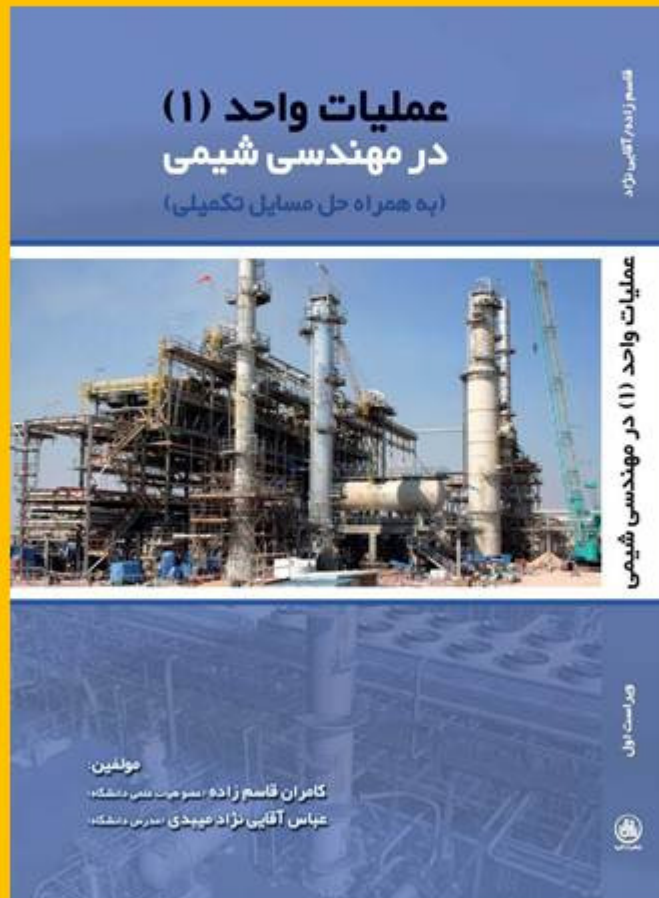


## فصل دوم

# عملیات تقطیر

## *Distillation Operations*



- ۱-۱- مقدمه.....
- ۱-۲- تعادلات مایع - بخار.....
- ۱-۲-۱- مفهوم تعادل.....
- ۱-۲-۲- ضریب توزیع یک سازنده در دوفاز.....
- ۱-۲-۳- ضریب فراریت.....
- ۱-۲-۴- نمودارهای فازی فشار - دما - غلظت.....
- ۱-۲-۵- تعادل در فشار ثابت.....
- ۱-۲-۵-۱- رسم نمودارهای  $T-x-y$  برای سیستم های دو جزئی.....
- ۱-۲-۶- تعادل در دما ثابت.....
- ۱-۲-۷- محلول های ایده ال و غیرایده ال.....
- ۱-۲-۷-۱- محلول های ایده ال یا کامل.....
- ۱-۲-۷-۲- محلول های غیرایده ال.....
- ۱-۲-۷-۳- محلول های غیرایده ال آزنوتروپی.....
- ۱-۳- محاسبات نقطه حباب و شبنم.....
- ۱-۳-۱- محاسبات نقطه حباب و شبنم با استفاده از قانون راولت.....
- ۱-۳-۲- محاسبات نقطه حباب و شبنم با استفاده از ضرایب توزیع.....
- ۱-۳-۳- محاسبات نقطه حباب و شبنم با استفاده از ضریب فراریت.....

- ۴-۱- نمودارهای تعادلی آنتالپی-غلظت.....
- ۵-۱- عملیات تقطیر.....
- ۱-۵-۱- عملیات تبخیر آبی یا ناگهانی.....
- ۱-۵-۱-۱- عملیات میعان ناگهانی.....
- ۱-۵-۱-۲- عملیات تبخیر آبی یا ناگهانی برای مخلوط‌های چند جزئی ....
- ۱-۵-۲- تقطیر دیفرانسیلی یا ساده یا ناپیوسته.....
- ۱-۵-۲-۱- تقطیر دیفرانسیلی برای مخلوط‌های دو جزئی.....
- ۱-۵-۲-۲- تقطیر دیفرانسیلی برای مخلوط‌های چند جزئی.....
- ۱-۵-۲-۳- میعان دیفرانسیلی.....
- ۱-۵-۳- تقطیر پیوسته یا مداوم.....
- ۱-۵-۳-۱- موازنه جرم برای محاسبه دبی و خلوص در برج تقطیر.....
- ۱-۵-۳-۲- محاسبه بار حرارتی کندانسور ( $Q_c$ ).....
- ۱-۵-۳-۳- محاسبه بار حرارتی ریویولر ( $Q_B$ ).....
- ۱-۵-۳-۴- محاسبه ارتفاع برج تقطیر سینی‌دار.....
- ۱-۵-۳-۴-۱- روش مک‌کیب-تیلی برای محاسبه تعداد سینی‌ها.....
- ۱-۵-۳-۴-۱-۱- راندمان برج تقطیر.....
- ۱-۵-۳-۴-۲- روش پانچون-ساواریت برای محاسبه تعداد سینی‌ها.....
- ۱-۵-۳-۵- موارد خاص عملیات تقطیر مداوم.....

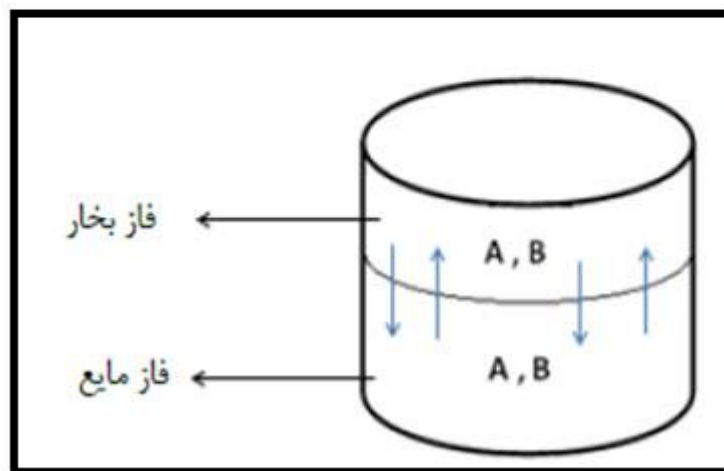


## ۱-۱ مقدمه

عملیات تقطیر، عملیاتی می باشد که طی آن اجزای یک مخلوط براساس اختلاف نقطه جوش آنها از یکدیگر جدا می شوند. در این نوع عملیات، تعادل دو فاز گاز- مایع رخ می دهد که براساس انتقال جرم بین دو فاز، نهایتاً دو محصولی غنی از جزء سبک و غنی از جزء سنگین حاصل می شود. لذا جهت تفهیم هرچه بهتر اصول عملیات تقطیر، پیش از ورود به بحث تقطیر نیاز می باشد که شناخت مناسبی از مبحث تعادل گاز- مایع و قوانین مربوطه فراهم گردد.

## ۱-۲-۱ تعادلات مایع- بخار

### ۱-۲-۱-۱ مفهوم تعادل



سیستم به حالتی می رسد که شدت تبخیر و خروج مولکولها از جزء مایع با شدت میعان و برگشت مولکولهای بخار به فاز مایع برابر می شود. در چنین حالتی گفته می شود که سیستم به تعادل رسیده است.

در حالت تعادل، سیستم از دید ماکروسکوپی ثابت است ولی از دید میکروسکوپی حالتی دینامیک و پویا دارد که در آن اختلاف پتانسیل شیمیایی برابر صفر است.

شکل (۱): تعادل فاز مایع- بخار

➤ اگر سیستم در حال تعادل به صورت ایده‌آل فرض شود، برای جزء  $i$  می‌توان نوشت:

$$P_i^{vapor} = P_i^{liquid}$$

➤ رابطه بین کسر مولی هر جزء در فازهای بخار و مایع در حالت تعادل بر اساس قانون راولت به صورت زیر بیان می‌شود:

$$y_i P_t = x_i P_i^{sat}$$

➤ در رابطه فوق،  $y_i$  و  $x_i$  به ترتیب کسر مولی جزء  $i$  در فاز بخار و مایع،  $P_t$  فشار کل و  $P_i^{sat}$  فشار اشباع جزء  $i$  در دمای موجود می‌باشد.

۱-۲-۲- ضریب توزیع یک سازنده در دو فاز ( $k$  value)

این ضریب به صورت نسبت کسر مولی هر جزء در فاز بخار به کسر مولی همان جزء در فاز مایع تعریف شده و با نماد  $k$  نشان داده می شود.

$$k_i = \frac{y_i}{x_i}$$

در یک محلول ایده آل که قانون راولت برای آن صادق می باشد، ضریب توزیع را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$k_i = \frac{P_i^{sat}}{P_t}$$

در حالت کلی، ضریب توزیع تابعی از دما، فشار و غلظت می باشد و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، حاکی از آن است که ماده فرارتر می باشد.

### ۱-۲-۳- ضریب فراریت ( $\alpha_{ij}$ )

ضریب فراریت برابر نسبت ضریب توزیع جزء  $i$  به جزء  $j$  است و بیانگر فراریت اجزاء یک مخلوط است. عموماً با نماد  $\alpha_{ij}$  نشان داده می‌شود:

$$\alpha_{ij} = \frac{k_i}{k_j}$$

$$\alpha_{ij} = \frac{y_i(1 - x_i)}{x_i(1 - y_i)}$$

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

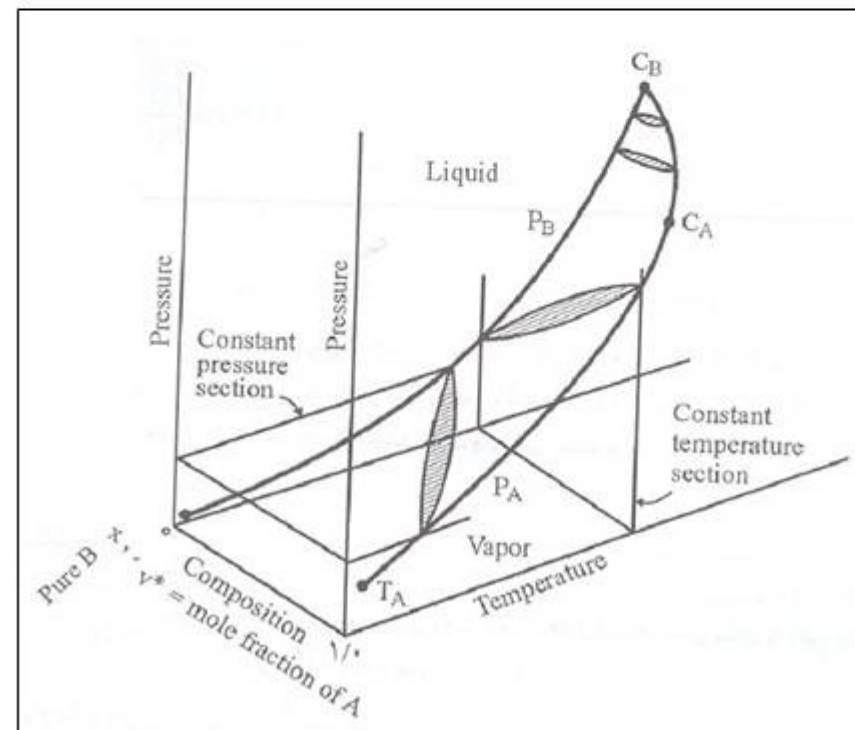
برای یک مخلوط ایده‌آل دوجزئی شامل اجزای  $i$  و  $j$  با استفاده از قانون راولت به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\alpha_{ij} = \frac{p_i^{\text{sat}}}{p_j^{\text{sat}}}$$

نکته: اگر ضریب فراریت بزرگتر از ۳ باشد، تقطیر به آسانی صورت می‌گیرد ولی اگر مقدار آن در بازه ۱-۳ باشد، تقطیر به سختی انجام خواهد شد.

### ۱-۲-۴- نمودارهای فازی فشار- دما- غلظت

تبادل فازهای بخار و مایع مربوط به اجزای خالص در حقیقت همان رابطه موجود بین فشار بخار و دمای هر جزء می باشد، ولی در تعادل فازهای بخار و مایع مخلوط‌های دوجزئی یک متغیر دیگر به نام غلظت نیز وارد می شود که در این حالات بهترین پارامتر برای بیان غلظت، جزء مولی می باشد. در این درس،  $x$  به عنوان جزء مولی ماده فرارتر (A) در فاز مایع و  $y$  به عنوان جزء مولی A در فاز بخار که در تعادل با مایع است، در نظر گرفته می شود. برای مخلوط‌های دوجزئی، ارائه کامل نمودارهای تعادلی نیازمند استفاده از محورهای سه بعدی می باشد.



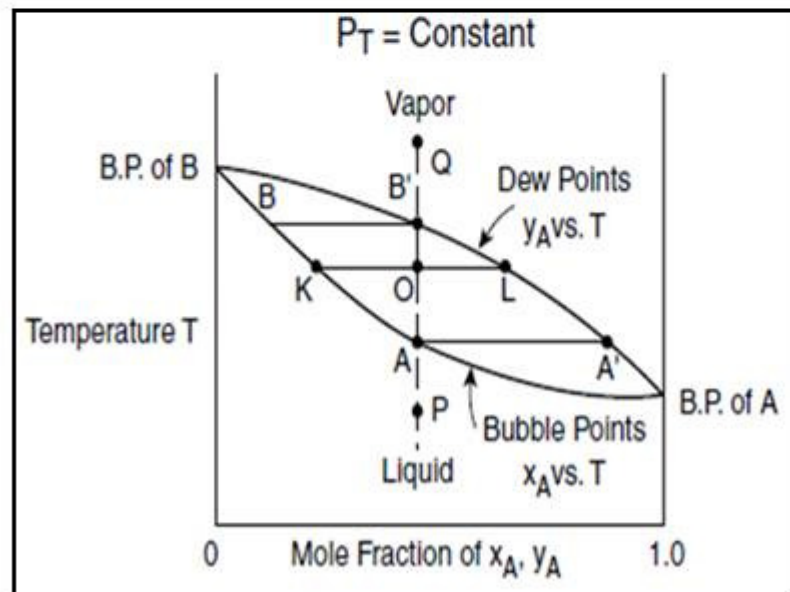
شکل (۲): نمودارهای فازی فشار- دما- غلظت برای سیستم‌های دوجزئی



برای بررسی تعادل فازهای مایع و بخار بر روی محورهای دوبعدی، یکی از پارامترهای دما یا فشار ثابت در نظر گرفته می-شود. در ادامه این دو حالت مورد بررسی قرار می-گیرد.

### ۱-۲-۵- تعادل در فشار ثابت

هنگامی که فشار کل در سیستم ثابت باشد، با استفاده از داده‌های تعادلی می‌توان نمودار  $T-xy$  را برای جزء فرار یک سیستم دوجزئی رسم کرد

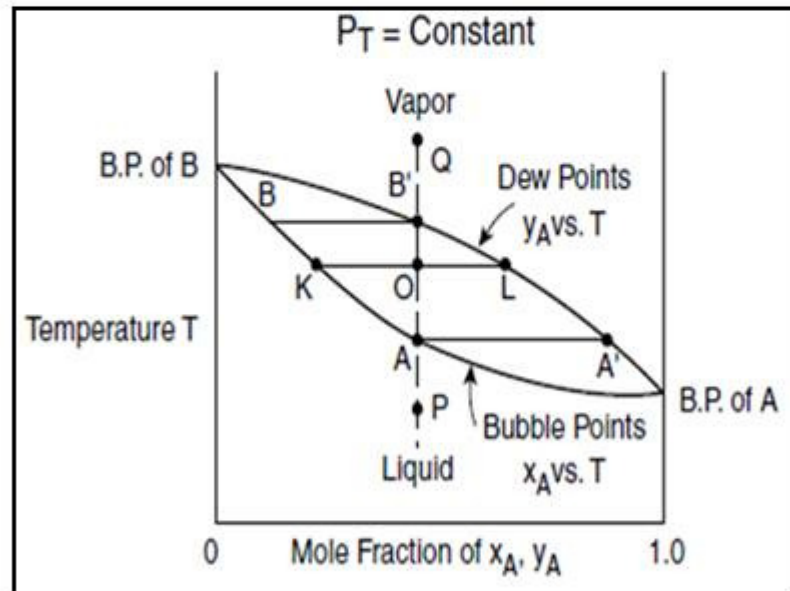


در نقطه‌ای  $A$  اولین حباب بخار تشکیل می‌شود که از جزء فرار غنی می‌باشد، به این نقطه، نقطه حباب (*Bubble Point*) گفته می‌شود.

با ادامه گرمادهی و تغییر فاز در نهایت به نقطه‌ای می‌رسیم که آخرین قطره مایع نیز بخار می‌شود (نقطه‌ی  $B$ ). به این نقطه، نقطه شبنم (*Dew Point*) گفته می‌شود

شکل (۳): تعادل فازهای مایع و بخار در فشار ثابت

برای یافتن غلظت فازهای مایع و بخار در طی فرایند، کافی است از نقطه‌ای که سیستم در آن قرار دارد، خطی موازی محور  $x-y$  رسم شود، محل برخورد این خط با منحنی حباب غلظت جزء  $A$  در فاز مایع و نقطه برخورد آن با منحنی شبنم غلظت جزء  $A$  در فاز بخار را خواهد داد. به هریک از خطوط موازی با محور  $x-y$ ، خط رابط یا  $Tie\ line$  گفته می‌شود که هرکدام یک داده‌ی تعادلی را نشان می‌دهند. خطوط رابط در واقع غلظت فاز مایع را به غلظت فاز بخار در تعادل با آن، وصل می‌کند. هر خط رابط در نمودار  $T-x-y$  معرف یک نقطه در نمودار  $x-y$  می‌باشد.



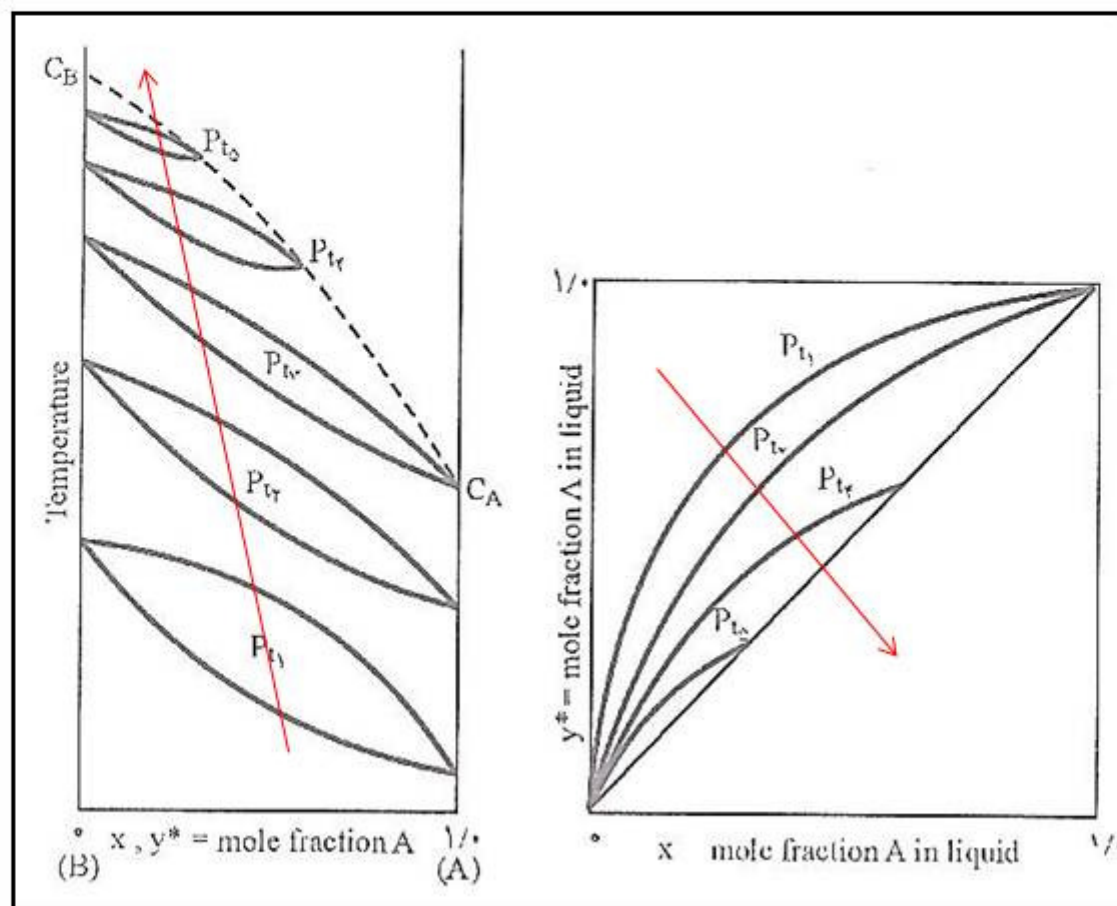
نقطه  $O$  مبین کل مخلوط و به عبارتی نشانگر مخلوط دوفازی متشکل از فاز مایع با ترکیب نسبی  $K$  و فاز بخار با ترکیب نسبی  $L$  می‌باشد. مقادیر نسبی فازهای در حال تعادل با استفاده از قانون اهرم‌ها به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\text{طول پاره خط } LO}{\text{طول پاره خط } KO} = \frac{\text{مولهای فاز مایع با ترکیب نسبی } K}{\text{مولهای فاز بخار با ترکیب نسبی } L}$$

شکل (۳): تعادل فازهای مایع و بخار در فشار ثابت

عمل تبخیر در یک محدوده دمایی از نقطه حباب تا نقطه شبنم انجام می‌گیرد. در حالت کلی هر چه فاصله بین منحنی‌های حباب و شبنم بیشتر باشد، جداسازی راحت‌تر صورت می‌گیرد.

با افزایش فشار، ناحیه بین دو منحنی حباب و شبنم در نمودار  $T-xy$  باریکتر شده و جداسازی سخت‌تر می‌گردد. این اثر بر روی منحنی  $x-y$  هم مشاهده می‌شود و نمودارهای تعادلی به خط ۴۵ درجه نزدیکتر می‌شود که باعث می‌شود عملیات جداسازی دشوارتر گردد.



شکل (۱-۴): اثر فشار بر روی نمودارهای فازی  $T-xy$  و  $x-y$

۱-۲-۵-۱- رسم نمودارهای  $T$ - $x$  برای سیستم‌های دوجزئی

در این قسمت نحوه رسم نمودارهای تعادلی دما- غلظت در یک فشار ثابت ارائه می‌شود، برای رسم این نمودارها، نیازمند معادلاتی هستیم که ارتباط بین فشار بخار اشباع و دما را مشخص نماید. یکی از معروف‌ترین این معادلات، معادله آنتوان می‌باشد.

معادله آنتوان برای به دست آوردن فشار بخار در یک دمای خاص ( و یا بالعکس برای محاسبه‌ی دمای جوش سیستم در یک فشار خاص) مورد استفاده قرار می‌گیرد و فرم کلی آن به صورت زیر است:

$$\ln(P_i^{sat}) = A - \frac{B}{(T + C)}$$

در کتب مرجع و متون علمی مربوطه، مقادیر ثوابت تجربی  $A$ ،  $B$  و  $C$  برای مواد مختلف ارائه شده است. در کاربرد معادله آنتوان، باید احاد فشار بخار اشباع و دمای ارائه شده در مرجع مورد استفاده را، در نظر داشت



### مراحل رسم نمودار $T-xy$

- ۱- برای حالات خالص هر یک از اجزا یا دو نقطه انتهایی محور غلظت ( $x_i=1, x_i=0$ )، فشار بخار اشباع برابر فشار کل میشود. بنابراین با داشتن فشار اشباع، دمای جوش یا همان دمای اشباع مربوط به نقاط ابتدایی و انتهایی محور با استفاده از معادله آنتوان به دست آمده و بر روی محور مشخص می گردند. نقطه جوش اجزای خالص به کمک معادله آنتوان، با برابر قرار دادن فشار بخار اشباع هر جزء خالص با فشار کل محاسبه می شود.
- ۲- برای مقادیر مختلف دما بین دماهای جوش اجزای خالص که در مرحله ۱ محاسبه شد، فشار بخار اشباع برای هر جزء با استفاده از معادله آنتوان محاسبه می شود.
- ۳- با استفاده از روابط زیر کسر مولی هر جزء در فاز مایع ( $x_i$ ) و کسر مولی هر جزء در فاز بخار ( $y_i$ ) به دست می آید.

$$x_i = \frac{P_t - P_j^{\text{sat}}}{P_i^{\text{sat}} - P_j^{\text{sat}}}$$

$$y_i P_t = x_i P_i^{\text{sat}}$$

- ۴- حال با داشتن مقادیر کسر مولی هر جزء در فازهای مایع و بخار ( $x_i$  و  $y_i$ ) در هر دما، می توان نمودار  $T-xy$  را رسم نمود.

**مثال (۱):** نمودارهای فازی  $T-xy$  و  $x-y$  برای سیستم دوجزئی نرمال هپتان و نرمال اکتان رسم کنید. فشار کل سیستم برابر با یک اتمسفر است. ثوابت معادله آنتوان برای این سیستم در جدول ارائه شده است.

$$\text{Log } p_i^{\text{sat}} = A - B / (T + C)$$

فشار بر حسب میلیمتر جیوه و دما بر حسب سانتیگراد است.

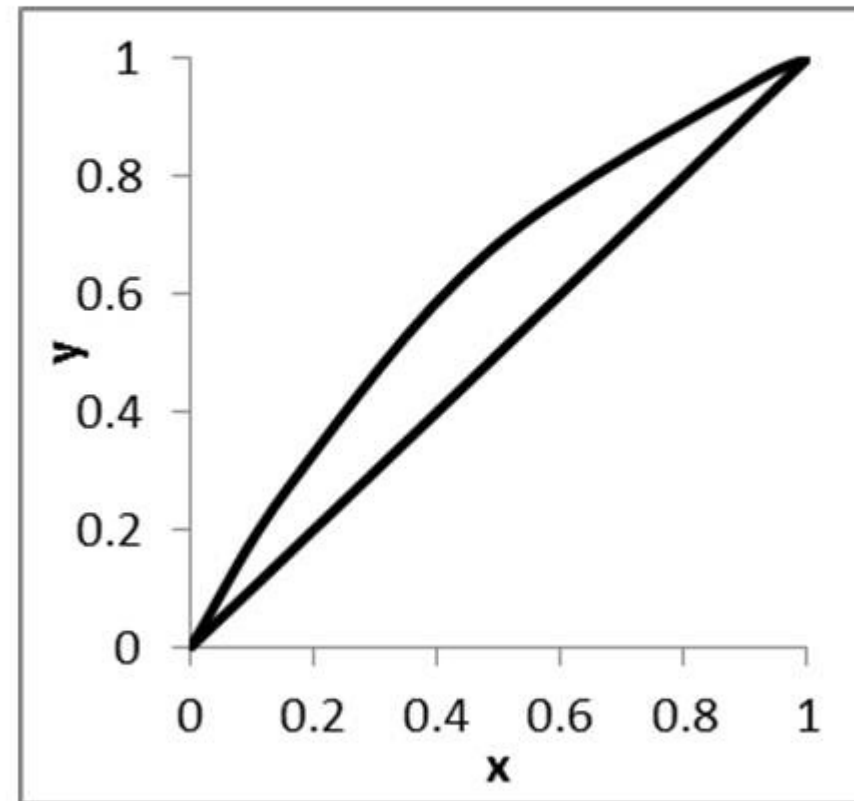
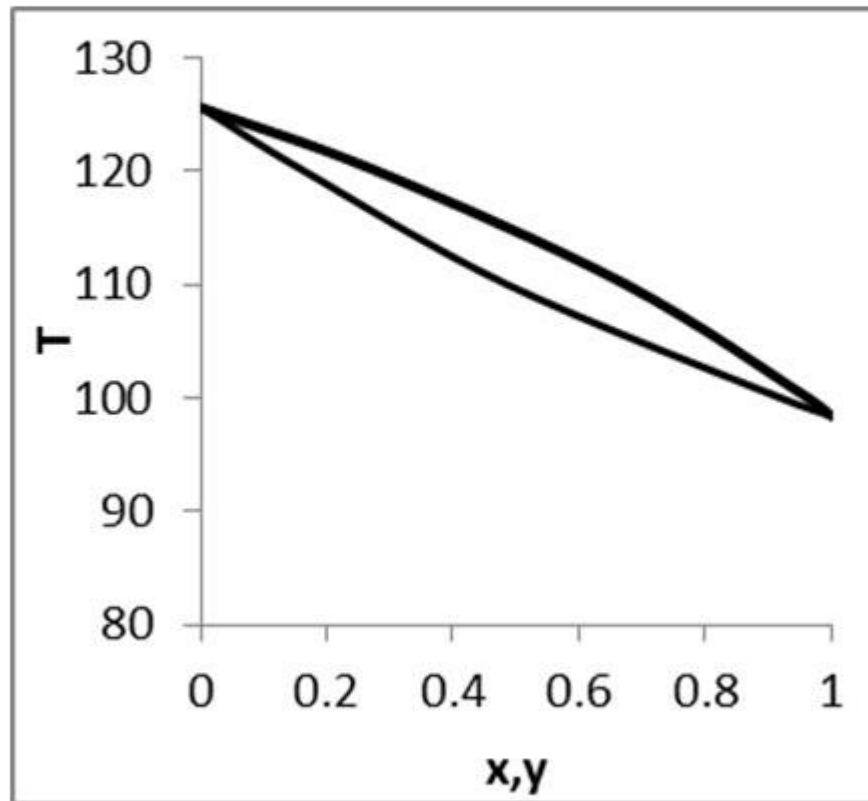
Component	A	B	C
<i>n</i> -Heptane	6.90253	1267.828	216.823
<i>n</i> -Octane	6.91874	1351.756	209.100

حل: با جایگذاری مقدار فشار کل در معادله آنتوان می توان نقطه جوش اجزای خالص را به دست آورد.

$$P_t = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} \Rightarrow T_{n\text{-Hexane}}^{\text{sat}} = 98.4^\circ \text{C} \quad T_{n\text{-Octane}}^{\text{sat}} = 125.6^\circ \text{C}$$

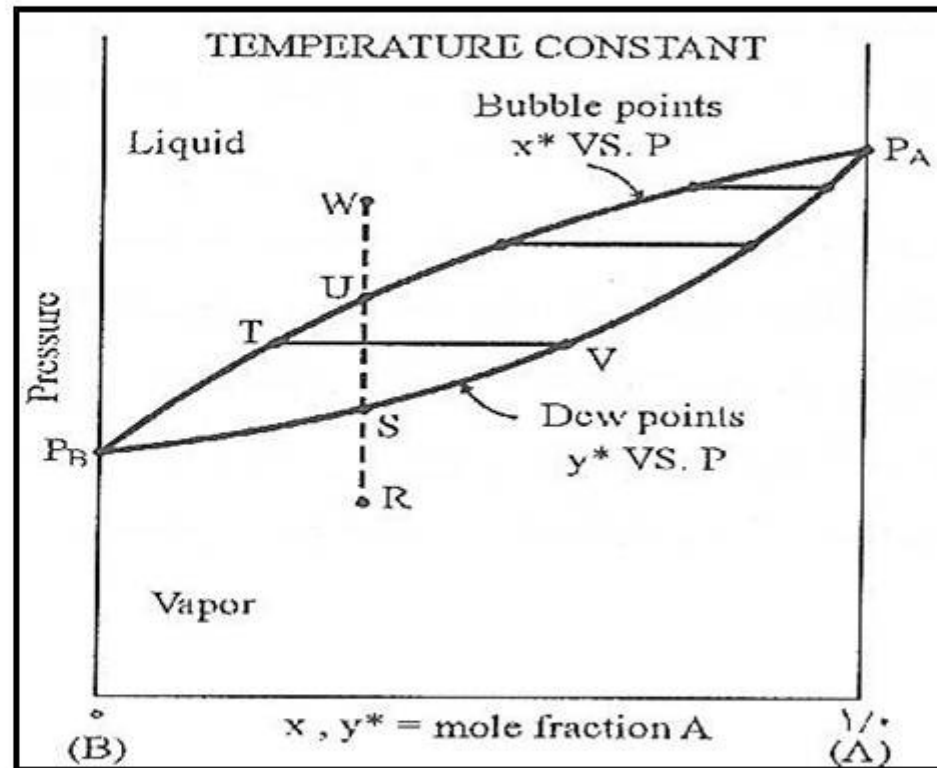
برای رسم نمودار  $T$ - $xy$ ، دماهایی در محدوده بین دمای نقاط جوش در نظر گرفته می شود. در دماهای در نظر گرفته شده، فشار بخار اجزاء را محاسبه نموده و با استفاده از روابط قبلی می توان ترکیب درصد جزء فرار (نرمال هپتان) برای فازهای مایع و بخار به دست آورد.

$T(^{\circ}\text{C})$	$P_H^{(\text{sat})}(\text{mmHg})$	$P_O^{(\text{sat})}(\text{mmHg})$	$x_i$	$y_i$
98.4	760	333.26	1	1
100	795.86	351.19	0.9194	0.9628
110	1055.07	481.49	0.4856	0.6741
120	1375.47	647.6	0.1644	0.2794
125.6	1584.93	760	0	0





۱-۲-۶- تعادل در دما ثابت

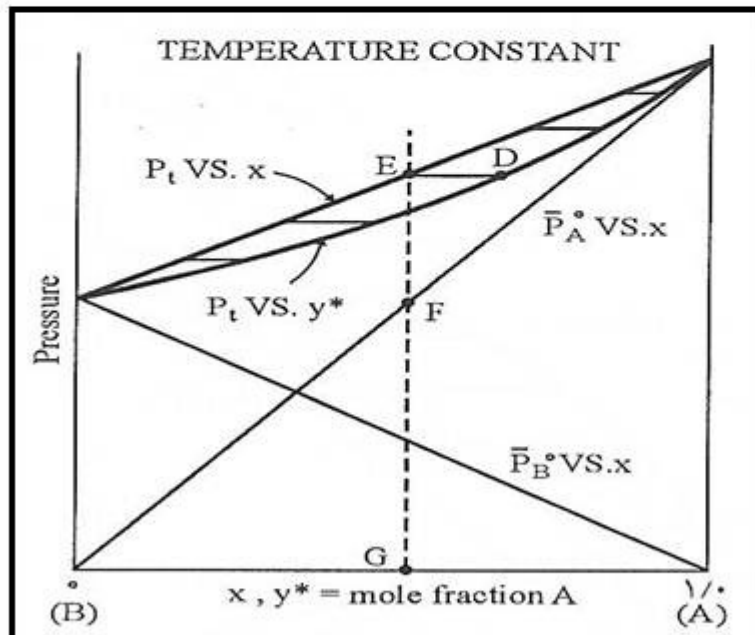


شکل (۵): تعادل فازهای مایع - بخار در دمای ثابت

۱-۲-۷- محلول‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل

۱-۲-۷-۱- محلول‌های ایده‌آل یا کامل

$$P_A = y_A P_t = x_A P_A^{sat}$$



برای یک سیستم دوجزئی

$$P_t = P_A + P_B = x_A P_A^{sat} + x_B P_B^{sat} \\ = (P_A^{sat} - P_B^{sat})x_A + P_B^{sat}$$

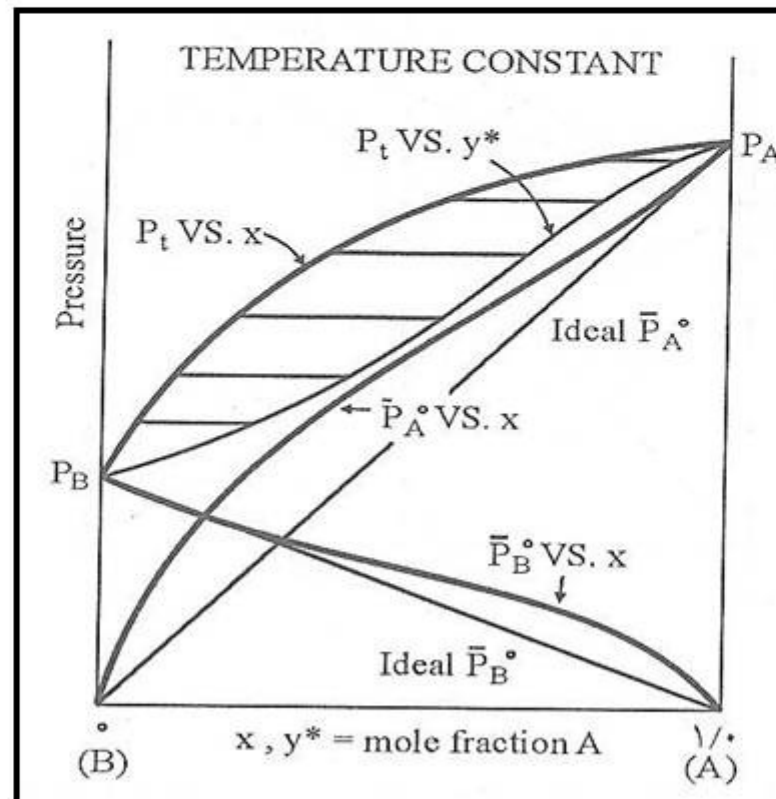
در دمای ثابت، فشارهای جزئی و فشارکل توابع خطی از  $x$  هستند.

شکل (۶): محلول ایده‌آل

۱-۲-۷-۲- محلول‌های غیر ایده‌آل

الف) انحراف مثبت از قانون راولت:

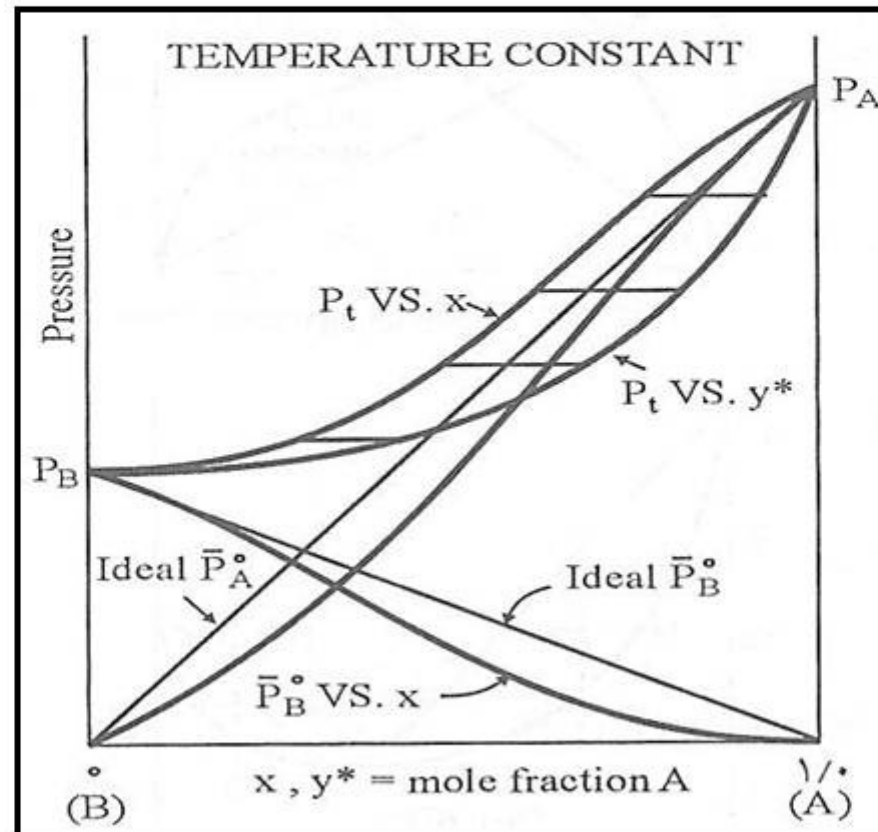
$$P_t(\text{واقعی}) > x_A P_A^{\text{sat}} + x_B P_B^{\text{sat}}$$



شکل (۷): انحراف مثبت از قانون راولت

(ب) انحراف منفی از قانون راولت:

$$P_t(\text{واقعی}) < x_A P_A^{\text{sat}} + x_B P_B^{\text{sat}}$$



شکل (۸): انحراف منفی از قانون راولت

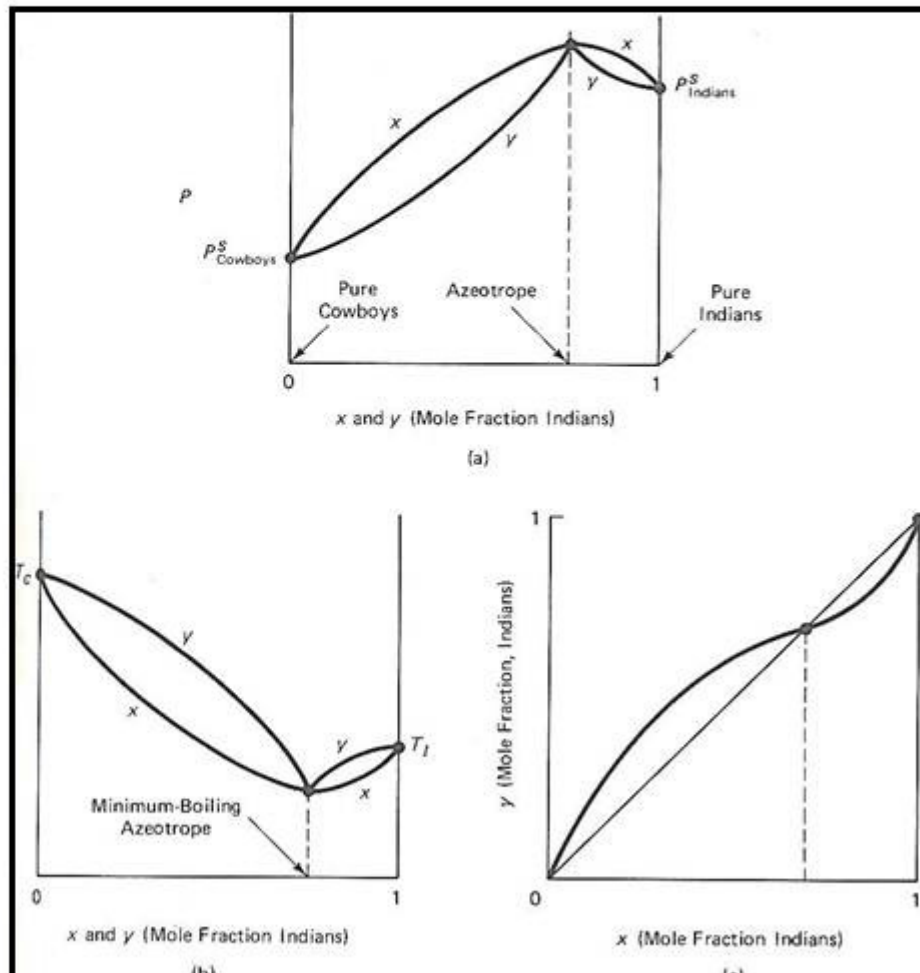


### ۱-۲-۷-۳- محلول‌های غیر ایده‌آل آزنوتروپی

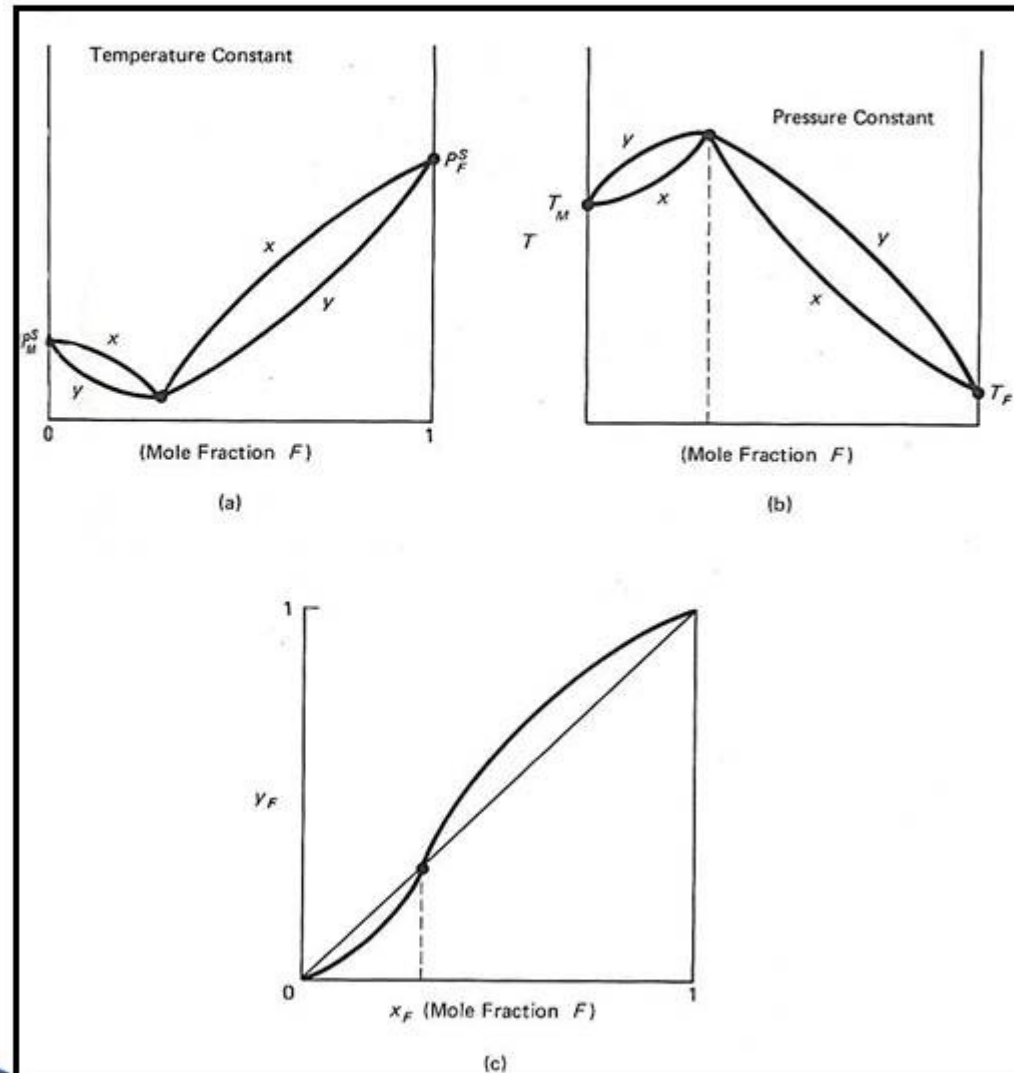
الف) مخلوط‌های آزنوتروپی دارای  
نقطه جوش مینیمم (ماکزیمم فشار)

➤ در این مخلوط‌ها قبل از نقطه  
آزنوتروپ، ضریب فراریت بزرگتر از یک  
و بعد از نقطه آزنوتروپ کوچکتر از یک  
خواهد بود.

➤ مخلوط‌هایی مانند دی‌سولفیدکربن و  
استون و آب و اتانول



شکل (۹): مخلوط‌های آزنوتروپی دارای نقطه جوش مینیمم (ماکزیمم فشار)



ب) مخلوطهای آزنوتروپی دارای  
نقطه جوش ماکزیمم (مینیمم فشار)

➤ در این مخلوطها قبل از نقطه آزنوتروپ،  
ضریب فراریت کوچکتر از یک و بعد از  
نقطه آزنوتروپ بزرگتر از یک خواهد بود.

➤ توجه: در بعضی موارد می توان با تغییر  
فشار، نقطه آزنوتروپ را حذف نمود.

➤ مخلوطهایی مانند کلروفرم و استون و  
همچنین آب و اسیدکلریدریک

مثال (۲): مخلوطی دوجزئی شامل آب و استون که جزء مولی استون در آن برابر ۴/۰ می باشد، در فشار یک اتمسفر و دمای ۷۰ درجه سانتیگراد می جوشد. غلظت استون در بخار تولیدی ۸۰ درصد مولی می باشد. به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف) آیا محلول ایده آل است؟

ب) در صورتی که محلول غیرایده آل باشد، نوع انحراف سیستم را مشخص نمایید.

ثوابت معادله آنتوان برای این سیستم در جدول ارائه شده است.

$$\ln p_i^{sat} = A - B / (T + C)$$

فشار بر حسب میلیمتر جیوه و دما بر حسب کلوین است.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Water</i>	18.303	3816.44	-46.13
<i>Acetone</i>	16.651	2940.46	-35.93

حل:

الف) محلول ایده آل باید از قانون راولت پیروی نماید.

$$P_t = \sum x_i P_i^{sat} \Rightarrow P_t = x_W P_W^{sat} + x_A P_A^{sat}$$

$$x_A = 0.4 \Rightarrow x_W = 0.6$$

$$y_A = 0.8 \Rightarrow y_W = 0.2$$

$$T = 70^\circ C = 343.15 K \Rightarrow P_A^{sat} = 1187.76 \text{ mmHg} \quad P_W^{sat} = 233.67 \text{ mmHg}$$

$$P_t = 0.4 \times 1187.76 + 0.6 \times 233.67 = 615.30 \text{ mmHg}$$

الف) به دلیل آنکه فشار کل سیستم با فشار بدست آمده از طریق قانون راولت یکسان نیست، در نتیجه مخلوط به صورت غیرایده آل است.

ب) مشاهده می شود که فشار بدست آمده در حالت ایده آل، از فشار واقعی کمتر است ( $P_{actual} > P_{ideal}$ ). بنابراین محلول از حالت ایده آل انحراف مثبت نشان می دهد.



### ۱-۳-۳- محاسبات نقطه حباب و شبنم استفاده از ضریب فراریت

#### الف- نقطه حباب

$$T_{bm} = \sum_i^n x_i T_{bi} \quad (1) \text{ حدس اولیه دمای حباب}$$

(۲) در دمای حدسی، مقادیر فشار بخار اشباع اجزاء با استفاده از معادله آنتوان، ضرایب توزیع ( $k_i$ ) و ضرایب فراریت ( $\alpha_{ij}$ ) محاسبه می‌شود.

(۳) با توجه به پارامترهای محاسبه شده در مرحله ۲، صحت رابطه‌ی زیر بررسی می‌شود. اگر تساوی برقرار نشد می‌بایست دمای جدیدی حدس زد و مراحل را تکرار کرد. اگر رابطه برقرار بود دمای مورد نظر صحیح است و به مرحله بعد می‌رویم.

$$y_i = x_i \frac{k_i}{k_j} k_j \longrightarrow y_i = x_i \alpha_{ij} k_j \longrightarrow \boxed{\frac{1}{k_i} = \sum x_i \alpha_{ij}}$$

(۴) ترکیب درصد هر جزء در فاز گاز بدست می‌آید.

ب - نقطه شبنم

$$T_{dm} = \sum_i^n y_i T_{di} \quad (1) \text{ حدس اولیه دمای شبنم}$$

(۲) در دمای حدسی، مقادیر فشار بخار اشباع اجزاء با استفاده از معادله آنتوان، ضرایب توزیع ( $k_i$ ) و ضرایب فراریت ( $\alpha_{ij}$ ) محاسبه می‌شود.

(۳) با توجه به پارامترهای محاسبه شده در مرحله ۲، صحت رابطه‌ی زیر بررسی می‌شود. اگر تساوی برقرار نشد می‌بایست دمای جدیدی حدس زد و مراحل را تکرار کرد. اگر رابطه برقرار بود دمای مورد نظر صحیح است و به مرحله بعد می‌رویم.

$$x_i = \frac{y_i}{\frac{k_i}{k_j} k_j} \rightarrow x_i = \frac{y_i}{\alpha_{ij} k_j} \rightarrow k_j = \sum \frac{y_i}{\alpha_{ij}}$$

(۴) ترکیب درصد هر جزء در فاز مایع بدست می‌آید.

مثال (۳): در یک برج تقطیر، بخار خروجی از بالای برج شامل اجزای بنزن، تولوئن و ارتوزایلن به ترتیب با کسر مولی‌های ۵۰/۰ و ۴۵/۰ و ۵/۰ و مایع خروجی از پایین نیز شامل اجزای بنزن، تولوئن و ارتوزایلن به ترتیب با کسر مولی‌های ۰۰۷/۰ و ۷۶/۰ و ۲۳۳/۰ می‌باشد. با فرض اینکه فشار کل برج تقطیر برابر یک اتمسفر باشد، دمای بالا و پایین برج را به دست آورید.

ثوابت معادله آنتوان برای این سیستم در جدول ارائه شده است.

$$\text{Log } p_i^{\text{sat}} = A - B / (T+C)$$

فشار بر حسب میلیمتر جیوه و دما بر حسب سانتیگراد است.

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Benzene</i>	6.89272	1203.531	219.888
<i>Toluene</i>	6.95802	1346.773	219.693
<i>Xylene</i>	7.00154	1476.393	213.872

**حل:** در داخل برج تقطیر، کلیه جریانهای مایع و بخار در حالت اشباع می باشند، بخار خروجی از بالای برج در دمای شبنم و مایع خروجی از پایین برج در دمای حباب خارج می گردند.

با جایگذاری مقدار فشار کل در معادله آنتوان می توان نقطه جوش اجزای خالص را به دست آورد.

$$P_t = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$\Rightarrow T^{\text{sat}}_{\text{Benzene}} = 80.10^\circ \text{C} \quad T^{\text{sat}}_{\text{Toluene}} = 110.62^\circ \text{C} \quad T^{\text{sat}}_{\text{Xylene}} = 144.41^\circ \text{C}$$

$$T_d = \sum y_i T_{di} \quad \text{حدس اولیه}$$

$$= 0.50 \times 80.10 + 0.45 \times 110.62 + 0.05 \times 144.41 = 97.0495^\circ \text{C}$$

با استفاده از دمای حدسی بالا، و به کمک معادله آنتوان میتوان فشار بخار اجزا را در

این دما به دست آورد.

$$P_B^{\text{sat}} = 1245.5 \text{ mmHg}$$

$$P_T^{\text{sat}} = 508.28 \text{ mmHg}$$

$$P_X^{\text{sat}} = 179.1 \text{ mmHg}$$

ضریب توزیع برای هر جزء را میتوان محاسبه نمود.

$$k_i = \frac{P_i^{\text{sat}}}{P_t}$$



$$k_B = \frac{P_B^{sat}}{P_t} = \frac{1245.5}{760} = 1.64$$

$$k_I = \frac{P_I^{sat}}{P_t} = \frac{508.28}{760} = 0.67$$

$$k_X = \frac{P_X^{sat}}{P_t} = \frac{179.1}{760} = 0.24$$

در این سیستم، زایلن به عنوان جزء مبنا در نظر گرفته میشود، زیرا که غیر فرارتر است.

$$\alpha_{ij} = \frac{k_i}{k_j} \Rightarrow \alpha_{BX} = 6.83 \quad \alpha_{IX} = 2.8 \quad \alpha_{XX} = 1$$

$$k_j = \sum \frac{y_i}{\alpha_{ij}} \Rightarrow k_X = \frac{0.5}{6.83} + \frac{0.45}{2.8} + \frac{0.05}{1} = 0.284$$

$$\% \text{ error} = \frac{|0.24 - 0.284|}{0.24} \times 100 = 18.33$$

مقدار خطا بزرگ است. حدس دیگری برای دما در نظر گرفته میشود (  $T_d = 105^\circ C$  )  
با استفاده از دمای حدسی بالا، و به کمک معادله آنتوان میتوان فشار بخار اجزا را در  
این دما به دست آورد.

$$P_B^{sat} = 1542.66 \text{ mmHg}$$

$$P_T^{sat} = 645.93 \text{ mmHg}$$

$$P_X^{sat} = 235.23 \text{ mmHg}$$

ضریب توزیع برای هر جزء را میتوان محاسبه کرد.

$$k_i = \frac{P_i^{sat}}{P_t}$$

$$k_B = \frac{P_B^{sat}}{P_t} = \frac{1542.66}{760} = 2.03$$

$$k_T = \frac{P_T^{sat}}{P_t} = \frac{645.93}{760} = 0.85$$

$$k_X = \frac{P_X^{sat}}{P_t} = \frac{235.23}{760} = 0.31$$

$$\alpha_{BX} = 6.56 \quad \alpha_{TX} = 2.75 \quad \alpha_{XX} = 1$$

$$k_j = \sum \frac{y_i}{\alpha_{ij}} \Rightarrow k_X = \frac{0.5}{6.56} + \frac{0.45}{2.75} + \frac{0.05}{1} = 0.29$$

$$\% \text{ error} = \frac{|0.31 - 0.29|}{0.31} \times 100 = 6.26$$

در صورتیکه دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شود.

$$k_B = 1.93 \quad k_T = 0.8 \quad k_X = 0.29$$

$$\alpha_{BX} = 6.65 \quad \alpha_{TX} = 2.77 \quad \alpha_{XX} = 1$$

$$k_j = \sum \frac{y_i}{\alpha_{ij}} \Rightarrow k_X = \frac{0.5}{6.65} + \frac{0.45}{2.77} + \frac{0.05}{1} = 0.288$$

$$\% \text{ error} = \frac{|0.29 - 0.288|}{0.29} \times 100 = 0.576$$

در نتیجه دمای بخار خروجی از بالای برج برابر ۱۰۳ درجه سانتیگراد خواهد بود