

## تقطیر و انواع روش های آن (مقاله مروری)

دکتر آرش یزدانی

کارشناس کنترل کیفیت مجموعه مشاوران آزمایش نفت ایرانیان

### چکیده:

یکی از مهم ترین و متداول ترین روش های جداسازی تقطیر است و اساس آن بر توزیع اجزا بین دو فاز مایع و گاز بنیان گذاشته شده است. زمانی که دو ماده ای که می خواهیم از یکدیگر جدا کنیم، مایع و در یکدیگر امتزاج پذیر باشند، می توان به کمک تقطیر این دو ماده را از یکدیگر جدا کرد، البته باید نقطه جوش این دو ماده با یکدیگر اختلاف زیادی داشته باشند. تقطیر یک فرایند فیزیکی برای جداسازی اجسام با دمای جوش متفاوت است. برای پی بردن به این که فرایند تقطیر چگونه انجام می گیرد به رفتار محلول ها هنگام جوشیدن و متراکم شدن می توان توجه کرد. محلول هایی با نسبت های متفاوت از دو ماده را در دمای جوش با بخار خود به تعادل درمی آیند. سپس ترکیب فاز مایع و فاز بخار اندازه گیری و نمودار تغییر درصد مولی هر یک از فاز مایع و فاز بخار را در دماهای مختلف می توان رسم کرد. در آزمایشگاه برای جداسازی مایعات فرار، اغلب از دستگاه تقطیر جزء به جزء استفاده می شود. در این مقاله انواع روش های تقطیر شامل: تقطیر تبخیر ناگهانی، تقطیر با مایع برگشتی، تقطیر نوبتی، تقطیر مداوم، تقطیر جز به جز بررسی شده و به تفصیل شرح داده شده است.

**واژگان کلیدی:** تقطیر، جوشیدن، مایعات، امتزاج ناپذیر، فاز مایع



## ۱- مقدمه

تقطیر<sup>۱</sup> جداسازی مواد اجزای سازنده یک محلول با روش تبخیر و تراکم است. روش جداسازی مواد اجزای سازنده یک محلول گوناگونند. یکی از این روش‌ها فرآیند تقطیر است که خود روش‌های مختلفی دارد و از جمله کاربردهای مهم آن در پالایش نفت و جداسازی اجزای آن است. انواع تقطیر عبارتند از: تقطیر ساده: اجزای سازنده محلولی از یک ماده حل شده غیر فعال را می‌توان با تقطیر ساده از هم جدا کرد. برای این کار محلول را می‌جوشانیم تا حلال فرار، تبخیر و از ماده حل شده جدا شود. با سرد کردن بخار، (میعان)، حلال مایع جمع‌آوری می‌شود و ماده حل شده به صورت باقی مانده تقطیر باقی می‌ماند. تقطیر جزء به جزء: اجرای سازنده محلول شامل دو جز فرار را که از قانون راول پیروی می‌کند، می‌توان با فرآیند تقطیر جزء به جزء از هم جدا کرد. طبق قانون راول، فشار بخار محلول برابر با مجموع اجزای بخار سازنده آن است و سهم هر جزء، برابر با حاصلضرب کسر مولی آن جزء در فشار بخار آن در حالت خاص است. تقطیر یک فرایند فیزیکی برای جداسازی اجسام با دمای جوش متفاوت است. برای پی بردن به این که فرایند تقطیر چگونه انجام می‌گیرد باید به رفتار محلول‌ها هنگام جوشیدن و متراکم شدن توجه کرد. محلول‌هایی با نسبت‌های متفاوت از دو ماده را می‌گذاریم تا در دمای جوش با بخار خود به تعادل درآیند. سپس ترکیب فاز مایع و فاز بخار را اندازه می‌گیریم و نمودار تغییر درصد مولی هر یک از فاز مایع و فاز بخار را در دماهای مختلف رسم می‌کنیم. مختصات  $\gamma$  هر نقطه بر روی منحنی نمایانگر دمای جوش محلولی است که ترکیب درصد آن با مختصات  $X$  در این نقطه داده می‌شود. در آزمایشگاه برای جداسازی مایعات فرار، اغلب از دستگاه تقطیر جزء به

جزء استفاده می‌شود. یک ستون تقطیر یا جداسازی شامل یک استوانه عمودی حاوی دسته‌ای از بشقابک‌ها، یا حلقه‌های فولادی زنگ‌نزن، گلوله‌های شیشه‌ای یا تکه‌های سرامیک می‌باشد؛ که این مواد دارای سطح ویژه گسترده‌ای بوده و تماس خوبی را بین مایع - بخار در طول واحد تقطیر ممکن می‌سازند. در بالای ستون یک مبرد و در پایین آن یک واحد تبخیر کننده به نام بازجوشان<sup>۲</sup> قرار دارد. بالای ستون چون از منبع گرمایش دورتر است سردتر از پایین ستون می‌باشد و ترکیب درصد مایع و بخار در حال تعادل در بالای ستون با ترکیب درصد مایع و بخار در حال تعادل در پایین ستون می‌باشد؛ بنابراین در بالای ستون درصد ماده‌ای که دمای جوش کمتری دارد بیشتر است. در صنعت برای تقطیر در مقیاس تجارتي و جداسازی مخلوط چند ماده از برج تقطیر جزء به جزء مانند آنچه که در اینجا ملاحظه می‌نمایید استفاده می‌شود. در هر طبقه از برج از بشقاب‌های حبابی مانند به کار رفته‌است. با اجرای مراحل گوناگون تقطیر نفت خام به فراورده‌های سودمندی تفکیک می‌شود؛ و بر مبنای دمای جوش خود از ترازهای مختلف برج خارج می‌شود.

## ۲- انواع روشهای تقطیر

در این قسمت از مقاله به بررسی روش‌های تقطیر می‌پردازیم، لازم به ذکر است که با توجه به تنوع پژوهش‌های صورت گرفته و تنوع تقسیم‌بندی‌های موجود روش‌های تقطیر [۴-۱]، تقسیم‌بندی صورت گرفته در این مقاله می‌تواند تغییر یابد.

### ۲-۱- تقطیر تبخیر ناگهانی

در این نوع تقطیر، مخلوطی از مواد نفتی که قبلاً در مبدلهای حرارتی و یا کوره گرم شده‌اند، بطور مداوم به ظرف تقطیر وارد می‌شوند و تحت شرایط ثابت،

<sup>۲</sup> Reboiler

<sup>۱</sup> Distillation

مقداری از آنها به صورت ناگهانی تبخیر می‌شوند. بخارات حاصله بعد از میعان و مایع باقیمانده در پایین برج بعد از سرد شدن به صورت محصولات تقطیر جمع‌آوری می‌شوند. در این نوع تقطیر، خلوص محصولات چندان زیاد نیست [۵].

## ۲-۲- تقطیر با مایع برگشتی (تقطیر همراه با تصفیه)

در این روش تقطیر، قسمتی از بخارات حاصله در بالای برج، بعد از میعان به صورت محصول خارج شده و قسمت زیادی به داخل برج برگردانده می‌شود. این مایع به مایع برگشتی موسوم است. مایع برگشتی با بخارات در حال صعود در تماس قرار داده می‌شود تا انتقال ماده و انتقال حرارت، صورت گیرد. از آنجا که مایعات در داخل برج در نقطه جو شخود هستند، لذا در هر تماس مقداری از بخار، تبدیل به مایع و قسمتی از مایع نیز تبدیل به بخار می‌شود [۶].

نتیجه نهایی مجموعه این تماسها، بخاری اشباع از هیدروکربنهای با نقطه جوش کم و مایعی اشباع از مواد نفتی با نقطه جوش زیاد می‌باشد. در تقطیر با مایع برگشتی با استفاده از تماس بخار و مایع، می‌توان محصولات مورد نیاز را با هر درجه خلوص تولید کرد، مشروط بر اینکه به مقدار کافی مایع برگشتی و سینی در برج موجود باشد. بوسیله مایع برگشتی یا تعداد سینیهای داخل برج می‌توانیم درجه خلوص را تغییر دهیم. لازم به توضیح است که ازدیاد مقدار مایع برگشتی باعث افزایش میزان سوخت خواهد شد. چون تمام مایع برگشتی باید دوباره به صورت بخار تبدیل شود [۷].

امروزه به علت گرانی سوخت، سعی می‌شود برای بدست آوردن خلوص بیشتر محصولات، به جای ازدیاد مایع برگشتی از سینیهای بیشتری در برجهای تقطیر استفاده شود. زیاد شدن مایع برگشتی موجب زیاد شدن انرژی می‌شود. برای همین، تعداد سینیها را افزایش

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

## ۱-۲-۲- 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 بخارات و مایعات 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 [۸].

## ۲-۲-۲- نسبت مایع برگشتی

نسبت حجم مایع برگشتی به داخلی و محصول بالایی برج رانسبت مایع برگشتی گویند. از آنجا که محاسبه مایع برگشتی داخلی نیاز به محاسبات دقیق دارد، لذا در پالایشگاهها، عملاً نسبت مایع برگشتی بالای

برج به محصول بالایی را به عنوان نسبت مایع برگشتی بکار می‌برند [۹].

### ۲-۲- تقطیر نوبتی

این نوع تقطیرها در قدیم بسیار متداول بوده، ولی امروزه به علت نیاز نیروی انسانی و ضرورت ظرفیت زیاد، این روش کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. امروزه تقطیر نوبتی، صرفاً در صنایع دارویی و رنگ و مواد آرایشی و موارد مشابه به کار برده می‌شود و در صنایع پالایش نفت در موارد محدودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین در موارد زیر، تقطیر نوبتی از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشد.

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

### ۲-۴- تقطیر مداوم

امروزه به علت اقتصادی بودن مداوم در تمام عملیات پالایش نفت از این روش استفاده می‌شود. در تقطیر مداوم برای یک نوع خوراک مشخص و برش‌های تعیین شده شرایط عملیاتی ثابت بکار گرفته می‌شود. به علت ثابت بودن شرایط عملیاتی در مقایسه با تقطیر نوبتی به مراقبت و نیروی انسانی کمتری احتیاج است. با استفاده از تقطیر مداوم در پالایشگاهها مواد زیر تولید می‌شود:

گاز اتان و متان به عنوان سوخت پالایشگاه، گاز پروپان و بوتان به عنوان گاز مایع و خوراک واحدهای پتروشیمی، بنزین موتور و نفت‌های سنگین بعنوان خوراک واحدهای تبدیل کاتالیستی برای تهیه بنزین با درجه آروماتیسیته بالاتر، حلالها، نفت سفید، سوخت جت سبک و سنگین، نفت گاز، خوراک واحدهای

هیدروکراکینگ و واحدهای روغن سازی، نفت کوره و انواع آسفالتها [۱۰].

### ۲-۵- تقطیر جز به جز<sup>۳</sup>

تقطیر جز به جز روشی است برای جداسازی یک مخلوط به اجزای سازنده آن. در این روش شیمیایی ترکیبات بر اساس نقطه جوششان تبخیر شده و در ستون تقطیر بالا می‌روند.

تئوری روش ساده برای جدایش ترکیباتی استفاده می‌شود که اختلاف نقطه جوش بالایی دارند. اگر دو ماده در محلول نقاط جوش ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس داشته باشند با روش تقطیر ساده نمی‌توان آن‌ها را جدا نمود. در این مورد از روش تقطیر جز به جز استفاده می‌شود.

دو ماده A و B را فرض کنید که نقطه جوش ماده A کمتر باشد. در نقاط جوششان، بخار حاوی مخلوطی از هر دو ماده (بیشتر A چون نقطه جوش کمتری دارد) به کندانسور رفته و خنک می‌گردد و وارد محفظه جمع‌کننده قطرات می‌شود. این قطرات حاوی مقدار بیشتری ماده A و مقداری ماده B می‌باشد. برای حذف مایع B از ظرف یک بار دیگر عمل تقطیر انجام گرفته و در نهایت ماده خالص A به دست می‌آید.

تقطیر جز به جز به صورت مجموعه ای از تقطیر های ساده و متوالی انجام می‌گیرد اما به جای داشتن چندین کندانسور و مخزن جمع‌کننده قطرات، تبخیر و چگالش همگی در یک ستون انجام می‌گیرد. ستون تقطیر حاوی لوله های بلند و سطوحی است که همه مراحل تبخیر و چگالش در طول آن انجام می‌گیرد. در تقطیر جز

<sup>۳</sup> Fractional distillation

به جز، بخار در ستون بالا و بالا می رود در هر مرحله کندانسه ها در سینی جمع شده و مجدد تبخیر می شوند و باز بالاتر می روند و کندانسه تشکیل می شود. این تبخیر و کندانس تا بالای ستون ادامه پیدا می کند تا بخار خالص تری به دست آید. بیشتر بودن سطح ستون تقطیر عمل جدایش را بهتر و آرام تر انجام می دهد [۱۱].

از مهم ترین کاربردهای تقطیر، تقطیر نفت خام و به دست آوردن انواع مختلف سوخت ها از جمله گازوییل، نفت سفید، بنزین و سوخت های دیزلی و... می باشد.

در اینجا، منظور از تقطیر، در واقع جداسازی فیزیکی بر شهای نفتی در پالایشگاههاست 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 خارج می شود. در این قسمت از مقاله انواع روش های پر کاربرد تقطیر جز به جز را در آزمایشگاه های نفت که بر مبنای تقطیر جز به جز پایه گذاری شده اند و در استاندارد ملی ایران بر اساس استاندارد ای بین المللی نگارش شده اند، شرح داده می شود.

#### ۱-۵-۲- تقطیر در اتمسفر:

ویژگی های تقطیر هیدروکربن ها، خصوصاً در مورد سوخت ها و حلال ها اغلب اثر مهمی بر ایمنی و کارایی آنها دارد. ویژگی های تقطیر برای بنزین های هواپیما و اتومبیل بسیار حائز اهمیت است. همچنین در مشخصات فرآورده نفتی، موافقت نامه تجاری، فرآیند های کنترلی پالایشگاه و رعایت قوانین و مقررات مربوط کاربرد دارد [۱].

دامنه جوش یک فرآورده اطلاعاتی را در مورد ترکیب، خواص و رفتار آن در طول انبارداری و استفاده ارائه می دهد. وجود هیدروکربن هایی با نقطه جوش بالا در این ترکیبات و یا سوخت های دیگر می تواند اثر بسزائی بر میزان تشکیل رسوبات جامد حاصل از احتراق داشته باشد.

این روش جهت تقطیر اتمسفری محصولات نفتی و جهت تعیین محدوده جوش محصولات ما نند بنزین طبیعی، مواد میان تقطیری سبک و سنگین بنزین موتور، سوخت های دیزلی با مقادیر گوگرد پایین، برش های نفتی ویژه، نفتا، نفت سفید و سوخت های کوره استفاده می شود.

در زیر با چند اصطلاح رایج در تقطیر در اتمسفر ذکر می گردد:

نقطه جوش اولیه<sup>۴</sup> (IBP): دمای دما سنج در لحظه ی پائین افتادن اولین قطره حاصل از میعان از نوک میرد می باشد.

نقطه پایانی یا نقطه جوش نهایی<sup>۵</sup>: (FBP) حداکثر دمای تصحیح شده دما سنج است که در طول آزمون بدست می آید. این دما معمولاً پس از تبخیر کل مایع از ته بالن مشا هده می شود. عبارت حداکثر دما غالباً به عنوان مترادف بکار می رود.

نقطه خشک<sup>۶</sup>: دمای خواننده شده از دما سنج در لحظه ای است که آخرین قطره نمونه در ته بالن تقطیر، تبخیر می گردد. وجود قطرات یا لایه ای از مایع بر روی جداره داخل بالن و دماسنج در نظر گرفته نمی شود. در مصارف عمومی، نقطه جوش نهایی همان معنای نقطه

<sup>۴</sup> dry Point

<sup>۴</sup> Initial Boiling point

<sup>۵</sup> Final Boiling Point



شکل ۱- نمایی از دستگاه تقطیر اتمسفریک

نمونه بر اساس ترکیب، فشار بخار، نقطه جوش اولیه یا نقطه پایانی مورد انتظار یا هر دو در یکی از پنج گروه قرار داده می شود. ترتیب قرار گیری دستگاه، دمای مبرد و دیگر متغیرهای عملیاتی توسط گروهی که نمونه در آن قرار می گیرد، مشخص می گردند.

۱۰۰ میلی لیتر نمونه مورد آزمون (تحت شرایط شرح داده شده برای گروهی که نمونه در آن قرار دارد) تقطیر می گردد. عمل تقطیر در یک دستگاه تقطیر ناپیوسته آزمایشگاهی در فشار محیط انجام می شود که به طور تقریبی معادل دستگاه تقطیر جزء به جزء می باشد. دماهای خوانده شده و حجم های حاصل از میعان (بر اساس نیازهای استفاده کننده اطلاعات) به طور منظم مشاهده شده و حجم های باقیمانده و تلف شده نیز یادداشت می گردند.

خشک را می دهد. از نقطه خشک جهت اهداف ویژه نظیر صنایع رنگ استفاده می شود.

درصد بازیافت شده<sup>۷</sup>: حجم حاصل از میعان است که در استوانه دریافت کننده مشاهده می شود و همزمان با دمای خوانده شده از دماسنج بیان می گردد.

درصد تلف شده<sup>۸</sup>: تفاضل درصد بازیافتی کل از عدد ۱۰۰ می باشد.

درصد باقیمانده<sup>۹</sup>: تفاضل درصد بازیافتی کل از درصد بازیافتی یا حجم باقیمانده در بالن است که به صورت مستقیم اندازه گیری می گردد.

درصد تبخیر شده<sup>۱۰</sup>: مجموع درصد بازیافت شده و درصد تلف شده می باشد.

اجزاء اصلی دستگاه تقطیر عبارتند از: بالن تقطیر، مبرد و حمام سرد کن مربوط، یک محافظ فلزی یا حصار برای بالن تقطیر، منبع حرارتی، نگه دارنده بالن، وسایل اندازه گیری دما و استوانه دریافت کننده جهت جمع آوری محصول تقطیر. علاوه بر اجزاء اصلی، دستگاه های خودکار نیز مجهز به سیستم اندازه گیری و ثبت دما و حجم های بازیافت شده مربوط در استوانه دریافت کننده به طور خودکار می باشند.

وسیله اندازه گیری دما: در صورت استفاده از دماسنج های جیوه ای این دماسنج ها باید با یک گاز بی اثر پر گردند، ساقه آنها مدرج و قسمت پشت آنها لعابی باشند. برای محدوده های دمایی پایین و بالا باید از دماسنج های مطابق ASTM استفاده نمود. شکل ۱ نشاندهنده یک دستگاه تقطیر در فشار اتمسفر می باشد.

<sup>۹</sup> percent residue  
<sup>۱۰</sup> percent evaporated

<sup>۷</sup> percent recovered  
<sup>۸</sup> percent loss

در پایان تقطیر می توان دماهای مشا هده شده را نسبت به فشار اتمسفر تصحیح و اطلاعات حاصل را جهت تطبیق با ویژگی های روشن ( نظیر سرعت های تقطیر) بررسی نمود. در صورت برآورده نشدن شرایط ویژه ، آزمون را تکرار کنید. نتایج آزمون معمولاً بصورت درصد تبخیر شده یا درصد بازیافت شده در مقابل دمای مربوط در یک جدول یا به طور ترسیمی به صورت نمودار منحنی تقطیر گزارش می گردند.

### ۲-۵-۲- تقطیر در خلا

در این روش فرایند تقطیر در خلا (در فشار ۴۰ میلی متر جیوه) صورت می گیرد. با توجه به اینکه نقطه جوش مواد سنگین نفتی نسبتاً بالاست و نیاز به دما و انرژی بیشتری دارد، و از طرف دیگر ، مقاومت این مواد در مقابل حرارت بالا کمتر می باشد و زودتر تجزیه می گردند، لذا برای جداکردن آنها از خلا نسبی استفاده می شود. در این صورت مواد دمای پایین تر از نقطه جوش معمولی خود به جوش می آیند [۳].



شکل ۲- نمایی از دستگاه تقطیر در خلا

تقطیر در خلا، دو فایده دارد: اول این که به انرژی و دمای کمتر نیاز است، دوم این که مولکول ها تجزیه نمی شوند. امروزه در بیشتر موارد در عمل تقطیر ، از خلا استفاده می شود. یعنی این که: هم تقطیر جزء به جزء و هم تقطیر آنی را در خلا انجام می دهند. شکل ۲ نشان دهنده دستگاه تقطیر در خلا می باشد.

### ۳-۵-۲- تقطیر قیرهای محلول

در این روش معمولاً دستگاه تقطیر معمولاً از شیشه ساخته می شود. همه قسمت های دستگاه برای جلوگیری از سقوط باید ایمن باشد. تمام بخش ها به خصوص مخزنی که حرارت می بیند باید از لحاظ ترک بررسی شود. ارتباط میان قطعات شیشه ای با لاستیک یا چوب پنبه یا اتصالات مخروطی بوده و نباید با بخارات گرم واکنش نشان دهند. اگر از اتصالات مخروطی استفاده می شود روان کننده ها نیز نباید با محلول ترکیب شود و آن را آلوده سازد [۲].

کندانسور معمولاً به منبع آب متصل است تا بخارات را خنک کند. روش مناسب این است که شلنگ ورودی به کندانسور از محفظه تقطیر دورتر و شلنگ خروجی نزدیک محفظه تقطیر باشد. این کار مانع از تماس بخار گرم با آب سرد شده و از شوک حرارتی جلوگیری به عمل می آورد. لوله های اتصال باید طوری محکم باشند که تغییرات فشار آب را تحمل کند. جریان آب باید به اندازه کافی در شلنگ ها جریان داشته باشد تا باعث پاشش یا مسایلی از این دست نشود. به خاطر داشته باشید نرخ جریان در طول روز ممکن است نسبت به نرخ تنظیم شده، تغییر کند، همچنین لازم به ذکر است منبع گرمایشی می تواند شعله

٦- Petlyuk FB, Platonoy VM, Slavinskii DM. Thermodynamically optimal method for separating multicomponent mixtures. Int Chem Eng ١٩٦٥;٥:٥٥٥-٦١.

٧- Freshwater DC. Thermal economy in distillation. Trans Inst Chem Eng ١٩٥١;٢٩:١٤٩-٦٠.

٨- Freshwater DC. The heat pump in multicomponent distillation. Trans Inst Chem Eng ١٩٦١;٦:٣٨٨-٩١.

٩- Flower JR, Jackson R. Trans Inst Chem Eng ١٩٦٤;٤٢:٢٤٩-٥٨.

١٠- Null HR. Heat pumps in distillation. Chem Eng Prog ١٩٧٦;٧٣:٥٨-٦٤.

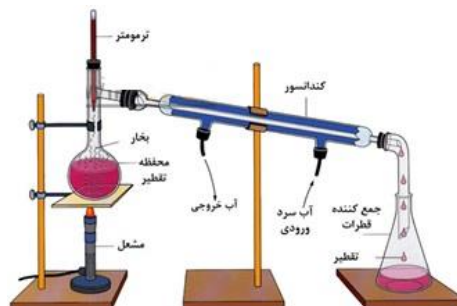
١١- King CJ. Separation processes. ٢nd ed. New York: McGraw-Hill; ١٩٨٠. p. ٦٨٠-٩.

١٢- Smith R. Chemical process design. ١st ed. New York: McGraw-Hill; ١٩٩٥. p. ٣٤١-٥٣.

١٣- Alarcón-Padilla D-C, García-Rodríguez L. Application of absorption heat pumps to multi-effect distillation: a case study of solar desalination. Desalination ٢٠٠٧;٢١٢:٢٩٤-٣٠٢.

١٤- Aristov YI, Dawound D, Glaznev IS, Elyas A. A new methodology of studying the dynamics of water sorption/desorption under real operating conditions of adsorption heat pumps: experiment, Int J Heat Mass Transfer. doi:١٠.١٠١٦/j.ijheatmasstransfer.٢٠٠٧.١٠.٠٤٢.

گاز به همراه توری نسوز و یا منتل آزمایشگاهی باشد.



شکل ١- تصویر شماتیک از تقطیر قیر

### سیاسگزاری

از مدیر عامل محترم شرکت مشاوران آزمایش نفت ایرانیان، جناب آقای وحید ابراهیمی ارائه نظرهای ساختاری تشکر و قدردانی می شود.

### منابع

- ١- ASTM D٨٦-٢٠١٢ Petroleum Products-Distillation at atmospheric pressure - Test method
- ٢- ASTM D٤٠٢: ٢٠٠٨, Standard Test Method for Distillation of Cutback Asphaltic (Bituminous) Products
- ٣- ASTM D١١٦٠: ١٣, Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure
- ٤- Brugma AJ. Dutch patent ٤١,٨٥٠; ١٩٣٧.
- ٥- Wright RO. Fractionation apparatus. US patent ٢,٤٨١,١٣٤; ١٩٤٩.