

Natural Gas Processing

Presented by:

Nafiseh Binesh

فصل پنجم: تعادلات فازی مایع–بخار

فهرست:

۵–۱: مقدمه

۵–۲: تعیین نقطه حباب

۴–۳: تعیین نقطه شبنم

۴–۴: محاسبات فلش

۵–۱: مقدمه

- بسیاری از عملیات تولید و فرآورش، شامل کنترل فازهای موجود می باشد.
- اجزاء مخلوط باید تبخیر و یا کندانس شوند تا به اهداف جداسازی دست یابیم.
- برای یک مخلوط گاز طبیعی، تعیین منحنی های شبنم و حباب منطقه دو فازی را مشخص می کند.
- در این منطقه الزامی است تا نسبت بخار و مایع و ترکیب درصد هر فاز پیش بینی شود. در نتیجه نیاز به محاسبات تعادلی می باشد.
- تعادل به این معنی است که با گذشت زمان رفتار سیستم تغییر نمی کند و ترکیب بخار و مایع تغییر نخواهد کرد.
- برای یک سیستم هیدروکربنی معمولاً چند دقیقه زمان برای رسیدن به تعادل نیاز است.
- با توجه به اینکه در جداسازها تماس کافی بین فاز مایع و گار وجود دارد، یک فرآیند تعادلی خواهیم داشت.

- **ثابت تعادل:** این پارامتر به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mathbf{K_i}=\frac{y_i}{x_i}$$

y_i : کسر مولی $\mathbf{i}$ در فاز گاز

✓ x_i: کسر مولی $\mathbf{i}$ در فاز مایع

✓ با توجه به اینکه پس از رسیدن به تعادل، ترکیب درصد فازها تغییر نمی کند K_i نیز برای هر جزء یک مقدار ثابت است.

- در فشارهای حدود 400 kpa که می توان مفهوم گاز ایده آل را بکار برد، فشار جزئی هر جزء را می توان برای محاسبات تعادلی به صورت زیر بکار برد:

فشار جزئی جزء i در فاز بخار: $P_i^v = y_i P_t$

فشار جزئی جزء i در فاز مایع: $P_i^l = x_i P_i^*$

که در روابط فوق:

P_t: فشار کل فاز گاز

P_i^* : فشار بخار جزء i در دما و فشار سیستم

- **در حالت تعادل:**

برای گاز ایده آل $P_i^v = P_i^l \rightarrow y_i P_t = x_i P_i^* \rightarrow \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^*}{P_t} \rightarrow K_i = \frac{P_i^*}{P_t}$

- برای فشارهای بالا تا حدود 3.5 Mpa که رفتار گاز ایده آل نیست، می توان فوگاسیته را به جای فشار بکار برد.

فوگاسیته جزء i در فاز بخار: $f_i^v = y_i f_{i0}^v$

فوگاسیته جزء i در فاز مایع: $f_i^l = x_i f_{i0}^l$

که در روابط فوق:

f_{io}^v: فوگاسیته جزء i در حالت بخار خالص

f_{io}^l : فوگاسیته جزء i در حالت مایع خالص

در حالت تعادل:

برای گاز واقعی $f_i^v = f_i^l \rightarrow y_i f_{i0}^v = x_i f_{i0}^l \rightarrow \frac{y_i}{x_i} = \frac{f_{i0}^l}{f_{i0}^v} \rightarrow K_i = \frac{f_{i0}^l}{f_{i0}^v}$

- نکته: K_i برای هر جزء به دما، فشار و ترکیب درصد مخلوط گاز طبیعی وابسته می باشد.
- تأثیر ترکیب درصد را تا فشارهای حدود **6.9 Mpa** می توان نادیده گرفت.
- در این بخش فعلا تأثیر ترکیب درصد را در نظر نمی گیریم و در انتها تأثیر آن را بررسی خواهیم کرد.
- سه نوع محاسبات مختلف برای تعیین رفتار فازی بخار-مایع مورد نیاز است:

✓ محاسبات نقطه حباب

✓ محاسبات نقطه شبنم

✓ محاسبات فلش

۵-۲: تعیین نقطه حباب

- نقطه حباب را می توان به صورت شرایطی در نظر گرفت که در آن همه سیستم در فاز مایع است و تنها یک حباب کوچک بخار تشکیل شده است. از آنجا که حباب سهم کوچکی از کل سیستم را داراست، می توان ترکیب درصد فاز مایع x_i را برابر با ترکیب درصد کل سیستم Z_i در نظر گرفت:

✓ کل سیستم: F و z_i

✓ فاز مایع: L و x_i

✓ فاز گاز: V و y_i

✓ در نقطه حباب $x_i=z_i$

- طبق تعریف:

$$\sum y_i=1 \rightarrow \sum x_i K_i = 1$$

- روش تعیین نقطه حباب برای یک سیستم با ترکیب درصد مشخص z_i به صورت زیر است:

✓در فشار معین یک دما حدس بزنید (یا در دمای مشخص یک فشار حدس بزنید).

✓در دما و فشار مشخص مقدار K_i را برای هر جزء بیابید.

✓برای هر جزء x_iK_i و در نهایت $\sum x_iK_i$ را محاسبه کنید.

✓در صورتیکه $\sum x_iK_i=1$ فرض دما یا فشار صحیح است، در غیر اینصورت مراحل فوق را تکرار می کنیم تا زمانیکه مقدار فوق برابر با یک شود.

تبصره: در صورتیکه در دو تکرار $\sum x_iK_i$ به یک نزدیک بود، می توان از درونیابی یا برونیابی مقدار دما یا فشار را تعیین کرد.

- **مثال: نقطه حباب مخلوط زیر را در $120^{\circ}F$ محاسبه کنید.**

Comp.	Mole %	$Z_i = x_i$	حدس اول P=1400 psia		حدس دوم P=1200	
			K_i	$K_i x_i$	K_i	$K_i x_i$
C_1	22.08 %					
C_2	7.39 %					
C_3	7.75 %					
i-C_4	2.03 %					
n-C_4	4.2 %					
i-C_5	1.7 %					
n-C_5	2.7 %					
C_6	4.77					
C_7	47.38					
total	100					

- برونیابی:

$$\mathbf{y}= \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}\ (x - x_1) + \ y_1$$

$$\mathbf{P}= \frac{p_2-p_1}{\sum_2-\sum_1}\ (1 - \sum_1) + \ p_1$$

$$\mathbf{p}=$$

۵-۳: تعیین نقطه شبنم

- نقطه شبنم را می توان به صورت شرایطی در نظر گرفت که در آن همه سیستم در فاز بخار است و تنها یک قطره کوچک مایع تشکیل شده است. از آنجا که این قطره سهم کوچکی از کل سیستم را داراست، می توان ترکیب درصد فاز گاز y_i را برابر با ترکیب درصد کل سیستم Z_i در نظر گرفت:

✓ در نقطه شبنم $y_i=z_i$

- طبق تعریف:

$$\sum x_i=1 \rightarrow \sum \frac{y_i}{k_i}= 1$$

روش تعیین نقطه شبنم برای یک سیستم با ترکیب درصد مشخص z_i به صورت زیر است:

- ✓ **در فشار معین یک دما حدس بزنید (یا در دمای مشخص یک فشار حدس بزنید).**
- ✓ **در دما و فشار مشخص مقدار K_i را برای هر جزء بیابید.**
- ✓ **برای هر جزء $\frac{y_i}{k_i}$ و در نهایت $\sum \frac{y_i}{k_i}$ را محاسبه کنید.**
- ✓ **در صورتیکه $\sum \frac{y_i}{k_i}=1$ فرض دما یا فشار صحیح است، در غیر اینصورت مراحل فوق را تکرار می کنیم تا زمانیکه مقدار فوق برابر با یک شود.**

- **مثال: نقطه شبنم مخلوط زیر را در 130 psia محاسبه کنید.**

Comp.	Mole %	$Z_i = y_i$	حدس اول T=130˚F		حدس دوم T=150˚F	
			K_i	$\frac{y_i}{k_i}$	K_i	$\frac{y_i}{k_i}$
C_3	2.5 %					
i-C_4	90.4 %					
n-C_4	7.1 %					
total	100					

- درونیابی:

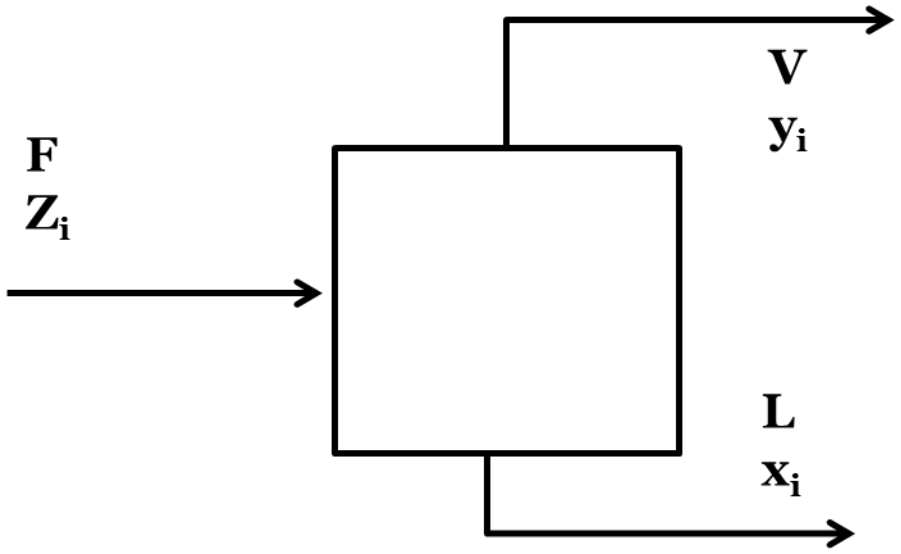
$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$$

$$T = \frac{T_2 - T_1}{\sum_2 - \sum_1}(1 - \sum_1) + T_1$$

$$T =$$

۵-۴: محاسبات فلش (انبساط ناگهانی)

- فرآیند فلش به منظور جداسازی برخی از اجزای خاص یک مخلوط مایع انجام می شود.
- در این فرآیند ابتدا دمای خوراک مایع را افزایش داده و سپس بطور ناگهانی کاهش می دهیم که منجر به تولید دو فاز مایع و بخار می شود.
- در محاسبات فلش، هدف تعیین درصدی از خوراک (F) است که به بخار تبدیل شده است (V) و در نتیجه درصد باقیمانده به صورت مایع باقی می ماند (L). همچنین ترکیب درصد هر یک از فازها باید تعیین گردد.



- موازنه حول کل سیستم:

$$F=V+L \quad (1)$$

- موازنه حول هر جزء i

$$z_iF=y_iV+x_iL \quad (2)$$

- قبلا ثابت تعادل را به صورت زیر تعریف کردیم:

$$K_i = y_i/x_i \rightarrow x_i = y_i/K_i \quad (3)$$

- با جایگزینی رابطه (3) در رابطه (2)داریم:

$$z_iF=y_iV+(y_i/K_i)L$$

$$z_iF=y_i\,(V+L/K_i)$$

$$y_i= \frac{z_iF}{V+\frac{L}{K_i}} = \frac{z_iF}{\frac{K_iV+L}{K_i}} = \frac{z_iFK_i}{K_iV+L} \quad (4)$$

- از طرفی:

$$\mathbf{F=V+L \quad \rightarrow \quad L=F-V}$$

- معمولاً مبنا را $F=1$ قرار می دهیم. در نتیجه

$$\mathbf{L=1-V \quad (5)}$$

- با جایگزینی رابطه (5) در رابطه (4)داریم (به جای F نیز ۱ قرار می دهیم):

$$\mathbf{y_i = \frac{z_i K_i}{K_i V + 1 - V} = \frac{z_i K_i}{V(K_i - 1) + 1}}$$

- از طرفی با توجه به اینکه $x_i=y_i/K_i$، با استفاده از رابطه فوق داریم:

$$\mathbf{x_i = \frac{z_i}{V(K_i - 1) + 1}}$$

- حال برای تعیین L و V و x_i و y_i دو روش وجود دارد:

روش اول: حدس و خطای رایج

- ✓ در دما و فشار مسئله مقادیر K_i را از نمودارهای 6-21 تا 6-30 تعیین می کنیم.
- ✓ یک مقدار برای V حدس می زنیم (معمولاً بالای ۶۰٪)
- ✓ مقادیر y_i را از رابطه اثبات شده تعیین می کنیم.
- ✓ مقدار $\sum y_i$ را محاسبه می کنیم:

❖ در صورتیکه این مقدار برابر با یک بود حدس درست بوده، در نتیجه y_iها درست بوده و x_i ها را از رابطه $x_i=y_i/K_i$ بدست می آوریم.

❖ درصورتیکه این مقدار برابر با یک نبود، مراحل فوق را تکرار می کنیم تا زمانیکه $\sum y_i=1$ حاصل شود.

نکته: مقادیر V انتخابی به صورت زیر خواهند بود:

- ✓ حدس اول : V_1
- ✓ حدس دوم: V_2
- ✓ حدس سوم: درونیابی بین V_1 و V_2 : V_3
- ✓ حدس چهارم: درونیابی بین V_2 و V_3 : V_4
- ✓ حدس پنجم: درونیابی بین V_3 و V_4 : V_5
- ✓ و ...

- **مثال: برای گاز با ترکیب زیر ترکیب درصد فاز مایع و بخار در فرآیند فلش و همچنین مقدار فاز مایع و بخار را در فشار 1600 psi و دمای 120°F تعیین نمایید**

Comp.	Mole %	Z_i	K_i	حدس اول V_1=0.85	حدس دوم V_2=0.95	حدس سوم V_3= 0.9	
				y_i	y_i	y_i	x_i
CO_2	0.46%						
C_1	83.45 %						
C_2	3.81 %						
C_3	1.63 %						
i-C_4	0.5%						
n-C_4	0.74%						
i-C_5	2.87%						
C_6	2.2						
C_7	4.34						
total	100						

حدس سوم:

$$V_3 = \frac{V_2 - V_1}{\sum 2 - \sum 1} (\sum - \sum 1) + V_1 =$$

روش دوم: حدس و خطای نیوتن

در این روش شرط همگرایی این است که $\sum y_i - \sum x_i = 0$ شود.

$$\sum y_i = \sum \frac{z_i K_i}{V(K_i - 1) + 1}$$

$$\sum x_i = \sum \frac{z_i}{V(K_i - 1) + 1}$$

$$\sum y_i - \sum x_i = \sum \frac{z_i (K_i - 1)}{V(K_i - 1) + 1} = 0$$

- بنابراین مراحل حل به صورت زیر خواهد بود:

✓ در دما و فشار مسئله مقادیر K_i را از نمودارهای 6-21 تا 6-30 تعیین می کنیم.

✓ یک مقدار برای V حدس می زنیم (معمولاً بالای ۶۰٪)

✓ مقادیر $\frac{z_i(Ki-1)}{V(K_i-1)+1}$ را برای هر یک از اجزاء محاسبه می کنیم.

❖ در صورتیکه مجموع مقادیر فوق برابر با صفر بود حدس درست بوده، در نتیجه مقادیر y_i و x_i ها را از روابط قبلی بدست می آوریم.

❖ درصورتیکه مجموع مقادیر برابر با صفر نبود مجددا V را حدس می زنیم و مراحل فوق را تکرار می کنیم. برای حدس دوم از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$V_2=V_1+\frac{\sum\frac{Z_i(Ki-1)}{V_i(K_i-1)+1}}{\sum\frac{Z_i(K_i-1)^2}{[V_i(K_i-1)+1]^2}}$$

- **مثال: برای گاز با ترکیب زیر ترکیب درصد فاز مایع و بخار در فرآیند فلش و همچنین مقدار فاز مایع و بخار را در فشار 1600 psi و دمای $120^{\circ}F$ تعیین نمایید**

Comp.	Mole %	Z_i	K_i	حدس اول V_1=0.85 $\frac{z_i(Ki-1)}{V(K_i-1)+1}$	(ستون قبلی)^2 تقسیم بر Z_i $\frac{Z_i(K_i-1)^2}{V_i(K_i-1)+1]^2}$	حدس دوم V_2= 0.9 $\frac{z_i(Ki-1)}{V(K_i-1)+1}$	y_i	x_i
CO_2	0.46%							
C_1	83.45 %							
C_2	3.81 %							
C_3	1.63 %							
i-C_4	0.5%							
n-C_4	0.74%							
i-C_5	2.87%							
C_6	2.2							
C_7	4.34							
total	100							

- حدس دوم:

$$V_2 = V_1 + \frac{\sum \frac{Z_i(Ki-1)}{V_i(K_i-1)+1}}{\sum \frac{Z_i(K_i-1)^2}{[V_i(K_i-1)+1]^2}} =$$