

#### ۴-۱- نمودارهای تعادلی آنتالپی - غلظت

آنتالپی مایع اشباع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H_L = M_A C_{pA} (T_b - T_{ref}) x_A + M_B C_{pB} (T_b - T_{ref}) x_B + \Delta H_{sol}$$

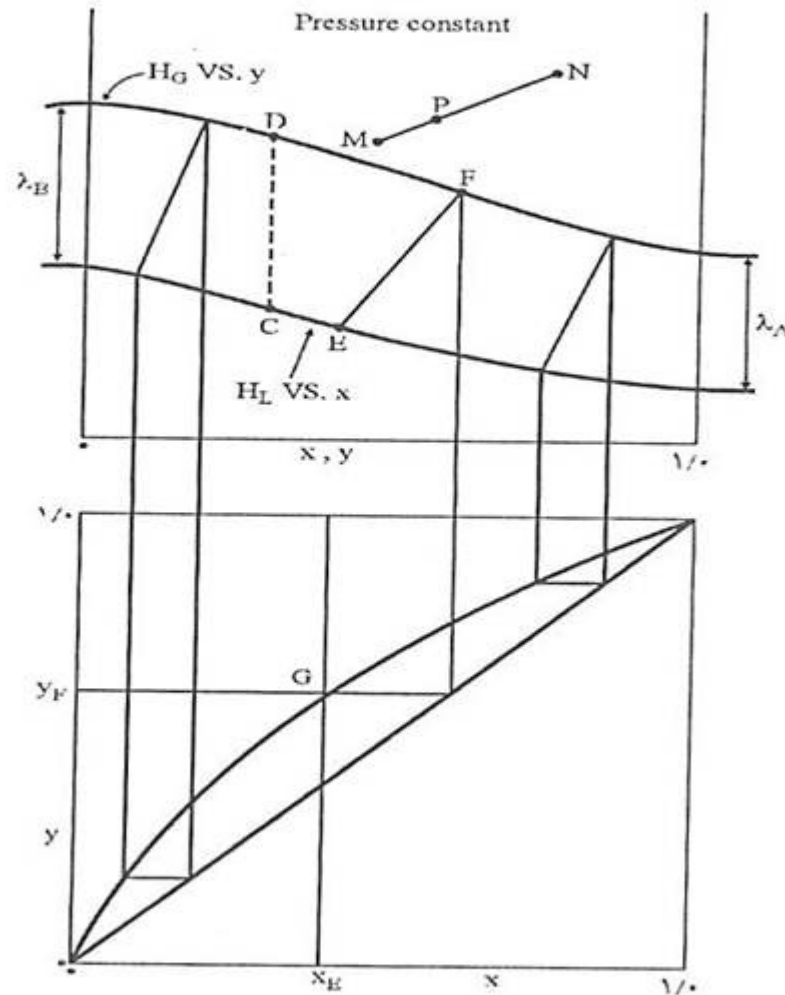
در رابطه بالا،  $H_L$  آنتالپی مولی مایع اشباع،  $C_{pA}$  و  $C_{pB}$  ظرفیت گرمایی مایعات خالص (برحسب انرژی بر کیلوگرم بر دما)،  $T_b$  دمای نقطه حباب،  $T_{ref}$  دمای مرجع،  $M_A$  و  $M_B$  جرم مولکولی اجزاء،  $x_A$  و  $x_B$  جزء مولی اجزاء در فاز مایع و  $\Delta H_{sol}$  گرمای انحلال در دمای مرجع می‌باشد.

در صورتی که محلول ایده‌آل باشد، گرمای انحلال برابر صفر خواهد شد.

آنتالپی مولی بخار اشباع برای یک سیستم دوجزئی را نیز می‌توان از طریق رابطه زیر بدست آورد:

$$H_G = y_A [M_A C_{pA} (T_d - T_{ref}) + M_A \lambda_A] + y_B [M_B C_{pB} (T_d - T_{ref}) + M_B \lambda_B]$$

$H_G$ : آنتالپی مولی بخار اشباع،  $C_{pA}$  و  $C_{pB}$ : ظرفیت گرمایی مایعات خالص (برحسب انرژی بر کیلوگرم بر دما)،  $\lambda_A$  و  $\lambda_B$ : گرمای نهان تبخیر اجزای خالص در دمای شبنم،  $T_d$ : دمای نقطه شبنم،  $T_{ref}$ : دمای مرجع،  $M_A$  و  $M_B$ : جرم مولکولی اجزاء و  $y_A$  و  $y_B$ : کسر مولی اجزاء در فاز بخار می‌باشند.



شکل (۱-۱۲): نمودار آنتالپی - غلظت ( $H-x-y$ )

در این نمودار،  $H_G$  بر حسب  $y$  و  $H_L$  بر حسب  $x$  رسم شده است. خطوط مورب در این نمودار نشان دهندهی خطوط رابط می باشد که فازهای مایع و بخار در حال تعادل را به هم مرتبط می نماید. ناحیه زیر منحنی  $H_L$  در نمودار، حالت مخلوط به صورت مایع سرد، و در ناحیه بالای منحنی  $H_G$ ، حالت مخلوط به صورت بخار فوق داغ (سوپرهیت) و بین دو منحنی  $H_G$  و  $H_L$  مخلوط به صورت دوفازی می باشد.

فاصله عمودی بین دو منحنی  $H_G$  و  $H_L$  نشانگر گرمای نهان تبخیر مخلوط در غلظت های مختلف سازندگان آن می باشد.

### ۱-۵- عملیات تقطیر

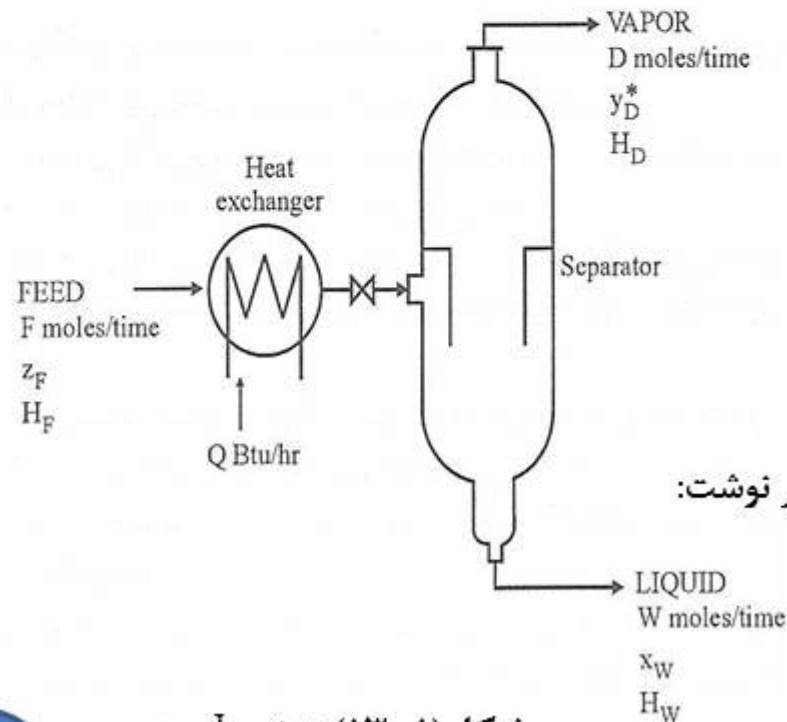
به طور کلی سه نوع عملیات تقطیر مطرح می‌باشد:

1. تبخیر آنی یا ناگهانی (تقطیر تعادلی) (*Flash Distillation*)
2. تقطیر ساده یا دیفرانسیلی (*Differential Distillation*)
3. تقطیر مداوم یا پیوسته (*Continuous Distillation*)

#### ۱-۵-۱- تبخیر آنی یا ناگهانی (*Flash distillation*)

در این عملیات فرض می‌شود که بخار و مایع خروجی از جداکننده در حال تعادل با یکدیگر می‌باشند. بخار خروجی از جداکننده غنی از جزء فرار و مایع خروجی از آن غنی از جزء غیرفرار می‌باشد.

روابط موازنه جرم و انرژی حول کل سیستم را می‌توان به صورت زیر نوشت:



شکل (۱-۱۳): تبخیر آنی

$F = D + W$	
$Fz_F = Dy_D + Wx_W$	
$FH_F + Q = DH_D + WH_W$	

از حل همزمان سه رابطه‌ی فوق می‌توان رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\frac{W}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_W - z_F} = \frac{H_D - (H_F + \frac{Q}{F})}{H_W - (H_F + \frac{Q}{F})}$$

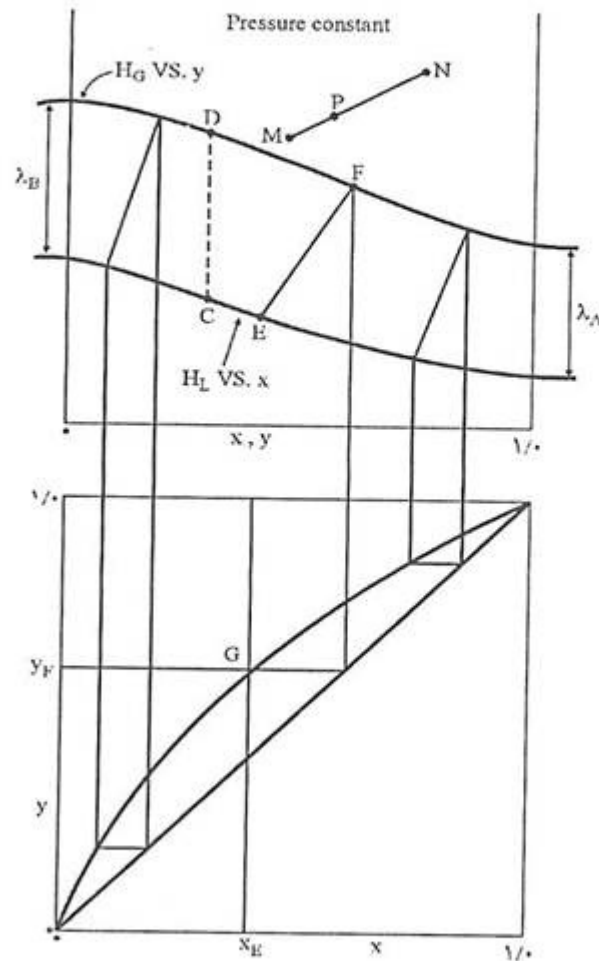
معادله خط عامل تبخیر آنی می‌باشد که در شکل (۱-۱۴) نشان داده شده است و به صورت خط مستقیمی است که در نمودارهای  $H-x-y$  و  $x-y$  از نقاط  $D$  به مختصات  $(y_D, H_D)$ ،  $W$  به مختصات  $(x_W, H_W)$  و نقطه‌ای به مختصات  $(z_F, H_F + Q/F)$  که نشانگر مشخصات خوراک خروجی از مبدل حرارتی می‌باشد، می‌گذرد.

معادله خط عامل در تبخیر آنی را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$y = -\frac{W}{D}(x - x_f) + x_f$$

نکته: محدوده‌ی دما و فشار تبخیر آنی بین دما و فشار نقطه‌ی حباب و شبنم مخلوط است. در مسائل تبخیر آنی، معمولاً هدف مشخص نمودن جزء مولی اجزاء در جریانهای بخار و مایع خروجی یا میزان تبخیر صورت گرفته، می‌باشد.





- محل تلاقی خط عامل تبخیر آنی با منحنی تعادلی، نشان دهنده  $y_D$  و  $x_W$  می باشد. از روی شیب خط عامل هم می توان میزان تبخیر را محاسبه نمود.
- در صورتی که ضریب فراریت سیستم یا ضریب توزیع مشخص باشد، با مساوی قرار دادن معادله خط عامل در تبخیر آنی و معادله خط تعادلی، می توان به صورت جبری و بدون نیاز به روش ترسیمی، ترکیب درصد جزء فرار در جریانهای مایع و بخار خروجی را محاسبه نمود.
- برای رسیدن به محصولاتی با خلوص بالاتر، بر اساس اینکه جزء فرار یا غیرفرار محصول مطلوب باشد، از سیستم های چندمرحله ای استفاده می شود.

شکل (۱-۱۴): نمودار  $H-x-y$  و  $x-y$  برای تبخیر آنی

مثال (۷-۱): یک مخلوط مایع شامل ۴۰ درصد مولی نرمال هپتان و ۶۰ درصد مولی نرمال اکتان در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر به طور مداوم تحت تبخیر آبی قرار می‌گیرد. در این عمل ۶۵ درصد مولی خوراک تبخیر می‌شود. کسر مولی نرمال هپتان در مایع و بخار خروجی از محفظه جداکننده و دمای آنها را محاسبه نمایید.

حل: مبنا: ۱۰۰ مول خوراک

داده‌های تعادلی برای این سیستم در پیوست (الف) آمده است.

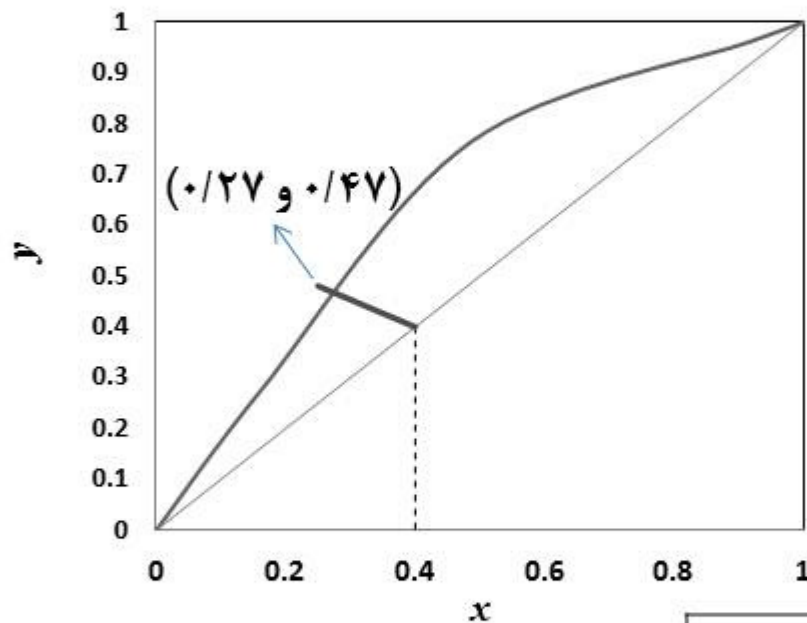
$$F = 100 \text{ mol} \Rightarrow D = 65 \text{ mol} \quad W = 35 \text{ mol}$$

شیب خط عامل برای تبخیر آبی برابر است با:

$$-\frac{W}{D} = -\frac{35}{65} = -0.54$$

از نقطه (۰/۴ و ۰/۴) روی خط قطری، خطی با شیب ۰/۵۴ - رسم نموده تا منحنی تعادلی را قطع نماید.

با توجه به شکل، محل تلاقی خط عامل با منحنی تعادلی (۰/۲۷ و ۰/۴۷) خواهد بود. در نتیجه کسر مولی نرمال هپتان در جریان بخار و مایع خروجی از محفظه جداکننده به ترتیب برابر با ۰/۲۷ و ۰/۴۷ خواهد بود.



برای محاسبه دمای جریان‌های خروجی، از داده‌های معادله آنتوان استفاده می‌شود.

$$x_H P_H^{sat} = y_H P_i \Rightarrow P_H^{sat} = \frac{0.47 \times 760}{0.27} = 1323 \text{ mmHg}$$

با استفاده از معادله آنتوان مقدار دما به دست می‌آید.

Component	A	B	C
n-Heptane	6.90253	1267.828	216.823

$$\log(1323) = 6.90253 - 1267.828/T + 216.823 \Rightarrow T = 118.50^\circ\text{C}$$

### میعان ناگهانی (Flash Condensation)

این عملیات برای جداسازی مخلوط‌های گازی استفاده می‌شود. برخلاف تبخیر آبی، از خوراک اولیه گرمای  $Q$  گرفته می‌شود تا حالت دوفازی ایجاد گردد. تمام روابط ارائه شده در قسمت قبل را می‌توان برای این عملیات به کار برد با این تفاوت که علامت  $Q$  در عملیات میعان ناگهانی منفی می‌باشد.

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_W - z_F} = \frac{H_D - (H_F - \frac{Q}{F})}{H_W - (H_F - \frac{Q}{F})}$$

### عملیات تبخیر آبی یا ناگهانی برای مخلوط‌های چندجزئی

فرض کنید مخلوط چندجزئی تحت تبخیر آبی قرار می‌گیرد، در اینصورت موازنه‌های جرم و انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$F = D + W$$

$$Fz_{iF} = Dy_{iD} + Wx_{iW}$$

$$Fz_{jF} = Dy_{jD} + Wx_{jW}$$

$$FH_F + Q = DH_D + WH_W$$



از حل همزمان موازنه‌های جرم و به همراه یک موازنه جزئی، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_{jD} - z_{jF}}{x_{jW} - z_{jF}}$$

با استفاده از رابطه زیر می‌توان کسر مولی اجزاء موجود در جریان بخار خروجی از محفظه تبخیر آبی را محاسبه کرد:

$$y_{jD} = \frac{z_{jF}(1 + \frac{W}{D})}{1 + \frac{W}{D \cdot k_j}}$$

$$k_j = \frac{y_{jD}}{x_{jW}} \quad *$$

توجه: اغلب در مسائل تقطیر آبی چند جزئی، دما و یا نسبت  $\frac{W}{D}$  مجهول می‌باشند، از این رو برای انجام محاسبات نیاز به حدس و خطا خواهد بود.

## مراحل حل مسائل تبخیر آبی چند جزئی :

- (۱) حدس دمای تبخیرکننده آبی (بین دمای نقطه حباب و شبنم مخلوط)
- (۲) محاسبه ضریب و خالص اجزای اشباع بخار فشار، (مرحله در حدسی دمای از استفاده با  $k_i$ ) توزیع تعیین می‌شوند).
- (۳) محاسبه ترکیب درصد بخار خروجی از بالای محفظه جداکننده تبخیر آبی برای هر جزء با استفاده از معادله‌ی (\*).
- (۴) صحت رابطه زیر بر اساس مقادیر به دست آمده برای کسر مولی اجزای مختلف بررسی می‌شود. اگر ترکیب درصدهای بدست آمده در این رابطه صدق کرد، از آن در محاسبه مقدار ترکیب درصد هر جزء در مایع سنگین خروجی از پایین محفظه جداکننده تبخیر آبی استفاده می‌شود. حال اگر تساوی رابطه برقرار نبود، حدس اولیه برای دما را باید تغییر داد و مراحل را دوباره تکرار نمود.

$$\sum_{i=1}^n y_{jD} = 1$$

مثال (۷-۱): ۱۰۰ مول از مخلوط مایعی شامل ۴۰ درصد بنزن، ۳۰ درصد تولوئن و ۳۰ درصد مولی اورتوزایلن در فشار یک اتمسفر و دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تحت تبخیر آبی قرار می‌گیرد. تعداد مول‌های محصولات بخار و مایع و غلظت آن‌ها را محاسبه نمایید.

حل: در این مساله، مقدار دما مشخص است. حل مسائل تبخیر آبی برای سیستم‌های چندجزئی بر اساس حدس و خطا می‌باشد

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

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

COMPONENT	A	B	C
Benzene	6.89272	1203.531	219.888
Toluene	6.95802	1346.773	219.693
Xylene	7.00154	1476.393	213.872

COMPONENT	$P_i^{sat}$ (at 100°C)	$k_j$	$y_{jD}$ $(\frac{W}{D} = 4)$	$y_{jD}$ $(\frac{W}{D} = 10)$	$y_{jD}$ $(\frac{W}{D} = 20)$
Benzene	1350.11 mmHg	1.78	0.62	0.66	0.69
Toluene	556.30 mmHg	0.73	0.23	0.23	0.22
Xylene	198.49 mmHg	0.26	0.09	0.08	0.08
			$\sum = 0.94$	$\sum = 0.97$	$\sum = 0.99$

مقدار  $W/D$  برابر با ۲۰ در نظر گرفته می شود

$$x_B = \frac{0.69}{1.78} = 0.387$$

$$x_T = \frac{0.22}{0.73} = 0.301$$

$$x_x = \frac{0.08}{0.26} = 0.308$$

$$\Rightarrow \sum x_i \approx 1$$

تعداد مولهای بخار و مایع تولیدی برابر است با:

$$F = D + W \Rightarrow 100 = D + 20D \Rightarrow D = \frac{100}{21} = 4.76 \text{ mol}$$

$$W = 95.24 \text{ mol}$$