

مثال ۱۰ فرض کنید در یک آزمایش ۲۰ lb C_2H_4 با ۴۰۰ lb سوخته و تولید ۱۲ lb CO و ۴۴ lb CO_2 کرد است. در هر هوای اضافی چه بوده است؟



مبتداً: ۲۰ lb C_2H_4

$20 \text{ lb } C_2H_4 \propto \frac{1 \text{ lbmol } C_2H_4}{28 \text{ lb } C_2H_4} \propto \frac{3 \text{ lbmol } O_2}{1 \text{ lbmol } C_2H_4} = 2.14 \text{ lbmol } O_2 \rightarrow$ مورد نیاز برای احتراق کامل

$400 \text{ lb air} \propto \frac{1 \text{ lbmol air}}{29.0 \text{ lb air}} \propto \frac{21.0 \text{ lbmol } O_2}{100 \text{ lbmol air}} = 2.90 \text{ lbmol } O_2 \rightarrow$ ورودی

excess oxygen = $2.90 - 2.14 = 0.76 \text{ lbmol } O_2 \rightarrow$ اضافی

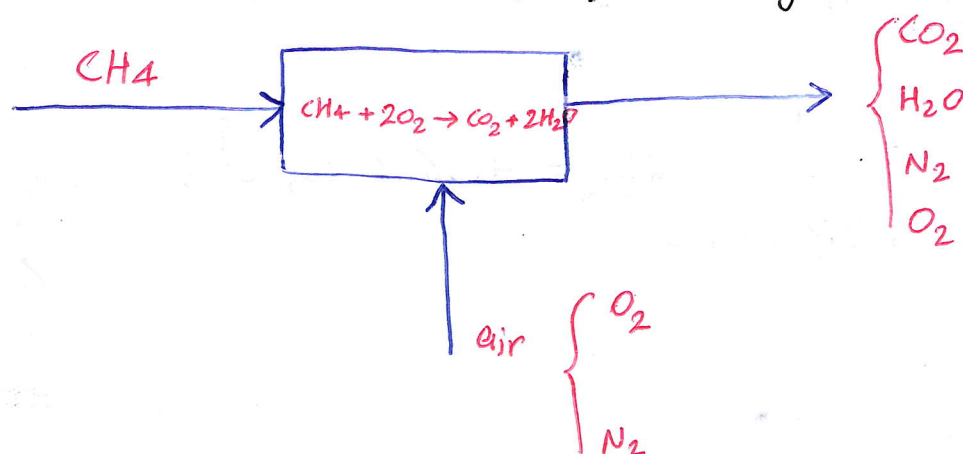
% excess oxygen = $\frac{0.76}{2.14} \propto 100 = 35.51\% \rightarrow$ درصد اکسیژن اضافی

% excess oxygen = % excess air = 35.51

مثال: هوای اضافی

* اگر در یک فرایند احتراق گاز طبیعی (متان) با ۳۰٪ مولی هوای اضافی به طور کامل بسوزد در هر مول

CO_2 و دیگر گازهای خروجی بر مبنای Flue gas محاسبه نمایند؟

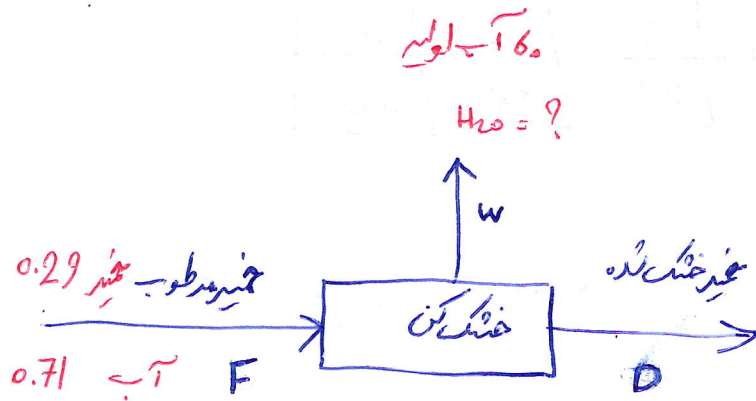


* یک خیرگاتدر مرطوب محو 71٪ آب است. پس از خشک کردن خیر، معلوم می شود که 60٪

آب اولیه خارج شده است. کمیت های زیر را محاسبه کنید:

الف) ترکیب نسبی خیر خشک

ب) حجم آب خروجی به ازای هر کیلوگرم از خیر مرطوب



$$\begin{cases} \text{خیر} = ? & 0.29 \text{ kg} \rightarrow 50.5 \\ \text{آب} = ? & 0.284 \text{ kg} \rightarrow 49.5 \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 0.284 \text{ kg} \rightarrow 49.5 \\ \hline 0.574 \end{array}$$

میتواند یک کیلوگرم خیر مرطوب

$$W \text{ در } H_2O : 0.6 \times 0.71 = 0.426 \text{ kg} \rightarrow \text{حجم آب خارج شده}$$

$$D \text{ در } H_2O = 0.71 - 0.426 = 0.284 \text{ kg} \rightarrow \text{حجم آب در خیر خشک}$$

* تمام خیرگاتدر خروجی باقی مانده چون فقط خشک کردن صورت می گیرد

$$\begin{array}{cc} 0.29 \text{ kg} & = & 0.29 \text{ kg} \\ \text{in} & & \text{out} \end{array}$$

$$0.29 + 0.284 = 0.574 \text{ kg} \rightarrow \text{حجم خیر خشک شده}$$

$$\frac{0.29}{0.574} \times 100 = 50.5$$

نسبت خیر در خیر خشک

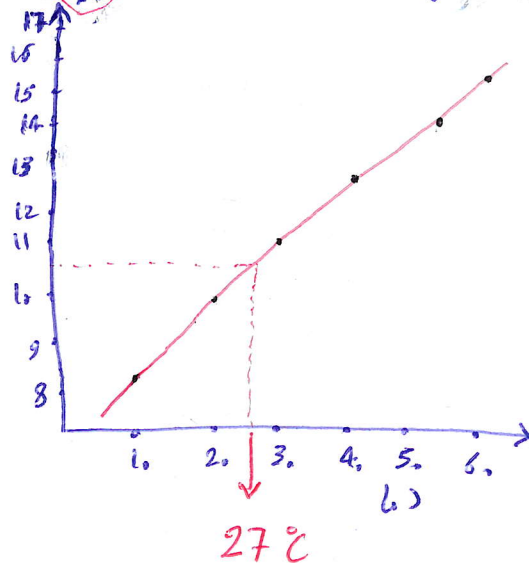
$$\frac{0.284}{0.574} \times 100 = 49.5 \rightarrow$$

نسبت آب در خیر خشک

910 kg NaHCO₃8590 kg H₂O

$$100 \text{ kg H}_2\text{O} \Rightarrow x = 10.6 \frac{\text{g NaHCO}_3}{\text{g H}_2\text{O}}$$

حلالیت

تناسب x 

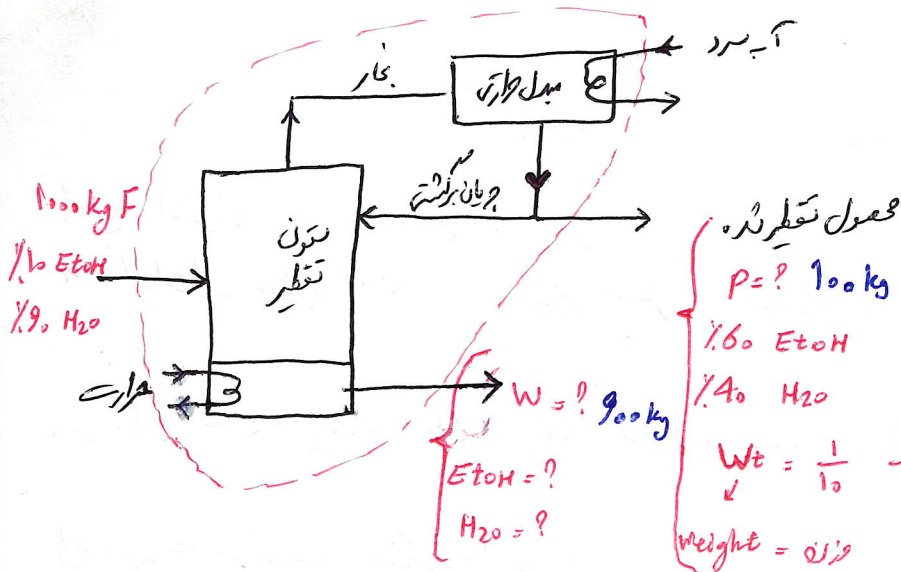
حلالیت در دما A
حلالیت در دما B
حلالیت در دما A و B

$$3.0 - \frac{11.1 - 10.6}{11.1 - 9.6} (1.0) = 27^\circ\text{C}$$

$$3.0 - \frac{11.1 - 10.6}{11.1 - 8.15} (2.0) = 27^\circ\text{C}$$

مثال: تقطیر (Distillation)

* با توجه به شکل زیر، ترکیب نسبی و وزن اسید موجود در آن را حساب کنید.
وزن محصول $\frac{1}{10}$ خوراک می باشد.



محصول تقطیر شده

$$P = ? 100 \text{ kg}$$

$$10\% \text{ EtOH}$$

$$90\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$W_t = \frac{1}{10}$$

Weight = وزن

وزن P خوراک \rightarrow

مثلاً: 1000 kg خوراک

$$P = \frac{1}{10} \times 1000 = 100 \text{ kg}$$

$$F \cdot x_{\text{EtOH}} = P \cdot x_{\text{EtOH}} + W \cdot x_{\text{EtOH}}$$

$$F \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} = P \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} + W \cdot x_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$F = P + W \Rightarrow 1000 = 100 + W \Rightarrow W = 900 \text{ kg}$$

$$\text{kg اتانول در خوراک} \rightarrow 1000 \times \frac{10}{100} = 100 \text{ kg EtOH در خوراک}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{3.5 \text{ kg mol } O_2}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{80}{100} = 224 \text{ kg mol } O_2 \leftarrow \text{اکثرین مورد نیاز برای احتراق کامل}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{2.5 \text{ kg mol } O_2}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{10}{100} = 20 \text{ kg mol } O_2 \leftarrow \text{اکثرین مورد نیاز برای احتراق ناقص}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{2 \text{ kg mol } CO_2}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{80}{100} = 128 \text{ kg mol } CO_2 \rightarrow \text{کربن دی اکسید تولید شده}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{2 \text{ kg mol } CO}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{10}{100} = 16 \text{ kg mol } CO \rightarrow \text{کربن مونوکسید تولید شده}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{3 \text{ kg mol } H_2O}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{80}{100} = 192 \text{ kg mol } H_2O \rightarrow \text{H}_2\text{O تولید شده از احتراق کامل}$$

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{3 \text{ kg mol } H_2O}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} \propto \frac{10}{100} = 24 \text{ kg mol } H_2O \rightarrow \text{H}_2\text{O تولید شده از احتراق ناقص}$$

$$192 + 24 = 216 \text{ kg mol } H_2O \rightarrow \text{مجموع مورد نیاز:}$$

* مابقی هوا برای افزودن هوای بر حسب احتراق کامل خواهد بود.

$$80 \text{ kg mol } C_2H_6 \propto \frac{3.5 \text{ kg mol } O_2}{1 \text{ kg mol } C_2H_6} = 280 \text{ kg mol } O_2$$

موجود در هوا

$$280 - 20 = 260 \text{ kg mol } O_2 \leftarrow \text{مورد نیاز برای احتراق کامل (واکنش ۱۰۰٪)}$$

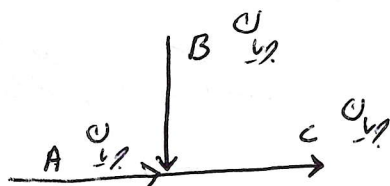
$$260 + (260 \propto \frac{200}{100}) = 780 \text{ kg mol } O_2 \leftarrow \text{موجود در هوای ورودی}$$

$$780 \text{ kg mol } O_2 \propto \frac{79 \text{ kg mol } N_2}{21 \text{ kg mol } O_2} = 2934 \text{ kg mol } N_2 \leftarrow \text{موجود در هوای ورودی و در خروجی}$$

* موازنه مواد با استفاده از روش های جبری:

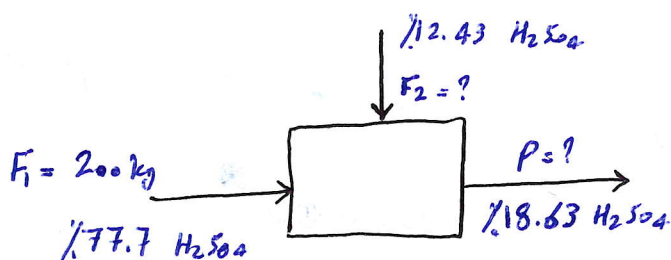
* در صورتی که محبوس مسئله، وابسته به یکدیگر باشند و معادله مشترک داشته باشیم مسائل مربوط را مسائل باروش جبری می نامند

* در بعضی موارد، به خصوص وقتی یک مسئله طولانی را به منظور سهولت محاسبات به قسمت های کوچکتر تقسیم کنیم، برقراری موازنه مواد در اطراف یک نقطه اختلاط لازم می شود. نقطه اختلاط در واقع محل تقاطع دو یا تعداد بیشتر از جریان ها است و می تواند دقیقاً مشابه یک سیستم مورد بررسی قرار گیرد.



مثال: اختلاط
200 kg سولفوریک اسید 77.7٪ به مقدار نامعین از هیدرید با غلظت 12.43٪ اضافه شود

و بخواهیم محلول 18.63٪ تولید کنیم مقادیر اسید 12.43٪ و 18.63٪ را مشخص کنید.



مثبت: 200 kg H_2SO_4 77.7٪

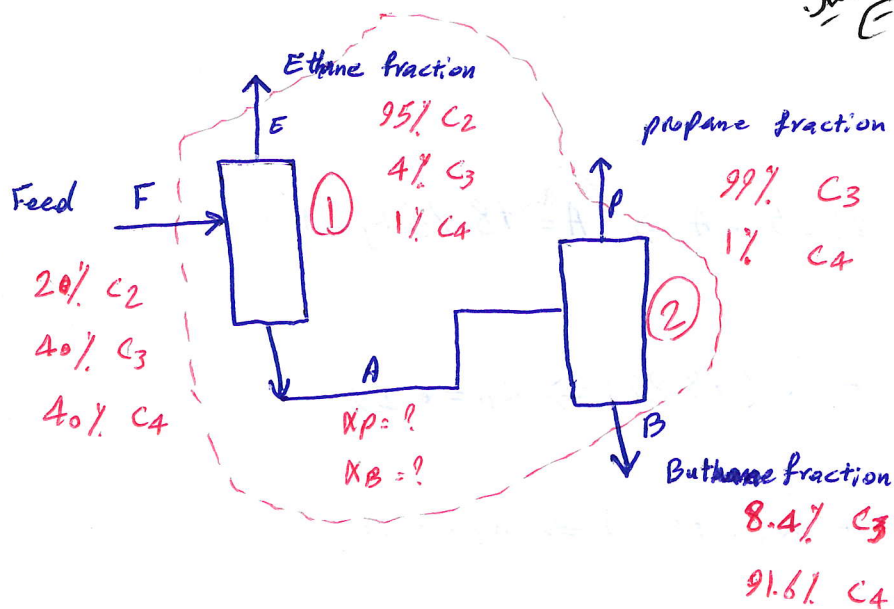
$$F_1 + F_2 = P \Rightarrow P = F_2 + 200 \rightarrow \text{موازنه کل حول سیستم}$$

$$(200 \times 0.777) + (0.1243 \times F_2) = (0.1863 \times P)$$

$$155.4 + 0.1243 F_2 = 0.1863 (F_2 + 200)$$

شال
* در فرایند تقطیر شیت سه هم مطابق شکل زیر، یک هیدروکربن با ج متشکل از 20 درصد مول اتان، 40 درصد مول پروپان و 40 درصد مول بوتان را به سازندگان تقریباً خالص آن تفکیک می کنند، برای $F=100$ مقدار

پروپان و 40 درصد بوتان را به سازندگان تقریباً خالص آن تفکیک می کنند، برای $F=100$ مقدار P (بر حسب مول) و ترکیب نسبی جریان A را تعیین کنید.



مبنای: 100 kgmol خوراک

$$F = E + P + B \Rightarrow 100 = E + P + B$$

موازنه اتان

$$0.2 \times 100 = 0.95 E \Rightarrow E = 21.05 \text{ kgmol} \rightarrow$$

از موازنه کل

$$100 = 21.05 + P + B \Rightarrow P + B = 78.95 \Rightarrow P = 78.95 - B$$

موازنه پروپان

$$0.4 \times 100 = 0.04 \times 21.05 + 0.99 P + 0.084 B \Rightarrow 39.158 = 0.99(78.95 - B) + 0.084 B$$

$$39.158 = 78.16 - 0.99 B + 0.084 B \Rightarrow -39.00 = -0.906 B \Rightarrow B = 43.05 \text{ kgmol}$$

$$P = 78.95 - 43.05 = 35.9 \text{ kgmol}$$

موازنه کل: $A + B + C = P \Rightarrow 500 + B + C = 3000 \Rightarrow B = 2500 - C$

موازنه لیپید: $0.1(500) + 0.2(B) + 0(C) = 0.13(3000) \Rightarrow B = 1700 \text{ kg}$

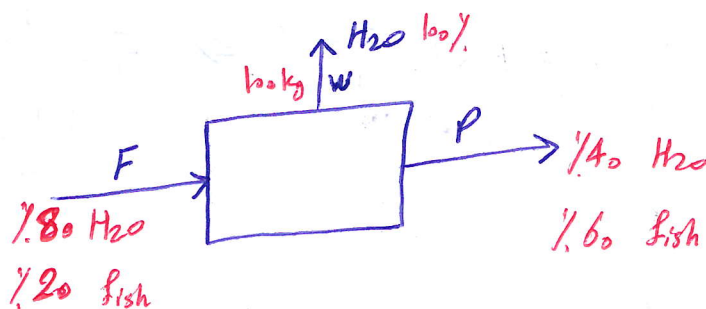
از موازنه کل: $1700 = 2500 - C \Rightarrow C = 800 \text{ kg}$

* حجم رابط - جسم رابط - عنصر رابط: (Tie Component)

اگر ماده ای تنها از ششها وارد و از یک خروجی خارج شود، بدون این که ماهیت ترکیب آن تغییر کند خارج شود، به آن ترکیب یا عنصر، عنصر رابط می گویند.

* ضرورت استفاده از حجم رابط و نوشتن موازنه برای آن، این است که می توانیم مثل باروش جبری را سازگار کنیم.

مثال: خشک کن (Drier)
یک توده ماهی شامل 80٪ آب می باشد، چنانچه این توده ماهی را بخواهیم رطوبت و آب زداری کنیم و 100 کیلوگرم از آب آن خارج کنیم و محصول به جا مانده شامل 40٪ آب می باشد. وزن قطعا = ماهی ورودی به خشک کن را محاسبه کنید.



مبدا: 100 kg آب خارج شده

موازنه کل: $F = W + P \Rightarrow F - P = 100$

موازنه ماهی: $0.2F = 0.6P \Rightarrow \frac{F}{P} = \frac{0.6}{0.2} = 3 \Rightarrow F = 3P$

$3P - P = 100 \Rightarrow 2P = 100 \Rightarrow P = 50 \text{ kg}$

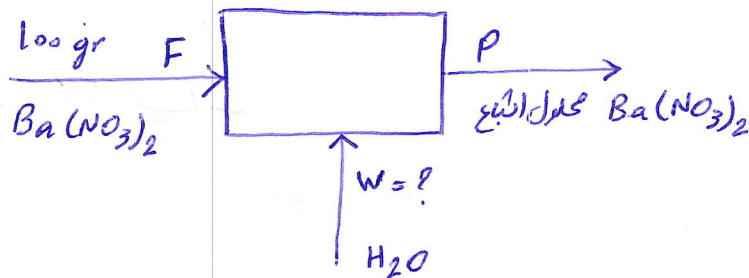
$F = 3(50) = 150 \text{ kg}$

* خلالت نیراے با ۱۰۰ درجہ برابر $\frac{34g Ba(NO_3)_2}{100g H_2O}$ و در صورتی که اگر $\frac{5.0g Ba(NO_3)_2}{100g H_2O}$

می باشد اگر بخواهیم ۱۰۰ گرم $Ba(NO_3)_2$ خالص را به صورت یک محلول اشباع در ۱۰۰ درجہ در آن مقدار

آب مورد لزوم خواهد بود؟ اگر محلول مذکور را تا ۰ درجہ سرد کنیم چه مقدار $Ba(NO_3)_2$ به صورت بلور

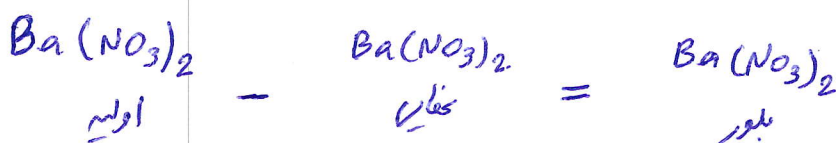
از محلول خارج خواهد شد؟



مثلاً: $100g Ba(NO_3)_2$

$$100g Ba(NO_3)_2 \propto \frac{100g H_2O}{34g Ba(NO_3)_2} = 294g H_2O \rightarrow \text{آب مورد نیاز جهت یک محلول اشباع در ۱۰۰ درجہ}$$

* اگر محلول اشباع در ۱۰۰ درجہ را تا ۰ درجہ سرد کنیم، محلول $Ba(NO_3)_2$ باقی مانده همپایان در روغن اشباع خواهد بود.

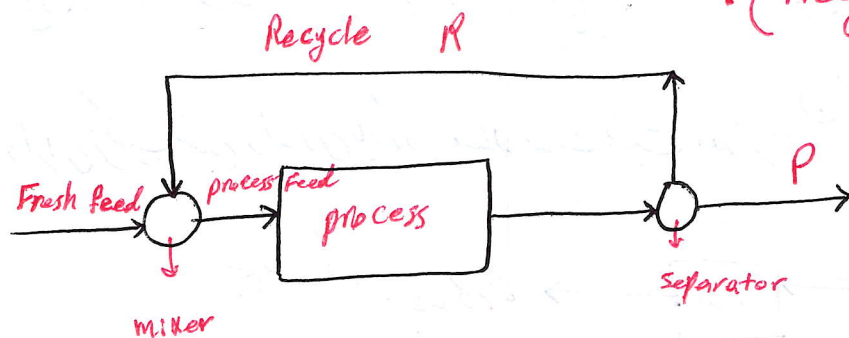


* آب یک جسم را بطور است.

$$294g H_2O \propto \frac{5g Ba(NO_3)_2}{100g H_2O} = 14.7g Ba(NO_3)_2 \rightarrow \text{در محلول خارج}$$

$$100g Ba(NO_3)_2 \text{ اولیه} - 14.7g Ba(NO_3)_2 \text{ خارج} = 85.3g Ba(NO_3)_2 \rightarrow \text{بلور}$$

* جریان برگشتی (Recycle):



* جریان برگشتی امروزه در بسیاری از موارد از جمله برگشت دادن مواد اولیه ای که بدون شرکت در واکنش
 از راکتور خارج می شوند به قبل از راکتور و یا انجام امور کنترلی همچون کنترل دما، فشار، غلظت و...
 مورد استفاده قرار می گیرد.

* در بر خورد با مسائل شامل جریان برگشتی می بایست دقت نمود که بنا به شرایط مسئله هر گاه که لازم بود
 موازنه ها را برقرار کنیم و دیگر این که اگر فرایند واکنش شیمیایی اتفاق می افتد باید اطلاعات لازم به خصوص درجه
 تکمیل واکنش توجه کرد.

مثال

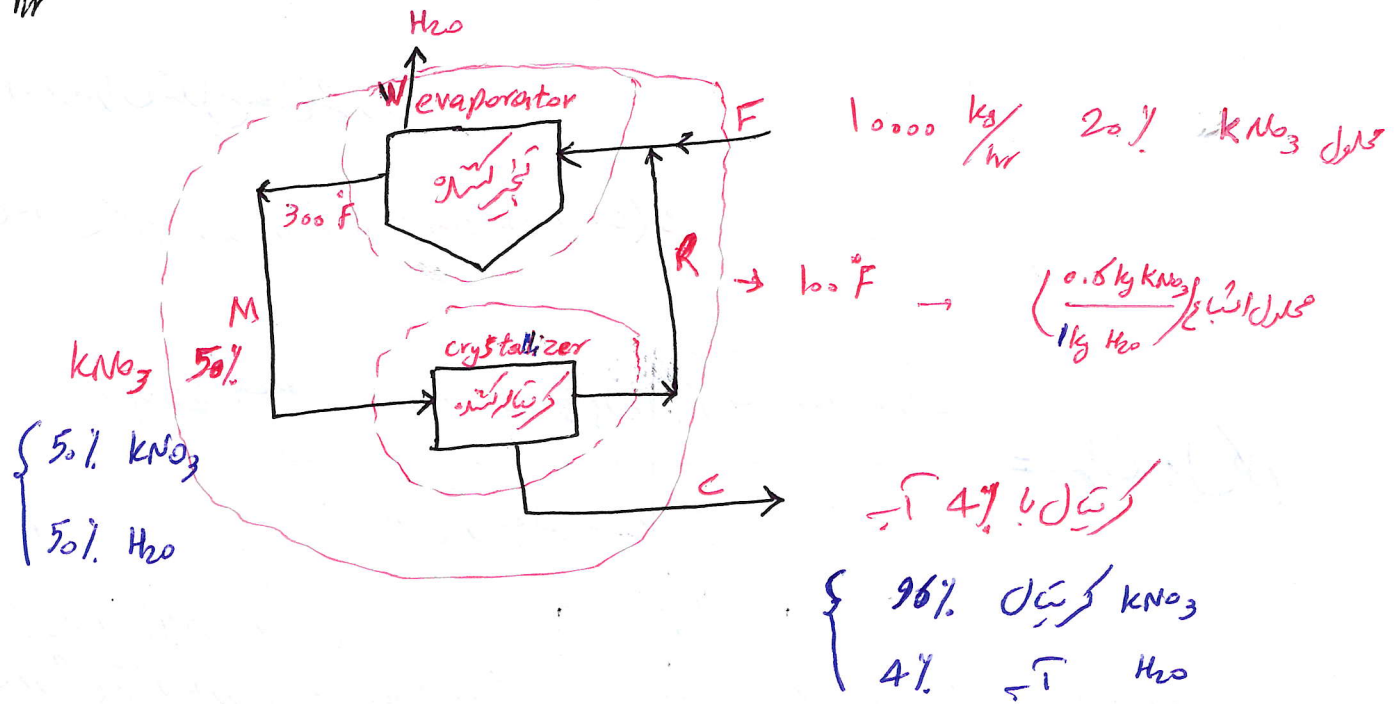
* یک ستون تقطیر، 10000 kg/hr از مخلوط متانول از 5% بنزن و 5% تولوئن را تغلیظ می کند.

محصول فوقانی برج پس از عبور از کندانسور محبوس 95% بنزن و مواد خروجه از قسمت تحتانی برج

دارای 9% تولوئن می باشد. در صورتی که بخار ورودی به کندانسور از قسمت فوقانی ستون 8000 kg/hr

است. چیزی از این محصول را به صورت جریان برگشتی (Return) به برج برگردانند و بقیه آن را جمع

مثال
نتایج مربوط به یک تبخیر کننده در شکل زیر مشاهده می شود. مطلوبیت نرخ تولید بر حسب kg/hr



موازنه حول کل سیستم:

$$F(0.2) = C(0.96)$$

میتواند: 10000 kg/hr خوراک

$$10000(0.2) = 0.96C \Rightarrow C = 2083.33 \text{ kg}$$

موازنه حول مایعور کننده: $M = C + R \Rightarrow M - R = 2083.33$

موازنه حول KNO_3 مایعور کننده: $0.5(M) = 0.96C + \frac{0.6}{1.6}R$

$$\begin{cases} M - R = 2083.33 \\ 0.5M - \frac{0.6}{1.6}R = 1999.99 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M = 2083.33 + R \\ 0.5(2083.33 + R) - 0.375R = 1999.99 \end{cases}$$

$$1041.67 + 0.5R - 0.375R = 1999.99 \Rightarrow 0.125R = 958.32$$

$$R = 7666.56 \text{ kg}$$

محصول و پ. ب. را بر حسب کمیت های موله بیان کنیم.

مبنای ۱۰۰ کیلوگرم از پ. ب.

$$82.6 \text{ kg HI} \propto \frac{1 \text{ kmol HI}}{128 \text{ kg HI}} = 0.64 \text{ kmol HI}$$

$$17.4 \text{ kg H}_2\text{O} \propto \frac{1 \text{ kmol H}_2\text{O}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} = 0.96 \text{ kmol H}_2\text{O}$$

$$x_{\text{HI}} = \frac{0.64}{0.64 + 0.96} = 0.4$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.96}{1.6} = 0.6$$

مبنای ۱۰۰ کیلوگرم محصول

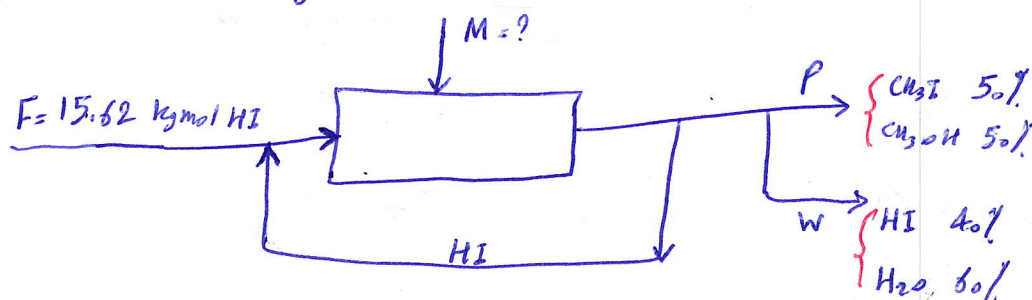
$$81.6 \text{ kg CH}_3\text{I} \propto \frac{1 \text{ kmol CH}_3\text{I}}{142 \text{ kg CH}_3\text{I}} = 0.57 \text{ kmol CH}_3\text{I}$$

$$18.4 \text{ kg CH}_3\text{OH} \propto \frac{1 \text{ kmol CH}_3\text{OH}}{32 \text{ kg CH}_3\text{OH}} = 0.57$$

$$x_{\text{CH}_3\text{I}} = \frac{0.57}{1.14} = 0.5$$

$$x_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{0.57}{1.14} = 0.5$$

$$2000 \text{ kg HI} \propto \frac{1 \text{ kmol HI}}{128 \text{ kg HI}} = 15.62 \text{ kmol HI}$$



79 / $15.62 = 0.6W + 0.4W \Rightarrow W = 15.62 \text{ kgmol}$

$$0.5p = 0.6(15.62) \Rightarrow p = 18.74 \text{ kgmol}$$

$$M = 18.74 \text{ kgmol}$$

$$18.74 \text{ kgmol CH}_3\text{OH} \propto \frac{32 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}} = 599.68 \text{ kg CH}_3\text{OH} / \text{day} \rightarrow M$$

* محدود کننده HI است، ضریب تکثیر برای HI 4٪، بنابراین 6٪ HI بدون استفاده باقی می ماند.

محلولان مولار HI را در اطراف راکتور برقرار کرد؛
مثلاً: یک روز

$$(2000 + R) 0.6 = R + (HI)_w$$

$$(HI)_w = 15.62 \text{ kgmol } W \propto \frac{40 \text{ kgmol HI}}{100 \text{ kgmol } W} \propto \frac{128 \text{ kg HI}}{1 \text{ kgmol HI}} = 799.74 \text{ kg HI}$$

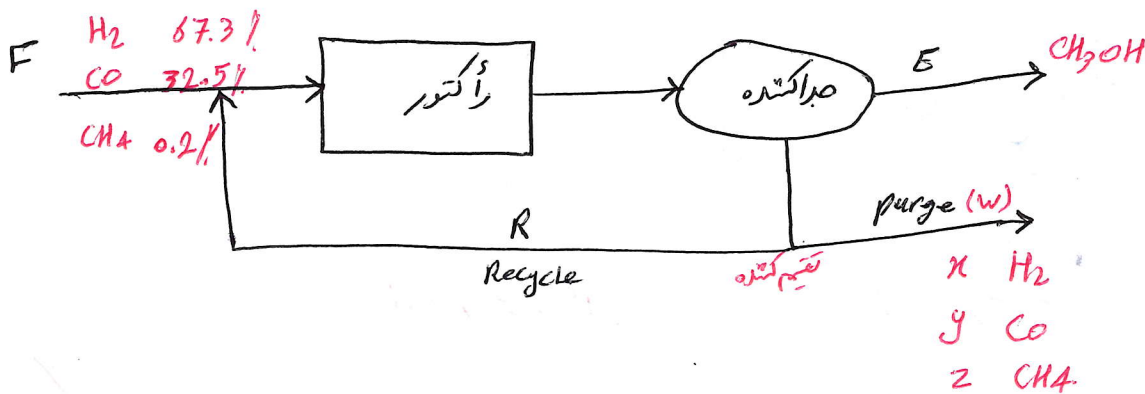
$$1200 + 0.6R = R + 799.74 \Rightarrow 0.4R = \overset{400.26}{1200 - 799.74}$$

$$R = \frac{400.26}{0.4} = 1000.65 \text{ kg/day}$$

در دروازه شکرکت نمی کند. با استفاده از یک جریان زدايش، غلظت CH_4 فرجه از جداکننده 81/

رادر 3.2% مول نگاه دارند. میزان تبدیل CO در یک گذران از راکتور 18% است.

مطلوبه تعداد مول ها در جریان برگشته و جریان زدايش و تعداد مول هاى CH_3OH به ازای هر مول از خوراک. همچنین ترکیب نسبی گازها، موجود در جریان زدايش را تعیین کنید.



$$H_{2 \text{ in}} = H_{2 \text{ out}}$$

مثلاً: 100 kgmol خوراک

$$67.3 \text{ kgmol } H_{2 \text{ in}} + \left(0.2 \text{ kgmol } CH_4 \times \frac{2 \text{ kgmol } H_2}{1 \text{ kgmol } CH_4} \right) = \left(E \text{ kgmol } CH_3OH \times \frac{2 \text{ kgmol } H_2}{1 \text{ kgmol } CH_3OH} \right) +$$

$$\left(2 \text{ kgmol } CH_4 \times \frac{2 \text{ kgmol } H_2}{1 \text{ kgmol } CH_4} \right) + x \text{ kgmol } H_2$$

$$67.7 \text{ kgmol in} = 2E + 2Z + x \quad (1)$$

$$C_{in} = C_{out}$$

$$\left(32.5 \text{ kgmol } CO \times \frac{1 \text{ kgmol } C}{1 \text{ kgmol } CO} \right) + \left(0.2 \text{ kgmol } CH_4 \times \frac{1 \text{ kgmol } C}{1 \text{ kgmol } CH_4} \right) = \left(E \text{ kgmol } CH_3OH \times \frac{1 \text{ kgmol } C}{1 \text{ kgmol } CH_3OH} \right)$$

$$67.7 = 2(26.45 + x) + 2(0.2) + x \Rightarrow 3x = 14.4$$

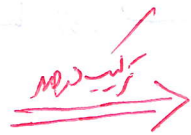
52.9 + 2x + 0.4 + x

$$x = 4.8$$

$$y = 6.05 - 4.8 = 1.25$$

$$\begin{cases} \text{H}_2 & x = 4.8 \\ \text{CO} & y = 1.25 \\ \text{CH}_4 & z = 0.2 \end{cases}$$

$w = 6.25$



$$\begin{cases} \text{H}_2 & \frac{4.8}{6.25} \times 100 = 76.8\% \\ \text{CO} & \frac{1.25}{6.25} \times 100 = 20\% \\ \text{CH}_4 & \frac{0.2}{6.25} \times 100 = 3.2\% \end{cases}$$

* ترکیب در R و W با یکدیگر برابرند (purge)

$$\begin{cases} \text{H}_2 & 76.8\% \\ \text{CO} & 20\% \\ \text{CH}_4 & 3.2\% \end{cases}$$

R ترکیب در R

$$E = 26.45 + 4.8 = 31.25$$

تعداد مول های متانول خروجی به ازای 100 مول خوراک

$$\frac{31.25}{100} = 0.3125 \rightarrow$$

تعداد مول متانول خروجی به ازای یک مول خوراک

CO بدون استفاده در هر بار عبور 18% \Rightarrow 82% \rightarrow CO بدون استفاده در هر بار عبور

$$\text{CO} \xrightarrow{32.5 + 0.2R} \text{راکتور} \xrightarrow{1.25 + 0.2R} \text{CO}$$

* موازنه C حول راکتور

$$(32.5 + 0.2R) \times 0.82 = 1.25 + 0.2R$$

مقدار CO بدون استفاده در هر بار عبور

$$26.65 + 0.164R = 1.25 + 0.2R \Rightarrow 0.036R = 25.4$$

$$R = 705.56$$

موازنه جرم کل برای مرحله 2

$$P_1 + \text{hot air} = P_2 + W_2 \Rightarrow 90 + 80 = P_2 + W_2$$

موازنه A حول ح 2 مرحله 2

$$0.5(90) = 0.75(P_2) \Rightarrow P_2 = 60 \text{ kg}$$

$$170 - 60 = W_2 \Rightarrow W_2 = 110 \text{ kg}$$

موازنه H_2O حول ح 2 مرحله 2

$$0.5(90) + 0.05(80) = x_{H_2O}(110) + 0.25(60)$$

$$x_{H_2O} = 0.131$$

2 مرحله 2

موازنه جرم کل برای مرحله 3

$$P_2 + \text{hot air} = P_3 + W_3 \Rightarrow 60 + 80 = 50 + W_3$$

$$W_3 = 90 \text{ kg}$$

موازنه H_2O برای مرحله 3

$$0.25(60) + 0.05(80) = 0.1(50) + x_{H_2O}(90)$$

$$x_{H_2O} = 0.16$$

3 مرحله 3

* برای آن که بتوان مشخصات حجمی گازها را با یکدیگر مقایسه کرد، چندین حالت معارف را از نظر دما و فشار

بگیرند و اند.

حجم واحد مول یا حجم



System	T	P	\hat{V}
SI	273.15 K	101.325 kPa	22.41 $\frac{\text{m}^3}{\text{kg mol}}$
Universal scientific (US)	0.0 °C	760 mmHg	22.41 $\frac{\text{lit}}{\text{g mol}}$
Natural gas industry	60.0 °F	14.696 psia	379.4 $\frac{\text{ft}^3}{\text{lb mol}}$
American engineering	32 °F	1 atm	359 $\frac{\text{ft}^3}{\text{lb mol}}$

* حجمی را که توسط 4.0 kg از CO_2 در شرایط معارفی اشغال می شود را بر حسب متر مکعب بدست آوریم.

Standard condition

$$4.0 \text{ kg CO}_2 \times \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} \times \frac{22.41 \text{ m}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ kg mol CO}_2} = 20.4 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 \text{ at S.C.}$$

* در کاربرد معادله گاز کامل در یک فرایند، وقتی از شرایط اولیه به شرایط نهایی می رسم، می توان نسبت حجم = متناظر را به شکل گره ها بدون بدون بعد به صورت زیر بدست آورد:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{n_1 R T_1}{n_2 R T_2}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} \right) \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \left(\frac{T_1}{T_2} \right)$$

89/ $V_2 = 2.0 \text{ ft}^3$ $T_2 = 303.15 \text{ K}$

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \left(\frac{T_1}{T_2}\right) \Rightarrow \frac{14.7 \text{ psia}}{P_2} \times \frac{81.59 \text{ ft}^3}{2.0 \text{ ft}^3} = \frac{273.15 \text{ K}}{303.15 \text{ K}}$$

$$P_2 = \frac{14.7}{0.221} = 66.52 \text{ psia}$$

مطلق ← مطلق ← مطلق

$$66.52 - 14.7 = 51.82$$

$$66.49 - 14.7 = 51.79$$

$$PV = nRT$$

$$n = 1.16 \times \frac{1 \text{ lbmol}}{4.416} = 0.227$$

$$R = 10.73 \frac{\text{psia} \cdot \text{ft}^3}{\text{lbmol} \cdot \text{R}}$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.227 \times 10.73 \times 546}{2.0}$$

$$P = 66.49 \text{ psia}$$

* 2.0 ft^3 نیتروژن در 300 psig و 100°F و 3.0 ft^3 اکسیژن در 200 psig و 340°F درون یک ظرف

15 ft^3 نیتروژن در 70°F سرد می‌شود. فشار جزئی هر ترکیب را در ظرف 15 ft^3 بیابید. فرض می‌شود

قانون گاز کامل بکار آید.

مسئله می‌تواند به وسیله تعیین تعداد مول‌های اکسیژن و نیتروژن حل شود و مثلاً می‌تواند به این روش حل شود.

N_2

$$V = 2.0 \text{ ft}^3$$

$$P = 300 \text{ psig} + 14.7 = 314.7 \text{ psia}$$

$$T = 100^\circ \text{F} = 560^\circ \text{R}$$

$$n_{N_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{314.7 \times 2.0}{10.73 \times 560} = 1.05 \text{ lbmol}$$

$$n_{\text{total}} = n_{N_2} + n_{O_2} = 1.05 + 0.75 = 1.80 \text{ lbmol}$$

$$P_{\text{total}} = \frac{n_{\text{total}} RT}{V} = \frac{1.80 \times 10.73 \times 530}{15} = 682 \text{ psia}$$

O_2

$$V = 3.0 \text{ ft}^3$$

$$P = 200 \text{ psig} + 14.7 = 214.7 \text{ psia}$$

$$T = 340^\circ \text{F} = 800^\circ \text{R}$$

$$n_{O_2} = \frac{214.7 \times 3.0}{10.73 \times 800} = 0.75 \text{ lbmol}$$

91/ $P = 14.7 \text{ psia}$, $\hat{V} = 359 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}}$, $T = 492 \text{ R}$ (1)

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{14.7 \times 359}{492} = 10.73 \frac{\text{psia} \cdot \text{ft}^3}{\text{R} \cdot \text{lbmol}}$$

$P = 1 \text{ atm}$, $\hat{V} = 22.415 \frac{\text{cm}^3}{\text{gmol}}$, $T = 273.15 \text{ K}$ (2)

$$R = \frac{1 \times 22.415}{273.15} = 82.06 \frac{\text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{gmol}}$$

$P = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (N/m^2) , $\hat{V} = 22.415 \frac{\text{m}^3}{\text{kgmol}}$, $T = 273.15$ (3)

$$R = \frac{(1.013 \times 10^5) \times 22.415}{273.15} = 8.313 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{kgmol}} = 8.313 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kgmol}}$$

* R با وجود آنکه ثابت عمومی گازها نامیده می شود دلایل یک مقدار معین نیست بلکه مقدار آن بستگی به واحدهای \hat{V} ، P و T دارد

* همیشه نه توسط 88 lb از CO_2 در فشار 32.2 ft H_2O و 15°C اشغال می شود را محاسبه کنید

$P = 33.91 \text{ ft H}_2\text{O}$, $\hat{V} = 359 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}}$, $T = 273$ (5.C) شرایط متعارف

$$\frac{P_1}{P_2} \propto \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \propto \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{33.9}{32.2} \propto \frac{359}{V_2} = \frac{1}{88 \text{ lb} \propto \frac{11 \text{ lbmol}}{44 \text{ lb}}} \propto \frac{273}{288}$$

$$V_2 = \frac{376.15}{0.475} = 793.58 \text{ ft}^3 \text{ at } 32.2 \text{ ft H}_2\text{O and } 15^\circ \text{C}$$

$$R = 10.73 \frac{\text{psia} \cdot \text{ft}^3}{^\circ\text{R} \cdot \text{lbmol}}$$

مقدار R:

$$R = 82.06 \frac{\text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{gmol}}$$

$$R = 8.313 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{kgmol}}$$

$$R = 8.313 \frac{\text{kJ}}{\text{K} \cdot \text{kgmol}}$$

$$R = 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kgmol} \cdot \text{K}}$$

* R با وجود آن که ثابت عمومی گازها نامیده می شود دارای یک مقدار معین نیست بلکه مقدار

آن بستگی به واحدهای p ، \hat{V} و T دارد.

$$Sp.gr = \frac{P_{N_2 \text{ at } 80^\circ F \text{ and } 745 \text{ mmHg}}}{P_{air \text{ at STP}}} = \frac{\frac{P_{N_2} \cdot M_{N_2}}{R \cdot T_{N_2}}}{\frac{P_{air} \cdot M_{air}}{R \cdot T_{air}}} = \frac{P_{N_2} \cdot M_{N_2} \cdot T_{air}}{P_{air} \cdot M_{air} \cdot T_{N_2}} = \frac{745 \times 28 \times (32+46)}{760 \times 29 \times (80+46)}$$

$$Sp.gr = \frac{1.0263120}{119.1600} = 0.862 \quad \frac{\frac{lb_{N_2}}{ft^3} \text{ N}_2 \text{ at } 80^\circ F \text{ and } 745 \text{ mmHg}}{\frac{lb_{air}}{ft^3} \text{ air at STP}}$$

$$Sp.gr = \frac{P_{N_2} \cdot M_{N_2} \cdot T_{air}}{P_{air} \cdot M_{air} \cdot T_{N_2}} = \frac{M_{N_2}}{M_{air}} = \frac{28}{29} = 0.966$$

(2)

* نکته: وقتی گاز مورد نظر و گاز مرجع در دما و فشار یکسان باشند، چگال برابر باشد و جرم های مساوی گازها خواهد بود.

* تمرین: چگال CH_4 در $70^\circ F$ و فشار 2 atm در مقایسه با هوا در شرایط معارف را محاسبه کنید.

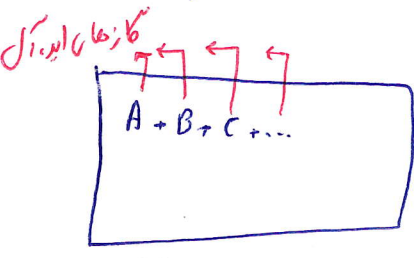
$$Sp.gr = \frac{P_{CH_4 \text{ at } 70^\circ F \text{ and } 2 \text{ atm}}}{P_{air \text{ at STP}}} = \frac{P_{CH_4} \cdot M_{CH_4} \cdot T_{air}}{P_{air} \cdot M_{air} \cdot T_{CH_4}} = \frac{2 \times 16 \times (32+46)}{1 \times 29 \times (70+46)} = \frac{15744}{15370}$$

$$Sp.gr = 1.024$$

* قانون فشارهای جزئی دالتون:

1. گازهای تشکیل دهنده ایده آل باشند. 2. دما و حجم ثابت باشند. $T, V = Cte$

فشار کل حاصل از مخلوط گازها ایده آل برابر است با مجموع فشارهای جزئی هر یک از گازهای تشکیل دهنده این مخلوط.



$$P_t = P_A + P_B + P_C + \dots = \sum_{i=1}^n P_i$$

قانون دالتون

$$V, T = Cte$$

$$y_i = \frac{n_i}{n_{tot}} = \frac{V_i P / RT}{V_{tot} P / RT} = \frac{V_i}{V_{tot}} \Rightarrow$$

$$V_i = y_i V_{tot}$$

↓ حجم جزئی
↓ فشار جزئی
↓ حجم کل مخلوط

مثال
* اتاق بدون متغذ دارای حجم 1000 m^3 است. اتاق مذکور محتوی هوا (متشکل از 0.21 O_2 و 0.79 N_2) در

20°C و فشار کل یک اتمسفر میباشد.

الف) حجم جزئی O_2 در اتاق چیست؟

ب) حجم جزئی N_2 در اتاق چیست؟

ج) فشار جزئی O_2 در اتاق چیست؟

د) فشار جزئی N_2 در اتاق چیست؟

ه) اگر تمام O_2 را بویلیز از اتاق خارج کنیم، فشار کل گاز داخل اتاق چه خواهد شد؟

$$V_i = y_i V_{tot}$$

$$V_{\text{O}_2} = (0.21)(1000) = 210 \text{ m}^3 \text{ O}_2 \text{ at } 20^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}$$

$$V_{\text{N}_2} = (0.79)(1000) = 790 \text{ m}^3 \text{ N}_2 \text{ at } 20^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}$$

$$P_i = y_i P_{tot}$$

$$P_{\text{O}_2} = (0.21)(1 \text{ atm}) = 0.21 \text{ atm when } V = 1000 \text{ m}^3 \text{ at } 20^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{N}_2} = (0.79)(1 \text{ atm}) = 0.79 \text{ atm when } V = 1000 \text{ m}^3 \text{ at } 20^\circ\text{C}$$

ه) اگر هوای خشک در اتاق بدون متغذ وجود داشته باشد و اکسیژن هوا را به توسط یک واکنش شیمیایی حذف نماییم

فشار بقیه فشار 0.79 اتمسفر را نشان خواهد داد. که فشار جزئی مربوط به ازت و گازهای خنثی موجود در هوا میباشد.

تقریبی
* تجزیه یک گاز دودکش به قرار $1/14 \text{ CO}_2$ ، $6/16 \text{ O}_2$ و $8/80 \text{ N}_2$ است. این گاز در دما 400°F و فشار

$$y_{\text{CO}_2} = 0.14 \text{ , } y_{\text{O}_2} = 0.06 \text{ , } y_{\text{N}_2} = 0.80$$

765 mmHg میباشد. دما را تغییر ندهد.

97/ ^{نکته} * α و b ثابت‌های هستند که برای هر گاز از طریق آزمایش بدست می‌آید و مقادیر آن‌ها در جدول ۲-۳ هیل بلوم موجود هستند.
(جدول ۲-۳ کتاب هیل بلوم)

^{مثال} * مخزن: حجم 5 ft^3 متغیر 5 lb پروپان (C_3H_8) را زیر فشار ثابت و دما قرار داده‌اند. فشاری 665 psia

را نشان می‌دهد. دمای پروپان داخل مخزن چیست؟ از معادله واندروالس استفاده کنید.

$$\alpha = 34890.24 \text{ psia} \left(\frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}} \right)^2$$

$$b = 1.45 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}}$$

$$\left(P + \frac{n^2 \alpha}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

$$P = 665 \text{ psia} + 14.7 = 679.7 \text{ psia}$$

$$n = 5 \text{ lb} \times \frac{1 \text{ lbmol C}_3\text{H}_8}{44 \text{ lb C}_3\text{H}_8} = 1.137 \text{ lbmol}$$

$$R = 10.73 \frac{(\text{psia})(\text{ft}^3)}{(\text{lbmol})(\text{R})}$$

$$\left(679.7 + \frac{(1.137)^2 (34890.24)}{5^2} \right) (5 - (1.137)(1.45)) = 1.137 (10.73) T$$

$$T = 712.59 \text{ R} = 213 \text{ F}$$

^{نکته} * تعدیل از معادله حالت در جدول ۲-۳ کتاب هیل بلوم آمده می‌شود.

^{تمرین}

* 7 پوند نیتروژن در دمای 120 F در یک سیلندر با حجم 0.75 ft^3 ذخیره شده است. فشار سیلندر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید (بر حسب اتمسفر):

۱. فرض شود N_2 گاز ایده‌آل است.

۲. فرض شود N_2 منطبق با معادله واندروالس محاسبه شود.

۳. استفاده از روش فاکتور تراکم نیتروژن

99/
$$\hat{V}_c = \frac{RT_c}{P_c} = \frac{(0.7302)(227)}{(33.5)} = 4.95 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb mol}}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{580^\circ \text{R}}{227^\circ \text{R}} = 2.56$$

$$V_r = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_c} = \frac{0.75 / 0.25}{4.95} = 0.61$$

با استفاده از $T_r = 2.56$ و $V_r = 0.61$ از نمودارهای موجود در کتاب Z و P_r را خوانیم.

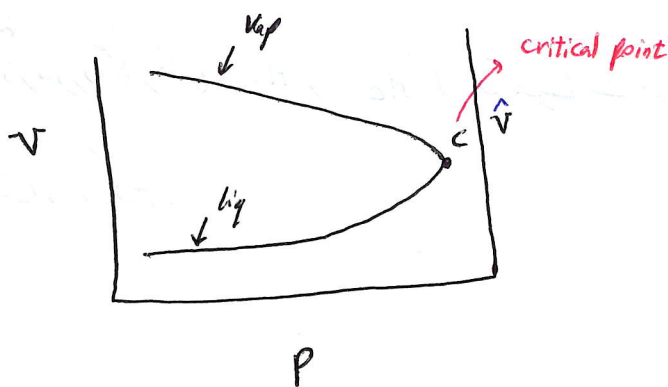
$$Z = 1.05 \quad P_r = 4.5$$

$$P = \frac{znRT}{V} = \frac{(1.05)(0.25)(10.73)(580)}{0.75} = 2178 \text{ psia } (148 \text{ atm})$$

یا با استفاده از $P_r \Rightarrow P = P_r \cdot P_c = 4.5(33.5) = 151 \text{ atm}$

* حالت بحرانی، کمیت‌های خاص یافته و تراکم پذیر است:

حالت بحرانی: واسطه‌ای از حالت گاز - مایع و عبارت است از شرایط فیزیکی خاص که تحت آن هاء، حجم ویژه و سایر مشخصات



مایع و بخار به صورتی کاملاً یک دردی اند.

همان‌طور که از شکل بالا مشخص است، با افزایش فشار، حجم هاء ویژه، مایع و بخار به یکدیگر نزدیک شده و بالاخره

در نقطه c، کاملاً برابر می‌شوند. این نقطه در مورد یک جسم خالص (نقطه) بالاترین دمای است که در آن مایع

$$Z_c = \frac{P_c \hat{V}_c}{R T_c}$$

* ضریب تراکم پذیری مجاز به صورت زیر تعریف می شود:

* چنانچه مقدار گاز آمونیاک در مخزن که فشار پنج فشار آن را 292 psig نشان داده و دما آن 125°F و حجم

مخزن 120 ft³ باشد با استفاده از معادله ضریب تراکم پذیری حجم آمونیاک موجود در مخزن را می بیند.

$$P = 292 \text{ psig} + 14.7 = 306.7 \text{ psia}$$

$$PV = znRT$$

$$z = f(T_r, P_r)$$

$$T = 125^\circ \text{F} + 460 = 585^\circ \text{R}$$

$$V = 120 \text{ ft}^3$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}, \quad P_r = \frac{P}{P_c}$$

$$M_{\text{NH}_3} = ?$$

از ضمیمه D کتاب برای NH_3 مقادیر T_c و P_c را می خوانیم.

$$T_c = 405.5 \text{ K}$$

$$P_c = 111.3 \text{ atm} \propto \frac{14.7 \text{ psia}}{1 \text{ atm}} = 1636.11$$

$$T_R = 1.8 T_K = 1.8 (405.5) = 729.9^\circ \text{R}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{585}{729.9} = 0.80$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{306.7}{1636.11} = 0.19$$

$$Z \approx 0.85$$

از شکل ۳-۷ کتاب با استفاده از T_r و P_r ، Z را می خوانیم.

$$PV = znRT \Rightarrow n = \frac{PV}{zRT} = \frac{(306.7)(120)}{(0.85)(1636.11)(585)} = \frac{3680.4}{5335.5} = 6.9 \text{ lbmol NH}_3$$

$$6.9 \text{ lbmol NH}_3 \propto \frac{17 \text{ lb NH}_3}{1 \text{ lbmol NH}_3} = 117.26 \text{ lb NH}_3$$

به گازی که دما و آن پایش تر از دمای بخار باشد، معمولاً بخار اطلاق می شود زیرا قابلیت میعان دارد. اگر گاز خالص را در یک دما ثابت، پایش تر از دمای بخار آن به طور مداوم متراکم کنند، در نهایت به فشاری خواهند رسید که گاز شروع به میعان خواهد کرد. متراکم بیشتر، فشار گاز را افزایش خواهد داد و نتایج میعان نیز، بیشتر از گاز خواهد شد.

کلمه گاز یا گاز غیر قابل میعان را در مورد گازی به کار خواهیم برد که بالاتر از نقطه بخار آن قرار داشته و یا در فرایند شرکت کند که در آن عمل میعان انجام نگیرد.

فشار بخار: فشاری که در اثر تبخیر مولکول های یک ماده خالص ایجاد می شود را فشار بخار آن ماده می نامند. (فشار بخار تابع دما و جنس ماده است)

* تبخیر میعان در فشار و دما ثابت به نحوی تعادل هستند و متعادل را فشار بخار می گویند.

* هر چه دما از این نقطه میعان نقطه جوش نزاع را دما در نظر می گیرند که در آن عمل جوش در فشار یک اتمسفر انجام می شود.

* هر چه قدر ولایت ماده بیشتر باشد، فشار بخار آن نیز بیشتر است. با افزایش دما، جنب و جوش ذرات بیشتر می شود و فشار بخار نیز افزایش می یابد.

* یک روش برای بدست آوردن فشار بخار استفاده از معادله تجربی آنتوان است.

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

فشار بخار ↑
T ← دما

* A, B, C ثابت های معادله هستند که لزومی نیست که به اشتغال می شوند.

1.5

$$\hat{V}_{vap} = 11.77 \frac{ft^3}{lb} \alpha \left(\frac{1m}{3.28ft} \right)^3 \alpha \frac{1lb}{0.454kg} = 0.726 \frac{m^3}{kg}$$

$$\hat{V}_{liq} = 0.0178 \frac{ft^3}{lb} \alpha \left(\frac{1m}{3.28ft} \right)^3 \alpha \frac{1lb}{0.454kg} = 0.00105 \frac{m^3}{kg}$$

$$0.505 = 0.726x + 0.00105 - 0.00105x \Rightarrow 0.72495x = 0.504999$$

$$x = 0.694$$

* در دمای 44.0 K حجم و وزن بخار هم برابر 0.186 $\frac{m^3}{kg}$ است، کیفیت این بخار چقدر است؟ تمرین

$$T_F = 1.8(44.0) - 460 \Rightarrow T_F = 332^\circ F$$

$$\hat{V}_{liq} = 0.01779 \frac{ft^3}{lb}$$

$$\hat{V}_{tot} = x \hat{V}_{vap} + (1-x) \hat{V}_{liq}$$

$$\hat{V}_{vap} = 4.1745 \frac{ft^3}{lb}$$

$$0.186 = x(0.2575) + (1-x)(0.0011)$$

$$0.186 - 0.0011 = 0.2575x - 0.0011x \Rightarrow x = \frac{0.1849}{0.2586} = 0.7211$$

$$\hat{V}_{liq} = 0.01779 \frac{ft^3}{lb} \alpha \left(\frac{1m}{3.28ft} \right)^3 \alpha \frac{1lb}{0.454kg} = 0.0011 \frac{m^3}{kg}$$

$$\hat{V}_{vap} = 4.1745 \frac{ft^3}{lb} \alpha \left(\frac{1m}{3.28ft} \right)^3 \alpha \frac{1lb}{0.454kg} = 0.2575 \frac{m^3}{kg}$$

* با فرض آن که قانون گاز کامل در مورد هوا و بخار آب صادق باشد (که با دقت بسیار زیاد صادق است) می توانیم

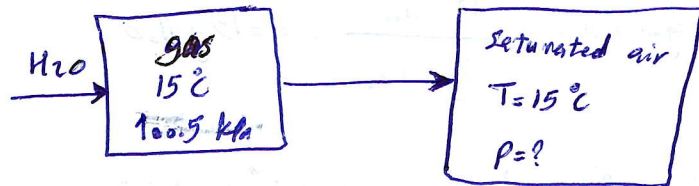
نگوییم که روابط زیر در حالت انبساط جزو اکبر و باشد:

$$\frac{P_{air}}{P_{H_2O}} = \frac{n_{air}}{n_{H_2O}}$$

در دمای ثابت

$$\frac{P_{air}}{P_{atm}} = \frac{V_{air}}{V_{atm}} \Rightarrow \frac{5.93}{94.07} = \frac{3.157}{V_{air}} \Rightarrow V_{air} = 50.08 \text{ m}^3 \text{ at } 20^\circ\text{C and } 100 \text{ kPa}$$

تمرین
اگر آب کافی در ظرف محلول گاز خشک در 15°C و 100.5 kPa اضافه نشود، تا کاملاً اشباع نشود، فشار مطلق ظرف پس از اشباع چه خواهد بود؟ دما و حجم ظرف ثابت باقی می ماند.

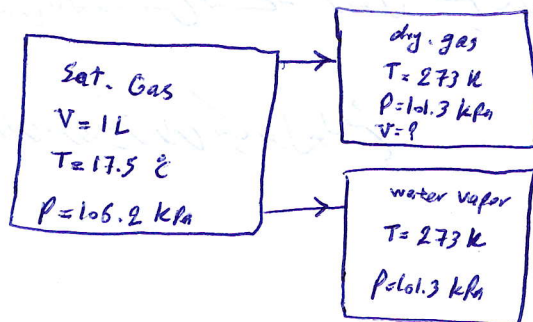


فشار بخار آب در 15°C برابر 1.7 kPa می باشد

$$P_t = P_{gas} + P_{H_2O} = 100.5 + 1.7 = 102.2 \text{ kPa}$$

تمرین
یک گاز اشباع با بخار آب در یک تانک به حجم 1 L در 17.5°C و فشار 106.2 kPa قرار دارد. حجم گاز خشک

در شرایط استاندارد چقدر است؟ تعداد گرم های بخار آب در حضور این گاز چقدر است؟



در شرایط اولیه، فشار کل، مجموع فشار گاز و فشار بخار آب.

است. در مرحله اول فشار گاز خشک با فرض دما و حجم ثابت

واقع می شود.

$$P_{H_2O}^* = P_{H_2O} = 2 \text{ kPa at } 17.5^\circ\text{C}$$

$$P_{tot} = P_{H_2O} + P_{gas} \Rightarrow P_{gas} = 106.2 - 2 = 104.2$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{T_1}{T_2}\right) \Rightarrow \left(\frac{104.2}{101.3}\right) \left(\frac{1}{V_2}\right) = \left(\frac{290.5}{273}\right) \Rightarrow V_2 = 0.97 \text{ L at S.C.}$$

$$\frac{P_{air}}{P_{toluen}} = \frac{n_{air}}{n_{toluen}} = \frac{731.78}{28.22} = 25.93$$

از آنجا که نسبت مول $\frac{air}{toluen}$ مورد نیاز برای امزج کامل 42.9 میباشد و در اینجا نسبت مول آن ها 25.93 میباشد، بنابراین میزاً هوا کافی نمیباشد.

* تعادل گاز-مایع در سیستم های چند سازنده ای: قانون راؤولت:

مشارعاری: $P_i = P_i^* \cdot x_i$ \rightarrow حیزد مولی در فاز مایع

مشارعاری: P_i \rightarrow فشار جزئی

از طرفی از قانون دالتون داریم: $P_i = P_t \cdot y_i$

$$P_i^* \cdot x_i = P_t \cdot y_i \Rightarrow \frac{P_i^*}{P_t} = \frac{y_i}{x_i}$$

حیزد مولی در فاز گاز \rightarrow $\frac{y_i}{x_i}$

مشارعاری: P_i^* \rightarrow فشار بخار حیزد

مشارعاری: P_t \rightarrow فشار کل

* فشار بخار تoluene و اوکتان در دمای ۹۰ دان شود است. اگر فشار جو ۰.۵ atm باشد، ترکیب محلول را که در ۹۰ و صورت حساب کنید. ترکیب بخار تoluene و اوکتان بدست آورید.

$P_t^* = 400 \text{ mmHg}$

حواص:

$$P_o^* = 150 \text{ mmHg}$$

$$P_{tot} = P_t + P_o = x_t \cdot P_t^* + x_o \cdot P_o^* = x_t \cdot P_t^* + (1 - x_t) P_o^*$$

$$\frac{780}{2} = 400 x_t + (1 - x_t) 150 \Rightarrow \begin{cases} x_t = 0.92 \\ x_o = 0.08 \end{cases}$$

$$P_{tot} y_t = P_t^* x_t \Rightarrow y_t = \frac{P_t^*}{P_{tot}} \cdot x_t = \frac{400}{(\frac{780}{2})} \cdot 0.92 = 0.968$$

$$y_o = 1 - y_t = 1 - 0.968 = 0.032$$

$$\ln(P_{C6}^*) = 15.8366 - \frac{2697.55}{394.15 - 48.78} \Rightarrow P_{C6}^* = 3059.48 \text{ mmHg}$$

$$\ln(P_{C7}^*) = 15.8737 - \frac{2911.32}{394.15 - 56.51} \Rightarrow P_{C7}^* = 1409.51 \text{ mmHg}$$

$$x_{C6} = \frac{1520 - 1409.51}{3059.48 - 1409.51} = 0.067$$

$$y_{C6} = \left(\frac{3059.48}{1520} \right) (0.067)$$

$$y_{C6} = 0.135$$

$$y_{C7} = 1 - y_{C6} = 1 - 0.135 = 0.865$$

$$x_{C7} = 1 - 0.067 = 0.933$$

* قانون هنری: اغلب قانون هنری در مورد سازندهای به کار رفته در دیتا برای آن نزدیک به صفر باشد. مانند گاز رقیق که

$$P_i = H_i \cdot x_i$$

در یک مایع حل شده است.

* انشباع جزئی و رطوبت: در اغلب اوقات زمانیکه ما یک گاز را در مایع به منظور برقراری حالت تعادل (یا انشباع)

بسیار طولانی است و گاز به طور کامل از بخار انشباع نخواهد شد. در این صورت بخار در حال تعادل با گاز مایع نبوده و فشار

جزئی بخار کمتر از فشار بخار مایع در همان دما است. این شرایط را انشباع جزئی می نامند.

* انشباع نسبی:

$$R.S = \frac{P_{vap}}{P_{sat}}$$

مشارع جزئی بخار در مخلوط گاز

مشارع جزئی بخار در مخلوط اگر گاز

در دمای مخلوط از بخار انشباع باشد.

$$R.S = \frac{P_{vap}}{P_{vap}^*}$$

Relative Saturation
انشباع نسبی

* اشباع مطلق: اشباع مطلق به صورت نسبت مول های بخار به لاری هر مول گاز عاری از بخار در مخلوط

مورد نظر به مول های بخار به لاری واحد مول گاز عاری از بخار در مخلوط که در دما و فشار کل موجود به حالت کاملاً اشباع

absolute saturation

با ندر بیان می شود:

$$A.S = \frac{\left(\frac{\text{mol vap}}{\text{mol vap. free gas}} \right)_{\text{actual}}}{\left(\frac{\text{mol vap}}{\text{mol vap free gas}} \right)_{\text{saturated}}}$$

$$\text{درصد اشباع مطلق} = (\text{اشباع نسبی}) \left(\frac{P_t - P_{\text{vap}}^*}{P_t - P_{\text{vap}}} \right) 100$$

* درصد اشباع مطلق همواره کمتر از اشباع نسبی است مگر در شرایط اشباع (یا اشباع منورده) که در این حالت:

$$\text{اشباع مطلق} = \text{درصد اشباع نسبی}$$

* اشباع مطلق به صورت زیر نیز تعریف می شود:

$$A.S = \frac{\frac{P_A}{P_t - P_A}}{\frac{P_A^*}{P_t - P_A^*}} = \frac{\frac{P_{\text{vap}}}{P_t - P_{\text{vap}}}}{\frac{P_{\text{vap}}^*}{P_t - P_{\text{vap}}^*}}$$

* رطوبت نسبی: رطوبت نسبی به مول یا مطلق در فرمول های فوق به جای vap از H₂O یا بنی استفاده کرد.

* گاز هلیوم محصور 12/ حجم لیتل است که است. مخلوط به: $P_{\text{EtAc}}^* \text{ at } 3.0^\circ\text{C} = 15.9 \text{ kPa (119 mm Hg)}$

از یک به های مجموع

درصد اشباع نسبی

درصد اشباع مطلق مخلوط در دما 3.0 °C و فشار 98 kPa

نکته: اگر نقطه شبنم یک مخلوط در دست باشد، فشار جزئی بخار آب در آن مخلوط نیز معلوم خواهد بود.

نکته: وقتی که یک گاز غیر اشباع را در فشار ثابت سرد کنیم، حجم مخلوط ممکن است اندکی تغییر نماید، ولی فشارهای جزئی هوا و بخار آب

تأثیر در نقطه شبنم ثابت خواهد ماند. در این نقطه آب شروع به یخ کردن خواهد کرد ولی از این پس با کاهش دما، هوا همچنان اشباع باقی خواهد ماند و تنها آب بیشتر از فاز بخار وارد فاز مایع خواهد شد.

مثال: دمای هوای مقدار ظهر یک نفر مرطوب $90^\circ F$ و رطوبت نسبی 80% است. هوای فشار 738 mmHg را نشان می دهد. اگر دما در شب به $68^\circ F$ سقوط کند (از هوای فشار 745 mmHg قرائت می شود) چند درصد از آب موجود در هوای

$$P_{H_2O}^* \text{ at } 90^\circ F = 36.1 \text{ mmHg}$$

مقدار ظهر به شکل شبنم در خواهد آمد؟

$$P_{H_2O}^* \text{ at } 68^\circ F = 17.5 \text{ mmHg}$$

تشکیل شبنم در شب به این معنی است که هوا در $68^\circ F$

بایستی کاملاً اشباع باشد.

$$R.H = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^*} \Rightarrow 0.8 = \frac{P_{H_2O}}{36.1} \Rightarrow P_{H_2O} = 28.9 \text{ mmHg}$$

فشار جزئی بخار آب در هوای روز

$$P_{H_2O} = \gamma_{H_2O} P_{H_2O}^* \Rightarrow P_{H_2O} = 1 \times 17.5 = 17.5 \text{ mmHg}$$

(مافون از این) فشار جزئی بخار آب در هوای شب

$$P_t = P_{air} + P_{H_2O} \Rightarrow \begin{cases} P_{air} = 738 - 28.9 = 709.1 \text{ mmHg} \\ P_{air} = 745 - 17.5 = 727.5 \text{ mmHg} \end{cases}$$

در روز

در شب

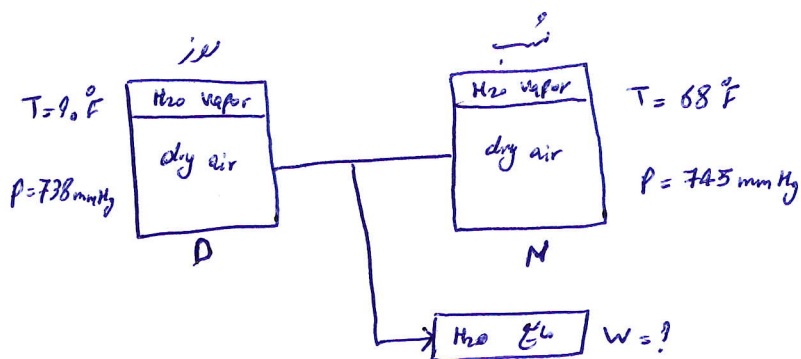
ترکیب	روز	شب	مبنای: 738 lbmol از هوای مرطوب به حجم
air هوا	$\frac{1 \text{ lbmol} = \text{فشار جزئی}}{709.1}$	$\frac{1 \text{ lbmol} = \text{فشار جزئی}}{727.5}$	
H_2O آب	$\frac{28.9}{738.0}$	$\frac{17.5}{745.0}$	

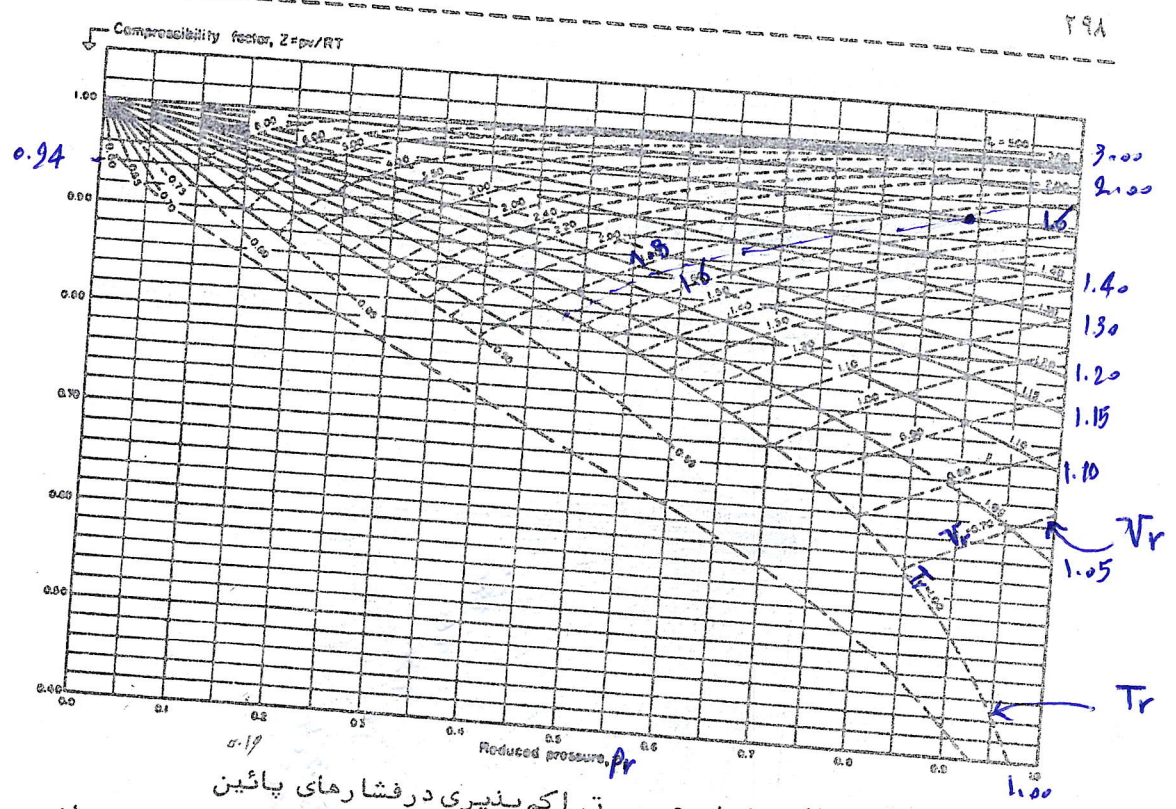
$$17.5 \text{ lbmol H}_2\text{O in night air} \propto \frac{709.1 \text{ lbmol air}}{727.5 \text{ lbmol air}} = 17.1 \text{ lbmol H}_2\text{O}$$

$$28.9 - 17.1 = 11.8 \text{ lbmol H}_2\text{O deposited as dew}$$

$$\frac{11.8}{28.9} \times 100 = 41\%$$

- *Calculation of relative humidity*





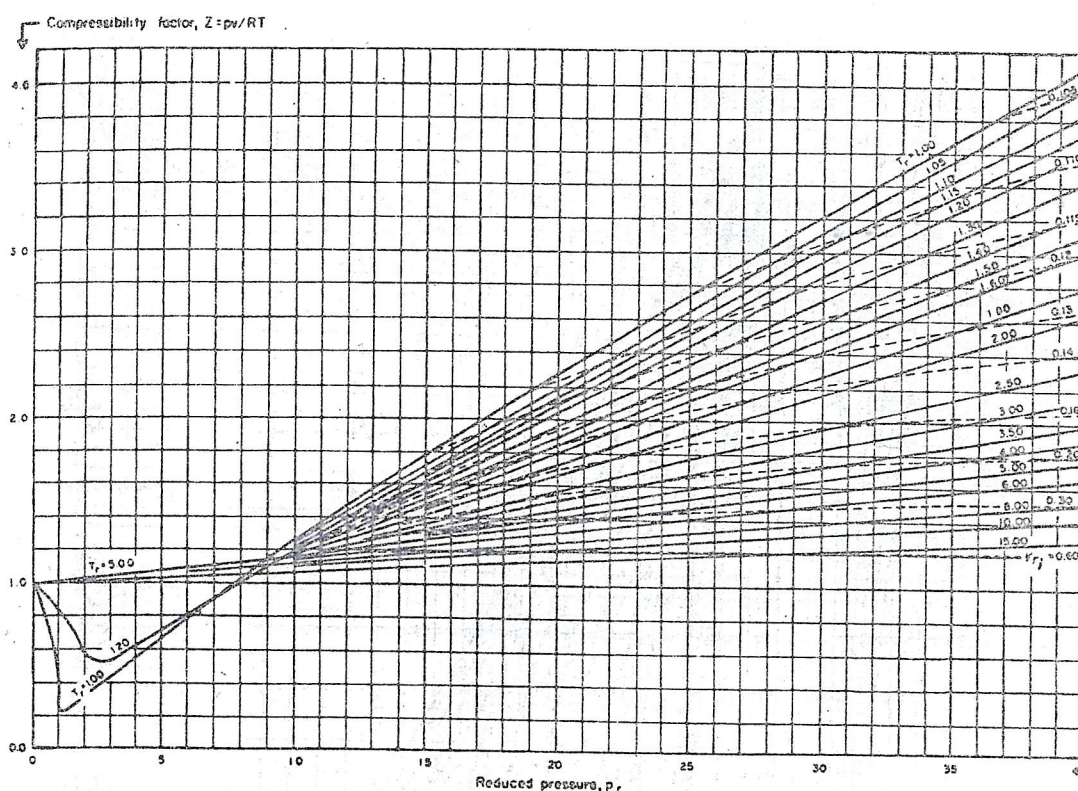
شکل ۷-۳ (c) منحنی عمومی تراکم پذیری در فشارهای پائین در دست نیست. جهت استفاده از این منحنی ها تنها دانستن دما و فشار بحرانی جسم خالص (و یا چنانکه خواهیم دید مقادیر شبه بحرانی مخلوط ها) کافی میباشد. مقدار $z = 1$ مبین حالت کامل و $z = 0.27$ ضریب تراکم در نقطه بحرانی است.

چندین محقق پیشنهاد کرده اند که در صورت افزودن یک عامل دیگر به طرف راست معادله (۲۳-۳) (علاوه بر p_r و T_r)، دقت معادله حاصل بهتر خواهد شد. واضحست که در صورت استفاده از عامل سوم و در نتیجه اضافه کردن بعد دیگری به p_r و T_r بایستی بجای یک جدول و یا منحنی از یک دسته منحنی و یا جدول استفاده کرد. لایدرسن و همکاران (۷) جداول خاصی از z ارائه کرده اند که در آن ضریب تراکم پذیری بحرانی $z_c = p_c \hat{V}_c / RT_c$ بعنوان عامل سوم در نظر گرفته شده است. پیتزر (۸) ضریب خارج از مرکز

(۷) A. L. Lydersen, R. A. Greenkorn, and O. A. Hougen, University of Wisconsin Engineering Experimental Station Report No. 4, Madison, Wis., 1955.

(۸) K. S. Pitzer, J. Amer. Chem. Soc., v. 77, p. 3427 (1955).

شکل ۷-۳ منحنی عمومی تراکم پذیری



شکل ۹-۳: منحنی عمومی تراکم پذیری در فشارهای بالا

بعنوان عامل سوم سود جست. این ضریب برابر $1 - \ln p_{rs}$ است که p_{rs} مقدار فشار بخار نقصانی در $T_r = 0.70$ میباشد. ویس وانا و سو^(۹)، ضریب z را که از منحنی نلسون ابـسـرت و منحنی لایدرسن - گرین کورن - هاگن و منحنی دو پارامتری (T_r, p_r) ویس وانا و سو حاصل میشود، با مقادیر تجربی z در مورد ۱۹ گاز در T_r بین ۱ تا ۱۵ و p_r بین صفر تا ۴۰، مقایسه کردند و نتایج زیر را بدست آوردند.

(۹) D. S. Viswanath and G. J. Su, *AIChE J.*, v. 11, p. 202 (1965).

TABLE D.2 ENTHALPIES OF PARAFFINIC HYDROCARBONS, C_1-C_6 (J/G MOL)
To convert to Btu/lb mol, multiply by 0.4306.

K	C ₁	C ₂	C ₃	n-C ₄	i-C ₄	n-C ₅	n-C ₆
273	0	912	1,264	1,709	1,658	2,125	2,545
291	630	1,277	1,771	2,394	2,328	2,976	3,563
328	879	1,383	1,919	2,592	2,522	3,222	3,858
363	950	1,470	2,052	2,773	2,703	3,402	4,063
400	9,100	14,476	20,685	27,442	27,325	34,020	40,622
500	14,054	22,869	32,777	43,362	43,312	53,638	64,011
600	19,585	32,342	46,417	61,186	61,220	75,604	90,123
800	25,652	42,712	61,337	80,600	80,767	99,495	118,532
1,000	32,204	53,931	77,404	101,378	101,754	125,101	148,866
1,100	39,204	65,814	94,432	123,428	123,971	152,213	181,041
1,200	46,567	78,408	112,340	146,607	147,234	180,995	214,764
1,300	54,308	91,504	131,042	170,707	171,418	210,346	249,868
1,400	62,383	105,143	150,331	195,727	196,480	240,872	286,143
1,500	70,709	119,202	170,205	221,375	222,212	272,378	323,465
1,600	79,244	133,678	190,581	247,650	248,542	304,595	361,919
1,800	108,031	189,581	269,581	342,950	344,842	430,595	519,536
2,000	124,725	214,725	314,725	404,725	406,725	504,725	604,725
2,200	143,804	243,804	363,804	463,804	465,804	573,804	683,804
2,400	163,804	273,804	413,804	523,804	525,804	643,804	763,804
2,500	173,050	283,050	433,050	553,050	555,050	683,050	813,050

TABLE D.3 ENTHALPIES OF MONOLEFINIC HYDROCARBONS, C_2-C_4 (J/G MOL)
To convert to Btu/lb mol, multiply by 0.4306.

K	Ethylene	Propylene	1-Butene	iso-Butene	cis-2-Butene	trans-2-Butene
273	0	0	0	0	0	0
291	753	1,104	1,526	1,536	1,354	1,520
328	1,054	1,548	2,154	2,154	1,895	2,125
400	1,125	1,665	2,313	2,313	2,020	2,295
500	6,038	8,882	12,455	12,367	11,070	12,112
600	11,890	17,572	24,765	24,468	22,346	23,995
700	18,648	27,719	38,911	38,425	35,614	37,668
800	25,158	39,049	54,643	53,889	50,542	53,011
900	34,329	51,379	71,755	70,793	66,985	69,705
1,000	43,053	64,642	89,997	88,826	84,684	87,654
1,100	52,258	78,742	109,286	107,947	103,470	106,652
1,200	61,923	93,470	129,694	128,846	123,260	126,649
1,300	71,964	108,825	150,456	149,865	143,845	147,402
1,400	82,341	124,683	172,087	170,414	163,845	167,824
1,500	92,968	141,020	194,304	192,363	185,164	189,424
1,600	103,888	157,736	217,985	215,183	207,702	211,974

*Sources of data are listed at the beginning of Appendix D.
SP gr = 20°C/4°C unless specified. Sp gr for gas referred to air (A).

n-Propyl alcohol	C ₃ H ₈ O	60.09	0.804	146	183.5	370.2	536.7	49.95	220	0.251
iso-Propyl alcohol	C ₃ H ₈ O	60.09	0.785	183.5	370.2	536.7	508.8	53.0	219	0.278
n-Propyl benzene	C ₉ H ₁₂	120.19	0.862	188.3	455	306.5	432.38	38.2	638.7	429
Silicon dioxide	SiO ₂	60.09	2.25	173.660	8.54	2303	432.38	38.2	638.7	429
Sodium bisulfate	NaHSO ₄	120.07	2.742	188.3	455	306.5	432.38	38.2	638.7	429
Sodium carbonate (sal soda)	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	286.15	1.46	306.5	455	306.5	432.38	38.2	638.7	429
Sodium chloride (soda ash)	NaCl	58.45	2.163	1081	28.5	1738	171	155	171	155
Sodium cyanide	NaCN	49.01	2.130	835	16.7	1770	155	155	171	155
Sodium hydroxide	NaOH	40.00	2.130	835	16.7	1770	155	155	171	155
Sodium nitrate	NaNO ₃	85.00	2.257	592	8.4	1663	155	155	171	155
Sodium nitrite	NaNO ₂	69.00	2.168	544	15.9	1663	155	155	171	155
Sodium sulfate	Na ₂ SO ₄	142.05	2.698	1163	24.3	1663	155	155	171	155
Sodium sulfide	Na ₂ S	78.05	1.856	1223	6.7	1663	155	155	171	155
Sodium sulfite	Na ₂ SO ₃	126.05	2.633	1223	6.7	1663	155	155	171	155
Sodium thiosulfate	Na ₂ S ₂ O ₃	158.11	1.667	1223	6.7	1663	155	155	171	155
Sulfur (rhombic)	S ₈	256.53	2.07	386	10.0	717.76	84	84	717.76	84
Sulfur (monoclinic)	S ₈	256.53	1.96	392	14.17	717.76	84	84	717.76	84
Sulfur dioxide (mono)	SO ₂	135.05	1.687	193.0	411.2	36.0	411.2	36.0	411.2	36.0
Sulfur trioxide	SO ₃	80.07	2.264(A)	197.68	7.402	263.14	24.92	430.7	77.8	0.269
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	98.08	1.834	283.51	24.5	316.5	41.8	491.4	83.8	0.262
Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	92.13	0.865	178.169	6.619	383.78	33.5	593.9	40.3	0.253
Water	H ₂ O	18.016	1.004	273.16	6.009	40.65	647.4	218.3	56	0.230
m-Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	0.864	225.288	11.57	412.26	34.4	619	34.6	0.27
o-Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	0.880	247.978	13.60	417.58	36.8	631.5	33.7	0.26
p-Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.16	0.861	286.423	17.11	411.51	36.1	618	33.9	0.25
Zinc	Zn	65.38	7.140	692.7	6.673	1180	114.8	618	370	0.23
Zinc sulfate	ZnSO ₄	161.44	3.741	286.423	17.11	411.51	36.1	618	370	0.23

ضمیمه D

خواص فیزیکی مواد آلی و معدنی

مراجعه عمومی برای جداول خواص فیزیکی، ظرفیت های حرارتی و خواص ترمودینامیکی مواد که در ضمیمه D ، E و F داده شده اند.

TABLE D.1 PHYSICAL PROPERTIES OF VARIOUS ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES.
To convert to kcal/g mol multiply by 0.2390; to Btu/lb mol multiply by 430.2.

Compound	Formula	Wt	Sp Gr	Melting Temp. (K)	Fusion (kJ/g)	Af Vap. at b.p. (kJ/g)	T _b (K)	T _c (K)	P _c (atm)	P _v (cm ³ /g)	z _c
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O ₂	44.05	0.78318	149.5	12.09	293.2	204.4	594.8	461.0	57.1	0.200
Acetic acid	CH ₃ CHO	60.05	1.049	289.9	37.2	390.4	302.2	508.0	47.0	213	0.238
Acetone	C ₃ H ₆ O	58.08	0.791	178.2	5.69	329.2	30.2	509.5	61.6	113	0.274
Acetylene	C ₂ H ₂	26.04	0.9061(A)	191.7	3.7	191.7	17.5	37.2	72.5	0.243	
Air	NH ₃	17.03	0.817-79	195.40	5.653	239.73	23.35	405.5	111.3		
Ammonia	(NH ₄) ₂ CO ₃ ·H ₂ O	114.11	0.597(A)	195.40	5.653	239.73	23.35	405.5	111.3		
Ammonium carbonate	NH ₄ Cl	53.50	2.5317	195.40	5.653	239.73	23.35	405.5	111.3		
Ammonium chloride	NH ₄ NO ₃	80.05	1.72525	195.40	5.653	239.73	23.35	405.5	111.3		
Ammonium nitrate	(NH ₄) ₂ SO ₄	132.14	1.769	195.40	5.653	239.73	23.35	405.5	111.3		
Ammonium sulfate	C ₆ H ₇ N	93.12	1.022	266.9	786	442.8	5.4	decomposes at 483.2 K			
Aniline	C ₆ H ₅ CHO	106.12	1.046	247.16	452.16	38.40	30.76	562.6	48.6	260	0.274
Benzaldehyde	C ₆ H ₆	106.12	1.046	247.16	452.16	38.40	30.76	562.6	48.6	260	0.274
Benzene	C ₆ H ₆ O ₂	122.12	1.31628	278.693	9.837	457.4	478.4	699	52.4		
Benzoic acid	C ₇ H ₈ O	108.13	1.045	395.4	257.8	723	265.8	478.4	102	144	0.306
Benzyl alcohol	B ₂ O ₃	69.64	1.85	723	265.8	723	265.8	478.4	102	144	0.306
Boron oxide	Br ₂	159.83	3.11920	265.8	723	265.8	723	478.4	102	144	0.306
Bromine	C ₄ H ₆	54.09	0.65220	265.8	723	265.8	723	478.4	102	144	0.306
1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	54.09	0.65220	265.8	723	265.8	723	478.4	102	144	0.306
Butane	n-C ₄ H ₁₀	58.12	0.579	113.56	134.83	164.1	136.7	425	42.7	255	0.374
iso-Butane	iso-C ₄ H ₁₀	58.12	0.557	113.56	134.83	164.1	136.7	425	42.7	255	0.374

1. Kobe, Kenneth A., and Associates, "Thermochemistry of Petrochemicals," Reprint from *Petroleum Refiner*, Gulf Publishing Co., Houston, Tex., Jan. 1949-July 1958. (Enthalpy tables D 2-D and heat capacities of several gases in Table E.1, Appendix E.)
2. Lange, N. A., *Handbook of Chemistry*, 12th ed., McGraw-Hill, New York, 1979.
3. Maxwell, J. B., *Data Book on Hydrocarbons*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1950.
4. Perry, J. H., and C. H. Chilton, eds., *Chemical Engineers' Handbook*, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 1973.
5. Rossini, Frederick D., et al., "Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties," from *National Bureau of Standards Circular* 500, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1952.
6. Rossini, Frederick D., et al., "Selected Values of Physical and Thermodynamic Properties of Hydrocarbons and Related Compounds," American Petroleum Institute Research Project 44, 1953 and subsequent years.
7. Weast, Robert C., *Handbook of Chemistry and Physics*, 59th ed., CRC Press, West Palm Beach, Florida, 1979.

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (11.3)$$

a و b دو ثابت عددی هستند که مقادیر آنها با قرار دادن نتایج p - V - T گاز بویژه مقادیر مربوط به نقطه بحرانی در معادله وان دروالس حاصل میشود. این مقادیر برای برخی از گازها در جدول ۳-۳ داده شده اند.

جدول ۳-۳ ثابت های معادلات وان دروالس و ردلیش - وننگ (REDLICH-KWONG) که با استفاده از مشخصات نقطه بحرانی گازها محاسبه شده است.

	van der Waals		Redlich-Kwong	
	a^* [atm($\frac{\text{cm}^3}{\text{g mol}}$) ²]	b^\dagger ($\frac{\text{cm}^3}{\text{g mol}}$)	a^\ddagger [(atm)(K) ^{1/2} ($\frac{\text{cm}^3}{\text{g mol}}$)]	b^\dagger ($\frac{\text{cm}^3}{\text{g mol}}$)
Air	1.33×10^6	36.6	15.65×10^6	25.3
Ammonia	4.19×10^6	37.3	85.00×10^6	25.7
Carbon dioxide	3.60×10^6	42.8	63.81×10^6	29.7
Ethane	5.50×10^6	65.1	97.42×10^6	45.1
Ethylene	4.48×10^6	57.2	76.92×10^6	39.9
Hydrogen	0.246×10^6	26.6	1.439×10^6	18.5
Methane	2.25×10^6	42.8	31.59×10^6	29.6
Nitrogen	1.347×10^6	38.6	15.34×10^6	26.8
Oxygen	1.36×10^6	31.9	17.12×10^6	22.1
Propane	9.24×10^6	90.7	180.5×10^6	62.7
Water vapor	5.48×10^6	30.6	140.9×10^6	21.1

*To convert to psia (ft³/lb mol)², multiply table value by 3.776×10^{-3} .

†To convert to ft³/lb mol, multiply table value by 1.60×10^{-2} .

‡To convert to psia (°R)^{1/2}(ft³/lb mol)², multiply table value by 2.807×10^{-3} .

اکنون به برخی از مشکلات محاسباتی که در هنگام کاربرد معادلات - حالت بمنظور محاسبه مقادیر p - V - T گاز پیش می آید اشاره می کنیم و برای توضیح این مطالب معادله وان دروالس را مورد بررسی قرار می دهیم. تعیین مقدار فشار گاز در هنگام استفاده از معادله وان دروالس به سادگی صورت می گیرد:

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{V^2} \quad (12.3)$$

ولی اگر بخواهیم مقدار V (یا n) را بدست آوریم، دیده میشود که معادله نسبت به V (یا n) از درجه سوم خواهد شد.