



مجتمع آموزش عالی گناباد

به نام خدا

شیمی صنعتی ۲

دکتر ولی اله ماندنی پور

۱۱	مزایای مهم تقطیر
۱۱	تعادل بخار-مایع
۱۲	نمودار حالت بر حسب فشار، درجه حرارت و غلظت
۱۲	نمودار P - xy در دمای ثابت
۱۳	نقطه حباب
۱۳	نقطه شبنم
۱۴	نمودار T - xy در فشار ثابت
۱۴	قانون اهرمها
۱۴	قانون دالتون
۱۴	قانون راولت
۱۵	فشار بخار
۱۶	تعیین نمودار تعادلی مخلوط ایده‌آل
۲۱	فراریت نسبی
۲۱	انحراف مثبت از حالت ایده‌آل
۲۲	نمودار P - xy در انحراف مثبت
۲۲	نمودار T - xy در انحراف مثبت
۲۲	موارد استفاده از تقطیر خلا
۲۲	انحراف منفی از حالت ایده‌آل
۲۳	نمودار P - xy و نمودار T - xy در انحراف منفی
۲۴	تبخیر ناگهانی
۲۴	موازنه مواد
۲۹	موازنه آنتالپی
۳۱	تقطیر جزئی
۳۱	معادله رایلی
۳۲	حل معادله رایلی با استفاده از فراریت نسبی
۳۳	میعان دیفرانسیلی
۳۵	عملیات تقطیر جز به جز
۳۶	طراحی برج تقطیر
۳۶	روش مک کیپ-تیل
۴۴	فرضیات روش مک کیپ-تیل
۴۴	کندانسور
۴۵	کندانسور جزئی
۴۷	انواع ریبویلر
۴۸	سینی خوراک
۵۰	استفاده از موازنه انرژی برای بدست آوردن سینی خوراک
۵۶	خط خوراک
۵۷	جریان برگشتی کامل
	حداقل جریان برگشتی

دهم	معرفی تقطیر جزء به جزء، طراحی برج تقطیر (معرفی روش مک کیپ-تیل، و روش پانچون-ساواریت)
دهم	موازنه جرم بر اساس روش مک کیپ-تیل حول برج تقطیر و محاسبات مربوط به خطوط تبادل بالا و پایین
یازدهم	کندانسور و انواع آن، ریبویلر و انواع آن
دوازدهم	سینی خوراک و محاسبات مربوطه
دوازدهم	جریان برگشتی کامل و جزئی و محاسبات مربوطه، حداقل جریان برگشتی و محاسبات مربوطه
سیزدهم	مقدمه‌ای بر استخراج مایع-مایع
چهاردهم	معرفی دیاگرام مثلثی، انتخاب حلال مناسب جهت استخراج
چهاردهم	استخراج تک مرحله‌ای و محاسبات مربوطه، استخراج چندمرحله‌ای و محاسبات مربوطه
پانزدهم	معرفی آسیاب‌ها، خردکن‌ها و همزن‌ها
شانزدهم	معرفی پمپ‌ها و کمپرسورها، معرفی خشک‌کننده‌ها و کوره‌ها، صافی‌ها
شانزدهم	مباحث پایانی و حل تمرین‌های تکمیلی و رفع اشکالات

فصل اول: مقدمه

در بیشتر صنایع شیمیایی، دهنده محصل از سرمایه گذاری و هزینه‌ها به اعمال جداسازی و خالص سازی احتیاجات می‌یابد. هرچه جداسازی پیچیده‌تر و طولانی‌تر باشد، قیمت محصول نهایی نیز بیشتر خواهد بود. مثلاً اکس (اتانول) با خلوص معمولی، بسیار ارزان‌تر از اتانول طبی و خالص آن است. اکس (اتانول) با آب، آزنوتروپ (Azeotrope) تشکیل می‌دهد بنابراین جداسازی این دو از یکدیگر نیاز به روش‌های ویژه دارد و پرهزینه است.

دسته‌ای که براساس تقال حجم یک یا چند سازنده استوارند.

فرایندهای جداسازی به دو دسته کلی قابل تقسیم اند

دسته‌ای که براساس تفاوت خواص و رفتار فیزیکی سازنده‌ها عمل می‌نمایند.

* محلیات بر مبنای نفوذ و انتقال حجم بین فازها:

در بسیاری از فرایندهای محصل جداسازی، تغییر در ترکیب محلول‌ها و مخلوط‌ها براساس پدیده‌های انتقال حجم می‌باشد. محلیات انتقال حجم به صورت انتقال یک یا چند سازنده از محیط پراکنده به محیط گراکنده ظاهر

در فازها می باشد پس از رسیدن سیستم به حالت تعادل اگر ادیان غلظت (اختلاف پتانسیل شیمیایی) از بین

عبارت

به عنوان مثال شرایط تعادل برای توزیع NH_3 یا SO_2 بین آب و هوا به نحوی است که غلظت تعادل آن ها

در هوا خیلی بیشتر از آب است و این موجب محلول عاری ساز آب از این مواد با کمک هوا می شود

البته حتی اگر غلظت تعادل در فاز دوم کم باشد نیز می توان بخشی از یک ساکن را جدا نمود، مشروط بر این که

فاز دوم خود حاوی ساکن باشد، منتقل شوند، نبوده یا محلول مقدار کمتر از میزان تعادل باشد.

* با توجه به فازهای گاز، مایع و جامد شش حالت تماس مستقیم دوگانه بین فازها امکان پذیر است:

✓ فازهای گاز - گاز	فازهای مایع - مایع
فازهای گاز - مایع	فازهای مایع - جامد
فازهای گاز - جامد	✓ فازهای جامد - جامد

* **نکته** برای فازهای گاز - گاز و جامد - جامد حدی از معینی وجود ندارد. گازها با هر نسبتی کاملاً مخلوط

می شوند و تشکیل یک فاز می دهند بنابراین حدی از آن ها مطلق می باشد که البته با استفاده از غشاء ها

می توان حدی از را انجام داد. نفوذ و انتقال جرم درون جامد بسیار کم است بنابراین حدی از

معینی برای فازهای جامد - جامد متداول نیست.

* برای چهار سیستم تماسی دیگر محدودیت وجود دارد که مهمترین آن ها به شرح زیر می باشد:

فازهای جامد - مایع :

استخراج جامد - مایع (leaching) : یک یا چند زنده از فاز جامد به حلال مایع منتقل می‌شوند.

مثال: استحصال شکر از شکر

تبلور (Crystallization) : حلالت یک حل‌شونده در محلول با تغییر و سرد کردن به حد اشباع رسیده و به

صورت جامد جدا می‌شود

مثال: استحصال شکر از شربت قند

جذب سطحی از مایع = (adsorption from liquids) : یک یا چند زنده، محلول توسط جاذب جامد

جدا می‌شوند.

مثال: جداسازی مقادیر ناچیز آب از هیدروکربن‌ها و از اتانول

فازهای گاز - جامد :

خشک کردن (drying) : مقادیر جزئی حلال یا آب از یک جامد مرطوب با گرم کردن توسط یک گاز

(معمولاً هوا) جدا می‌شوند.

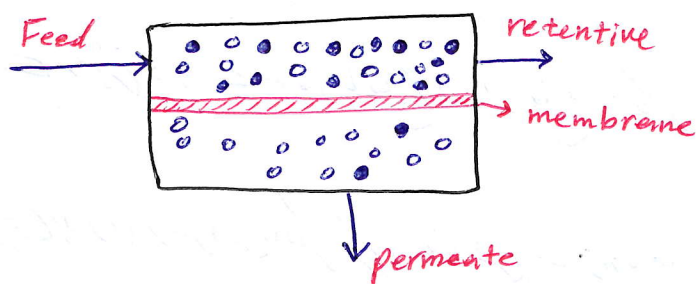
مثال: خشک کردن بلورها و مواد معدنی

جذب سطحی از گازها (adsorption from gases) : یک یا چند زنده، گاز توسط جاذب

جامد جدا می‌شوند.

مثال: حذف طعم و بو از مواد غذایی با کربن

7/ فازیت تأثیر نیروی محرکه غلظتی درون عشاء منتقل و به فاز مقابل وارد می‌شوند. بنابراین انتقال جرم هم در سیالات واقع در طرفین عشاء و هم در خود عشاء انجام می‌شود. سازنده‌ای که از عشاء عبور کند به نام ترانس می‌گردد (permeate) و باقی‌مانده به عشاء تغلیظ شده یا کنده دانه (retentive) شناخته می‌شوند. برای هدف جداسازی، هر کدام از این‌ها می‌توانند به عشاء محصول در نظر گرفته شوند. قابل ذکر است که معمولاً عشاء‌ها به صورت کاملاً انتخابگر عمل نمی‌کنند بلکه مقداری از سازنده‌ها را که انتظام ورود در ماده تغلیظ شده باقی بماند را نیز عبور دهند.



* تخمین عشاء‌هایی که برای جداسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند از جنس نئیرا و اسکا و سلولزی بوده‌اند.

هم‌اکنون عشاء‌های طبیعی و شیمیایی (پلیمری، سرامیکی، فلزی و ...) با اشکال هندسی مختلف ساخته

می‌شوند.

انواع فرایندهای عشاء

- میکرو فیلتراسیون
- اولترا فیلتراسیون
- نانو فیلتراسیون
- اسمز معکوس
- الکترو دیالیز

۱۰ / انتخاب معم است. لذا می توان به فرایندهای انتقال جرم و حرارت زیر فیزیک، مورد مناسب را انتخاب نمود.

به عنوان مثال حرارت یک ماده می تواند با فرایند استخراج با جلال یا با فرایند شست و شوی

که یک محل فیزیک است، انجام داد. برابر بر خیز حرارت در ها از تلفیق فرایندها استفاده می شود. به عنوان مثال برای

استحصال روغن گیاهی ابتدا از فشردن دانه ها و سپس از استخراج با جلال برای روغن باقیمانده استفاده می شود یا

این که برابر کامش رطوبت یک ماده مرطوب می توان ابتدا روغن گرم را از مرکز و سپس روغن خشک کردن با

جای هوای گرم را به کار برد.

فصل دوم: تقطیر (Distillation)

تقطیر: محلولی روشن جدا می‌کند که برای آن تفاوت فراریت اجزاء تشکیل دهنده مخلوط می‌باشد.

مزا یابی محلول تقطیر:

۱. روشی است که در آن دو شرایط سخت (ماتری (T) و فشار (P) ندارد.

۲. ظرفیت (Capacity): به دو صورت بزرگ (large scale) و کوچک (small scale) انجام پذیر است.

۳. No solid: به ماده جاذب نیاز ندارد (و تولید ماده جامد نمی‌کند).

۴. چند مرحله‌ای (Staging) است. دارای مراحل مختلف است با قدرت تفکیک بالا.

۵. Non Contamination: بدون آلودگی است و نیاز به حلال و مواد آلاینده دیگری ندارد.

نکته

* عیب اساسی تقطیر وار (Heat) می‌باشد که هم به گرم کردن و هم گرم کردن فرستادن نیاز دارد که هزینه بالایی دارد و برای موادی که به وار حساسیت دارند، مقصود می‌باشد.

نکته

* در تجزیه جزء فرار می‌باشد اما در تقطیر همه اجزاء فرار می‌باشند اما باید به فراریت متفاوت.

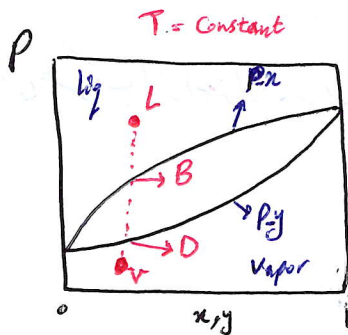
مانند تجزیه آب و نمک → فرار
تقطیر آب و اتانول → فرار
یعنی فراریت متفاوت → فرار

* تعادل بخار - مایع (Vapor - liquid Equilibrium):

P_B^* : فشار بخار B خالص

P_A^* : فشار بخار A خالص

نقطه حباب (Bubble points): نقطه‌ای که اولین حباب بخار تشکیل می‌شود.



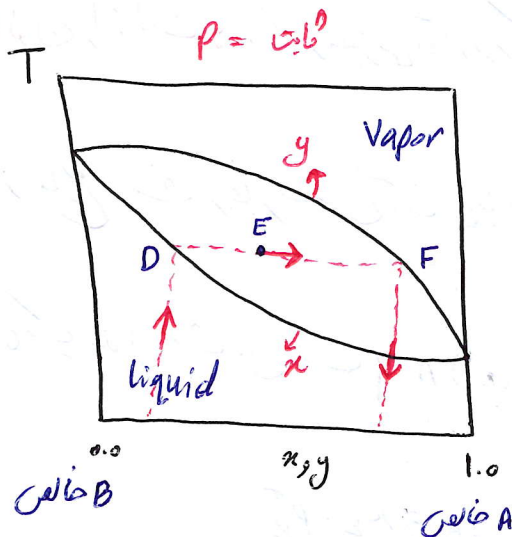
در شکل زیر محلول که در نقطه A قرار داشته باشد به صورت مایع است

اگر فشار ظرف در دهان ثابت بماند باید اولین حباب بخار در B

تشکیل می‌شود که برای نقطه نقطه حباب گفته می‌شود.

نقطه شبنم (Dew points): نقطه‌ای که اولین حباب بخار شروع به مایع شدن می‌کند. (نقطه D نمودار)

* نمودار $T-x-y$ در فشار ثابت $P = \text{Constant}$



نکته * هر خط رابط (Tie line) معرف یک حالت متعادل است.

نکته * در این نمودارها بر خلاف خط رابط وجود دارد.

در منحنی بالا، نقاط روی منحنی پایین، مانند نقطه D، مربوط به مایع انجماد و نقاط روی منحنی بالا، مانند F، مربوط

به بخار انجماد هستند. نقطه‌ای مانند E یک مخلوط دو فاز از مایع و بخار است. نقطه D و بخار با غلظت نقطه

نکته: فشار بخار وابسته به دما می باشد و با افزایش دما، فشار بخار نیز افزایش می یابد.

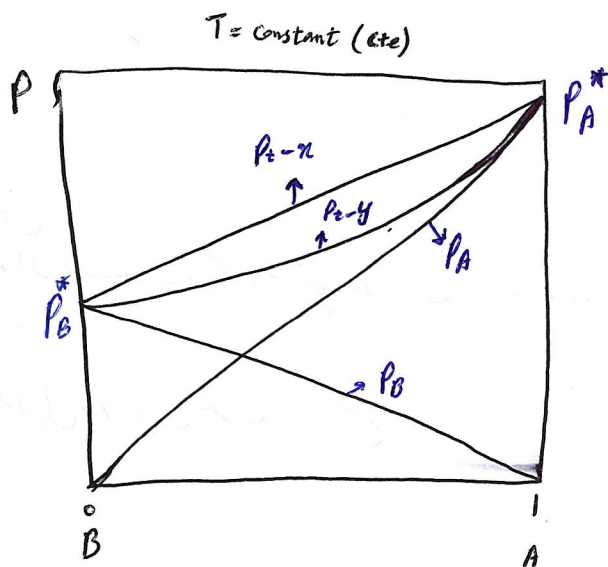
* طبق قانون راولت، فشار جزئی هر یک از سازنده های A و B تابعی خطی از کسر مول بوده و هنگامی

که کسر مول هر سازنده به مقدار یک یا صفر نزدیک شود، فشار بخار جزئی به فشار بخار خالص آن سازنده

موجود می رسد. به چنین محلول، ایده آل می گویند.

* محلول ایده آل AB محلول است که در آن نیروهای بین مولکولی یک باشد. (نیروهای بین مولکولی؛

AA، BB و AB)



* تعیین نمودار تعادل مخلوط ایده آل:

$$P_A = x_A \cdot P_A^* \quad , \quad P_B = (1 - x_A) P_B^*$$

$$\text{if } x_A = 0 \rightarrow P_A = 0$$

$$\text{if } x_A = 1 \rightarrow P_A = P_A^*$$

$$P_A = y_A \cdot P_t$$

$$P_A = x_A \cdot P_A^*$$

$$\Rightarrow y_A \cdot P_t = x_A \cdot P_A^* \Rightarrow$$

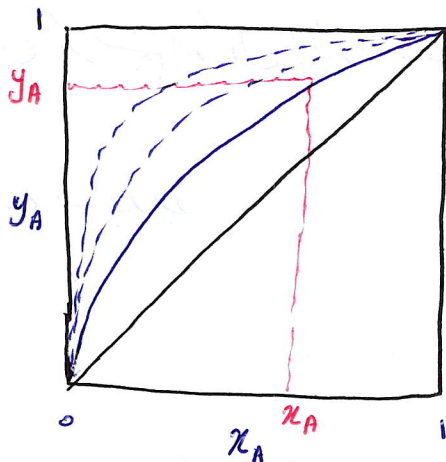
$$y_A = \frac{x_A \cdot P_A^*}{P_t}$$

از این رابطه برای رسم نمودار P بر حسب

در انتظام می شود

مثال

مثال: 373 K و 101.3 kPa مقدار مولی جزئی



* در نمودار $y-x$ هر چه فاصله بین منحنی تعادل و خط 45 درجه بیشتر باشد، اختلاف بین غلظت فاز مایع و بخار بالا تر باشد و جواب از به وسیله فرایند تقطیر آن کمتر خواهد بود. مقدار عددی این مفهوم ضریب تفکیک نام دارد که در تقطیر به آن ضرایب نسبی گفته می شود.

$$\alpha = \frac{(y/x)_A}{(y/x)_B} = \frac{k_A}{k_B} \Rightarrow \alpha = \frac{(y/x)}{\left(\frac{1-y}{1-x}\right)}$$

↑ جزء A ↑ ضریب توزیع ↓ ضرایب نسبی ↓ جزء B

$$\Rightarrow y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

* نکته
لازم عمل تقطیر آن است که $\alpha > 1$ باشد و هر چه α بزرگتر باشد، تقطیر بهتر صورت می گیرد و اگر $\alpha = 1$ باشد

تقطیر عمل نیست.

* اگر $\alpha < 1$ باشد، A و B اشتباه فرض شوند (A جزء غلیظ تر باشد) و در نتیجه $\alpha < 1$ معیار ندارد.

* اگر $\alpha \gg 1$ باشد، آنگاه تقطیر به تنهایی خواهد بود.

* معیار جواب از با تقطیر، ضرایب نسبی (α) است نه اختلاف نقطه جوش اجزاء.

* برای مخلوط ایده آل به کمک قانون راؤولت خواهیم داشت:

$$y_A P_t = x_A \cdot P_A^* \Rightarrow \frac{y_A}{x_A} = \frac{P_A^*}{P_t}$$

$$\alpha = \frac{P_A^*}{P_B^*}$$

* در یک سیستم دو جزئی، هرگاه کسر مول A در فاز بخار 0.1 و در فاز مایع در حال تعادل با آن 0.01 باشد

بانتوان ضریب فراریت ماده A نسبت به ماده B، چقدر است؟

$$\alpha = \frac{(y/x)_A}{(y/x)_B} = \frac{y/x}{\frac{1-y}{1-x}} = \frac{\frac{0.1}{0.01}}{\frac{0.9}{0.99}} = \frac{10}{0.91} = 11$$

* با فرض این که مخلوط نزاع هیتان (A) و نزاع اوکتان (B) محلول ایده آل باشند. مشترک تعادل بخار-مایع

boiling point

$$p = 1 \text{ atm} \begin{cases} b.p.(A) = 98.4^\circ \text{C} \\ b.p.(B) = 125.6^\circ \text{C} \end{cases}$$

این مخلوط را در فشار 1 atm بجوشانید.

دامنه محدود $98.4 < T < 125.6$ تغییر کند. بنابراین دماهای را در این محدوده در نظر بگیرید

$T, ^\circ \text{C}$	P_A^*, mmHg	P_B^*, mmHg	x	y	α
98.4	76.	333	1	1	2.28
105	94.	417	0.656	0.811	2.25
110	105.	484	0.487	0.674	2.17
115	120.	561	0.312	0.492	2.14
120	135.	65.	0.1571	0.279	2.08
125.6	154.	76.	0	0	2.02

از مراجع ←

$$\alpha = \frac{P_A^*}{P_B^*}$$

* انحراف مثبت از حالت ایده آل:

اگر فشار کل مخلوط بزرگتر از فشار مجانبه بوده برای حالت ایده آل باشد، گفته می شود که آن مخلوط دارای

انحراف مثبت از قانون راؤولت است. اغلب مخلوط ها دارای دسته مکرر دارند.

$$P_t > [P_A^* \cdot x_A + P_B^* \cdot (1 - x_A)]$$

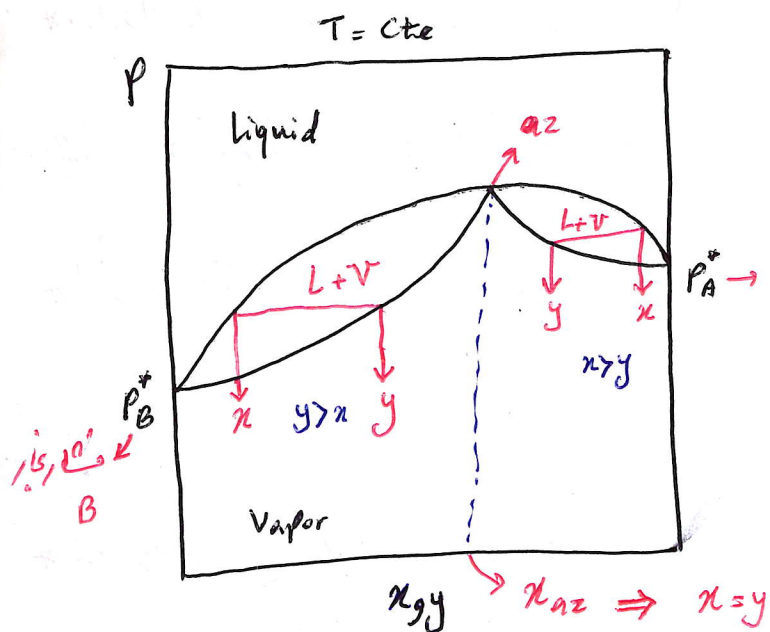
$$P_A = \gamma \cdot P_A^* \cdot x_A$$

ضریب فعالیت ماده در محلول

$$y_A = \frac{\gamma \cdot P_A^* \cdot x_A}{P_t}$$

* اگر مخلوط ایده آل باشد، $\gamma = 1$ می شود و $\ln \gamma = 0$.

* نمودار $P-x-y$ در انحراف مثبت:



* آزنوتروپ (Azeotrope): اگر متی ها \rightarrow فشارهای A

$P-x$ و $P-y$ یا $T-x$ و $T-y$ در یک نقطه همراهِ

نقاط خالص همدگر را قطع کنند، چنین نقاطی

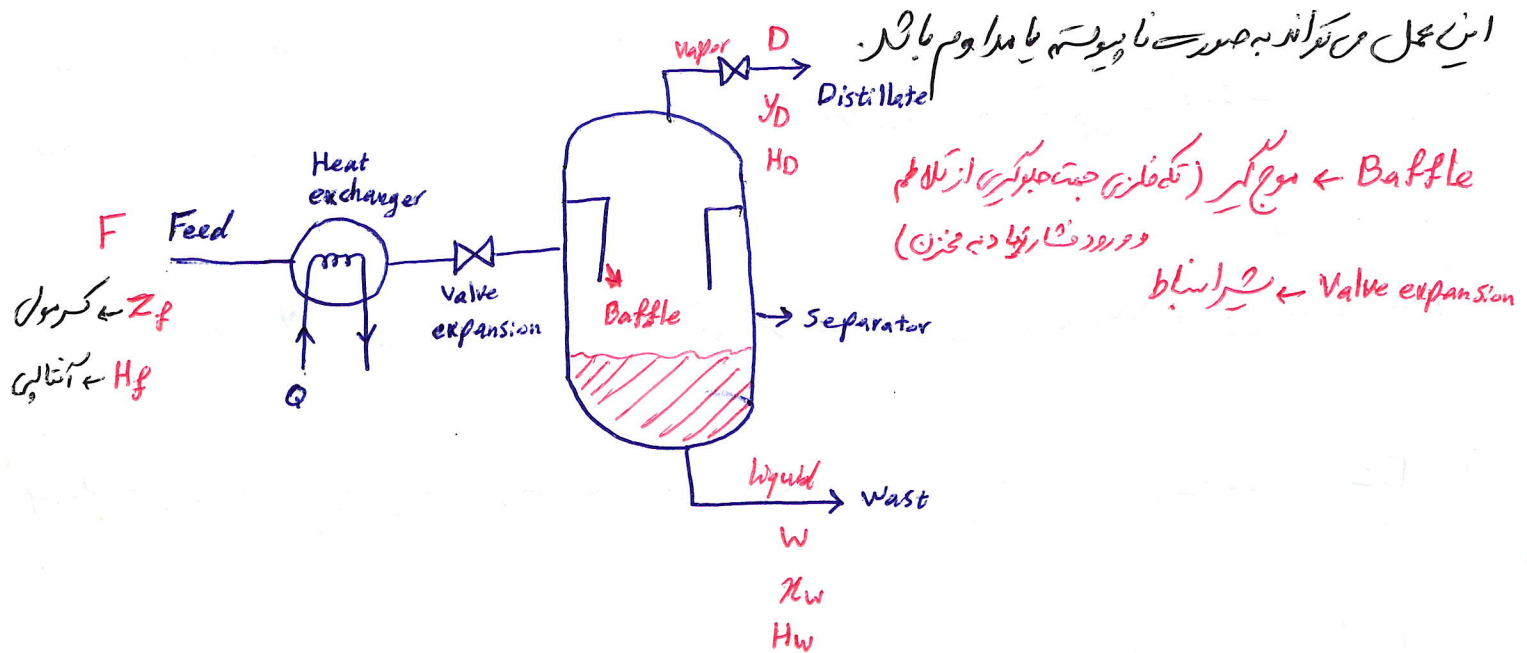
اصطلاحاً هم جوش (Azeotrope) گفته می شوند

* در نقطه آزنوتروپ x و y تعادل با هم برابرند و امکان جداسازی اجزاء به وسیله تقطیر وجود ندارد.

در اثر دو فاز شدن $\rightarrow y > x$ $\rightarrow x_p < x_{azeo}$ \rightarrow نقطه دمنوازه x_p

* تبخیر ناگهانی (تقطیر تعادل) (Flash Vaporization): تبخیر ناگهانی، که گاهی به آن

تقطیر تعادل گفته می‌شود، یک عملیات تک مرحله‌ای است که در آن مخلوط مایع به طور جزئی تبخیر می‌شود و بخار حاصل با مایع باقی مانده به تعادل می‌رسد، پس فازهای بخار و مایع بدست آمده جدا و از سیستم خارج می‌شوند.



در این جا، خوراک که به صورت مایع است در یک مدل حرارتی لوله ای معمولی، یا با عبور از درون لوله های گرم روغن سوز گرم می‌شود. پس در فشار کم، مایع به طور آدیاباتیک تبخیر و بخار تشکیل می‌شود و پس از آن مخلوط وارد یک جداکننده بخار-مایع می‌شود. جداکننده، نشان دهنده از نوع سیکلون است که در آن خوراک ورودی، به صورت مایک بر دیواره داخلی، وارد فضای دو حبابه می‌شود. بخش مایع مخلوط توسط نیروی گریز از مرکز به سمت دیواره داخلی خارج می‌گردد و از انتهای مخزن خارج می‌شود و بخار حاصل، بالای ورودی و از مخزن خروجی بخار، خارج می‌گردد.

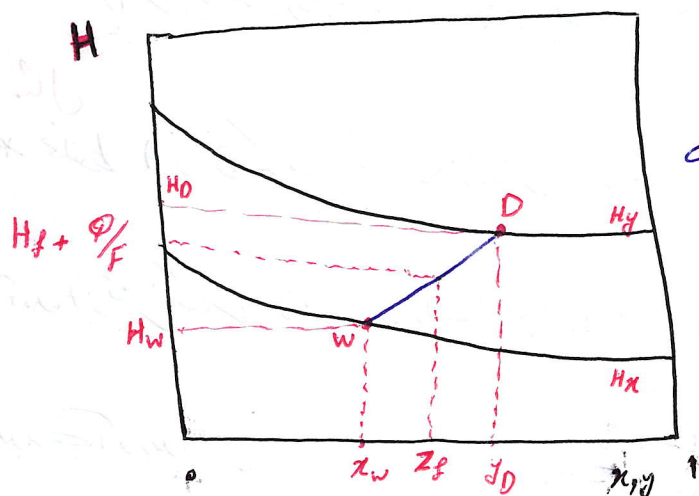
$$-W(H_w - H_f - \frac{Q}{F}) = D(H_D - H_f - \frac{Q}{F})$$

$$-\frac{W}{D} = \frac{H_D - (H_f + \frac{Q}{F})}{H_w - (H_f + \frac{Q}{F})}$$

* معادله فوق بیانگر یک خط مستقیم بر روی نمودار H_{xy} می باشد. این نمودار از نقطه D به مختصات

(H_D, y_D) و W به مختصات (H_w, x_w) و مخلوط خوراک بعد از خروج از مبدل حرارتی با مختصات

$(H_f + \frac{Q}{F}, z_f)$ می گذرد.



* معادله بالا که به صورت پاره خط DW نشان داده شده است

بیانگر خط کار معمول برای یک سیستم تک مرحله ای می باشد.

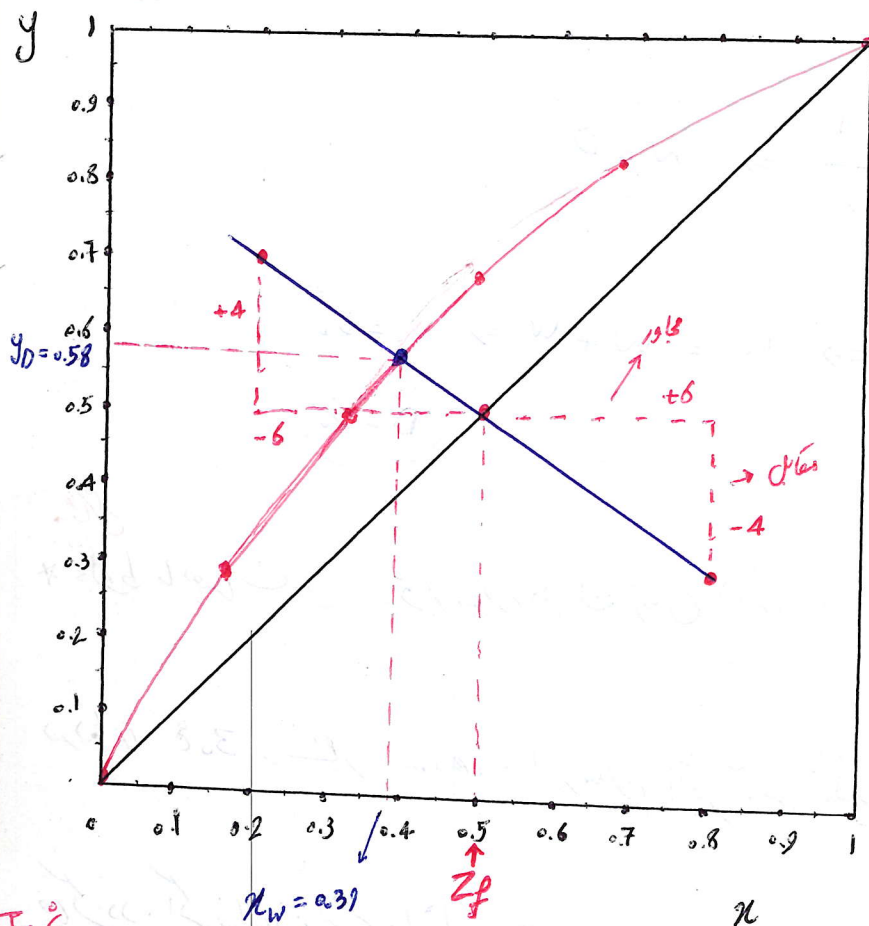
* به منظور بدست آوردن ترکیب در مرحله محمول مقطر (D) و پس مانند (W) به کمک معادله فوق به روش زیر عمل می کنیم:

ابتدا نمودار تعادل $y-x$ را رسم می کنیم. z_f کسر مولی جزء خوراک را روی محور افقی x تعیین کرده و مکان آن بر روی خط 45° ($x=y$) مشخص می کنیم. از این نقطه خطی با شیب $-\frac{W}{D}$ رسم می کنیم

* اگر مقادیر x را ندانستیم در رابطه فراریت نسبت چند مقدار به اختیار بین صفر و یک به x داریم تا آن را

بدست آوریم و برای مقادیر x و y متغیر تعادل x و y را بدست آوریم.

* بر روی کاغذ شطرنجی و یا در excel اعداد x و y را وارد کرده تا نمودار x و y را بدست آوریم.



از صورت مسئله داریم:

$$W = 0.4F$$

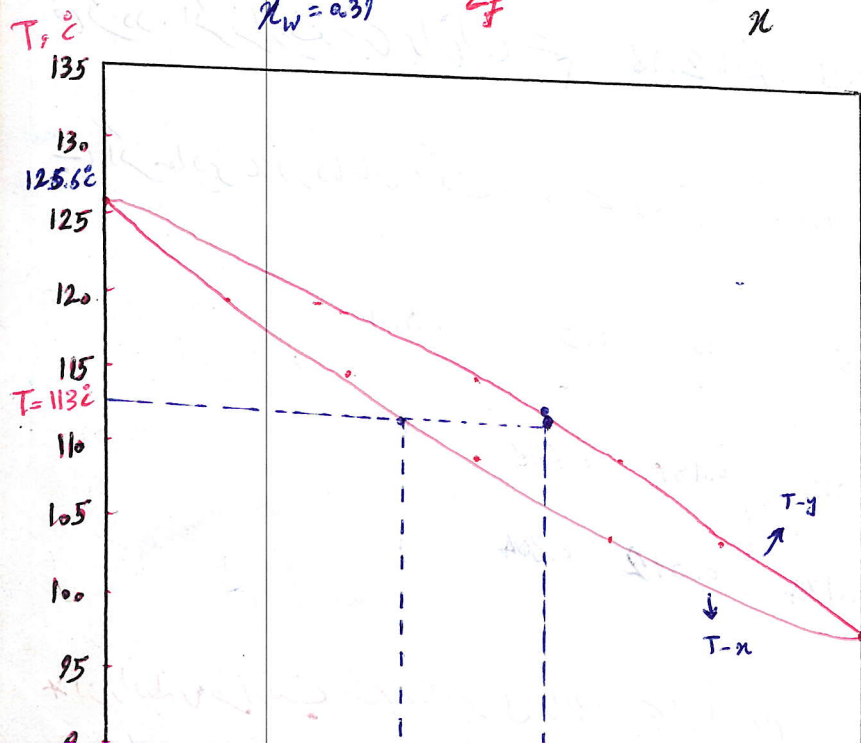
$$D = 0.6F$$

$$Z_f = 0.5$$

$$\text{slope} = -\frac{W}{D} = -\frac{0.4F}{0.6F} = -\frac{4}{6}$$

$$\text{slope} = \tan \alpha = -0.667$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = -\frac{4}{6}$$



$$x_w = 0.39$$

$$y_D = 0.58$$

نمودار T - x را بدست می آوریم:

$$T = 113^\circ\text{C}$$

نمای جداگانه

* محلول مایع شامل ۶۰٪ مول استون و ۴۰٪ مول آب می باشد. این محلول را در فشار ۱ atm

تحت عمل تقطیر آنرا واکریم تا ۳۰٪ مول از آن تبخیر گردد. علت افت اجزاء را در فرایند تقطیر شده و نیز در

x	۰	۰.۰۵	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۷	۰.۸	۰.۹	۱
y	۰	۰.۲۵	۰.۴	۰.۵۲	۰.۶۲	۰.۷۵	۰.۸۳	۰.۸۵	۰.۸۷	۰.۹۳	۱	

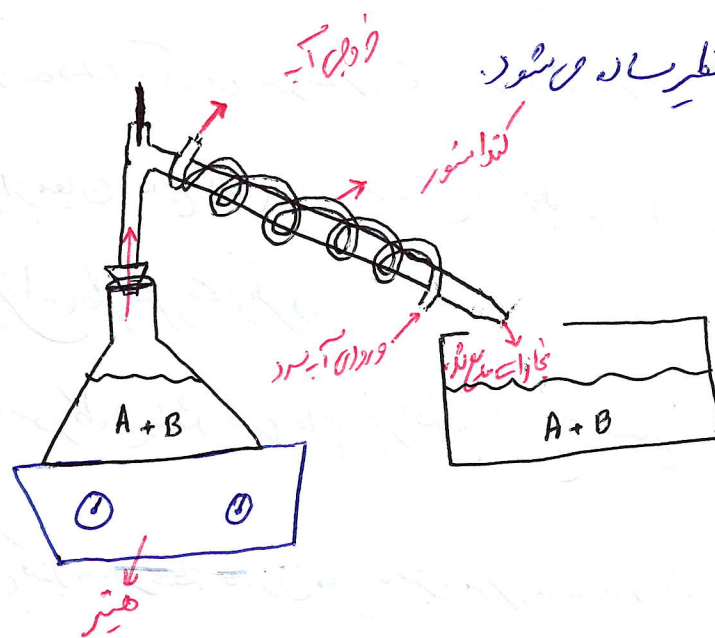
مایع باقی مانده محاسبه کنید

اعداد با زیر خط شده

* تقطیر جزئی (ساده) یا دیفرانسیل (Simple distillation or Differential dis) :

اگر در عملیات تبخیر ناگهانی متوالی، با مراحل بسیار که هر مایع طی می کند، در هر مرحله فقط بخش کمی از مایع تبخیر

شود، عملیات در نهایت معادل تقطیر دیفرانسیل یا تقطیر شده می شود.



* مایع (A+B) حرارت داده می شود، این مایع به آرامی جوشد و بخار آن تشکیل شده به سرعت وارد مبرد و در

آنجا به مایع تبدیل می شوند و مایع بدست آمده (محصول مقطر) در مخازن دریاقت کشیده، جمع آوری می شود.

* اولین بخش مایع تقطیر شده از جزء فرارتر غنی است و با ادامه تقطیر، بخار تولید شده در هر گام از این جزء حواله

داشته، محصول مقطر از آن در غنی تر، با افزایش دما، به مایع (A+B) باقی مانده می شود.

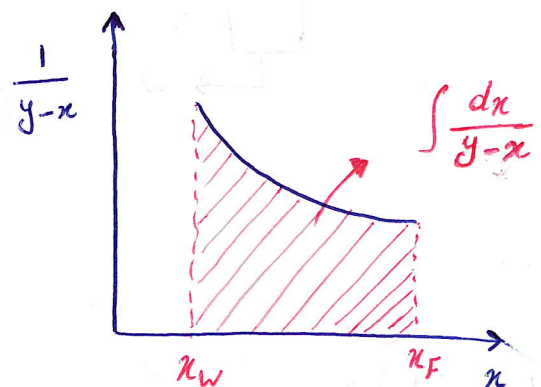
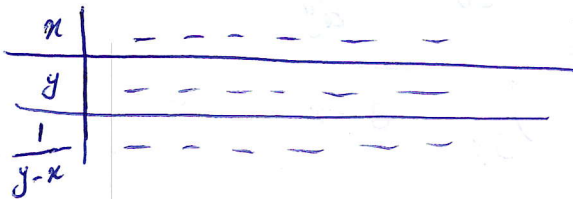
$$31 \Rightarrow y dl = L dx + x dl \Rightarrow (y-x) dl = L dx$$

$$\frac{dl}{L} = \frac{dx}{y-x} \Rightarrow \int_w^F \frac{dl}{L} = \int_{x_w}^{x_F} \frac{dx}{y-x}$$

$$\ln \frac{F}{W} = \int_{x_w}^{x_F} \frac{dx}{y-x}$$

Rayleigh equation

معادله رالی



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

* حل معادله رالی با استفاده از فرم نسبت (α) :

با جایگذاری y در معادله رالی و اشتغال گیری داریم:

$$\log \frac{F \cdot x_F}{W \cdot x_w} = \alpha \log \frac{F(1-x_F)}{W(1-x_w)}$$

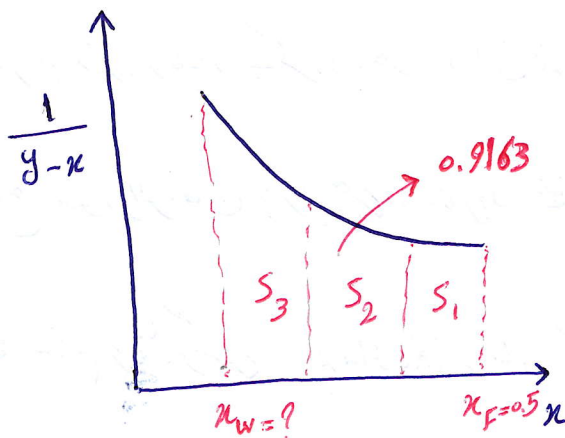
* اگر مقدار α داده باشد باید از این معادله

استفاده کنیم و اگر α را نداده باشند از معادله بالا

استفاده می شود

سوال * در چه صورت محصول به صورت کامله خالص در می آید؟ A کامله تبخیر شود و B در ظرف باقی بماند

کامله فرار $A \rightarrow \alpha = \infty \rightarrow x_w = 0 \rightarrow$ برای اینکه B در ظرف باقی بماند



* از روش هندسی برای بدست آوردن x_W

استفاده می شود از x های کمتر از 0.5 شروع

کردن و به سمت چپ می رویم و در هر مرحله سطح زیر

منحنی را محاسبه می کنیم. در هر x که سطح زیر منحنی

برابر 0.9163 شود، x_W است. ← $x_W = 0.33$

$$F \cdot x_F = W \cdot x_W + D \cdot y_{D,av} \Rightarrow 100(0.5) = 40(0.33) + 60 y_{D,av}$$

$$y_{D,av} = 0.614$$

$y_{D,av}$: متوسط غلظت مولی بخار را می گویند

$\alpha = 2.16$ برای این سیستم در فشار 1 atm

روش دوم:

$$\log \frac{F \cdot x_F}{W \cdot x_W} = \alpha \log \frac{F(1-x_F)}{W(1-x_W)} \Rightarrow \log \frac{100(0.5)}{40(x_W)} = 2.16 \log \frac{100(1-0.5)}{40(1-x_W)}$$

$$\log \frac{50}{40 x_W} = 2.16 \log \frac{50}{40 - 40 x_W} \Rightarrow x_W = 0.33$$

* محلیا به تقطیر جزء به جزء (Fractional distillation):

در این روش، خوراک وارد مرکز یک برج عمودی می شود. بخار در ناحیه فوقانی عمل درود خوراک (که

اسامی نجش جزء، غشای زیر یا بالای مشعوب است) صعود کرده و توسط مایع شسته می شود تا سازندگی کمتر فرار

سینی ها از بالا به پایین شماره گذاری می شوند و شماره اندیس برای دین نوشته می شود به عنوان

مثال G_7 دین گانه است که از سینی 7 صعود کرده است و n تعداد مول مایع برزخ $(\frac{\text{مول}}{\text{زمان}})$ یا دین مول

مایع است که از سینی n لم پایین می ریزد.

* خط تیره بالهرکیت ها نشان دهنده ارتباط آن ها به ناصیه ای از برج است که پایین تر از محل ورود عواراک

قرار گرفته است. براساس Φ اندف کرمای از پایین برج است.

* محصول مقطر می تواند به صورت مایع، بخار عیا، مخلوط از این دو باشد ولی جریان برگشتی حتماً باید مایع باشد.

* نسبت مول جریان برگشتی (L) به محصول مقطر (D) را نسبت جریان برگشتی (R) می گویند.

$$R = \frac{L}{D}$$

* طراحی برج :

* دوروش متداول طراحی برج نقطه:

1. روش مک کیب - تیل (McCabe - Thiele) :

این روش تخمین است و از اطلاعات تجربی تعادل y استفاده می کند و متکی بر موازنه جرم کلی و انرژی و

دارد های تعادل است.

2. روش پانچون - سواریت (Panchon - Savarit) : این روش دقیق است و علاوه بر موازنه جرم

$$\begin{cases} L_{n+1} = L_n = \dots = L_1 = L \rightarrow \\ L_{m+1} = L_m = \dots = \bar{L} \rightarrow \end{cases}$$

برابر بخش عمده سازه

برابر بخش بازتاب

$$\begin{cases} V_{n+1} = V_n = \dots = V_1 = V \rightarrow \\ V_{m+1} = V_m = \dots = \bar{V} \rightarrow \end{cases}$$

برابر بخش عمده سازه

برابر بخش بازتاب

2. اختلاف دما در سون تقطیر تقریباً صفر باشد.

3. فشار کل در سون تقطیر یکسان باشد. (افت فشار صفر باشد)

4. آنتالپی تبخیر (latent heat) هر دو جزء A و B یکسان باشد.

5. گرمای مخازن مول اجزاء A و B برابر باشد.

* موازنه جرم درون قسمت فوقانی برج :

$$\text{موازنه کل : } V_{n+1} = L_n + D$$

$$\text{موازنه انرژی : } V_{n+1} \cdot y_{n+1} = L_n \cdot x_n + D \cdot x_D \Rightarrow y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{D}{V_{n+1}} x_D$$

$$\Rightarrow y_{n+1} = \frac{L}{\cancel{V}_{L+D}} x_n + \frac{D}{L+D} x_D \Rightarrow y_{n+1} = \frac{L}{L+D} x_n + \frac{D}{L+D} x_D$$

صورت و مخبر را بر D تقسیم میکنیم

$$y_{n+1} = \frac{\frac{L}{D}}{\frac{L+D}{D}} x_n + \frac{1}{\frac{L+D}{D}} x_D$$

$$y_{n+1} = \frac{1}{\frac{L+D}{D}} \left(\frac{L}{D} x_n + x_D \right)$$

* مخلوطی از بنزن و تولوئن شامل 40٪ مولی بنزن، تقطیر شده و لازم است که محصول بالای برج دارای 90٪

بنزن و محصول پایینی برج بیش از 10٪ بنزن نداشته باشد. خوراک در نقطه‌ی حساب ^{مایع اشباع} وارد برج می‌شود. نسبت مایع برگشتی ^R

و انتخاب شده است. متغیر تعادل در فشار 1 bar موجود است. ضریب بویلی-اندروود معادله‌ی خطوط تبادل بالای مایع

برای برج، تعداد سینی‌های مورد نیاز در محل ورود خوراک را بدست آورید. ($\alpha = 2.5$)

base: 100 kmol/hr

$$Z_F = 0.4, \quad x_D = 0.9, \quad x_B = 0.1, \quad R = 3, \quad \alpha = 2.5$$

$$\begin{aligned} \text{موازنه کلی: } & \begin{cases} F = B + D \\ F \cdot Z_F = B \cdot x_B + D \cdot x_D \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 100 = B + D \\ 100(0.4) = 0.1B + 0.9D \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D = 37.5 \text{ kmol/hr} \\ B = 62.5 \text{ kmol/hr} \end{cases} \end{aligned}$$

مرحله‌ی اول: بدست آوردن خط تبادل بالا

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{3}{3+1} x_n + \frac{0.9}{3+1} \Rightarrow$$

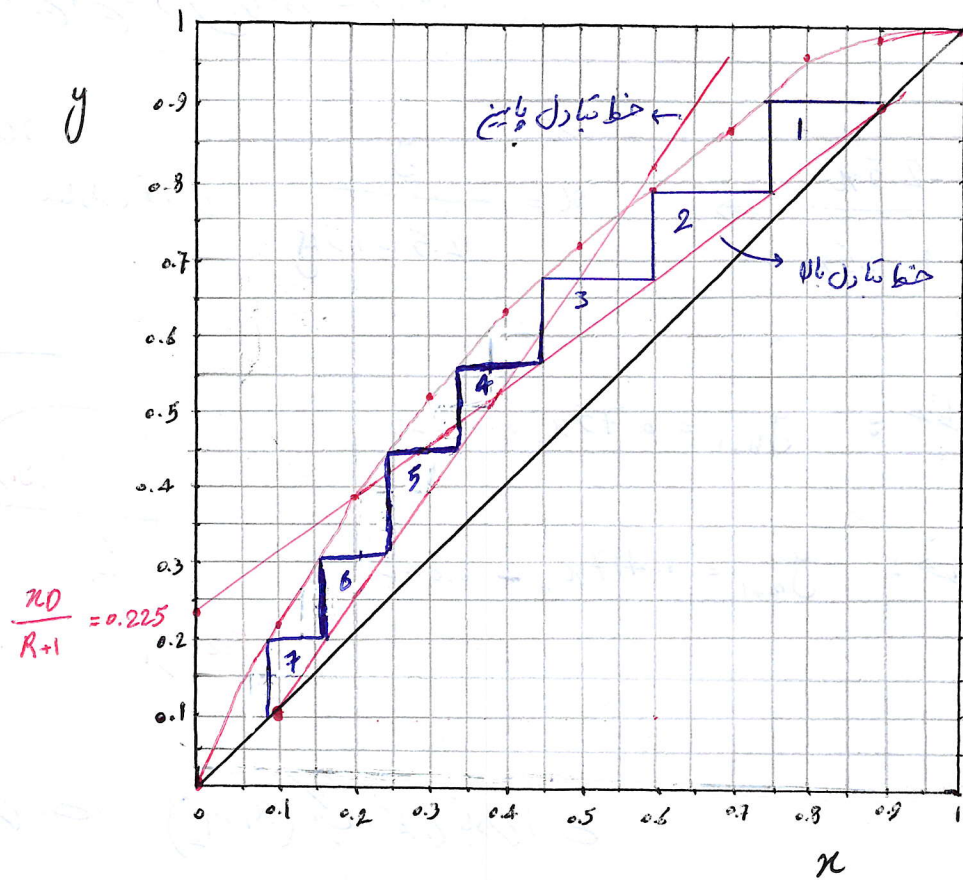
$$y_{n+1} = 0.75 x_n + 0.225 \rightarrow$$

خط تبادل بالا

* مرحله‌ی دوم: بدست آوردن خط تبادل پایین

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} x_m - \frac{B \cdot x_B}{\bar{V}}$$

* خوراک در نقطه‌ی حساب وارد برج می‌شود



* پس از رسم منحنی بالا، باید منحنی تبادل بالا را رسم کنیم. برای رسم خط تبادل بالا $y_{n+1} = 0.75x_n + 0.225$ از

نقطه (x_D, x_D) خطی رسم می‌کنیم تا محور y را در 0.225 قطع نماید. برای رسم خط تبادل پایه، خطی به

شیب 1.417 رسم می‌کنیم ($y_{m+1} = 1.417x_m - 0.042$) بدین صورت که از نقطه (x_B, x_B) ، x_B خانه

در اساس x جلوتر رسم پس به اندازه 14.17 خانه در اساس y بالا می‌رویم تا به نقطه مورد نظر برسیم. پس این نقطه

را به (x_B, x_B) وصل می‌کنیم. پس از x_D شروع به رسم پلکان می‌کنیم

تعداد مراحل = 7

تعداد سینی = 7 - 1 = 6

باقی‌مانده به خود دارد:

* پلکان آخر مربوط به ریبویلر می‌باشد. اگر partial condenser داشته باشیم یک پلکان دیگر نیز از تعداد مراحل کم

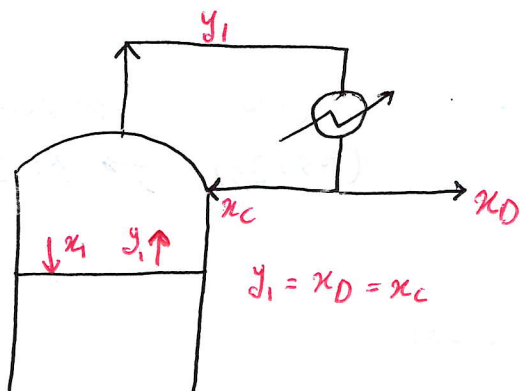
Total Condensor

کندانسور کامل

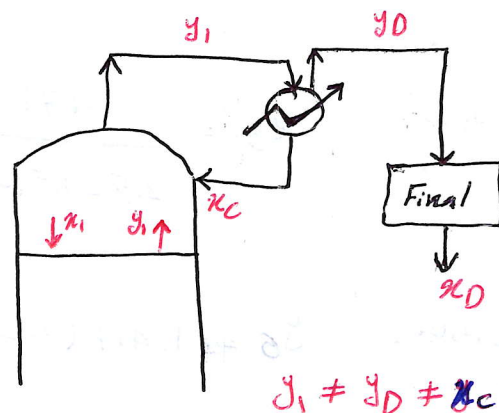
Partial Condensor

کندانسور جزئی

* کندانسور (مبرد) (Condensor):



Total Condensor



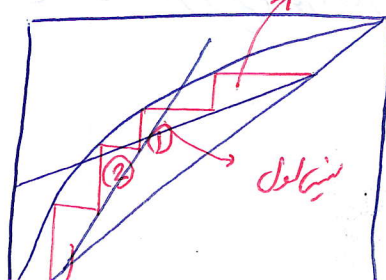
partial condensor

کندانسور جزئی: گاهی لازم است که محصول مقطر به حالت بخار بازنر، به ویژه وقتی که نقطه جوش محصول برابر با
کامل کان تبخیر و خلیه با این بخار بازنر در این حالت بخار بالا برنج، تا حدی که برای جریان برگشتی لازم است، به مایع تبدیل
شود و بخار باقیمانده به عنوان محصول گرفته شود.

نکته
* در کندانسور جزئی، اگر یک تماس بین بخار به عنوان محصول و جریان برگشتی مایع، به حد کافی بازنر، مایع و بخار به حال
تعادل در می آیند و عمل مایع در مبرد به صورت تعادل خواهد بود.

* اگر کندانسور جزئی داشتیم، یک مرحله از تعداد مراحل باقی می ماند.

تعداد مراحل = $N - 1 - 1$ → partial condensor
↑
reboiler

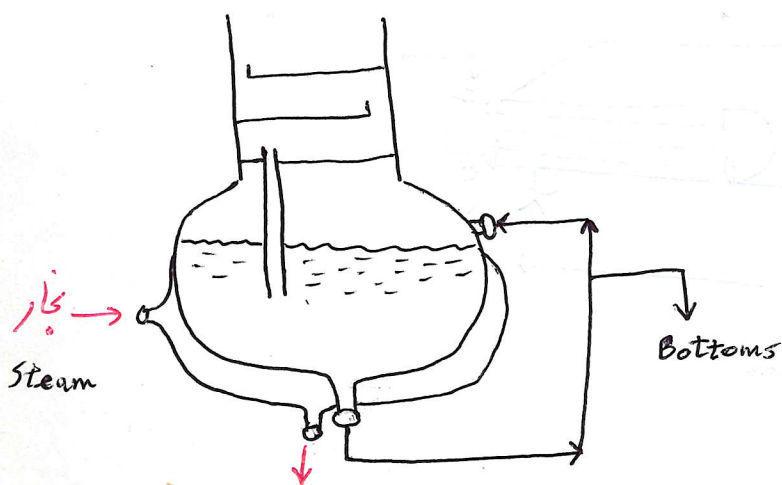


* انواع ریبویلر:

مبدل های حرارتی مختلف برای ایجاد دوار لازم و تولید بخار برگشتی در پایش برج تقطیر وجود دارند که به اشکال گوناگون ساخته می شوند.

* برج های کوچک که در واحدهای نیمه صنعتی به کار می روند، کتری های دوجداره (jacketed kettle)

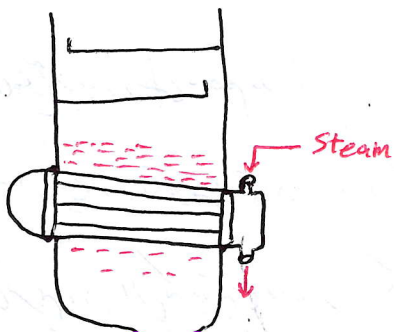
کافی اند که البته سطح انتقال دوار و ظرفیت بخار آن ها نیز کم است.



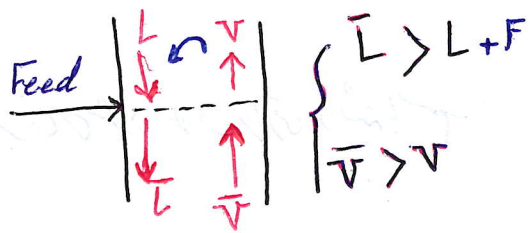
* ریبویلرهای داخلی (Internal Reboiler): مبدل های حرارتی لوله ای که در پایش برج قرار دارد.

می شوند، سطح داری بیشتری ایجاد می کنند.

* عیب این نوع ریبویلر این است که برای تمیز کردن آن ها باید علیاً تقطیر را متوقف کرد. (shut-down)



* سینی خوراک (Feed plate):

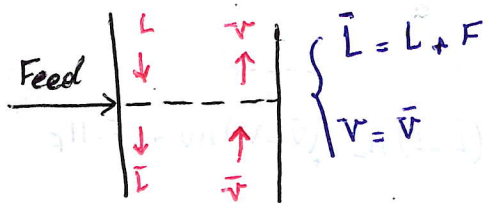


1. خوراک به صورت مایع سرد وارد شود. (Cold-Feed)

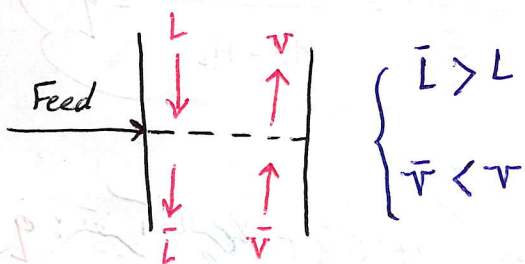
* در دمای کمتر از انبعاث وارد می شود. چون زیر دمای انبعاث است

نیازمند حرارت است که گرمای خود را از \bar{V} بگیرد.

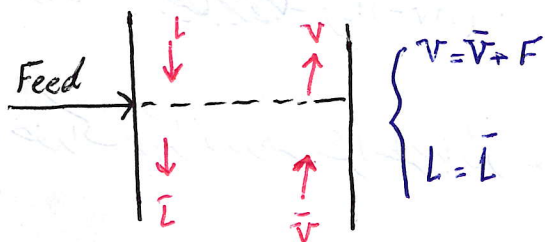
* خوراک سرد باعث می شود بخشی از بخار شود.



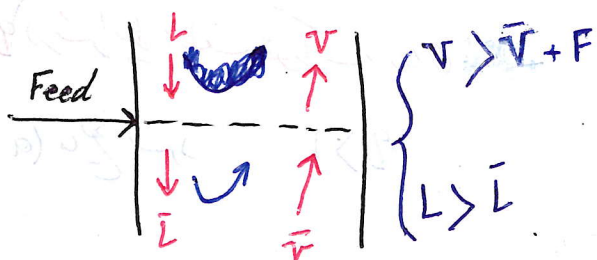
2. خوراک به صورت مایع انبعاث وارد می شود. (Feed at bubble point)



3. خوراک به صورت دو فازی بائد. (Vapor-liquid)



4. خوراک در نقطه شبنم وارد می شود. (Feed at Dew point)
(بخار انبعاث)



5. خوراک به صورت فوق انبعاث بائد. (Super heat vapor)

بخشی از L به وسیله بخار فوق انبعاث به \bar{V} (بخار) تبدیل می شود.

* در مواردی به غیر از مایع اشباع و بخار اشباع، برآیند خوراک با نسبت مقدار q را محاسبه کرد.

* اگر خوراک مایع سرد باشد:

$$q = \frac{\lambda_F + \hat{C}_{p_c} (T_b - T_F)}{\lambda_F} = 1 + \frac{\hat{C}_{p_c} (T_b - T_F)}{\lambda_F}$$

دماهای خوراک (دماهای جبهه خوراک) \rightarrow T_b و T_F \rightarrow \hat{C}_{p_c} ظرفیت حرارتی ویژه خوراک \rightarrow λ_F گرمای نهان تبخیر خوراک \rightarrow q گرمای لازم جهت تبدیل یک مول خوراک به بخار اشباع

* در این حالت ابتدا خوراک به مایع اشباع تبدیل می‌شود و سپس به بخار اشباع تبدیل می‌شود.

* اگر خوراک فوق اشباع باشد:

$$q = \frac{-C_{p_v} (T_F - T_d)}{\lambda_F}$$

دماهای اشباع \rightarrow T_d \rightarrow C_{p_v} گرمای ویژه بخار \rightarrow λ_F گرمای نهان تبخیر خوراک

* در این حالت باید بخار سوپر هیت (super heat) به بخار اشباع

(Saturated) تبدیل شود.

* اگر خوراک دوقانر باشد:

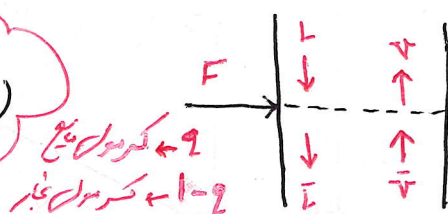
Feed $\begin{cases} 40\% \text{ liq} \\ 60\% \text{ vap} \end{cases} \Rightarrow q = 0.4$

برآیند مثال: q کرمول مایع

q = نسبت مول مایع در مخلوط

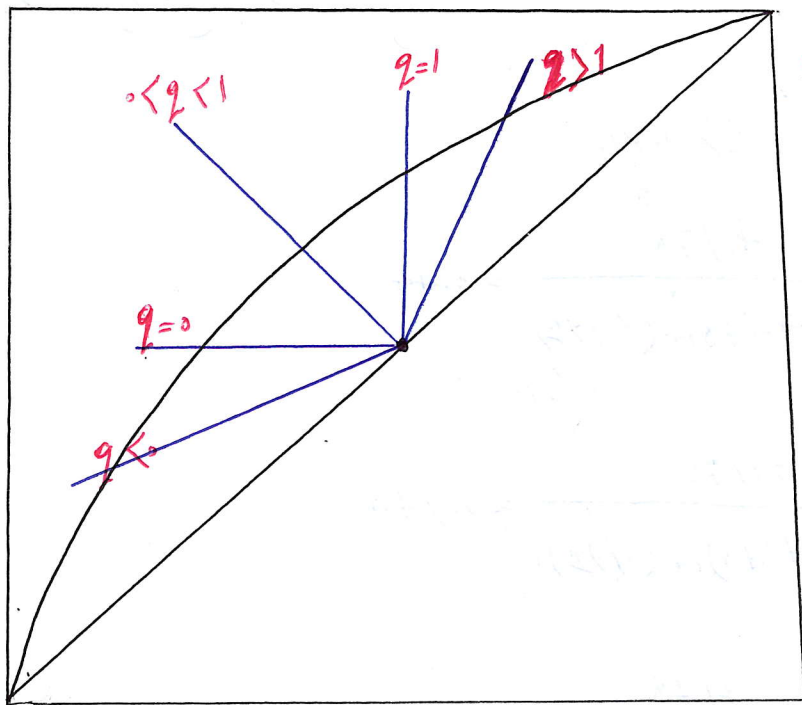
$$\bar{L} - L = Fq$$

$$\bar{V} - V = F(q - 1)$$



شیب خط

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{zf}{q-1}$$



* محل خط q برای
شرایط مختلف

* برج تقطیر مداوم، طراحی شده است تا 16 hr 30000 از مخلوط 40٪ بنزن و 60٪ تولوئن را

تصفیه کند به طوری که محصول بالای برج 97٪ بنزن و محصول پایینی برج 98٪ تولوئن داشته باشد. (درصد هاوزن را بنویس)
 مخلوط $7696 \frac{\text{cal}}{\text{gr.mol}}$ و $7696 \frac{\text{cal}}{\text{gr.mol}}$ (76٪) را با 3.5 درجه سانتیگراد و $7360 \frac{\text{cal}}{\text{gr.mol}}$ و $7960 \frac{\text{cal}}{\text{gr.mol}}$ بنزن و تولوئن به ترتیب

را با 2.5 رانگیل در 1 atm با فشرده‌سازی و تبخیر در 1 atm

خود را در این نقطه حساب 95 است.

(الف) سرعت مول محصول بالا و پایین برج را تعیین کنید. (D و B)

(ب) تعداد سینی‌های ایده‌آل و عمل ورود خود را تعیین کنید در صورتی که:

1. خود را با 1 atm در نقطه حساب با 1 atm

خط تبادل بالا:

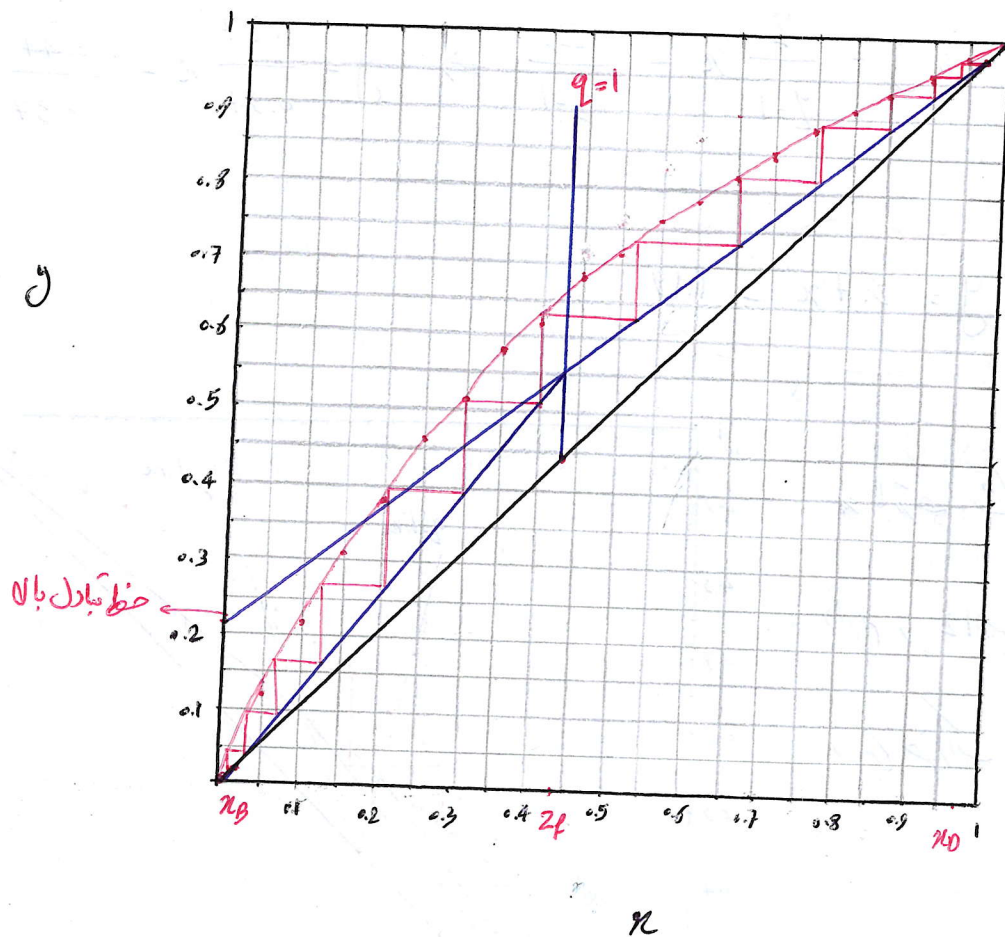
$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} \Rightarrow y_{n+1} = \frac{3.5}{4.5} x_n + \frac{0.974}{4.5}$$

$$\Rightarrow y_{n+1} = 0.778 x_n + 0.216$$

$$y = \frac{2.5x}{1+1.5x}$$

بدست می آوریم. x را بدست می آوریم.

x	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
y	0	0.116	0.217	0.306	0.385	0.454	0.517	0.574	0.625	0.672	0.714	0.753	0.789	0.823	0.854	0.882	0.909	0.934	0.957	0.979	1



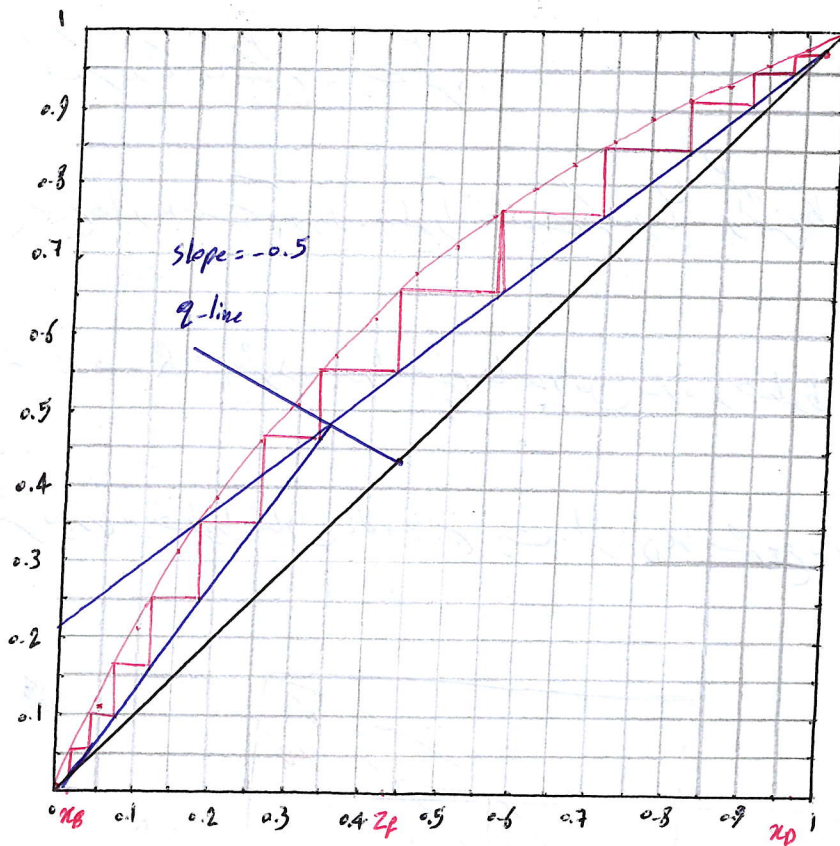
* باتوجه به شکل 13 مرحله داریم بنابراین 12 سینی مورد نیاز است. که سینی 7 مربوط به سینی خوراک می باشد.

(or 6th tray)!

جواب (3): خوراک شامل $\frac{2}{3}$ بنابر و $\frac{1}{3}$ مایع می باشد:

$$q = \frac{1}{3} \Rightarrow y = \frac{q}{q-1} x - \frac{z_f}{q-1} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{3}-1} x - \frac{0.44}{\frac{1}{3}-1}$$

$$y = -0.5x + 0.66 \Rightarrow \text{slope} = -\frac{1}{2} = -0.5$$



* با توجه به شکل 13 مرحله داریم بنابر این 12 این مورد نیاز است که سینی 7 مربوط به خوراک می باشد.

* مخلوط مایع شامل بنزن و تولوئن در برج تقطیر دارای فشار 101.3 kPa تقطیر می شود. هوراک

شامل 45٪ مول بنزن و 55٪ مول تولوئن (در دما) 327.6 K می باشد. محصول مقطر شامل 95٪

مول بنزن و باقیمانده شامل 10٪ مول بنزن می باشد. نسبت جریان برگشتی 4 به 1 است. ظرفیت داری دیگر می خفان (Bottom)

هوراک به ترتیب $C_p = 159 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$ و $\lambda = 32099 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ می باشد برای داده های تعادل زیر برای این سیستم

$$\alpha = 2.5$$

مطلوبت :

(1) مقدار محصول مقطر و محصول می ماند ؟ $366.7 \text{ K} = 93.5^\circ \text{C}$: نقطه جوش هوراک

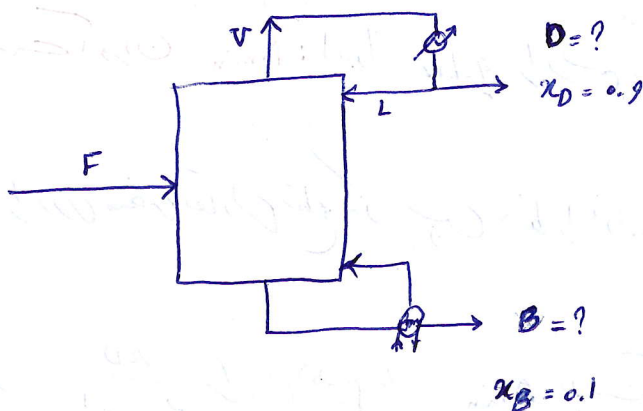
(2) تعداد سینی های لازم و سینی هوراک ؟ 327.6 K هوراک در دما $100 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}}$: دبی هوراک

که هوراک باید انجماد یابد.

(3) مینیمم جریان برگشتی ؟ برای تمام حالت ها ؟ هوراک نباید انجماد یابد.

(4) حداقل سینی لازم برای جریان برگشتی کامل

x_A	0	0.13	0.258	0.411	0.581	0.78	1
y_A	0	0.261	0.456	0.632	0.777	0.9	1



$$F = D + B$$

$$F \cdot z_F = D \cdot x_D + B \cdot x_B$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 100 = D + B \\ 100(0.45) = 0.95D + 0.10B \end{cases}$$

-1

$$D = 41.2 \text{ kmol/hr}$$

$$B = 58.8 \text{ kmol/hr}$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{4}{4+1} x + \frac{0.95}{4+1}$$

-2

$$y = 0.8x + 0.19$$

خط تيار با

خوراک مایع سرد:

$$q = 1 + \frac{C_p(T_b - T_F)}{\lambda} = 1 + \frac{159 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} (366.7 - 327.6)}{32099} = 1.195 \approx 1.2$$

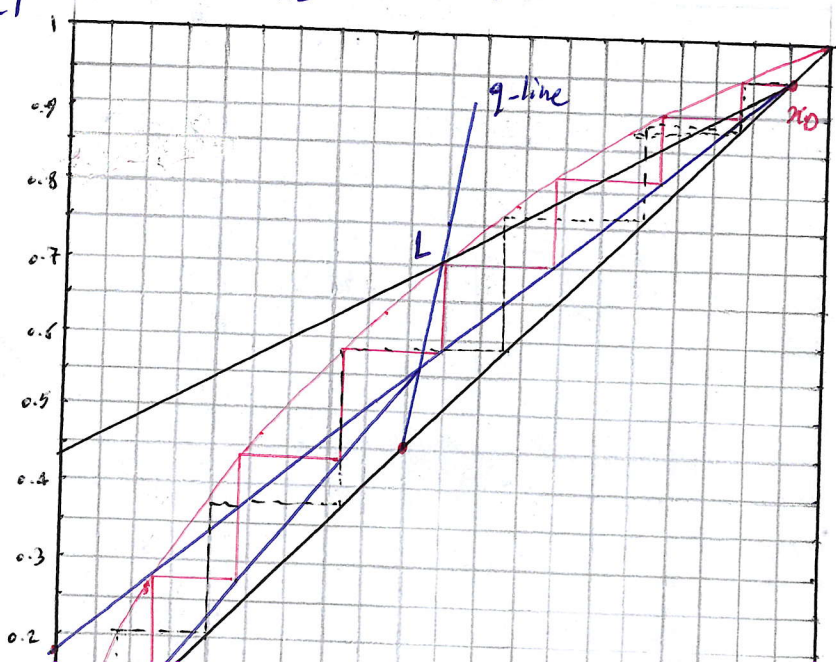
$$q\text{-line: } y = \frac{q}{q-1} x - \frac{z_F}{q-1} \Rightarrow y = \frac{1.2}{1.2-1} x - \frac{0.45}{1.2-1}$$

$$y = 6.13x - 2.31$$

* تعداد مراحل 8 میباشد بنابراین 7 سینی مورد نیاز

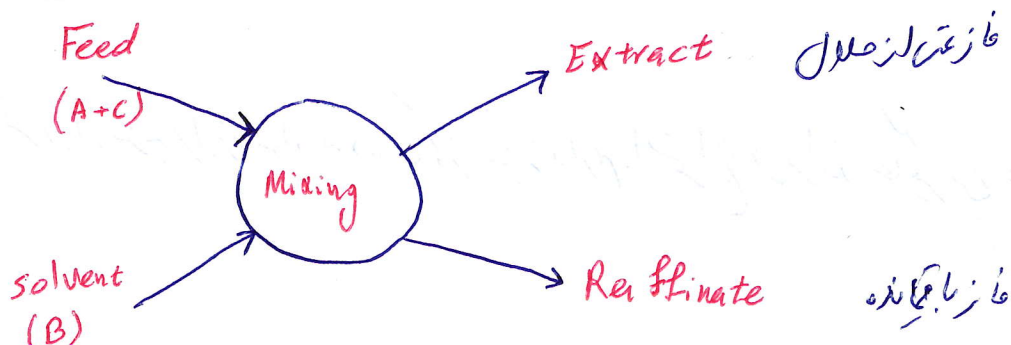
است. و خوراک از سینی 5 وارد می شود.

(تعداد مراحل 9 و تعداد سینی 8 و سینی خوراک 5)!



* در استخراج مایع-مایع، که به آن استخراج با محلول هم گفته می‌شود، اجزای یک محلول مایع به وسیله حاس با یک مایع نا محلول دیگر جدا می‌شود. اساس این فرایند برحلالیت است. اگر موادی که جزئی از محلول اولیه هستند به مقدار متفاوتی در دو فاز مایع پخش شوند، جدا کردن آن‌ها در این حالت را می‌توان با چند مجاورت، جذب گاز، و یا تقطیر عبود بخشید. برای مثال اگر محلول از اسید در آب با مایعی مثل اتیل استات مخلوط و به هم زده شود پس از توقف هم زدن، از هم جدا می‌شوند و می‌توان با دگانه کردن آن دو را از هم جدا کرد. در این حالت چون نسبت اسید به آب در لایه آسکری با محلول اولیه و محلول آبکی با هم آمیخته متفاوت است، عمل جدا کردن تا حدودی انجام نمی‌دهد. این حالت مثال از مجاورت در مرحله ای است که می‌تواند به صورت مداوم (Flow) یا ناپیوسته (Batch) انجام شود. مایع آبکی با هم آمیخته را می‌توان برای کاهش مقدار اسید، یا دوباره با اسکر مجاور ساعت و یا در یک سیستم مرحله ای با جریان نامم سو (Counter current) این عمل را انجام داد.

* استفاده از رفلکس (Reflux) مانند تقطیر باعث افزایش جدا کردن می‌شود.



* مواقع که نمی توان از نقطه استفاده کرد:

۱. فربه فراریت تردک یک باشد.

۲. نقطه عبور اجزاء و گرمای نهان تبخیر بالا باشد.

۳. مواد به واسطه حاسی باشند، مثل مواد دارویی و خوراکی

۴. وجود آذوقه که در این صورت عذاب از محدود می شود.

۲. جایگزینی برای روش های قبلی: فرایندهای بیابان مواد را مصرف می کنند در نتیجه مسئله دورریز محصول

جانبی مطرح می شود. در استخراج مایع، واکنش صورت نمی گیرد و محصول جانبی نیز بدست نمی آید و در نتیجه هزینه

کمتر است. عذاب از فلزات نظیر اورانیوم - وانادیم، هافنیم - زیرکونیم، تنگستن - مولیبدن در فرایندهای تولید انرژی

لحاظ توسط استخراج با حلال اقتصاد تر است.

۳. عذاب از هابی که با روش های دیگر ممکن نیست: مثلاً هیدروکربن های آروماتیک و پارافینی که حجم تردک دارند

را نمی توان با نقطه جدا کرد (چون فشار بخار آنها خیلی به هم نزدیک است) ولی می توان آن ها را با استخراج توسط

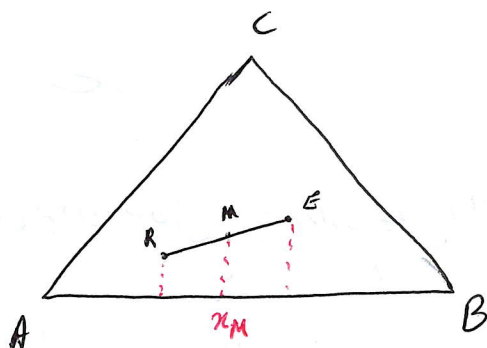
حلال های مانند کوکاردی اکسید مایع (۲۵) یا دی اتیلن گلیکول به راحتی از هم جدا کرد.

* دیاکریم مسئله:

در استخراج مایع - مایع، چون به حبه داریم، از دیاکریم مسئله برای فاسک استفاده می شود. طبق قرارداد

در شکل یک نقطه دوایی شامل ۸٪ A و ۲۰٪ B است.

* اگر مقدار R کسیر کم از یک مخلوط در نقطه R به E کسیر کم از مخلوط در E اضافه شود. مخلوط جدید M روی خط



RE حاصل می شود به صورتی که:

$$\frac{R}{E} = \frac{\text{line } ME}{\text{line } MR} = \frac{x_E - x_M}{x_M - x_R} \quad \text{قانون اهرم:}$$

$$\begin{cases} M = E + R \\ M \cdot x_M = R \cdot x_R + E \cdot y_E \end{cases}$$

* انتخاب حلال (selection of solvent):

۱. انتخاب پذیری (selectivity): موثر بودن حلال B برای جداسازی مخلوط A و C با مقایسه کسر C به A

در فاز غنی از B، نسبت به هم کسر (A به C) در فاز غنی از A، در حالت تعادل انجام می شود. این نسبت ها

ضریب جداسازی یا انتخاب پذیری (β) با فرمولت نسبت در نقطه حلال مشابه است.

$$\beta = \frac{(y_C/x_C)}{(y_A/x_A)} = \left(\frac{y_C}{y_A} \right) \left(\frac{x_A}{x_C} \right)$$

* برای آن که عمل استخراج موثر باشد، ضریب جداسازی باید بزرگ باشد (هر قدر بزرگ تر از یک باشد بهتر

است. اگر ضریب جداسازی نزدیک به یک باشد، جداسازی عمده امکان ندارد.

7. فعالیت شیمیایی (Chemical reactivity): حلال باید از نظر شیمیایی پایدار و نسبت به دیگر اجزای شیم و مواد

سازنده در دستگاهها خنثی باشد.

8. ویسکوزیته: فشار بخار و نقطه انجماد حلال برای راحتی حمل و نقل و انبار کردن باید کم باشد.

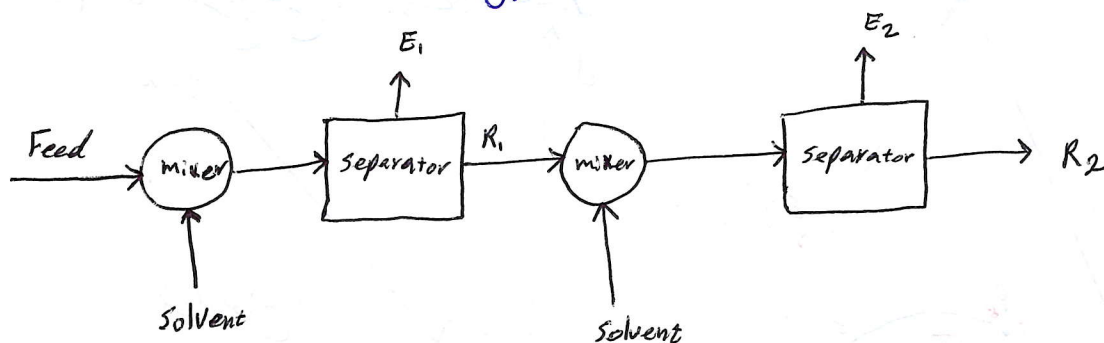
9. حلال باید غیر سمی، غیر قابل اشتعال و از زیان باشد.

* مراحل عمل استخراج:

1. تماس بین حلال و مخوراک (contacting)

2. جداسازی دو فاز غیر محلول به روش های مکانیکی (separation)

3. بازیابی حلال از هر یک از فازها (معمولاً با تقطیر) (solvent recovery)



Mixer به این علت استفاده می شود که بر خورد حلال و اجزاء بهتر صورت گیرد.

* انواع سیستم های استخراج:

اضافه کردن حلال B به یک مخلوط دو جزئی A و C، ممکن است منجر به بکسر از حالت زیر شود:

* به غایت خط tie وجود دارد جایی که طول خط tie صفر شود یعنی نقطه p ، نقطه یلوت

(plait) نام دارد. در این نقطه تفاوت بین فاز E و R وجود ندارد و $y=x$ می باشد.

* در شکل قبل فاصله نقطه R تا خط AB برابر گریز جزء C در فاز R (x یا x_R) است و فاصله

نقطه E تا خط AB برابر گریز جزء C در فاز E (y یا y_E) می باشد. بنابراین در هر C در عمل

E بجز از مقدار آن در R است و گفته می شود که بخش نزن C در فاز استخراج B بجز انجام می شود.

* با افزایش دما در سیستم های مایع-مایع، حلالت زیاد می شود و منطقه دو فاز گاهی می یابد. پس مناسب

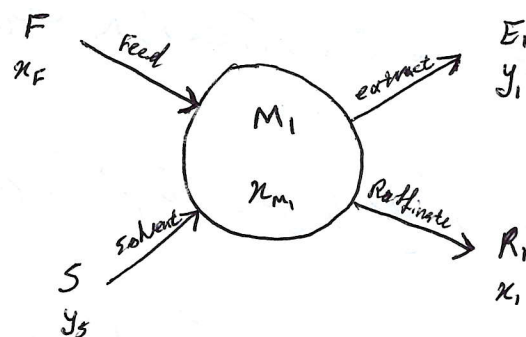
است استخراج در دماهای پایین انجام شود.

* استخراج معمولاً در دماهای پایین و فشار بالا انجام می شود، فشار بالا به این منظور است که بخار تشکیل نشود و اگر نه

فشار روی حلالت اثر چندانی ندارد.

(Single stage extraction):

* استخراج تک مرحله ای



* این محلیات ممکن است به صورت مدولم یا غیرمدولم انجام شود. در شکل بالا، جریان ها در مرحله ۱ استخراج

$$\Rightarrow \frac{R_1}{E_1} = \frac{y_1 - x_{M_1}}{x_{M_1} - x_1}$$

* حداقل مقدار حلال ؟

هر چه کمتر شود M_1 به F نزدیک تر شود و در نهایت M_1 می تواند به نقطه D برسد. در واقع مقدار

حلال زمانی حاصل می شود که M_1 روی D منطبق شود:

* در این حالت با رسم tie از D مقدار فاز E بدست می آید (D') که مقدارش بسیار کم است.

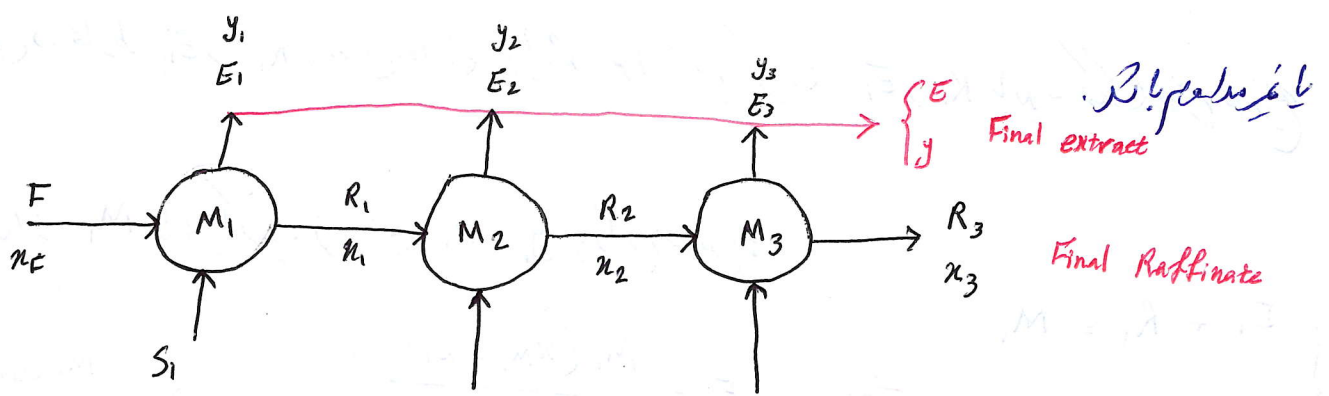
* حداکثر مقدار حلال :

در این حالت کل محدوده M_1 را فاز E تشکیل می دهد. حداکثر حلال با قرار دادن نقطه M_1 در L بدست

می آید که مقدارش بخاطر کوچک بودن R را به دست می دهد.

* استخراج چند مرحله ای متقاطع (Multi stage cross current extraction) :

این روش مانند استخراج تک مرحله ای است که در آن همانند دوباره با حلال تازه مجاور می شود که این عمل می تواند مداوم



$$\text{برای مرحله } n\text{-ام} : \begin{cases} M_n = S_n + R_{n-1} \end{cases}$$

$\Rightarrow (x_m)_n \Rightarrow$ با حدس و خطا درسم

$$M_n (x_m)_n = S_n y_n + R_{n-1} x_{n-1}$$

tile از $(x_m)_n$

↓
گرمول جزء حل شونده در M در مرحله n -ام

x_n و y_n بدست می آیند

x_n : گرمول جزء حل شونده در R

y_n : گرمول جزء حل شونده در E

$$\begin{cases} E_n + R_n = M_n \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_n y_n + R_n x_n = M_n (x_m)_n \end{cases} \Rightarrow E_n \text{ و } R_n$$

بدست می آیند

مثال

* اگر ۱۰۰۰۰۰ محلول استیک اسید به عنوان خرد (C) و آب (A) ۳۰٪ اسید در مرحله

توسط محلول ایزوپروپیل اتر (B) در غلظت استخراج شود و در هر مرحله ۴۰۰ صلال استفاده شود مقدار

و غلظت جریانهای مختلف را محاسبه کنید به چه مقدار صلال نیاز باشد اگر غلظت بخار $R_{\text{distillate}}$ در یک

مرحله استخراج شود $(S = B_1 = B_2 = B_3 = 400)$