز بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

باشد:

ΔX_1 : نیروی راننده در بالای برج برابر با $(X_1 - X_{1s})$ که در آن X_{1s} غلظت تعادلی جزء جداشونده در فاز آلی است و با

استفاده از ضریب توزیع و مقدار غلظت جزء جداشونده در فاز آبی بالای برج قابل محاسبه می‌باشد.

ΔX_2 : نیروی راننده در پایین برج برابر با $(X_2 - 0)$

ضریب توزیع جزء جداشونده در عملیات استخراج مایع-مایع بصورت نسبت غلظت جزء جداشونده در فاز آبی Y به غلظت جزء جداشونده در فاز آلی X تعریف می شود.

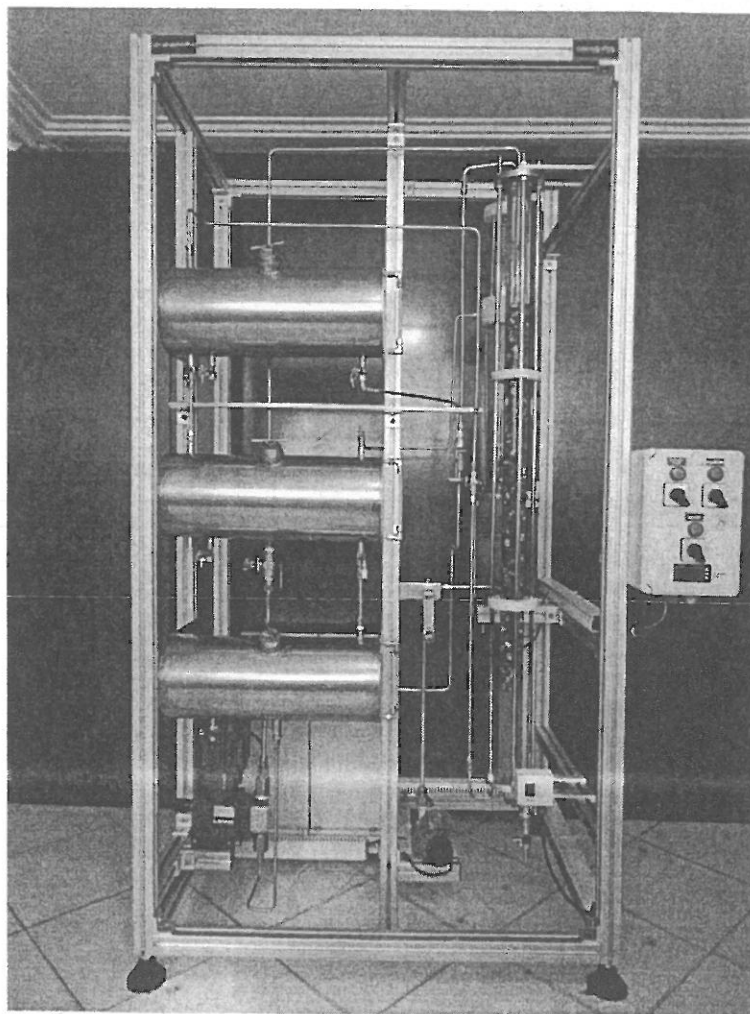
شرح دستگاه مورد آزمایش:

دستگاه مورد آزمایش جهت بررسی و آشنایی با عملیات استخراج مایع - مایع شامل یک لوله آکنده عمودی است. قسمت های مختلف این دستگاه شامل مخزن اصلی روغن، مخازن بازگشت حلال آبی (که شامل جزء جداشونده می باشند) و تانک آب خوراک و تانک آب برگشتی است. همچنین دستگاه شامل یک برج تقطیر جهت بازیابی اتانول از آب می باشد. برج جداسازی مایع - مایع مورد اشاره برای دو نوع عملیات طراحی گردیده است که در حالت اول روغن کانولا به عنوان فاز پیوسته تمامی برج را پر کرده و سپس حلال جداکننده (آب) وارد برج می گردد و بصورت فاز غیرپیوسته عمل کند. در حالت دوم حلال جداکننده تمامی ستون را پر کرده و سپس روغن کانولا بصورت فاز غیرپیوسته وارد شده و عملیات جداسازی صورت می گیرد. بدیهی است که تفاوت راندمان این دو حالت متأثر از کاهش یا افزایش سطح تماس دو فاز و همچنین کم و یا زیاد بودن مقدار هر یک از فازها می باشد.

مقدار آب و روغن موجود در ستون توسط شیر دو کاره تنظیم می گردد. این شیر با مکانیزمی خاص مقدار سیال خروجی از بالا و پایین برج را تنظیم می کند. مبنای این شیر، سیال آبی است که از بالای برج خارج می شود یعنی در حالت موازی با لوله مسی، مسیر بالای برج کاملاً باز و در حالت عمود بر لوله مسیر خروجی بالای برج کاملاً بسته است. برای مسیر خروجی پایین، شیر کاملاً عکس حالت قبل عمل می نماید، طراحی شیر بدین منظور انجام شده که در هیچ حالتی برج تحت فشار قرار نگیرد که باعث آسیب دیدگی سیستم شود.

توجه داشته باشید که تعیین سطح حلال آبی و روغن در ستون به عهده شیر دوکاره است و نباید سطح حلال آبی در پایین برج از 20 سانتی متر کمتر شود زیرا در غیر اینصورت روغن وارد مخزن آبی می شود.

پمپ حلال و پمپ روغن و هیتر برج تقطیر سوئیچ های جداگانه ای در تابلو دارند که بوسیله آن سوئیچ ها خاموش و یا روشن می گردند. در کنار هر دوزینگ پمپ، شیر کنترل دبی قرار دارد. این شیر از یک کلاهک تشکیل شده که بر روی یک استوانه عمودی می چرخد. با این شیر می توان دبی را مشخص نمود. که بهتر است در حالتی که پمپ روشن است این شیر کم و زیاد شود.



نمایی از یک نمونه دستگاه استخراج مایع - مایع

نکته ی بسیار مهم: در تمام موارد توجه شود که دستگاه تنها برای موادی که ذکر شد (روغن کانولا یا آفتابگردان، اتانول، آب) قابل استفاده است و در صورت استفاده از هر ماده دیگری، شرکت پژواک پژوه صنعت هیچ مسئولیتی در قبال تعویض دستگاه نخواهد داشت و دستگاه از گارانتی خارج می شود.

آزمایش اول: تعیین ضریب توزیع اتانول در دو فاز آبی و آلی:

همانگونه که در بخش تئوری ذکر گردید، جهت انجام محاسبات مربوط به جداسازی مایع - مایع ضریب توزیع جزء جداشونده مورد نیاز می‌باشد. بدین منظور قبل از شروع آزمایش این پارامتر برای سیستم آزمایش طراحی شده باید اندازه گیری و محاسبه گردد. بدین منظور انجام مراحل زیر ضروری است:

تجهیزات مورد نیاز:

1- استوانه مدرج 250 میلی لیتری

2- استوانه مدرج 100 میلی لیتری

3- قیف جداکننده

4- الکل سنج مناسب

مطابق روش زیر حلال (آب) و روغن و اتانول را با هم مخلوط می‌کنیم. پس از اختلاط کامل، با ثابت ماندن ظرف سر بسته مخروطی، مواد تشکیل دو فاز آلی و آبی می‌دهند. فاز آبی شامل آب و اتانول و فاز آلی روغن و اتانول باقیمانده می‌باشد. فاز Extract شامل آب (فاز آبی) و اتانول و فاز Raffinate شامل روغن و اتانول می‌باشد. اکنون می‌توان با استفاده از الکل سنج مقدار الکل در هر یک از فازها به دست آورد و ضریب توزیع را محاسبه نمود که با رابطه‌ی زیر نشان داده شده است.

$$K = \frac{\text{Ethanol in the extract phase, } Y}{\text{Ethanol in the raffinate phase, } X}$$

بدین ترتیب ضریب توزیع اسید محاسبه شده و بنابراین $Y=KX$ می‌باشد.

روش انجام آزمایش:

در ابتدا در دمای محیط (25 درجه) با توجه به طول الکل سنج مقداری روغن خالص (حدود 150 میلی لیتر) را درون استوانه مدرج بریزید و الکل سنج را درون استوانه قرار دهید. عدد الکل سنج را یادداشت کنید. عموماً این عدد برای

روغن کانولا 55 می‌باشد. به همین ترتیب این کار را برای آب خالص انجام دهید، الکل سنج مقدار صفر را نشان خواهد داد. حال در ادامه 80 میلی لیتر روغن را با 20 میلی لیتر اتانول در استوانه مدرج مخلوط کرده و خوب تکان دهید تا روغن درون اتانول به شکل قطره در بیاید. حال در ادامه 80 میلی لیتر آب به مخلوط اتانول و روغن اضافه کنید و باز خوب تکان دهید تا جداسازی در بهترین حالت انجام شود.

در نهایت مخلوط به دست آمده را در قیف جداکننده بریزید و دو فاز آبی و آلی را در دو استوانه‌ی 100 میلی لیتری ریخته و با استفاده از الکل سنج میزان الکل در هر دو محلول را اندازه بگیرید.

- مراحل فوق را برای مقادیر دیگر الکل (30 میلی لیتر و 40 میلی لیتر) تکرار کنید.
- نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید و با استفاده از رابطه ذکر شده در بخش تئوری مقدار ضریب توزیع را محاسبه و مقدار متوسط 3 مرحله را گزارش و در محاسبات مورد استفاده قرار دهید.

تعیین ضریب توزیع الکل در فاز آلی و آبی

| مقدار الکل افزوده شده به | الکل موجود در فاز آبی | الکل موجود در فاز آلی (%) | ضریب توزیع $K=Y/X$ |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| 20 | | | |
| 40 | | | |
| 60 | | | |

آزمایش دوم: کالیبراسیون پمپ و اندازه‌گیری حجم آکنه‌ها :

1. یک ظرف مدرج یک لیتری را در زیر شیر بالای پمپ (شیری که در مسیر پمپ آب قرار دارد و پشت دستگاه است) قرار دهید و دسته شیر را در جهتی حرکت دهید که حلال از طرف آزاد شیر خارج شود. سپس پمپ حلال را روشن کنید و مقدار سیال خارج شده در زمان معین را اندازه بگیرید. سپس پیچ تنظیم روی پمپ را تغییر دهید

و در هر عدد مقدار دبی را تعیین کنید. این اعداد را یادداشت کنید و در آزمایشات بعد استفاده نمایید. این کار را برای پمپ روغن نیز انجام دهید.

توجه داشته باشید که پیچ تنظیم روی پمپ را فقط زمانی که پمپ روشن است تغییر دهید در غیر اینصورت قابل تغییر نیست.

2. با استفاده از شیر دو طرفه، روغن را به مخزن هدایت نمایید. سپس مسیر حلال را بسته و برج استخراج را از آب خالص بر نموده، پمپ آب را خاموش و کل آب برج را به دقت در یک سطل مدرج تخلیه نمایید و حجم آن را یادداشت کرده و سپس حجم آکنه‌ها را محاسبه نمایید (قطر داخلی برج 50 mm و ارتفاع برج 1.45 m می باشد).

| کالیبراسیون پمپ آب | | | | | کالیبراسیون پمپ روغن | | | | |
|--------------------|----------|----------|-------------|--------------|----------------------|----------|----------|-------------|--------------|
| شماره | درصد شیر | زمان (s) | حجم آب (ml) | دبی (L/hrs.) | شماره | درصد شیر | زمان (s) | حجم آب (ml) | دبی (L/hrs.) |
| 1 | 15 | | | | 1 | 15 | | | |
| 2 | 20 | | | | 2 | 20 | | | |
| 3 | 30 | | | | 3 | 30 | | | |
| 4 | 40 | | | | 4 | 40 | | | |
| 5 | 50 | | | | 5 | 50 | | | |
| 6 | 60 | | | | 6 | 60 | | | |
| 7 | 70 | | | | 7 | 70 | | | |
| 8 | 80 | | | | 8 | 80 | | | |
| 9 | 90 | | | | 9 | 90 | | | |
| 10 | 100 | | | | 10 | 100 | | | |

آزمایش سوم: مشاهده جریان مختلف الجهد در یک برج آکنده و نقطه طغیان برج :

سرعت طغیان در برج های پر شده: اگر آهنگ فاز پراکنده یا فاز پیوسته ثابت نگه داشته شود و آهنگ جریان فاز دیگر تدریجا افزایش یابد، به نقطه ای می رسیم که فاز پراکنده متحد می شود، ماندگی آن فاز افزایش می یابد، و سرانجام هر دو

فاز با هم از خروجی فاز پیوسته خارج می‌شوند. این حالت را که مشابه آن در ستون جذب روی می‌دهد، طغیان می‌گویند. هرچه آهنگ جریان یکی از فازها در طغیان بیشتر باشد، آهنگ جریان فاز دیگر کمتر است. بدیهی است که ستون باید با آهنگ‌های جریان کمتر از نقطه طغیان کار کند. آزمایش با استفاده از دو حلال غیر قابل حل در یکدیگر مثل آب و روغن انجام می‌گردد. در این آزمایش، استخراج در دو حالت فاز پیوسته آبی و فاز پیوسته آلی انجام می‌گردد. روش انجام آزمایش به شرح زیر می‌باشد:

1. فاز پیوسته روغن

- 15 لیتر آب را در مخزن اصلی بریزید.
- تانک روغن را با 10 لیتر روغن پر کنید و پمپ آنرا جهت پر شدن کامل ستون آکنده روشن نمایید.
- پس از پر شدن ستون از روغن، دبی آن را تا حد 35 درصد کاهش دهید.
- پمپ آب را روشن و مقدار دبی آن را در 30 درصد تنظیم نمایید.
- بوسیله شیر دو طرفه سطح آب پایین برج را ثابت (حدود 20 سانتیمتر) نگه دارید.
- به آرامی دبی آب را افزایش داده، مشاهدات خود را یادداشت کنید (زمانی که آب به وسط برج برسد، شرایط طغیان است).

مشاهده نقطه طغیان برج

| دبی آب | وضعیت | دبی روغن |
|--------|-------|----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

2. فاز پیوسته آبی

این مرحله نیز مشابه مرحله قبل انجام می‌شود، با این تفاوت که دبی روغن افزایش می‌یابد و ستون از آب پر شده است.

مشاهده نقطه طغیان برج

| دبی آب | وضعیت | دبی روغن |
|--------|-------|----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

مشاهدات خود را شامل نحوه حرکت دو فاز، اندازه حباب‌های ایجاد شده و دبی‌هایی که در آنها پدیده طغیان رخ می‌دهد یادداشت کرده و با هم مقایسه کنید.

آزمایش چهارم: تعیین ضریب انتقال جرم در حالتی که فاز آبی فاز پیوسته باشد:

هدف از انجام این آزمایش، تعیین ضریب انتقال جرم در عملیات استخراج مایع - مایع و بررسی تأثیر دبی حجمی روغن بر مقدار آن می‌باشد.

روش انجام آزمایش

- مقدار 5 لیتر اتانول را به 5 لیتر روغن اضافه کرده و به خوبی هم بزنید و سپس به مخزن اصلی مربوطه وارد کنید.
- تانک اصلی آب را تا 15 لیتر پر کنید و پمپ را با حداکثر دبی روشن کنید تا ستون از آب پر شود.
- مقدار دبی آب را پس از پر شدن روی 50٪ تنظیم نمایید.
- پمپ روغن را روشن کرده و دبی آنرا در درجه‌های مختلف (30٪، 50٪ و 70٪) تنظیم نمایید.
- بوسیله شیر دوطرفه، سطح آب را در زیر روغن ثابت نگه دارید.

- برای مدت 15 تا 20 دقیقه عملیات را ادامه دهید تا شرایط پایدار حاصل گردد. در طی این مدت دبی آب و مخلوط روغن - الکل را چند بار اندازه گیری نمائید تا دقت لازم را داشته باشد.
- 150 میلی لیتر از Extract Tank و 150 میلی لیتر از Raffinate Tank جهت سنجش الکل نمونه گیری نمائید.

نتایج را در جدول زیر یادداشت نمائید.

نتایج مربوط به آزمایش تعیین ضریب انتقال جرم درحالتی که فاز پیوسته فاز آبی باشد.

| مشخصه | آزمایش اول | آزمایش دوم | آزمایش سوم |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| دبی حجمی آب | | | |
| دبی حجمی مخلوط روغن | | | |
| درصد اتانول در نمونه خوراک | | | |
| درصد اتانول در نمونه Extract | | | |
| درصد اتانول در نمونه Raffinate | | | |
| ضریب انتقال جرم محاسبه شده | | | |

آزمایش پنجم: تعیین ضریب انتقال جرم در حالتی که فاز روغن فاز پیوسته باشد:

آزمایش چهارم را در حالتی که فاز پیوسته فاز روغن باشد، در چند مقدار از دبی آب تکرار و نتایج را در جدول زیر یادداشت نمایید. مراحل مطابق آزمایش قبل انجام می‌گردد.

نتایج مربوط به آزمایش تعیین ضریب انتقال جرم در حالتی که فاز پیوسته روغن باشد

| مشخصه | آزمایش اول | آزمایش دوم | آزمایش سوم |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| دبی حجمی آب | | | |
| دبی حجمی مخلوط روغن | | | |
| غلظت اتانول در نمونه خوراک | | | |
| غلظت اتانول در نمونه Extract | | | |
| غلظت اتانول در نمونه Raffinate | | | |
| ضریب انتقال جرم محاسبه شده | | | |

تقطیر

هدف: بازیافت اتانول

در این مرحله با استفاده از برج پر شده، اتانول بازیافت شده و تا حدی آب و روغن موجود در آن کاهش می‌یابد. در مراحل قبلی، آزمایشات باید با دقت زیادی انجام شده باشد تا روغن کمتری وارد مخزن Extract شده باشد. در صورتی که بخواهید، این مرحله به خوبی نتیجه دهد، باید مخزن Extract را به طور کامل در سطلی تمیز تخلیه و سپس فاز روغن را از آن جدا نمایید. آنگاه با استفاده از شیر V₆ تا 70 درصد استوانه شیشه‌ای زیر برج پر شده که خالی از آکنه است، را از محلول آب و اتانول پر کنید. اکنون هیتر را فعال کرده و دما بر روی 80 درجه تنظیم کرده و هم زمان شیر آب سرد کندانسور را باز نمایید. با استفاده از شیر جریان برگشتی، سعی کنید جریان برگشتی را به مدت 20 دقیقه ثابت نگه دارید. سپس هیتر را خاموش کرده و از محصول و ته مانده برج دو نمونه 100 میلی‌لیتری تهیه و میزان الکل آن را با الکل

سنج بسنجید. نتایج را یادداشت کرده و سعی کنید تانک محصول را خالی نمایید. دمای هیتر را 10 درجه افزایش دهید و همین کار را تا دمای 100 درجه انجام دهید نتایج را یادداشت کنید.

آزمایش برج تقطیر

| شماره | دمای هیتر | درصد اتانول در محصول | درصد اتانول در ته ماند |
|-------|-----------|----------------------|------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

• به روند صعودی یا نزولی بودن درصد اتانول در محصول و ته ماند برج دقت کرده و دلیل آن را توضیح دهید.

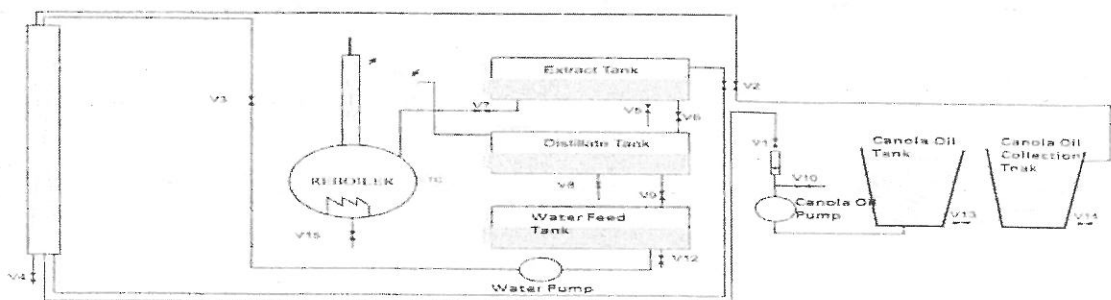
توجه: نباید انتظار خلوص صددرصدی محصول بالای برج را داشته باشیم. زیرا خالص سازی مطلق و کامل امکان پذیر

نسبت.

خواسته های آزمایش های انجام شده:

- 1- محاسبه و گزارش مقدار ضریب توزیع اتانول با ذکر جزئیات.
- 2- گزارش مشاهدات در آزمایش دوم و مقایسه جریان مختلف جهت آب و روغن در دو حالت فاز پیوسته روغن و فاز پیوسته آبی و تعیین مقدار دبی دو سیال در حالت طغیان.
- 3- محاسبه ضریب انتقال جرم و تعداد واحدهای انتقال برای برج مورد استفاده در آزمایش سوم.
- 4- مقایسه و توجیه نتایج بدست آمده در دو آزمایش چهارم و پنجم.

شماتیک دستگاه



دستگاه استخراج جامد - مایع Solid-Liquid Extraction

مقدمه

استخراج یعنی انتقال یک ماده حل شده از یک فاز به فاز دیگر بوده و فاز ترکیب، محلولی است که همه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در سرتاسر آن یکسان بوده و به طور آشکارا از ترکیب و یا محلول دیگر قابل تمیز باشد. مثلاً آب و نفت شامل دو فاز مایع است (یکی فاز نفت و دیگری فاز آب) و یا مخلوط فوق اشباع آب قند شامل دو فاز است (یکی فاز مایع آب قند و دیگری فاز جامد قند ته نشین شده).

در عمل استخراج، با اضافه شدن حلال مناسب و غیرقابل اختلاط، به یک فاز (یا مخلوط)، ماده حل شده در مخلوط اولیه وارد فاز دوم می شود (حلال جدید) و از فاز اولیه جدا می شود؛ به شرط اینکه قابلیت انحلال ماده حل شده در فاز دوم بیشتر از فاز اول باشد. اگر ماده‌ای از فاز جامد به داخل فاز مایع استخراج شود، استخراج را جامد-مایع می‌گوییم؛ مانند تهیه چای. انتقال یک جسم از فاز مایع به مایع دیگر را استخراج مایع-مایع گویند. حذف ید از آب به وسیله تتراکلرید کربن نمونه‌ای از استخراج مایع-مایع است.

استخراج، روش نسبتاً ساده‌ای است و بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای خالص سازی بسیاری از ترکیبات حاصل از واکنش های شیمیایی و استخراج الکل‌ویدها از برگ و یا پوست گیاهان و استخراج اسانس‌های مواد غذایی از دانه‌ها، گل‌ها، یا استخراج شکر از نیشکر و ... استفاده می‌شود. در بسیاری مواد غذایی و زیستی، مواد آلی و غیرآلی به صورت یک مخلوط در فاز جامد موجود می‌باشند. برای جداسازی یک جزء مطلوب یا خارج کردن یک جزء نامطلوب از فاز جامد می‌توان از تماس فاز جامد با حلال مایع استفاده نمود. وقتی که دو فاز با هم در تماس هستند یک یا چند جزء حل شونده تمایل دارند از فاز جامد به فاز مایع نفوذ کنند که در نتیجه یک جداسازی بین اجزاء بوجود می‌آید. این جداسازی استخراج جامد-مایع یا لیچینگ نام دارد. در فرآیند استخراج جامد-مایع وقتی جزء نامطلوب توسط حلال آب از فاز جامد جدا می‌شود به فرآیند اصطلاحاً شستشو گویند.

فرآیند استخراج جامد- مایع در صنایع غذایی و زیستی:

در صنایع غذایی بسیاری از محصولات توسط فرآیند استخراج جامد- مایع از مواد خام جداسازی می‌شوند. یک فرآیند که بسیار حائز اهمیت می‌باشد فرآیند جداسازی قند از چغندر قند توسط آب گرم است. همچنین در تولید روغن‌های نباتی حلال‌های آلی همچون هگزان، استون و یا اتر استفاده می‌شوند تا بتوان روغن موجود در بادام زمینی، سویا، کتان، دانه‌های کرچک، دانه‌های آفتابگردان، دانه‌های پنبه را جدا کرد. در صنایع دارویی بسیاری از داروها توسط استخراج جامد- مایع از ریشه یا ساقه گیاهان استخراج می‌شوند که مثال معمول آن استخراج قهوه و همچنین درست کردن نوشیدنی چای از چای خشک می‌باشد.

فرآیند استخراج جامد- مایع برای مواد آلی و غیرآلی:

فرآیند استخراج جامد- مایع به طور وسیعی در صنایع فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلزات سودمند معمولاً با درصد پایین در مخلوطی از مواد نامطلوب قرار گرفته‌اند که توسط یک حلال از این مواد استخراج می‌شوند. نمک مس موجود در سنگ معدن توسط اسید سولفوریک و محلول‌های آمونیاکی استخراج می‌شود. نمک کبالت و نیکل توسط حلال اسید سولفوریک-آمونیاک- اکسیژن از سنگ معدن استخراج می‌شود و طلا توسط محلول سیانید سدیم از سنگ معدن آن استخراج می‌شود.

آماده‌سازی جامد برای استخراج جامد- مایع

1- مواد آلی و غیر آلی:

آماده‌سازی فاز جامد بشدت وابسته به شرایط آن می‌باشد. آماده‌سازی فاز جامد به نحوه پراکنده بودن جزء مطلوب در فاز جامد، غلظت جزء مطلوب در فاز جامد و طبیعت فاز جامد از نظر نفوذ حلال در آن بستگی دارد. در صورتی که جزء مطلوب توسط یک لایه غیرقابل نفوذ احاطه شده باشد حلال باید از لایه غیرقابل نفوذ عبور داده شود تا بتواند جزء

مطلوب را در خود حل کند. برای این منظور از خرد کردن فاز جامد کمک گرفته می‌شود. با این عمل جزء مطلوب بیشتر در معرض حلال قرار گرفته و فرآیند استخراج را بسیار سریعتر می‌نماید. در صورتی که جزء مطلوب در همه فاز جامد گسترده شده باشد خرد کردن فاز جامد تاثیر زیادی ندارد. در این حالت استفاده از یک حلال متفاوت برای حل کردن مواد دیگر و بالا بردن غلظت جزء مطلوب موثر می‌باشد.

2- مواد گیاهی و حیوانی:

مواد زیستی (بیولوژیکی) معمولاً در ساختار سلولی قرار گرفته‌اند بنابراین به مراتب سرعت استخراج این مواد پایین‌تر است. زیرا وجود سلول‌های کوچک، مقاومتی برای نفوذ خواهند بود و خرد کردن مواد اولیه تا حد بزرگتر از سلول هیچگونه تاثیری بر استخراج جزء مطلوب نخواهد داشت. اما در گیاهان این طور نیست. مثلاً چغندر قند خرد می‌شود تا مسیر نفوذ حلال آب کاهش یابد و استخراج سریع‌تر شود. در استخراج مواد دارویی از ریشه، ساقه و برگ گیاهان معمولاً خشک کردن مواد اولیه قبل از استخراج بسیار موثر خواهد بود چون باعث شکاف خوردن پرزها شده و حلال راحت‌تر نفوذ می‌کند. در استخراج روغن از دانه‌ها روغنی مانند سویا نیز خرد کردن یا له کردن این دانه‌ها موثر می‌باشد زیرا جزء مطلوب راحت‌تر در معرض حلال قرار می‌گیرد و حتی مقداری از آن بدون حضور حلال و به صورت مستقیم خارج می‌شود.

سرعت استخراج جامد- مایع

در استخراج جزء مطلوب از درون فاز جامد توسط حلال مایع به طور کلی مراحل زیر انجام می‌شود.

- 1- جزء حلال از توده حلال تا سطح جامد نفوذ می‌کند.
- 2- جزء حلال در جسم جامد نفوذ می‌کند.
- 3- جزء حل‌شونده در حلال حل می‌شود.
- 4- حلال و جزء حل‌شده از درون جسم جامد تا سطح جسم جامد نفوذ می‌کنند.

5- جزء حل شده از سطح جامد تا توده حلال نفوذ می‌کند.

در نظر گرفتن همه این مراحل باعث پیچیدگی معادله سرعت استخراج خواهد شد. در حالت کلی سرعت نفوذ حلال از توده حلال تا سطح جامد به حد کافی سریع است در حالی که نفوذ حلال در جامد می‌تواند سریع یا کند باشد. در هر حال هر کدام از مراحل بالا دارای سرعت مخصوص به خود می‌باشند و کمترین سرعت کنترل‌کننده سرعت استخراج است. به محض اینکه حلال با جسم جامد تماس داده شود حلال خود را به سطح جامد می‌رساند. استخراج جزء حل شونده در حلال می‌تواند حل شدن فیزیکی ساده یا یک واکنش شیمیایی باشد. مکانیسم‌های حل شدن بسیار متفاوت هستند و دانش کلی در مورد آنها کم است. معمولاً سرعت نفوذ حلال از سطح جامد به درون جسم جامد و یا بالعکس و سرعت نفوذ حل شونده از درون جسم جامد به سطح جامد کنترل‌کننده سرعت استخراج می‌باشند که تابع عوامل مختلفی هستند. داشتن فضای خالی و متخلخل باعث افزایش سرعت نفوذ خواهد شد که این نفوذ بر مبنای ضریب نفوذ موثر تعریف می‌شود. مثلاً در استخراج قند از چغندر قند، یک پنجم هسته‌ها شکافته می‌شوند که در این هسته‌ها استخراج به صورت شستشو می‌باشد. در بقیه سلول‌ها (که شکافته نشده‌اند)، حلال باید نفوذ کند و حل شونده را در خود حل کند بنابراین در عملیات استخراج دو مکانیسم وجود دارد که این استخراج را نمی‌توان به سادگی برحسب ضریب نفوذ موثر بیان کرد. در سویا همه قسمت‌ها به طور موثر استخراج نمی‌شوند. برای استخراج بهتر آنها را خرد و له کرد که در این صورت نفوذ حل شونده از درون فاز جامد به سطح جامد به راحتی قابل محاسبه نمی‌باشد. مقاومت انتقال جرم نفوذ حل شونده از سطح جسم جامد به توده حلال معمولاً در مقایسه با نفوذ آن در جسم جامد بسیار کم است.

روش‌های عملیاتی استخراج جامد-مایع

تعدادی از روش‌های عملیاتی برای استخراج جامد-مایع که معمول هستند در ادامه شرح داده می‌شوند. عملیات استخراج به صورت پیوسته یا به صورت ناپیوسته انجام می‌شود. در یک تقسیم‌بندی دیگر عملیات به صورت تماس دیفرانسیلی یا به صورت تعدادی مراحل تعادلی انجام می‌گردد. در صنایع معدنی از سیستم ناپیوسته که به استخراج جامد-مایع درجا

معروف است استفاده می‌شود. در این سیستم حلال در تماس با فاز جامد قرار گرفته و سپس توسط صاف کردن، حلال و فاز جامد را از هم جدا می‌کنند. در روش دیگر مایع استخراج شده دوباره توسط پمپ روی فاز جامد خرد شده ریخته می‌شود. در یک روش دیگر جامد خرد شده در یک بستر قرار گرفته و حلال مایع روی آن حرکت می‌کند. در این حالت نباید جامد خرد شده ریز باشد چون جلوی حرکت سیال را خواهد گرفت و گاهی اوقات از چندین تانک که به صورت سری قرار گرفته‌اند برای استخراج استفاده می‌شود که به این مجموعه، مجموعه استخراج گفته می‌شود. حلال می‌تواند به صورت غیرمستقیم با فاز جامد حرکت کند.

شرح دستگاه استخراج جامد- مایع

این دستگاه برای استخراج روغن، از دانه‌های روغنی طراحی و ساخته شده است. به‌طور کلی دارای یک برج پرشده، یک مخزن برای قرار دادن جامد، یک تابلو فرمان و یک هیتر برای تنظیم دمای حلال می‌باشد.

تابلو فرمان: بر روی تابلو فرمان دستگاه اجزای زیر نصب شده است.

1- دو کلید 0 و 1 که مربوط به هیتر برج تقطیر و هیتر تنظیم دمای حلال دستگاه می‌باشد.

2- یک ولوم کوچک که در پایین‌ترین بخش تابلو فرمان قرار داشته و مربوط به هیتر ته برج است که به وسیله این ولوم می‌توان توان هیتر ته برج را تنظیم نمود.

3- در سمت چپ تابلو فرمان دمای هیتر نشان داده می‌شود. و دقت شود ماکسیمم دمای هیتر بر روی 120 تنظیم شده است. همچنین انتظار می‌رود زمانیکه دما به 70 می‌رسد. حلال هگزان تبخیر شود.

4- تنظیم دمای حلال: بر روی تابلو فرمان دستگاه یک نمایش‌دهنده دما نصب شده که می‌توان با فشار دادن دکمه‌ی MD دمای حلال پیش گرم را تنظیم کرد. دمای 45 تا 50 درجه برای این منظور مناسب می‌باشد.

5- اجکتور: یک اجکتور جهت افزایش سرعت کار دستگاه با حلال مایع روی دستگاه نصب شده است. البته استفاده یا عدم استفاده از این اجکتور در طول آزمایشات اختیاری است.

هشدار 1: حتما پس از انجام آزمایش دستگاه (ستون، مخزن و مخزن استخراج) را از مواد شیمیایی به طور کامل خالی نمایید.

هشدار 2: پس از انجام آزمایش حتما دستگاه را خاموش کرده، دو پایه برق دستگاه را از پریز برق بکشید.

هشدار 3: در جوش آور برج تقطیر و مخزن شیشه‌ای سمت راست دستگاه، دو هیتر قرار دارد که حتما این دو مخزن باید به حدی هگزان داشته باشد که المان‌های حرارتی به طور کامل در مایع غوطه‌ور باشند. هیتر سمت راست برای تنظیم دمای حلالی که بر روی جامد قرار داده شده و در مخزن استخراج می‌ریزد، تعبیه شده است.

هشدار 4: جریان آب متصل به دستگاه را از شیر آب ببندید.

در سمت راست دستگاه یک مخزن شیشه‌ای تعبیه شده است که در حالت استخراج پیوسته استفاده می‌شود. در سمت چپ مخزن استخراج مسیرهای سوکسله قرار گرفته و شیرهای $V_4-V_3-V_2$ در زیر مخزن استخراج، بر روی یک چهارراه قرار دارد. به طور کلی ابتدا محلول در برج تقطیر خالص‌سازی می‌شود. بدین منظور محلول (هگزان یا آب هر کدام که در دسترس دارید) و (روغن یا چغندر) در دیگ می‌جوشد و محلول تبخیر می‌شود، سپس بخار حاصل با گذر از ستون پر شده وارد کندانسور می‌شود. در کندانسور بخار میعان شده و محلول مایع وارد مسیر می‌شود. پیش فرض آزمایش حلال هگزان است اما می‌توانید از حلال آب برای مشکلات کمتر زیست محیطی استفاده و نتیجه مورد نظر را بیابید. (هگزان و روغن یا آب و چغندر به عنوان خوراک انتخاب شود).

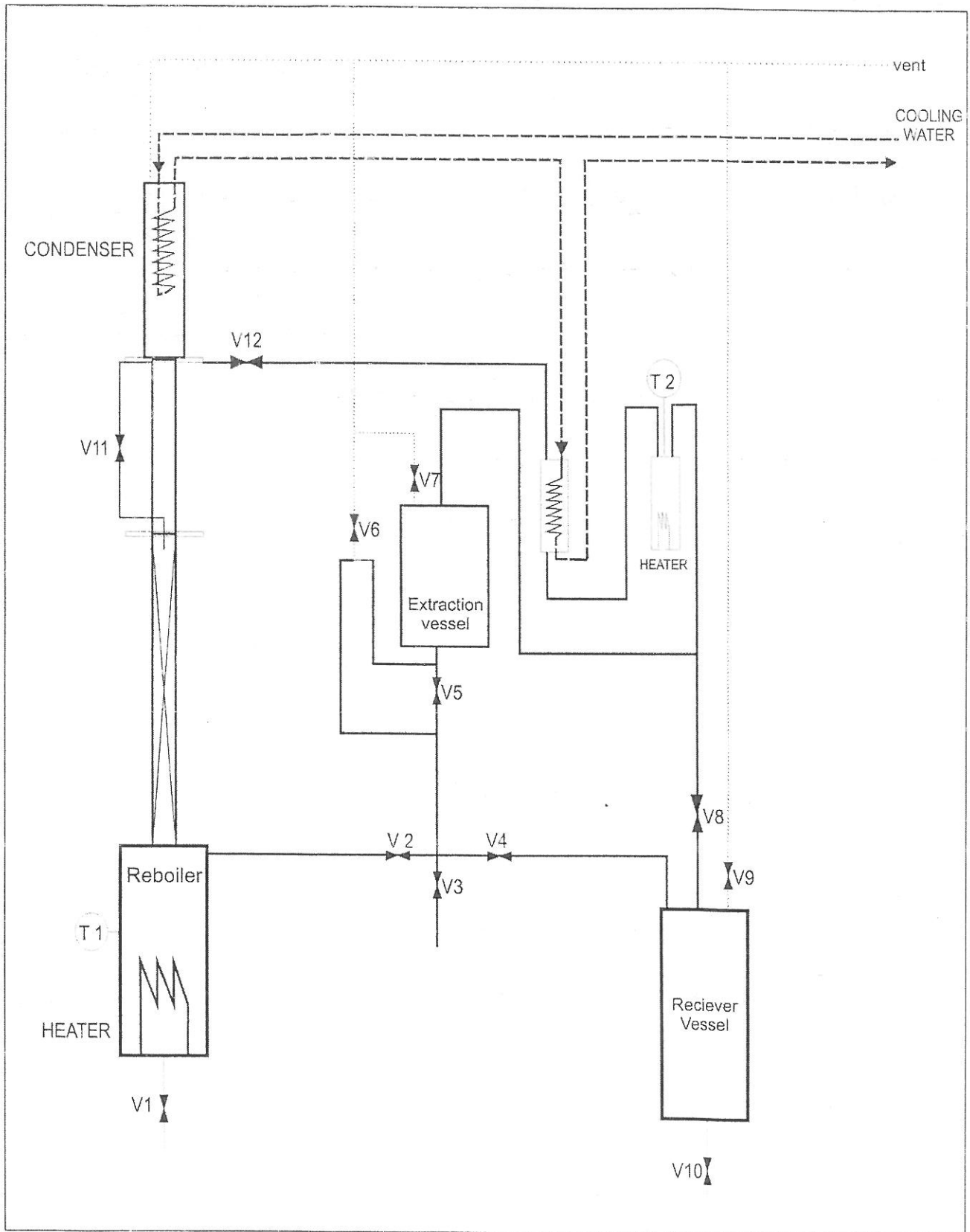
اگر شیر رفلاکس V_{11} باز باشد که محلول رفلاکس می‌شود. اگر شیر محصول V_{12} باز باشد محصول وارد کندانسور دوم می‌شود. در غیر اینصورت محصول در مخزن جمع می‌شود. در صورتی که شیر محصول باز باشد، در ادامه محصول به شیر V_8 می‌رسد که می‌توان به وسیله این شیر، محصول را وارد فرایند استخراج یا مخزن ذخیره نمود.

اگر شیر V_8 باز باشد محصول تقطیر شده وارد مخزن ذخیره حلال می‌شود. در صورت بسته بودن، هگزان وارد هیتر می‌شود و دمای آن به دمای مورد نظر (تنظیم شده بر روی تابلو فرمان) می‌رسد. در ادامه حلال هگزان از بالای هیتر خارج

شده و بر روی جامد می‌ریزد. بدین ترتیب روغن جامد را در خود حل کرده، سپس بسته به فرآیند موردنظر می‌توان مسیر سوکسله، پیوسته و یا حالت سرریز را انتخاب کرد.

این دستگاه در ابتدای کار باید هواگیری شود، زیرا هوا در بالای مخزن تنظیم دمای مایع جمع می‌شود و از ورود مایع به مخزن استخراج جلوگیری می‌کند. برای رفع مشکل باید شیر بالای مخزن جمع‌آوری (شیر V₈) را 2 تا 3 دقیقه باز نموده تا مایع هگزان از مخزن تنظیم دمای مایع، وارد مخزن جمع‌آوری شود و سیستم هواگیری گردد. سپس شیر V₈ را بسته و طبق مراحل زیر آزمایشات را انجام دهید.

در نمودار صفحه بعد، نامگذاری شیرها و اجزای دستگاه مشاهده می‌شود.



آزمایش 1: استخراج حالت پیوسته

• مرحله اول

- 1) ابتدا شیرهای V_5 و V_2 را باز و شیرهای V_4 و V_3 را بسته نگه دارید. پیچ‌های موجود بر روی مخزن استخراج را که کلاهک مشکی دارند را باز کرده و درپوش را به سمت عقب کمی حرکت دهید و 4.5 لیتر هگزان را به در آن بریزد. این هگزان به داخل برج تقطیر (دیگ) هدایت می‌شود.
- 2) دانه‌های روغنی را خرد کنید و دقت نمایید که دانه‌ها حتی‌الامکان حتما خرد شده باشد و از طرفی خردترین ذره نباید از قطر 2 میلی‌متر کوچک‌تر باشد (بهتر است خیلی ریز نشود تا از صافی عبور ننماید). توری فلزی موجود داخل مخزن استخراج را بیرون بیاورید.
- 3) ابتدا توری را وزن کرده و توری را از دانه‌های روغنی خرد شده پر نمایید و دوباره با دقت صدم گرم، وزن توری و دانه‌ها را اندازه‌گیری نمایید. توری را در محل خود قرار داده و درپوش آن را با دقت ببندید. آب شهری را به کندانسور وصل نموده و دستگاه را فعال نمایید.
- 4) در صورتی که هگزان را تازه ریخته‌اید نیازی به رفلاکس نداشته و شیر آن را کامل ببندید، در غیر این صورت مقدار کمی شیر رفلاکس را باز نمایید تا حلال رفلاکس شده و محصول خالص‌تر گردد. دمای جوش‌آور را 70 تنظیم نمایید در صورتی که سیستم زیاد کف کند آن را کاهش دهید. (مثلا حدود 65 درجه قرار دهید، تنظیم این دما مقدار روغن حل شده در هگزان بستگی دارد به همین دلیل باید با توجه به کف ایجاد شده و جلوگیری از حالت طغیان دستگاه، دمای آن تنظیم گردد.) شیر محصول را کامل باز نمایید و اجازه دهید هگزان وارد کندانسور دوم شود.
- 5) شیر V_8 را ببندید تا هگزان وارد هیتر شود. دمای هیتر را بر روی 35 درجه تنظیم نمایید. با جاری شدن هگزان بر روی دانه‌های روغنی استخراج شروع می‌شود.

6) شیرهای V_4 و V_5 (زیر مخزن استخراج) و V_6 را باز کرده و شیر V_3 را ببندید، هگزان که روغن دانه‌ها را در خود حل کرده است، وارد مخزن جمع‌آوری می‌شود. این فرآیند را ادامه دهید تا سطح هگزان در ستون تقطیر، به سطح فلزی مخزن شیشه‌ای دیگ بخار برسد.

7) درپوش را باز کرده دانه‌های روغنی را خارج نموده و با حرارت ملایم (در صورت نبودن آون) می‌توان در آفتاب (در هوای گرم) پهن نمود تا هگزان آن تبخیر شود. پس از خشک شدن دانه‌ها، آن‌ها را وزن کنید و تغییر جرم آن را محاسبه نمایید. حلال هگزان را از مخزن جمع‌آوری کننده (Receiver Vessel) خارج و حجم آن را اندازه‌گیری نمایید. حلال را سریع به برج برگردانید تا تبخیر نشود.

• مرحله دوم

8) وزن دانه‌های خشک شده مرحله اول را اندازه‌گیری نمایید و آن را دوباره در مخزن استخراج قرار دهید.

9) مراحل قبلی را یکبار دیگر تکرار نموده و دوباره کاهش جرم را اندازه‌گیری نمایید.

10) در صورت وقت کافی مرحله سوم نیز مشابه مرحله دوم تکرار شود.

هشدار: نباید سطح هگزان از سطح بالایی هیتر مخزن جوش آور پایین‌تر باشد، زیرا باعث سوختگی هیتر می‌شود.

آزمایش 2: استخراج با حالت سوکسله

1) دانه‌های روغنی خرد شده تازه آماده کنید و در مخزن استخراج قرار دهید.

2) همه مراحل آزمایش 1 را انجام دهید. با این تفاوت که V_4 و V_5 باید بسته و V_2 باز باشد، V_6 را ببندید و

دستگاه را فعال نمایید، اجازه دهید تقطیر شروع شود. رفلکس را کمی باز نموده اجازه دهید هگزان بر روی دانه-

های روغنی بریزد و دمای هیتر، را بر روی 35 درجه تنظیم نمایید. صبر کنید تا مخزن استخراج از هگزان پر شود.

وقتی که این مخزن پر شود به‌طور خودکار خالی می‌شود.

3) اجازه دهید که سه بار سوکسله اتفاق بیفتد با اتمام این سه مرحله، دانه‌های روغنی را خارج کرده و پس از خشک

شدن، وزن دانه‌ها را اندازه‌گیری نمایید و کاهش جرم آن را حساب نمایید.

توجه: در حالت سوکسله، باید شیر V_6 بسته و شیر V_7 باز باشد تا حالت سوکسله انجام شود. در غیر اینصورت انجام نمی‌شود.

آزمایش 3: بررسی تاثیر دما بر استخراج جامد-مایع

دانه‌های روغنی خرد شده تازه سویا تهیه نموده و در مخزن استخراج قرار دهید، دمای هیتر را از 35 درجه به 50 درجه برسانید. آزمایش 1 را فقط برای یک بار انجام دهید و درصد انتقال روغن به هگزان را تعیین نمایید.

آزمایش 4: بررسی درصد استخراج روغن در حالت سرریز

1) آزمایش، مطابق مرحله اول آزمایش 1 انجام شود با این تفاوت که V_2 و V_5 بسته و شیر V_4 و V_6 باز باشد.

2) در این حالت نیز هگزان بر روی جامد می‌ریزد و تقریباً تا پرشدن مخزن استخراج فرایند ادامه می‌یابد. سپس سر ریز می‌شود و وارد مخزن جمع‌آوری می‌شود.

3) این فرایند را انجام دهید و در نهایت جرم کم شده دانه‌های روغنی را اندازه بگیرید. سپس حلال هگزان موجود در مخزن جمع‌آوری را اندازه گرفته و سریع حلال را به برج منتقل نمایید.

آزمایش 5

مرحله سوکسله برای دمای 50 درجه هگزان تکرار نمایید. این بار نیز سه بار سوکسله شدن را تکرار کنید و در نهایت جرم روغن را اندازه‌گیری نمایید.

آزمایش 6

آزمایش سوکسله را در حالی که هگزان پس از استخراج وارد مخزن جمع‌آوری شود برای 4.5 لیتر هگزان تکرار نمایید. برای این کار کافی است شیر V_4 و V_7 باز و V_2 , V_3 , V_5 , V_6 بسته باشد.

پرسش‌ها

- 1- نمودار تعادلی آزمایش 1 را رسم کنید.
- 2- در هر مرحله درصد روغن استخراج شده را محاسبه نمایید.
- 3- تاثیر دما بر فرآیند استخراج را بیان کنید.
- 4- فرآیند استخراج به دو روش سوکسله و پیوسته را مقایسه کنید.
- 5- فرآیند استخراج به دو روش سوکسله و حالت سرریز را مقایسه نمایید.
- 6- فرض کنید که یک دانه روغنی به شکل کاملاً کروی و همگن در سیال هگزان غوطه‌ور باشد. شعاع دانه را r و ضریب نفوذ روغن در حلال را D در نظر بگیرید.
 - i. با این فرض که حلال اطراف دانه کاملاً ساکن باشد، یک مدل ریاضی برای پروفایل غلظت روغن در حلال بدست آورید.
 - ii. پروفایل غلظت روغن در داخل دانه روغنی را با ضریب نفوذ موثر D_{eff} بدست آورید.
 - iii. مکانیزم‌های انتقال را در حالتی که اطراف دانه کروی جریان حرکت داشته باشد، توصیف نمایید.

دستگاه برج تقطیر آکنده

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.

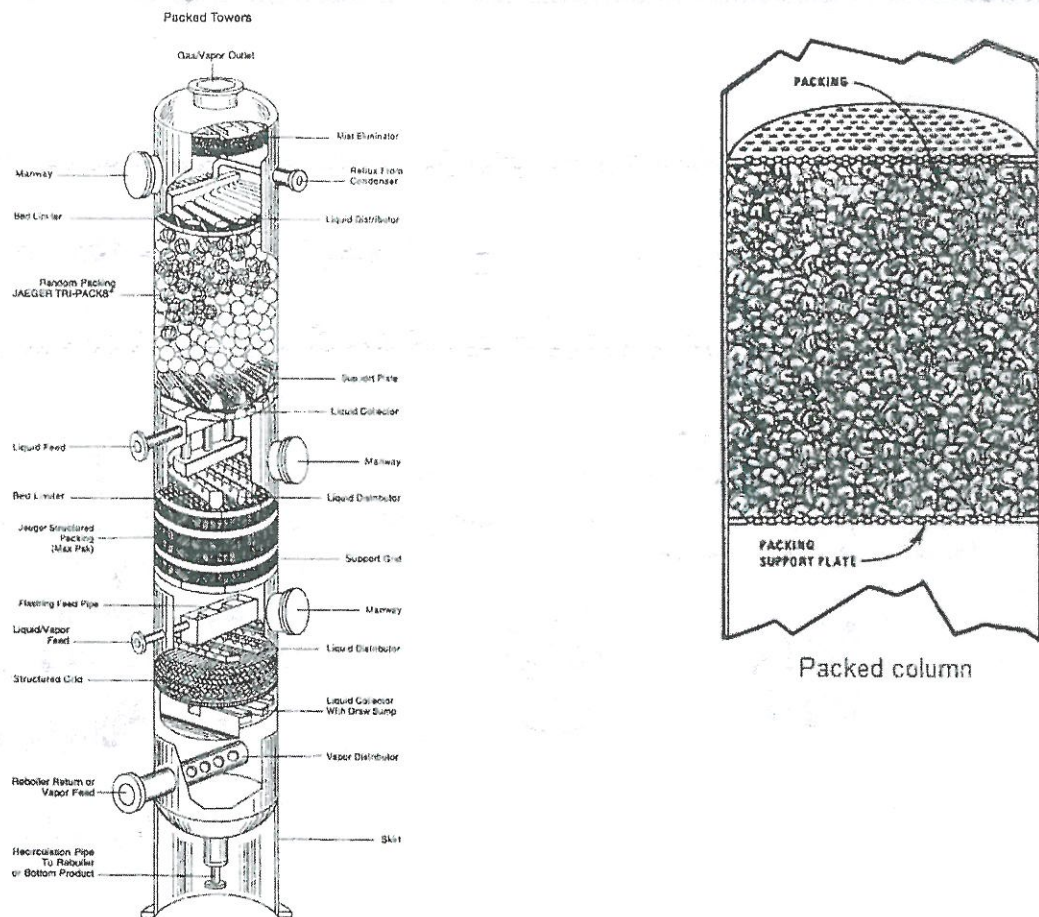
جداسازی فازهای مختلف یک مخلوط ناهمگن باید قبل از جداسازی مخلوط‌های همگن انجام گیرد، زیرا این جداسازی هم ساده بوده و هم باعث تسهیل در جداسازی همگن خواهد شد. جداسازی ممکن است به روش‌های پیوسته، نیمه پیوسته و غیر پیوسته صورت گیرد. جداسازی‌های فازی که احتمالاً باید انجام گیرند عبارتند از: گاز - مایع، مایع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

دستگاه‌های 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 دستگاه‌ها 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 پاشنده‌ها و نیز ستون‌های پر شده را می‌توان نام برد. ستون‌های 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 برج‌ها بر حسب شرایط عملیاتی و خوردگی می‌توان از انواع مواد مانند شیشه، فلزات، فلزات با آستر شیشه‌ای، کربن نفوذناپذیر و ... استفاده کرد. عموماً شکل برج‌ها به صورت استوانه‌ای است. معمولاً برج‌های 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 برج‌های جذب و دفع تقسیم‌بندی می‌شوند.

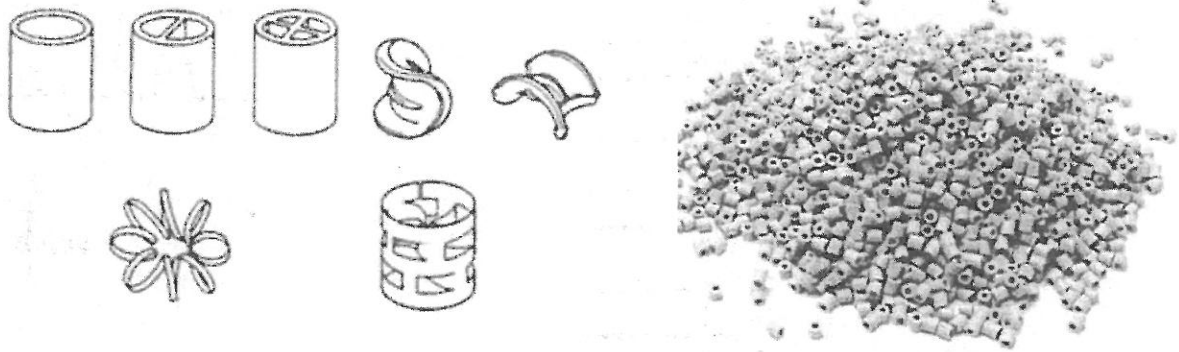


برج های پر شده

روش کار برج های پر شده به صورت برج های سینی دار بوده و تفاوت این دو برج را می توان چنین بیان کرد: در برج های سینی دار در فواصل معین صفحات سوراخ داری قرار داده شده که عمل انتقال جرم بین فازها توسط آن تسهیل می شود. اما در برج های پر شده سینی وجود ندارد بلکه تمام برج از اجسامی با جنس و شکل معین پر شده است که به این اجسام آکنه (Packing) می گویند. در این دستگاه ها مایع و گاز به صورت متقابل و یا ناهمسو در تماس مداوم با یکدیگر قرار می گیرند. برای ایجاد سطح تماس زیاد بین دو فاز، در این برج ها از قطعات آکنه استفاده می شود. در دستگاه های مذکور، فاز مایع از بالا وارد برج شده و در اثر عبور از روی آکنه ها سبب بوجود آوردن سطح تماس زیادی بین دو فاز می گردد. در شکل (1) نمایی از برج پر شده و فضای داخلی آن نشان داده شده است.

آکنه ها

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 سینی دار مایع از بالا و گاز از پایین جریان پیدا می‌کند. جهت نگه داشتن بستر آکنه‌ها، یک سینی زیرین تعبیه می‌شود.



شکل 2: چند نمونه متفاوت از آکنه‌ها

آکنه داخل برج بایستی دارای خصوصیات زیر باشد:

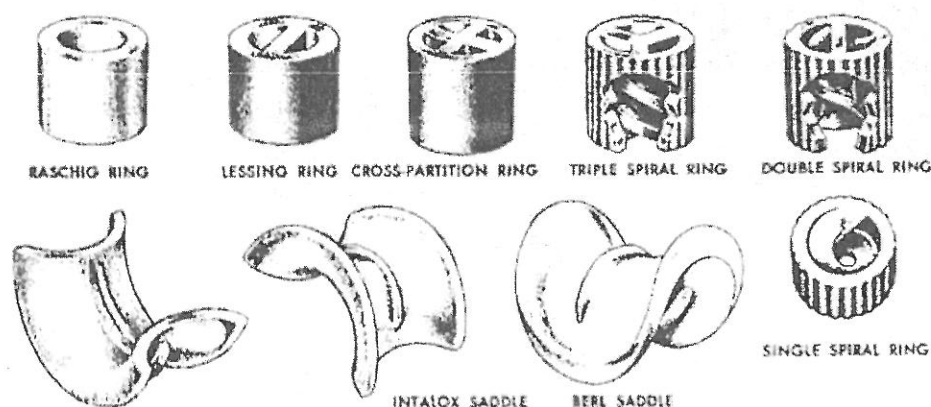
1. سطح تماس زیادی را بین مایع و گاز ایجاد کند. یعنی سطح آکنه به ازاء واحد حجم ستون باید بزرگ باشد.
2. دارای خصوصیات مطلوب جهت جریان سیال باشد و این بدان معنی است که کسر حجمی تهی در ستون پر شده مقدار بزرگی باشد. آکنه بایستی امکان عبور حجم زیادی از سیال را از سطح مقطع کوچکی بدون آنکه پدیده‌های انباشتگی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

آکنه ها عموماً بر دو نوع منظم و نامنظم تقسیم بندی می شوند. آکنه های منظم طی دو دهه اخیر به بازار عرضه شده اند 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

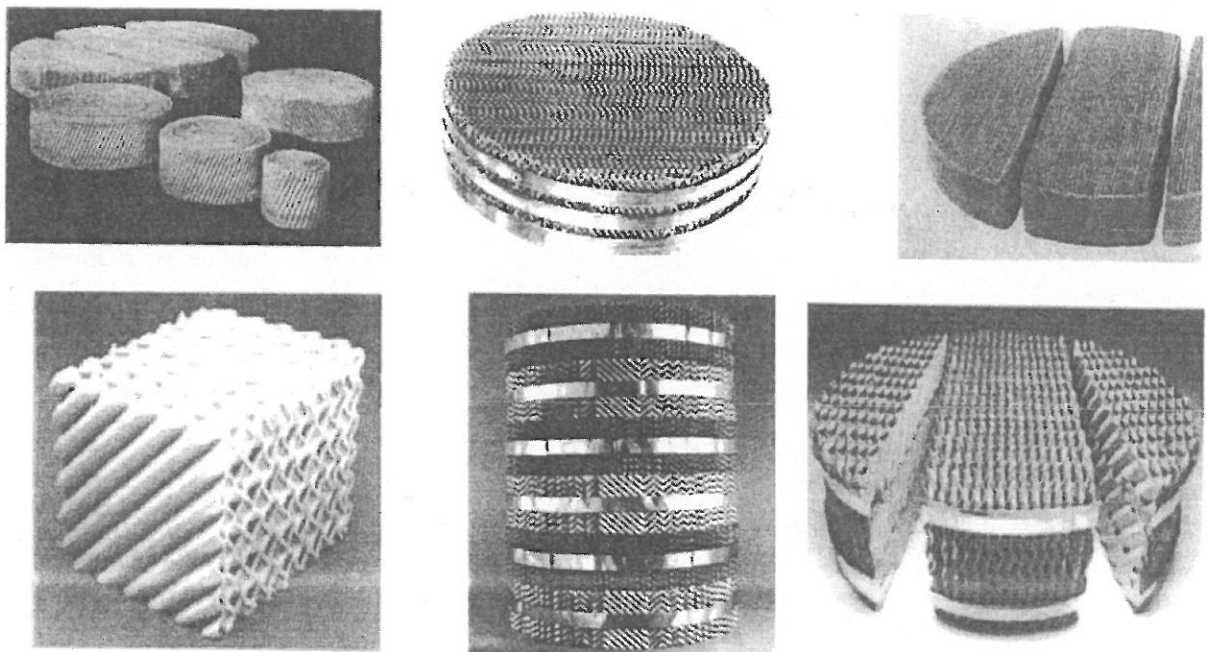
در این روش، آکنه ها را به درون ستون می ریزند و آکنه ها پس از فرود بطور نامنظم انباشته می شوند. در گذشته از سنگ های خرد شده، شن و ذغال برای پر کردن استفاده می شد. امروزه از پرکن های متنوعی در برج ها استفاده می شود. از جمله می توان به حلقه های لسینگ (lessing)، آکنه های زینی شکل به نام برل (Berl) و ایتالوکس (Intalox)، حلقه های پال (Pall) با نام های Flesi rings، Cascade rings و Hy-pak و... اشاره نمود. در شکل (3) چندین نوع از آکنه های نامنظم نشان داده شده است.



شکل 3: 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 (4) چندین نوع از پرکن های منظم نشان داده شده است.



شکل 4: نمونه هایی از آکنه های منظم.

محصول بالاسری (Overhead Product)

آنچه از بالای برج به عنوان خروجی دریافت می شود، محصول بالاسری نامیده می شود 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)

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

چگالنده (Condenser)

نقش چگالنده تبدیل بخارات حاصل از جوشش مخلوط، به مایع می باشد. این امر در اصطلاح میعان یا چگالش نامیده می شود و دستگاهی که در آن عمل مذکور انجام می شود چگالنده نام دارد. چگالنده ها به دو دسته اساسی تقسیم می شوند:

1. چگالنده های کامل (Total Condenser)

2. چگالنده های 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 جمع آوری 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 می شود.

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 می آید. در عبارت سمت راست معادله، میزان ضریب اصطکاک برای هر یک از انواع جریان دیده می شود. اگر جریان کاملاً آرام باشد

قسمت اول آن مؤثر است و اگر کاملاً متلاطم باشد، جمله دوم آن مؤثر واقع می شود. 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 می کنند.

$Re = \frac{d_p G'}{\mu}$ 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 می دهد. این تفاوت ها احتمالاً به دلیل تفاوت جرم حجمی آکنه ها و یا اختلاف در ضخامت دیواره‌ها می باشد. بنابراین تخمین افت فشار چندان دقیق نیست. در غالب موارد استفاده از نمودار توصیه می شود. افت فشار مربوط به پرکن ها را از شرکت‌های سازنده آنها می توان کسب نمود.

شرح دستگاه:

در پایین دستگاه یک جوش آورنده از جنس استیل به حجم 15 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 جوش آورنده و در پایین ترین قسمت مخزن محصول پایین برج قرار دارد. حجم این مخزن 5 لیتر می باشد.

در بالای این مخزن، یک مخزن دیگر قرار دارد که مخزن اصلی خوراک می باشد. این مخزن زمانی که برج به صورت پیوسته کار می کند مورد استفاده قرار می گیرد. در بالای این مخزن یک مخزن دیگر به حجم 5 لیتر قرار دارد که مخزن محصول بالای برج می باشد. در بالای مخزن جوش آورنده یک ستون شیشه‌ای قرار گرفته که دارای دو قسمت آکنه هر کدام به ارتفاع 16 سانتیمتر می باشد. کل ارتفاع برج 64 سانتیمتر است که دو سنسور دمایی دیجیتالی در فواصل 16 و 48 سانتیمتری بر روی آکنه ها نصب شده اند.

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 فازی 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 هیتر جوش آور می‌باشد. در زیر نمایشگر ولتاژ و آمپر، نمایشگری برای نمایش دماهای T_1 ، T_2 ، T_3 ، 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 ولوم ها 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 100٪ مقدار رفلاکس، کل محصول به داخل ستون برگردانده می‌شود و در صفر درصد مقدار رفلاکس، کل محصول به مخزن محصول بالای برج ریخته می‌شود.

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

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

نکته: در تمام آزمایش ها می توانید از محلول باقیمانده از آزمایش قبل استفاده کنید، البته باید توجه داشته باشید که حتما
درصد حجمی الکلی محلول را بیش از شروع آزمایش اندازه بگیرید، زیرا به دلیل اتلاف های موجود، این مقدار تغییر می
کند.

آزمایش 1: تعیین افت فشار در طول ستون

یک مخلوط 10 لیتری از آب و اتانول (70 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 3 لیتر در دقیقه بر روی
روتامتر دیده شود. ولوم مربوط به تنظیم توان هیتر را روی 350 وات تنظیم نمایید.

سپس کلید Boiler 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 می کنند. 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 هیتز، 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 2 دقیقه) با استفاده از کرونومتر، شیر V_3 را باز کنید و محصول را داخل یک ظرف مدرج 250 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.

| P (watt) | Boil-Up rate(cm^3/min) | P (cm Δ H_2O) | Foaming (Status) | T_1 (Boiler) | دمای دماسنج یک | دمای دماسنج دو |
|-------------|---|--|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 550 | | | | | | |
| 650 | | | | | | |
| 750 | | | | | | |
| 900 | | | | | | |

سوالات

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

آزمایش 2: تقطیر ساده

برای انجام این آزمایش به یک یا دو استوانه مدرج 250 سی سی، چند بشر یا ارلن برای نمونه‌گیری و یک الکل سنج نیاز دارید. یک مخلوط 10 لیتری از 70 درصد حجمی اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل 7 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 توان 550 وات روشن کنید (می‌توانید ابتدا توان هیتر را بالاتر انتخاب کنید و بعد از افزایش دما، توان را به 700 برسانید). دستگاه را حدوداً به مدت 30 دقیقه (مدت زمانی که در حدود سه لیتر محصول در ظرف محصول بالای برج مشاهده گردد.) رها کنید. پس از این مدت هیتر را خاموش کرده و 20 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 10 میلی‌لیتر از آن را در ظرفی ریخته و آن را دور بریزید (چون ممکن است این 10 میلی‌لیتر در مجاری باشد و درصد اتانول آن با محلول داخل جوش‌آور متفاوت باشد). سپس 3 نمونه تهیه کرده و اجازه دهید دمای آن به دمای محیط یا دمای مجاز الکل سنج (معمولاً 25 درجه) برسد. درصد حجمی اتانول را در هر 3 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.

| مراحل نمونه گیری | 1 | 2 | 3 | میانگین |
|-----------------------------|---|---|---|---------|
| درصد حجمی اتانول در ته ماند | | | | |
| برج | | | | |

سوالات

- 1- از درصد حجمی اتانول در ته ماند، درصد مولی آن را محاسبه کنید.
- 2- با در نظر گرفتن تقطیر ساده، کسر مولی اتانول در محصول بالای برج را محاسبه نمایید.
- 3- به نظر شما آیا وجود آکنه تاثیری بر خلوص محصول تقطیر در این مرحله داشته است؟

آزمایش 3: محاسبه ضریب فراریت نسبی در تقطیر به میزان ثابت رفلاکس

برای انجام این آزمایش به یک یا دو استوانه مدرج 250 سی سی، چند بشر یا ارلن برای نمونه گیری و یک الکل سنج نیاز دارید. یک مخلوط 10 لیتری 70 درصد حجمی اتانول تهیه نمایید که این مخلوط شامل 7 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 550 وات کم کنید. دستگاه را روی حالت رفلاکس کامل قرار دهید و حدود 10 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 % 83 تنظیم نمایید. در این حالت محصول به نسبت 5 به 1 وارد ستون و مخزن محصول بالای برج می‌گردد. به مدت 15 تا 20 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 نمونه ها داغ می‌باشند. پس از آنکه دمای نمونه ها به دمای مجاز الکل سنج رسید (دمای نوشته بر روی الکل سنج)، درصد آن را تعیین نمایید. این آزمایش را با مقدار رفلکس‌های مختلف تکرار کنید و جدول زیر را کامل نمایید.

| Reflux | درصد حجمی اتانول در محصول بالا | x_T | α_T | درصد حجمی اتانول در محصول پایین | x_B | α_B | T_1 | دماسنج یک | دماسنج دو |
|--------|--------------------------------|-------|------------|---------------------------------|-------|------------|-------|-----------|-----------|
| 83% | | | | | | | | | |
| 70% | | | | | | | | | |
| 50% | | | | | | | | | |

سوالات

1- برای هر مقدار رفلکس ضریب فراریت را در بالا و پایین برج محاسبه نمایید.

2- ضریب فراریت در بالا و پایین برج را با هم مقایسه کنید.

3- ضریب فراریت را در رفلکس‌های مختلف با هم مقایسه کنید.

آزمایش 4: تقطیر در حالت پیوسته

برای انجام این آزمایش به یک ارلن مدرج 250 سی سی، یک کرومومتر و یک الکل سنج نیاز می‌باشد. 5 لیتر از مخلوط 70 درصد حجمی اتانول و آب تهیه کنید و در بشر مربوط به خوراک بریزید به مقدار کافی مخلوط دوجزئی حاوی 50 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 رفلاکس کامل شروع کنید. دکمه رفلاکس را در حالت روشن قرار دهید و ولوم آن را در جهت عقربه‌های ساعت بگردانید تا رفلاکس صد درصد حاصل شود. توان هیتر را روی 700 وات قرار دهید.

پس از مدت زمان 15 دقیقه، رفلاکس را روی 83 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 10 دقیقه تا 3 بار تکرار کنید. از داده‌های مرحله 2 و 3 برای محاسبات استفاده نمایید. پس از پایداری برج مانند آزمایش 1 نرخ تبخیر را سه بار در فواصل زمانی 10 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.

| نمونه گیری | درصد حجمی محصول | | X_T | $\tau\alpha$ | درصد حجمی محصول | |
|------------|-----------------|--|-------|--------------|-----------------|--|
| | بالا | | | | پایین | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

| | | | | |
|--|---|---|---|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Average Boil-Up |
| Boil-Up rate(cm ³ / min) | | | | |

سوالات

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

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

آزمایش 5: 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} می-توانید مقدار خلأ را در مقدار معینی ثابت کنید. آزمایش 4 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.

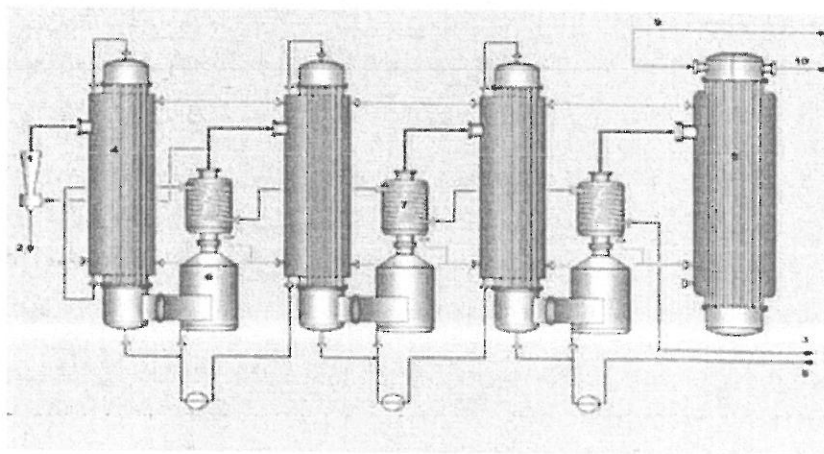
| Z | K ₁ | K ₂ | K ₃ | M | α | X |
|--------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| ارتفاع | | | | جرم مولکولی | ضریب فراریت | کسر مولی اتانول |
| برج | | | | | | |

دستگاه تبخیر کننده دو مرحله ای

Two Stage Evaporation

مقدمه

اهمیت تبخیرکننده‌ها در صنایع گوناگون برای کسانی که با آنها سروکار دارند پوشیده نیست، مخصوصاً در پالایشگاه‌های نفت و گاز برای استفاده از آب‌های نامرغوب و جلوگیری از ورود آنها به محیط زیست. آنها را بازیافت می‌کنند و به صورت آب مقطر یا آب‌های سرویس در می‌آورند که آب‌های سرویس برای شستشو استفاده می‌شود. اما آب مقطر می‌تواند استفاده‌های گوناگون داشته باشد که از جمله می‌تواند در دیگ‌های بخار برای تهیه بخار استفاده شود، لذا برای تهیه آب مقطر روش‌های گوناگونی وجود دارد که یکی از آنها روش تبخیر است که در تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای صورت می‌گیرد.



شمای کلی یک تبخیر کننده سه مرحله ای

در این جا خواص مایع تبخیر شونده و انواع تبخیرکننده‌ها و مشکلات حاکم بر آنها شرح داده می‌شود.

تبخیر

محلول موجود برای تبخیر (یا غلیظ کردن محلول)، شامل یک ماده حل شونده غیرفرار و یک حلال فرار است. در اکثریت تبخیرها، حلال آب است. در تبخیر، بخشی از حلال بخار می‌شود و یک محلول غلیظ تولید می‌شود. تبخیر کردن با خشک کردن فرق می‌کند، زیرا در تبخیر کردن، آن چه باقی می‌ماند مایع است (بعضی اوقات مایعی با لزجت سطح بالا) نه یک

جامد. همین طور تبخیر با تقطیر نیز فرق دارد، زیرا در تبخیر معمولاً بخار آب، خالص است و حتی هنگامی که بخار آب مخلوط است، هیچ کوششی در مرحله تبخیر برای جداسازی بخار آب در قسمت های مختلف صورت نمی گیرد. تبخیر با بلورسازی نیز تفاوت دارد، زیرا در تبخیر تأکید بر غلیظ کردن محلول است نه بر شکل دادن و ساختن بلورها در وضعیت معین. مثلاً در تبخیر آب نمک برای تولید نمک معمولی، خط بین تبخیر و بلورسازی خیلی دور از نوک تیز بودن است. معمولاً، در تبخیر، مایع غلیظ، محصول با ارزشی است و بخار آب بعد از چگال شدن دور ریخته می شود، اما در یک وضعیت ویژه، عکس این مطلب صادق است. آب حاوی مواد معدنی اغلب برای مصرف در بویلرها، فرایندهای ویژه و مصرف انسان، تبخیر می شود و محصول عاری از مواد جامد است. این روش اغلب، تقطیر آب نامیده می شود، اما از دید فنی، تبخیر می باشد. فرایندهای تبخیر در مقیاس بزرگ توسعه یافته است و برای تهیه آب شیرین از آب دریا به کار می رود. فقط مقدار کمی از کل آب تغذیه بازیافت و شیرین می شود و باقی مانده به دریا برمی گردد.

خواص ویژه مایع:

مشکل اساسی تبخیر کاملاً به وسیله خاصیت مایعی که باید غلیظ شود تحت تأثیر قرار می گیرد. تغییرات وسیعی در خواص مایع وجود دارد (که تشخیص و تجربه را در طراحی و عملیاتی کردن تبخیرکننده ها طلب می کند)، که این عملیات را از انتقال حرارت ساده به یک هنر مجزا مبدل می کند.

بعضی از مهمترین خواص مایع در حال تبخیر به شرح زیر است:

1. غلظت: مایع رقیق ورودی به تبخیرکننده، ممکن است به اندازه کافی رقیق باشد. اما هم چنان که غلظت افزایش می یابد، محلول بیشتر و بیشتر حالت خاص به خود می گیرد. چگالی و لزجت با حجم مواد جامد افزایش می یابد تا این که محلول اشباع شود یا این که به خاطر خود مایع، انتقال حرارتی صورت نگیرد. با جوش دادن بیشتر مایع اشباع شده، کریستال تشکیل می شود که باعث انسداد لوله ها می شود.

2. کف کردن: بعضی مواد، مخصوصاً مواد آلی، در مدت تبخیر کف تشکیل می دهند. کف پایدار، با بخار آب خروجی بیرون می رود و باعث کاهش بخار خروجی می شود. در بسیاری از حالت ها، ممکن است کل مایع در جوشش زیاد به همراه بخار آب خارج شود.

3. حساسیت دما: بعضی از مواد شیمیایی ظریف، محصولات دارویی و غذاها، در حین حرارت دیدن متوسط در زمان نسبتاً کوتاه، صدمه می بینند. در تغلیظ چنین موادی، تکنیک های ویژه ای هم برای کاهش دمای مایع و هم برای مدت حرارت دادن، لازم است.

4. رسوب: بعضی محلول ها روی سطح حرارتی، جرم تشکیل می دهند که باعث کاهش شدید ضریب انتقال حرارت می شود. در چنین حالتی باید تبخیر کننده را از کار انداخت و جرم ها را از بین برد.

5. مواد ساختمانی تبخیرکننده: معمولاً از بعضی انواع فولاد ساخته می شوند، اما بعضی از محلول ها، فلزات آهنی را مورد حمله قرار می دهند یا آنها را آلوده می کنند. بعضی مواد گران قیمت ممکن است در ساختمان تبخیر کننده برای جلوگیری از خوردگی به کار رود که باید نرخ انتقال حرارت بالایی داشته باشد تا گرانی را توجیه کند. بعضی خواص مایع هم باید توسط طراح در نظر گرفته شود، مثل: حرارت ویژه، غلظت، نقطه انجماد، سمی بودن، خطرات انفجار، رادیو اکتیویته و عملیات استریل.

عملیات یک مرحله ای و چند مرحله ای

بیشتر تبخیرکننده ها به وسیله بخار چگال شونده بر روی لوله های فلزی، حرارت داده می شوند. تقریباً همیشه موادی که تبخیر می شوند، درون لوله ها جریان دارند. معمولاً بخار، در فشار پایین یعنی زیر 3 بار می باشد. کاهش دمای جوش مایع، اختلاف دمای بین بخار و مایع جوشنده را افزایش می دهد که موجب افزایش نرخ انتقال حرارت در تبخیر کننده می شود. در تبخیر کننده های یک مرحله ای، بخار به صورت غیر مؤثر (با کارایی پایین) استفاده می شود. در تبخیر کننده یک مرحله ای برای تبخیر یک پوند آب حدود یک تا یک و سه دهم پوند بخار مصرف می شود. در تبخیر کننده دو مرحله ای،

بخار آب تولید شده با بخار ورودی به سیستم، ترکیب می شود و در مرحله دوم مورد استفاده قرار می گیرد. در این مرحله بخار آب تولید شده به وسیله واحد جرم بخار ورودی به سیستم تقریباً دوبرابر است. به طور کلی، روش عمومی افزایش تبخیر در واحد جرم بخار ورودی به سیستم، با استفاده از سری های تبخیرکننده ها، بین منبع بخار و چگالنده، تبخیر چند مرحله ای نامیده می شود.

انواع تبخیرکننده ها

1. تبخیرکننده های عمودی با لوله دراز

• جریان صعودی یا Climbing film

• جریان نزولی یا Falling film

• چرخش وادار شده یا Forced circulation

2. تبخیرکننده های مغشوش یا Agitated-film

تبخیرکننده های یک بار گذر و تبخیرکننده های چرخشی

در تبخیرکننده های یک بار گذر، مایع تغذیه فقط یک بار از میان لوله ها عبور می کند، بخارهایش را آزاد می کند و به صورت مایع غلیظ از واحد بیرون می رود. همه تبخیر در یک بار گذر از لوله ها، انجام می شود.

نسبت تبخیر به تغذیه (خوراک ورودی) در واحد یک بار گذر محدود است. بنابراین، این تبخیرکننده ها خیلی خوب با عملیات چند مرحله ای سازگار هستند، طوری که کل مقدار غلظت، می تواند روی چند مرحله پخش شود. تبخیرکننده های مغشوش همیشه به صورت یک بار گذری کار می کنند، تبخیرکننده های صعودی و نزولی نیز می توانند به این روش

به کار گرفته شوند. تبخیرکننده های یک بار گذر، مخصوصاً برای مواد حساس به حرارت مفید هستند. در خلأ خیلی بالا، دمای مایع می تواند پایین نگه داشته شود. با یک بار عبور سریع از میان لوله ها، مایع غلیظ در زمانی کوتاه در دمای تبخیر است و به محض این که تبخیر کننده را ترک کرد می تواند سریعاً سرد شود.

در تبخیر کننده های چرخشی یک حوض مایع درون تجهیزات است. خوراک ورودی با مایع درون حوض مخلوط می شود و هر دو از لوله ها عبور می کنند. مایع تبخیر نشده از لوله ها تخلیه می شود و به حوض بر می گردد. به طوری که فقط بخشی از کل تبخیر در یک گذر رخ می دهد. همه تبخیرکننده های چرخشی وادار شده، از این نوع هستند. تبخیرکننده های جریان بالا نیز معمولاً از این نوع هستند. مایع غلیظ شده، از حوض بیرون کشیده می شود، در غیر این صورت به علت بالابودن غلظت، چگالی، لزجت و نقطه ی جوش، ضریب انتقال حرارت کاهش می یابد. این نوع تبخیرکننده ها، برای غلیظ کردن مایعات حساس به دما، مناسب نیستند. اگر چه با بالا بردن خلأ، دمای کل مایع پایین می آید و در ظاهر این دما برای این نوع مواد غیرمخرب است، اما به دلیل تماس مکرر مایع با لوله های داغ، مقداری از مایع به دمای خیلی بالایی می رسد که مطلوب نیست. اگر چه زمان متوسط ماندگاری مایع در ناحیه حرارتی ممکن است کوتاه باشد، ولی بخشی از مایع برای زمان قابل ملاحظه ای در تبخیر کننده باقی می ماند که همین زمان حتی برای مقدار کمی از مواد حساس به حرارت، مثل غذاها، باعث فساد کل محصول می شود. اما تبخیرکننده های چرخشی می توانند در دامنه وسیعی از غلظت، بین خوراک ورودی و مایع غلیظ، در یک واحد یک مرحله ای عمل کنند و خیلی خوب با تبخیر یک مرحله ای سازگار می شوند. آنها می توانند یا با چرخش طبیعی که جریان درون لوله ها به وسیله اختلاف چگالی تأمین می شود، کار کنند یا با چرخش وادار شده که جریان درون لوله به وسیله پمپ تأمین می شود، کار کنند.

تبخیرکننده های با گردش وادار شده (Forced circulation evaporators)

در تبخیرکننده های با گردش طبیعی، مایع وارد لوله ها می شود. هم چنان که بخار آب در لوله ها شکل می گیرد سرعت خطی تا اندازه ای افزایش می یابد به طوری که نرخ انتقال حرارت در حد کلی رضایت بخش است. اما وقتی مایعات لزج در واحد گردش طبیعی در جریان باشد، ضریب کلی به طور غیراقتصادی پایین است. ضرایب بالاتر در تبخیرکننده های گردش وادار شده، به دست می آید. در اینجا پمپ گریز از مرکز، مایع را به لوله ها پمپ می کند. لوله ها تحت ارتفاع استاتیکی کافی برای جلوگیری از جوشیدن مایع در لوله ها هستند. هم چنان که ارتفاع استاتیکی جریان مایع از گرم کننده تا فضای بخار آب کاهش می یابد، مایع، حرارت فوق العاده زیادی می بیند (superheat) و به یک مخلوط بخار آب ارسال می شود و درست قبل از ورود به بدنه تبخیرکننده، به خط خروجی مبدل حرارتی، افشانه می شود. مخلوط بخار آب و مایع به یک صفحه منعکس کننده در فضای بخار آب، برخورد می کند. مایع به ورودی پمپ برمی گردد و با خوراک ورودی مخلوط می شود، و بخار آب نیز بالای بدنه تبخیر کننده را به سمت چگالنده یا مرحله بعدی، ترک می کند. بخشی از مایع هم که جداکننده را ترک می کند به طور دائم بیرون کشیده می شود. در موارد دیگر از مبدل های عمودی یک بارگذر استفاده می شود. در هر دو نوع، انتقال حرارت مخصوصا هنگامی که دارای مایعات رقیق باشند، بالا است. اما بزرگترین بهبود در تبخیر گردش طبیعی زمانی است که دارای مایع لزج باشند. برای مایعات رقیق، بهبود به وسیله گردش وادار شده، هزینه های افزوده شده پمپاژ را نسبت به گردش طبیعی توجیه نمی کند، اما برای مواد چسبنده، مخصوصا زمانی که فلزات گران قیمت باید استفاده شوند، هزینه های افزون توجیه پذیرند.

مثال این کار تغلیظ سود سوزآور است که در تجهیزات نیکی انجام می شود. در تبخیرکننده های چند مرحله ای که مایع غلیظ لزج تولید می کنند، ممکن است مراحل اولیه از نوع گردش طبیعی باشند و بقیه که دارای مایع لزج تر هستند از نوع گردش وادار شده باشند. به علت سرعت بالا در تبخیرکننده های با گردش وادار شده، زمان قرارگیری مایعات درون لوله

در برابر حرارت پایین است (1 تا 3 ثانیه)، به طوری که مایعات حساس به حرارت به خوبی در آنها تغلیظ می شوند. هم چنین در تبخیر مایعات نمکی یا آنهایی که تمایل به ایجاد کف دارند، مؤثر است.

تبخیرکننده های مغشوش Agitated-film evaporators

مقاومت اصلی در برابر انتقال حرارت کلی از بخار به مایع در حال جوش در یک تبخیرکننده، ناشی از جدار مایع است. برداشتن این مقاومت به هر طریق، باعث بهبودی قابل ملاحظه ای در ضریب انتقال حرارت می شود. در تبخیرکننده های لوله ای دراز مخصوصا دارای گردش وادار شده، سرعت مایع بالاست. مایع تا حد زیادی مغشوش و نرخ انتقال حرارت بزرگ است. یکی از راه ها، استفاده از همزن مکانیکی است. این، نوعی تبخیرکننده ی جریان اصلاحی است که دارای لوله پوشش دار و حاوی همزن داخلی است. خوراک ورودی از بالای بخش پوشش دار وارد می شود و به وسیله تیغه های عمودی یک همزن، درون یک ورقه نازک بسیار مغشوش، پخش می شود. مایع غلیظ از انتهای بخش پوشش دار بیرون می رود و بخار آب تولیدی از ناحیه در حال تبخیر بالا می رود و درون جدا کننده ی بدون پوشش می ریزد که از لوله های تبخیرکننده گشادتر است. در جدا کننده، تیغه های همزن مایع ورودی همراه بخار آب را به سمت صفحات عمودی ساکن پرتاب می کند. قطرات، روی این صفحات به هم می پیوندند و به تبخیر کننده برمی گردند. بخار آب بدون مایع از بالای واحد و از میان خروجی ها بیرون می رود.

مزیت عمده یک تبخیر کننده مغشوش، دادن نرخ بالای انتقال حرارت به مایعات لزج است. محصول ممکن است مایع لزجی در دمای تبخیر، داشته باشد. هم چنان که ضریب کلی انتقال حرارت با افزایش لزج بودن در دیگر تبخیر کننده ها افت می کند، اما در این نوع، افت، کم است. برای مواد بسیار لزج، ضریب انتقال حرارت تا حد قابل ملاحظه ای در تبخیرکننده های گردش وادار شده، بزرگتر است و در واحدهای گردش طبیعی، خیلی بزرگتر. تبخیرکننده های نوع مغشوش، مخصوصا برای محصولات لزج حساس به حرارت نظیر ژلاتین، لاستیک، آنتی بیوتیک و آب میوه ها مؤثر است.

از عیب هایش، قیمت بالا، قطعات متحرک داخلی، که به ننگه داری قابل توجهی نیاز دارند، و ظرفیت کم واحدهای انفرادی است که خیلی زیر ظرفیت تبخیرکننده های چند لوله ای است.

کارایی تبخیرکننده های لوله ای

مقیاس اصلی کارایی تبخیرکننده های لوله ای گرم شونده به وسیله بخار، ظرفیت و مزیت اقتصادی است. ظرفیت به عنوان مقدار آب بخار شده برحسب پوند، در ساعت است. مزیت اقتصادی، مقدار بخار آب ایجاد شده برحسب پوند به یک پوند بخار تزریق شده به واحد است. در تبخیرکننده های یک مرحله ای، عدد مزیت اقتصادی، تقریباً همیشه زیر یک است. اما در تجهیزات چند مرحله ای تا حد قابل ملاحظه ای بالا است. مقدار مصرف بخار برحسب پوند در ساعت نیز مهم است و مساوی است با ظرفیت تقسیم بر مزیت اقتصادی.

ظرفیت تبخیرکننده

نرخ انتقال حرارت در سطوح حرارت دهنده ی تبخیرکننده چنین است:

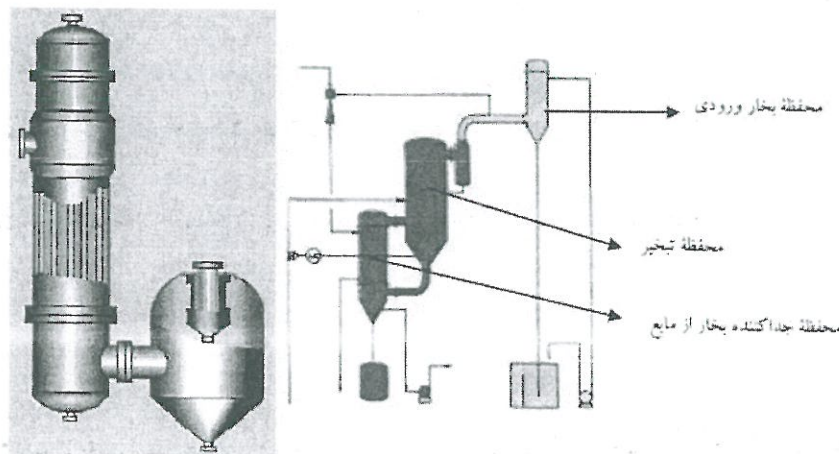
U : ضریب انتقال حرارت، A : مساحت سطح انتقال حرارت، ΔT : افت دمای کلی است.

$$Q=U.A.\Delta T$$

اگر دمای خوراک ورودی به تبخیرکننده در دمای جوش باشد، متناسب با فشار مطلق آن در فضای بخار آب، همه حرارت های منتقل شده از طریق سطح حرارت دهنده، برای تبخیر به کار می رود و ظرفیت متناسب با Q است. اگر خوراک ورودی سرد باشد، گرمای زیادی باید انتقال یابد تا به دمای جوش برسد و متناسب با آن ظرفیت برای مقدار داده شده Q کاهش می یابد زیرا گرمای استفاده شده برای گرم کردن خوراک ورودی برای تبخیر به کار نمی رود. برعکس اگر دمای نقطه ی جوش در فضای بخار آب بالا باشد، بخشی از خوراک ورودی به صورت تعادل آدیابانیک سریع در فشار فضای بخار آب تبخیر می شود و ظرفیت بزرگتر از ظرفیت مترادف با Q است. این فرآیند تبخیر آبی نامیده می شود. افت

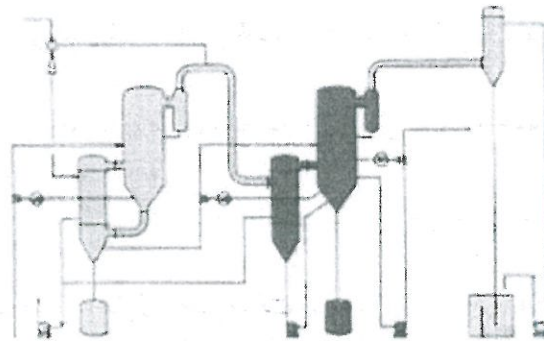
واقعی دما در سراسر سطح حرارت دهنده به محلول در حال تبخیر، اختلاف فشار بین بخار و فضای تبخیر در بالای مایع در حال جوش و عمق مایع بر روی سطح حرارت دهنده، بستگی دارد. در بعضی تبخیرکننده ها سرعت مایع درون لوله ها نیز اختلاف دما را تحت تأثیر قرار می دهد، زیرا افت اصطکاک در لوله ها، فشار مؤثر مایع را افزایش می دهد. اما در تبخیرکننده های واقعی نقطه جوش یک محلول به وسیله دو عامل افزایش نقطه جوش و ارتفاع مایع، تحت تأثیر قرار می گیرد.

بسیاری از تبخیرکننده ها با حرارت ناشی از میعان بخار آب در لوله های فلزی، گرم می شوند. در اکثر مواقع ماده ای که گرم می شود در لوله قرار می گیرد. علت این موضوع سادگی شستشوی لوله ها می باشد زیرا مایع غلیظ رسوب بیشتری می دهد.



وقتی از یک تبخیر کننده استفاده شود، بخار حاصل از مایع در حال جوش به مایع تبدیل می شود و دور ریخته می شود. به این روش، تبخیر یک مرحله ای گویند که روش ساده و با هزینه ساخت پایین می باشد. اگر بخار خروجی از یک تبخیر کننده وارد محفظه بخار تبخیرکننده دیگری شود و بخار حاصل از این تبخیرکننده وارد مبرد گردد، در این عمل از دو دستگاه تبخیرکننده استفاده کرده ایم، اما بخار حاصل از مرحله اول به جای دور ریخته شدن وارد یک تبخیرکننده دیگر می شود و در آنجا صرف تبخیر محلول می شود. در این حالت اقتصاد بخار را بهبود داده ایم. یعنی با همان میزان بخار ورودی

از utility تقریباً دو برابر قبل تبخیر انجام داده‌ایم. با این کار هزینه عملیاتی کاهش می‌یابد، یعنی انرژی کمتری نیاز است، حال آنکه هزینه ساخت دستگاه افزایش یافته است.



عملکرد تبخیر کننده های چند لوله ای

معیارهای اصلی عملکرد تبخیرکننده لوله‌ای که با بخار آب گرم می‌شود ظرفیت دستگاه و فاکتورهای اقتصادی است. ظرفیت طبق تعریف برابر تعداد کیلوگرم های آبی است که در هر ساعت تبخیر می‌شود. منظور از فاکتور اقتصادی تعداد کیلوگرم‌های بخار ایجاد شده به ازای هر کیلوگرم بخار آب است. در تبخیر کننده یک مرحله‌ای فاکتور اقتصادی همیشه کمتر از ۱ است ولی در دستگاه چند مرحله‌ای این مقدار خیلی بزرگ است. مصرف بخار آب بر حسب کیلوگرم در هر ساعت نیز اهمیت دارد که برابر ظرفیت تقسیم بر ضریب اقتصادی می‌باشد.

ظرفیت تبخیر کننده

سرعت انتقال گرما q در سطح گرم‌کننده یک تبخیرکننده که طبق تعریف ظرفیت کل انتقال گرما است، به سه عامل بستگی دارد: مساحت سطح انتقال گرمای کل (A)، ضریب انتقال گرمای کل (U)، و افت دمای کل (ΔT). اگر خوراک تبخیر کننده در دمای جوش مطابق با فشار مطلق بخار باشد همه گرمای انتقال به سطح گرم‌کننده برای تبخیر در دسترس است و ظرفیت متناسب با q است اگر خوراک سرد باشد گرمای مورد نیاز برای گرم کردن آن تا نقطه جوش بسیار زیاد است و ظرفیت برای یک q معین کاهش می‌یابد چون گرمای صرف شده برای گرم کردن خوراک تا نقطه جوش، برای

تبخیر در دسترس نیست. بر عکس اگر خوراک دمایی بالا تر از دمای نقطه جوش خود داشته باشد. بخشی از خوراک بطور خود به خود با تعادل آدیاباتیک با فشار فضای بخار تبخیر می شود و ظرفیت بیشتر از حالتی است که با q متناسب بود. به این فرآیند تبخیر ناگهانی می گوئیم. مقدار واقعی افت دمای سطح گرم کننده به نوعی به محلولی که تبخیر می شود، به اختلاف فشار بین بخار آب و بخارهای بالای مایع در حال جوش و به عمق مایع در سطح گرم کننده بستگی دارد. در بعضی از تبخیر کننده ها سرعت مایع در لوله ها افت دما را زیاد می کند چون تلفات ناشی از اصطکاک در لوله ها فشار موثر مایع را افزایش می دهد. وقتی محلول خصوصیات آب خالص را دارد، اگر فشار و دمای بخار در حال میعان مشخص باشد، نقطه جوش محلول از جدول بخار آب حاصل می شود. در تبخیر کننده های واقعی نقطه جوش محلول با افزایش نقطه جوش و فشار مایع تحت تأثیر قرار می گیرد.

صعود نقطه جوش و قاعده دورنیک: فشار بخار محلول آبی از فشار بخار آب خالص در همان دما کمتر است. در نتیجه در فشاری خاص نقطه جوش محلول بالاتر از نقطه جوش آب خالص می باشد. افزایش نقطه جوش آب در محلول را صعود نقطه جوش (BPE) می گوئیم. در محلول های رقیق و محلول های کلئیدی آلی مقدار افزایش کوچک است ولی برای محلول های غلیظ آلی این مقدار حتی به 80° می رسد برای محلولهای غلیظ مقدار BPE از قاعده تجربی بنام قاعده دورنیک محاسبه می شود. این قاعده بدین صورت است که نقطه جوش محلولی معین، تابع خطی از نقطه جوش آب خالص در همان فشار است. در نتیجه اگر نمودار نقطه جوش محلول بر حسب نقطه جوش آب در همان فشار رسم شود خط راستی بدست می آید برای غلظت های مختلف خطوط مختلفی حاصل می شود. در تبخیر کننده های با لوله بلند و عمودی که جریان مایع رو به بالاست، بخار از قسمت فوقانی تبخیر کننده وارد جداره هایی که لوله ها را می پوشاند می شود و به طرف پایین جریان می یابد. بخار ورودی گرمای زیادی را دریافت می کند و درجه حرارت آن به T_b می رسد دمای بخار فوق گرم حاصل خیلی سریع کاهش یافته و به دمای نقطه اشباع یعنی T_s می رسد. در قسمتهای زیادی از سطح گرم کننده این دما بدون تغییر می ماند.

فاکتور اقتصادی تبخیر کننده‌ها

عامل اصلی موثر بر فاکتور اقتصادی یک سیستم تبخیر کننده، تعداد دستگاه‌های تبخیر (مراحل) است. در طراحی با توجه به تعداد مراحل، آنتالپی تبخیر بخار آب ممکن است یک یا چند بار استفاده می‌شود. فاکتور اقتصادی تبخیر کننده‌ها همچنین به دمای خوراک نیز بستگی دارد. در مرحله اول اگر دما پایین نقطه جوش باشد، مقداری از آنتالپی تبخیر بخار آب صرف گرم کردن خوراک می‌شود و فقط بخشی از آنتالپی برای تبخیر به کار می‌رود. اگر دمای خوراک بالای نقطه جوش باشد از آنجا که آنتالپی تبخیر بخار آب بیش از مقدار است، خوراک به طور ناگهانی تبخیر می‌شود. در نتیجه از لحاظ کمی فاکتور اقتصادی یک تبخیر کننده به موازنه آنتالپی ماده بستگی دارد. در تبخیر کننده یک مرحله ای گرمای نهان حاصل از میعان بخار آب به سطح گرم کننده منتقل شده تا آب را از محلول در حال جوش تبخیر کند. دو موازنه آنتالپی، اولی برای بخار آب و دومی برای بخش مایع یا بخار خوراک، نیاز است.

دمای بخار آب در حال میعان را T_s ، دمای جوش مایع در تبخیر کننده را T و دمای خوراک را T_f فرض کنید. در اینجا می‌توان فرض کرد که هیچ نشست و یا ماندگی نداریم، همچنین جریان گازهای غیر قابل میعان ناچیز است و تلفات گرمایی در تبخیر کننده قابل توجه نیست. بخار آبی که وارد محفظه بخار آب می‌شود باید گرمای فوق العاده‌ای داشته باشد و ماده حاصل از میعان که از محفظه بخار آب خارج می‌شود باید تا زیر نقطه جوش سرد شود گرمای لازم برای گرم کردن و سرد کردن ماده حاصل از میعان بسیار کوچک است. در نتیجه صرف نظر کردن از این گرما در موازنه آنتالپی قابل قبول است. خطای کمی که در این تقریب بیش می‌آید با نادیده گرفتن تلفات گرمایی که در محفظه بخار آب بوجود می‌آید یکدیگر را خنثی می‌کنند. با این فرض‌ها، اختلاف بین آنتالپی بخار آب و بخش حاصل از میعان برابر گرمای نهان میعان بخار آب λ می‌باشد.

شرح دستگاه تبخیر کننده دو مرحله‌ای

به طور کلی این دستگاه از دو قسمت مجزا تشکیل شده است.

1- دیگ بخار

2- ستون‌های تبخیرکننده و سرد کننده

دستگاه دیگ بخار: این دستگاه برای تولید بخار با فشار یک بار نسبی طراحی شده است. که شامل یک استوانه عایق بندی می باشد. در داخل دیگ بخار یک عدد هیتر نصب شده است. بر روی مخزن عایق بندی شده، یک دریچه قرار دارد که به وسیله آن می توان در مخزن را از آن جدا و آب مقطر به داخل آن تزریق نمود. دقت گردد که دریچه باید دقیق و محکم بسته شود. بر روی این مخزن یک عدد فشارسنج گیج نصب شده است که در هر لحظه فشار داخلی مخزن را نمایش می دهد. در کنار فشارسنج یک عدد کنترل کننده قرار دارد که فشار سیستم را کنترل می کند. در سمت راست دستگاه، تابلو فرمان نصب شده که بر روی این تابلو یک کلید سه فاز قرار دارد و این کلید هیتر داخل مخزن را روشن و خاموش می کند.

هشدار 1: حتما حداقل 75 درصد دیگ بخار را از آب مقطر پر نمایید.

هشدار 2: در صورتی که سطح آب از سطح هیتر کمتر شود، دستگاه بصورت خودکار هیتر را خاموش می کند. در صورتی که کلید دستگاه را روشن نمایید و مشاهده کنید که مخزن گرم نمی شود و یا فشار از روی صفر بار افزایش نمی یابد، آب مخزن کمتر از سطح هیتر بوده و باید مخزن را تا 75 درصد از آب پر نمایید.

هشدار 3: برق ورودی به دستگاه 3 فاز می باشد.

هشدار 4: زمانی که مخزن از آب خالی شده، هرگز هیتر را روشن نکنید چون ممکن است باعث آسیب دیدن هیتر دیگ شود.

دستگاه تبخیرکننده دو مرحله ای

این دستگاه از دو ستون شفاف، یک عدد کندانسور، یک عدد فشارسنج، دو دماسنج و تعدادی شیر و مسیر لوله های متفاوت تشکیل شده است. در داخل هر ستون یک عدد کویل حرارتی تعبیه شده است. کویل مخزن اول (سمت راست) با

بخار مستقیم از دیگ بخار تغذیه می‌شود و کویل مخزن دوم با استفاده از بخار ستون اول گرم می‌شود. زیر هر دو ستون یک دماسنج نصب شده که مستقل از همدیگر، خاموش و روشن می‌شوند.

کندانسورها: در قسمت زیر ستون، یک عدد کندانسور نصب شده که خروجی های بخار و ته ماند تبخیرکننده‌ها، وارد این مبدل حرارتی (حمام آب) شده، سرد شده و سپس از دستگاه خارج می‌گردد.

دقت گردد که هرگز فشار مخزن شفاف اول از 0.3 بار تجاوز نکند. در صورتی که فشار از این مقدار بیشتر شود، باید مسیر بخار کویل مخزن شفاف دوم را باز نموده تا بخار بالای مخزن وارد کویل شده و فشار مخزن کاهش یابد. به طور کلی اندازه‌های قطعات دستگاه به قرار زیر است:

| | |
|--------|------------------------|
| 110 mm | قطر مخزن شفاف سمت راست |
| 114 mm | قطر مخزن شفاف سمت چپ |
| 1 m | طول کویل‌ها |
| 8 mm | قطر کویل‌ها |

هدایت متر: این ابزار برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول ارایه شده است. زمانی که غلظت املاح در محلول بیشتر باشد، این ابزار هدایت بیشتری را نمایش می‌دهد.

به عنوان مثال با اندازه‌گیری هدایت آب مقطر، حدوداً عدد 23 میکرو زیمنس بر روی نمایشگر ابزار مشاهده می‌شود.

شیرها:

V_1 : شیر روی دیگ بخار. با باز کردن این شیر بخار از دیگ خارج می‌شود.

V_2 : ورودی آب شهری به مخزن اول

V_3 : ورودی آب شهری به کندانسور

V_4 : خروجی مایع از زیر مخزن شفاف

V_5 : خروجی محلول از مخزن شفاف دوم

V_6 : ورودی بخار از مخزن اول به کویل مخزن دوم

V_7 : ورودی محلول از مخزن اول به مخزن دوم

V_8 : خروجی بخار از مخزن اول به اتمسفر

V_9 : خروجی بخار از مخزن دوم

V_{10} : خروجی بخار از مخزن اول و دوم به اتمسفر

روش انجام آزمایش

1- دیگ بخار را روشن کنید.

2- شیر V_2 را باز کنید تا مخزن شفاف اول تا ارتفاع 30 سانتیمتر از آب پر شود و سپس شیر را ببندید.

3- یک نمونه از آب ورودی (آب شهری) را برداشته و هدایت آن را اندازه گیری نمایید. برای این کار شیر V_4 را باز کرده و یک نمونه از آب آن را بر دارید و با هدایت متر، هدایت الکتریکی آن را اندازه گیری نمایید.

4- شیر V_3 را باز نمایید تا آب شهری وارد کندانسور شود. در این حالت پس از پر شدن کندانسور، آب از مسیر خروجی آن خارج می شود.

5- شیر V_2 باید بسته و شیر V_3 باید باز باشد.

6- شیرهای V_4, V_5, V_7, V_9 و V_{10} را ببندید و شیر V_8 را باز کنید.

7- شیر V_1 که بر روی دیگ بخار نصب شده است را، پس از اتصال شلنگ آن به تبخیرکننده، باز و دیگ بخار را روشن کرده و اجازه دهید بخار از دیگ وارد دستگاه شود و آب در مخزن اول جوش آید.

8- کرونومتر را روشن کرده و زمان را ثبت نمایید. اجازه دهید ارتفاع آب درون مخزن اول به 25 سانتیمتر برسد (برای اندازه گیری ارتفاع آب در حال جوش، یک لحظه شیر اتصال دیگ بخار V_1 و همچنین شیر خروج بخار مخزن V_8 را ببندید تا آب به حالت ساکن در بیاید و سپس دوباره هر دو شیر را باز کنید) و کرونومتر را خاموش کنید (این زمان برای محاسبه ظرفیت تبخیر به کار می رود).

9- جدول زیر را پر کنید.

| K0 = | | | | |
|---------------|------------------|---------------|---------------|--------------------------|
| ستون شفاف اول | | | | |
| P_1 (bar) | K_1 (μ s) | h_2 (cm) | h_1 (cm) | T_1 ($^{\circ}$ C) |
| | | | | |

10- شیر V_8 را ببندید و شیرهای V_7 ، V_9 و V_{10} را باز کنید.

11- آب از مخزن اول به مخزن دوم جاری می شود. اجازه دهید کل آب مخزن اول به مخزن دوم منتقل شود. ارتفاع آب در مخزن 2 را اندازه بگیرید (h_1).

12- شیر V_7 را ببندید.

13- شیر V_2 را باز کرده و شیر V_3 را ببندید. اجازه دهید ارتفاع آب درون مخزن به 20 سانتیمتر برسد. اگر آب به داخل

مخزن وارد نشد، می توانید سریع شیرهای V_6 و V_9 را بسته و V_8 و V_{10} را باز نمایید، تا آب وارد مخزن شود. پس

از ارتفاع 20 سانتیمتر، شیرهای V_8 و V_{10} را بسته و شیرهای V_6 و V_9 را باز نمایید.

14- آزمایش قبل را مجدداً تکرار کنید تا ارتفاع آب در هر دو مخزن حدود 5 سانتی متر کم شود. برای اندازه گیری ارتفاع

آب از روش گفته شده در مرحله 8 استفاده کنید.

15- اگر در حین آزمایش، آب مخزن سمت راست تمام شود، می توانید آب آن را اضافه کنید.

16- دیگ بخار را خاموش کنید.

17- ارتفاع مخزن های 1 و 2 را اندازه گیری نمایید و با استفاده از شیر V_5 یک نمونه از محلول را از ستون خارج نموده و هدایت آن را اندازه گیری کنید.

• در خروجی کویل بخار دو مخزن، هر کدام یک تله بخار نصب شده است که در صورت زیاد شدن فشار داخل

این دو مخزن شیشه‌ای، سوپاپ عمل کرده و فشار مخزن شکسته می شود.

هشدار: پس از انجام آزمایش‌ها، حتما دماسنج‌ها را خاموش و مخزن را تخلیه نمایید.

T_1 و T_2 به ترتیب دمای ستون اول و دوم، h_1 و h_2 به ترتیب ارتفاع آب قبل و بعد از تبخیر، K_1 و K_2 به ترتیب هدایت محلول خروجی از ستون شفاف اول و دوم می باشد.

اکنون با توجه به مراحل بیان شده جدول زیر را تکمیل نمایید.

| $K_0 =$ (هدایت آب ورودی به ستون شفاف اول) | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| ستون شفاف دوم | | | | ستون شفاف اول | | | | |
| K_2 | h_2 | h_1 | T_2 | P_1 | K_1 | h_2 | h_1 | T_1 |
| | | | | | | | | |

پرسش‌ها:

1- ظرفیت تبخیر کننده را محاسبه کنید.

2- با استفاده از موازنه جرم ناخالصی‌ها، مقدار گرمای منتقل شده را محاسبه نمایید.

3- در مورد فاکتور اقتصادی تبخیرکننده دو مرحله‌ای بحث نمایید.

دستگاه تبخیر کننده با فیلم صعودی

مقدمه

اهمیت تبخیرکننده‌ها در صنایع گوناگون برای کسانی که با آنها سروکار دارند پوشیده نیست، مخصوصاً در پالایشگاه‌های نفت و گاز برای استفاده از آب‌های نامرغوب و جلوگیری از ورود آنها به محیط زیست. آنها را بازیافت می‌کنند و به صورت آب مقطر یا آب‌های سرویس در می‌آورند که آب‌های سرویس برای شستشو استفاده می‌شود، اما آب مقطر می‌تواند استفاده‌های گوناگون داشته باشد که از جمله می‌تواند در دیگ‌های بخار برای تهیه بخار استفاده شود، لذا برای تهیه آب مقطر روش‌های گوناگونی وجود دارد که یکی از آنها روش تبخیر است که در تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای صورت می‌گیرد.

تبخیر

تبخیر یا غلیظ کردن یک محلول، شامل یک ماده حل شونده غیرفرار و یک حلال فرار است. در اکثریت تبخیرها، حلال ما، آب است. در تبخیر، بخشی از حلال، بخار می‌شود و یک محلول غلیظ تولید می‌شود. تبخیر کردن با خشک کردن فرق می‌کند، زیرا در تبخیر کردن، آن چه باقی می‌ماند مایع است (بعضی اوقات مایعی با لزجی سطح بالا) نه یک جامد. همین‌طور تبخیر با تقطیر نیز فرق دارد، زیرا در تبخیر معمولاً بخار آب، خالص است و حتی هنگامی که بخار آب مخلوط است، هیچ کوششی در مرحله تبخیر برای جداسازی بخار آب در قسمت‌های مختلف صورت نمی‌گیرد. تبخیر با بلورسازی نیز تفاوت دارد، زیرا در تبخیر تأکید بر غلیظ کردن محلول است نه بر شکل دادن و ساختن بلورها در وضعیت معین، مثلاً در تبخیر آب نمک برای تولید نمک معمولی، خط بین تبخیر و بلورسازی خیلی دور از نوک تیز بودن است. معمولاً، در تبخیر، مایع غلیظ، محصول با ارزشی است و بخار آب بعد از چگال شدن دور ریخته می‌شود، اما در یک وضعیت ویژه، عکس این مطلب صادق است. آب حاوی مواد معدنی اغلب برای مصرف در بویلرها، فرایندهای ویژه و

مصرف انسان، تبخیر می شود و محصول عاری از مواد جامد است. این روش اغلب، تقطیر آب نامیده می شود، اما از دید فنی، تبخیر می باشد. فرآیندهای تبخیر در مقیاس بزرگ توسعه یافته است و برای تهیه آب شیرین از آب دریا به کار می رود. فقط مقدار کمی از کل آب تغذیه بازیافت و شیرین می شود و باقی مانده به دریا برمی گردد.

خواص ویژه مایع:

مشکل اساسی تبخیر، کاملاً به وسیله خاصیت مایعی که باید غلیظ شود، تحت تأثیر قرار می گیرد. تغییرات وسیعی در خواص مایع وجود دارد (که تشخیص و تجربه را در طراحی و عملیاتی کردن تبخیرکننده‌ها طلب می کند) که این عملیات را از انتقال حرارت ساده به یک هنر مجزا مبدل می کند.

بعضی از مهمترین خواص مایع در حال تبخیر به شرح زیر است:

1- غلظت: مایع رقیق ورودی به تبخیرکننده، ممکن است به اندازه کافی رقیق باشد، اما هم چنان که غلظت افزایش می یابد، محلول بیشتر و بیشتر حالت خاص به خود می گیرد. چگالی و لزجی با حجم مواد جامد افزایش می یابد تا این که محلول اشباع شود یا این که به خاطر خود مایع، انتقال حرارتی صورت نگیرد. با جوش دادن بیشتر مایع اشباع شده، کریستال تشکیل می شود که باعث انسداد لوله ها می شود.

2- کف کردن: بعضی مواد مخصوصاً مواد آلی، در مدت تبخیر، کف تشکیل می دهند. کف پایدار، با بخار آب خروجی بیرون می رود و باعث کاهش بخار خروجی می شود. در بسیاری از حالت کل مایع، ممکن است در جوش زیاد به همراه بخار آب خارج شود.

3- حساسیت دما: بعضی از مواد شیمیایی ظریف، محصولات دارویی و غذاها، در حین حرارت دیدن متوسط در زمان نسبتاً کوتاه، صدمه می بینند. در تغلیظ چنین موادی، تکنیک های ویژه ای هم برای کاهش دمای مایع و هم برای مدت حرارت دادن، لازم است.

4- جرم: بعضی محلول ها روی سطح حرارتی، جرم تشکیل می دهند که باعث کاهش شدید ضریب انتقال حرارت می شود. در چنین حالتی باید تبخیر کننده را از کار انداخت و جرم ها را از بین برد.

5- مواد ساختمانی تبخیرکننده: معمولا از بعضی انواع فولاد ساخته می شوند، اما بعضی از محلول ها، فلزات آهنی را مورد حمله قرار می دهند یا آنها را آلوده می کنند. بعضی مواد گران قیمت ممکن است در ساختمان تبخیر کننده برای جلوگیری از خوردگی به کار رود که باید نرخ انتقال حرارت بالایی داشته باشند تا گرانی را توجیه کند. بعضی خواص مایع هم باید توسط طراح در نظر گرفته شود، مثل: حرارت ویژه، حرارت غلظت، نقطه انجماد، سمی بودن، خطرات انفجار، رادیو اکتیویته و عملیات استریل.

تبخیر کننده های لوله بلند با جریان صعودی

قطعات اصلی این نوع تبخیر کننده شامل:

- 1- مبدل حرارتی لوله ای که بخار در پوسته و مایع غلیظ شونده در لوله است.
- 2- یک جدا کننده برای گرفتن مایعات همراه بخار آب.
- 3- در صورت چرخشی بودن واحد، یک لوله، برای برگشت مایع جدا شده از بخار به انتهای مبدل حرارتی که این لوله بین جدا کننده و مبدل حرارتی وصل می باشد.

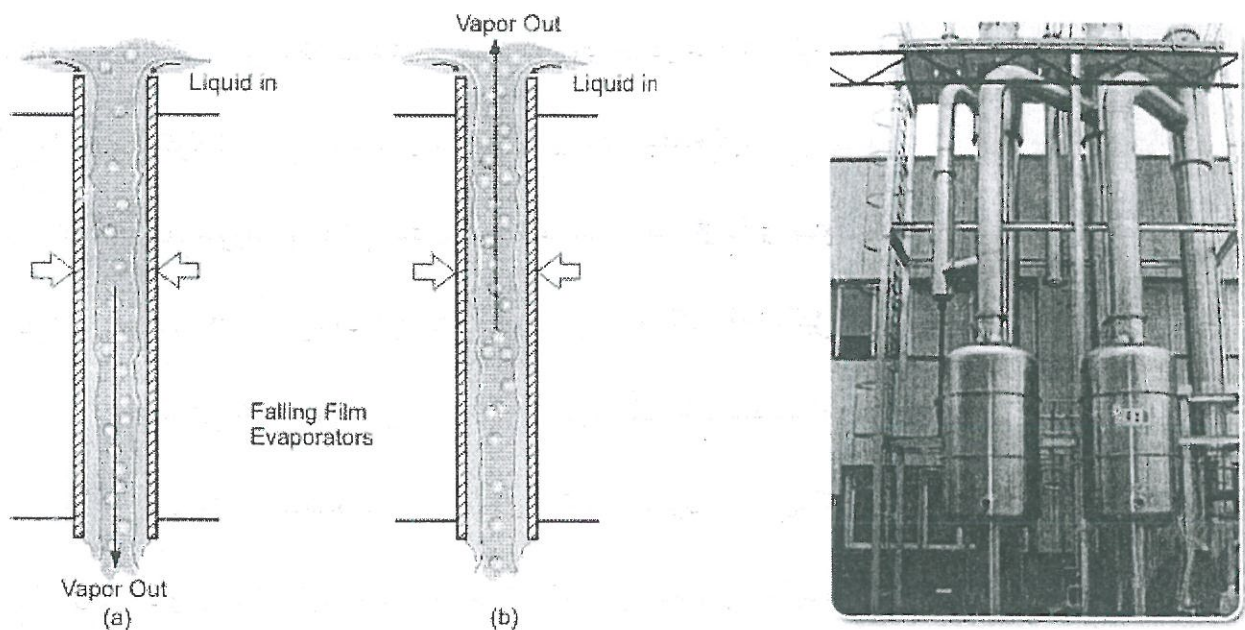
ورودی های آن بخار و مایع خروجی های آن، بخار آب، مایع غلیظ، بخار چگال شده و گازهای غیر قابل چگال از بخار، لوله ها هستند. در اثر جوشیدن، بخار آب و مایع به طرف بالا حرکت می کنند و مایع جدا شده در اثر نیروی ثقل به انتهای لوله ها باز می گردد. خوراک ورودی رقیق و مایعات گرفته شده در جدا کننده، وارد سیستم می شود. در فاصله کوتاهی از زمان، خوراک ورودی، از لوله بالا می روند و از بخار که در بیرون لوله ها است حرارت دریافت می دارد. هم چنان که مایع می جوشد، حباب هایی درون آن شکل می گیرد که باعث افزایش سرعت خطی و نرخ انتقال حرارت می-

شوند. نزدیک بالای لوله‌ها، حباب‌ها با سرعت رشد می‌کنند. در این ناحیه، حباب‌های بخار آب به همراه تفاله‌های مایع، خیلی سریع درون لوله‌ها بالا می‌روند و با سرعت زیاد از بالا خارج می‌شوند. از لوله‌ها مخلوط مایع و بخار آب، وارد جدا کننده می‌شوند. قطر جدا کننده از مبدل حرارتی بیشتر است و همین باعث افت شدید سرعت خطی می‌شود. به عنوان کمک بیشتر در حذف قطرات مایع، بخار آب به مانع برخورد می‌کند و پیش از ترک جدا کننده، از اطراف مجموعه ای از تیغه‌ها عبور می‌کند. این نوع تبخیر کننده‌ها، مخصوصاً برای غلیظ کردن مایعاتی که تمایل به کف کردن دارند مؤثر است. هنگامی که مخلوط مایع و بخار آب با سرعت خیلی بالا، به تیغه‌ها برخورد می‌کند، کف‌ها شکسته می‌شوند.

تبخیرکننده‌های نزولی

غلیظ کردن مواد خیلی حساس به حرارت مانند آب پرتقال کمترین زمان حرارت دهی را لازم دارد. این کار می‌تواند در تبخیرکننده‌های یک بار گذر، جریان نزولی انجام شود که در آن مایع از بالا وارد می‌شود، در درون لوله‌های داغ به عنوان یک ورقه نازک (Film) جریان می‌یابد و از انتها بیرون می‌رود. لوله‌ها حدود 10-2 اینچ قطر دارند. بخار آب تولید شده از مایع، معمولاً همراه مایع به سمت پایین هدایت می‌شود و از ته واحد، بیرون می‌رود. ظاهر این تبخیرکننده‌ها مشابه مبدل حرارتی دراز، عمودی و لوله‌ای می‌باشد که دارای جدا کننده‌ی بخار آب و مایع در پایین و توزیع کننده مایع در بالا می‌باشد. مسأله مهم در این نوع تبخیرکننده‌ها، توزیع یکنواخت مایع، درون لوله‌ها به صورت ورقه نازک یکنواخت است. این کار به وسیله مجموعه‌ای از صفحات فلزی سوراخ دار که به طور یکنواخت در هر لوله جریان دارد یا به وسیله توزیع کننده‌ی پروانه‌ای دارای بازوهای شعاعی که به وسیله آن خوراک ورودی با نرخ یکنواخت روی سطح داخلی هر لوله پاشیده می‌شود. یک روش دیگر، استفاده از یک نازل افشانه‌ای مخصوص در داخل هر لوله است. چنانچه گردش مجدد مجاز باشد و به مایع خسارتی وارد نیآورد، می‌توان مایع را با ملایمت به بالای لوله‌ها هدایت کرد. این عمل باعث می‌شود تا حجم بیشتری از جریان نسبت به حالت یک بار گذر، درون لوله‌ها جریان یابد. برای انتقال

حرارت خوب، عدد رینولدز، مربوط به ورقه نازک آبشاری باید در سراسر لوله بزرگتر از عدد 2000 باشد. همانطور که مایع از بالای لوله به سمت پایین آن جریان می یابد، مقدار آن به طور پیوسته کاهش می یابد به طوری که مقدار غلظتی که می تواند در یک گذر (Single pass) انجام شود، محدود است. تبخیرکننده های جریان نزولی، بدون گردش مجدد و زمان ماندگاری خیلی کم در لوله، محصولات حساسی را حمل می کنند که به هیچ روش دیگری نمی توانند تغلیظ شوند. هم چنین آنها برای تغلیظ مایعات لزج خیلی خوب سازگار هستند.



تبخیر کننده با فیلم صعودی

به طور کلی این دستگاه از اجزای زیر تشکیل شده است.

1- پمپ خلا: این قطعه در پایین دستگاه و سمت راست نصب شده است. بر روی مسیر پمپ خلا یک فشارسنج

نصب شده و در انتهای فشارسنج نیز یک شیر قرار گرفته است، که با استفاده از این شیر و فشارسنج می توان،

مقدار خلا دستگاه را تنظیم نمود.

2- مخزن استیل مکعبی: یک عدد مخزن استیل بر روی دستگاه نصب شده است که خوراک تبخیر کننده در داخل آن ریخته می شود. در زیر این مخزن یک عدد شیر برای تخلیه مخزن و یک عدد شیر برای خروجی خوراک و ورود آن به ستون تعبیه شده است.

3- در مسیر ورودی خوراک به داخل تبخیرکننده یک روتامتر قرار دارد که در زیر روتامتر، یک شیر برای نمونه گیری نصب شده است.

4- بالای روتامتر یک سه راهه نصب شده است که بر روی آن دو عدد شیر قرار دارد و می توان به وسیله این شیرها، خوراک را سیرکوله نمود و یا سیستم را به صورت پیوسته استفاده کرد.

5- پس از سه راهه، خوراک به داخل ستون کشیده می شود. بخار از بالای ستون وارد و خوراک از پایین به داخل ستون پوسته، لوله کشیده می شود. این ستون از یک پوسته و یک لوله تشکیل شده است. که در درون پوسته بخار و در درون لوله خوراک جریان می یابد. در بالای ستون یک رابط شفاف نصب شده است تا به وسیله آن بتوان دوفازی شدن جریان را مشاهده نمود. در ادامه یک عدد سیکلون قرار دارد که محصول وارد آن می شود. در پایین سیکلون دو خروجی قرار دارد که می توان جریان را سیرکوله نمود و یا وارد مخزن جمع آوری کرد.

6- در سمت راست دستگاه، یک ستون شفاف نصب شده است. این مخزن مایع تولید شده از بخار محلول را جمع آوری می کند.

7- کویل داخل مبدل حرارتی که طول آن 6 متر و قطرش 10 میلیمتر می باشد.

8- در قسمت پایین و وسط دستگاه یک عدد پمپ آبی قرار گرفته است که برای شستو شوی دستگاه از آن استفاده می شود. در نهایت یک عدد تابلو فرمان جلو دستگاه نصب شده که بر روی این تابلو دو عدد کلید صفر و یک نصب شده است که می توان به وسیله این دو کلید پمپ های خلا و شستو شو را فعال نمود. در بالای تابلو فرمان یک نمایشگر قرار دارد که کمیت های زیر بر روی آن نمایش داده می شود.

| | |
|---|---|
| A | دمای خوراک ورودی |
| B | دمای جریان ریسایکل (دقیقا سنسور دوم از طرف پایین) |
| C | دمای بخار ورودی از دیگ بخار |
| D | دمای خوراک خروجی از ستون فیلم صعودی |
| F | دمای آب خروجی |
| G | دمای آب ورودی |

مکانیزم کلی فرایند

با روشن شدن دستگاه، توسط کلید کنار تابلو فرمان، می توان پمپ خلا را فعال نمود. با فعال شدن این کلید، در دو مخزن و سیکلون کندانسور و ستون تبخیر، خلا ایجاد می شود.

با ایجاد شدن خلا، خوراک از مخزن استیل به داخل ستون تبخیر کشیده می شود و بخار آب نیز از بالا وارد ستون می شود. محلول رفته، رفته در داخل لوله بالا می رود تا در قسمت شفاف مسیر مبدل به سیکلون مشاهده شود. محصول و بخار در سیکلون از همدیگر جدا شده و بسته به مسیر انتخاب شده، محصول هدایت می گردد. بخار وارد کندانسور شده و در آنجا به مایع تبدیل می شود.

هشدار 1: پس از انجام آزمایش، حتما دستگاه را از محلول تخلیه نمایید و پمپ شستشو را فعال کنید تا حدود 30 دقیقه دستگاه را تمیز نمایید. تمیز کردن دستگاه باید با آب خالص انجام شود.

هشدار 2: مسیر آب شهری ورودی به دستگاه را ببندید و دستگاه را خاموش کنید.

آزمایش

این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود، که کافی است دستگاه را فعال نمایید و مقادیر متناظر با جدول زیر را در آن یادداشت نمایید. بدین منظور ابتدا از اتصالات مطمئن شوید. سپس با کلید کنار تابلو فرمان، دستگاه را فعال نمایید. اجازه دهید بخار آب از بالا وارد ستون شود و پمپ خلا را روشن کنید. دبی آب سرد را $3/5$ لیتر بر دقیقه تنظیم کنید و دبی خوراک را مطابق جدول قرار دهید. فشار خلا نسبی را $0/4$ بار نگه دارید و آزمایش را به دقت شروع کنید. مسیر خوراک را دنبال کنید و محصول را با شیرهای موجود در مسیر آن به سمت مخزن جمع‌آوری محصول هدایت کنید. دقت نمایید که مخزن محصول در ابتدا خالی باشد.

الف- اکنون هدایت یک نمونه از آب شهری را به عنوان خوراک با هدایت‌متر اندازه‌گیری کنید و آن را وارد مخزن خوراک نمایید. آزمایش را به دقت انجام دهید و حجم محصول و هدایت آن را اندازه‌گیری نمایید. اکنون جدول زیر را تکمیل نمایید.

| P1 و P2 به ترتیب فشار خروجی از دیگ بخار و بعد از شیر ورودی به ستون | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|--|---------------|----|-----------|---|--------------------|---|------------------|---|
| مرحله اول | | | | | | | | | | | |
| رفلاکس | | هدایت خوراک | | هدایت محصول | | حجم محصول | | حجم بخار میعان شده | | هدایت بخار میعان | |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| دبی | | فشار (بار) | | دما (سیلسیوس) | | | | | | | |
| آب سرد | | خوراک | | P1 | P2 | A | b | c | D | f | g |
| 3.5 | | 100 cc/s | | | | | | | | | |

ب- در این مرحله مقدار رفلاکس را $0/5$ قرار دهید و مراحل قبل را برای آن تکرار کنید. اکنون جدول زیر را تکمیل نمایید.

| مرحله دوم | | | | | | | | | |
|------------------|---|--------------------|---|-----------|------------|-------------|----|-------------|--------|
| هدایت بخار میعان | | حجم بخار میعان شده | | حجم محصول | | هدایت محصول | | هدایت خوراک | رفلاکس |
| | | | | | | | | | 0.5 |
| دما (سیلسیوس) | | | | | فشار (بار) | | | دبی | |
| a | b | c | D | f | g | P1 | P2 | خوراک | آب سرد |
| | | | | | | | | 200 cc/s | 3.5 |

پرسش‌ها

- 1- در هر مرحله مقدار گرمای مبادله شده بین بخار و محلول را محاسبه نمایید.
- 2- در مورد دلیل استفاده از نیروی پمپ خلا به عنوان نیرو محرکه، به جای پمپ بحث کنید.
- 3- در هر دو آزمایش بازده را محاسبه کنید.
- 4- موازنه جرم را برای ناخالصی‌های محلول بررسی کنید.