

میتا: 1 kgmol CH<sub>4</sub>

$$1 \text{ kgmol CH}_4 \propto \frac{2 \text{ kgmol O}_2}{1 \text{ kgmol CH}_4} \propto \frac{1.0 \text{ kgmol air}}{21 \text{ kgmol O}_2} = 9.52 \text{ kgmol air}$$

$$9.52 + \left( 9.52 \times \frac{13.0}{100} \right) = 21.9 \text{ kgmol air input}$$

هوای اضافی

$$\text{میزان اکسیژن ورودی} = 0.21 \times 21.9 = 4.6 \text{ kgmol O}_2 \rightarrow \text{ورودی}$$

$$\text{میزان نیتروژن ورودی} : 0.79 \times 21.9 = 17.3 \text{ kgmol N}_2 \rightarrow \text{ورودی}$$

$$1 \text{ kgmol CH}_4 \propto \frac{1 \text{ kgmol CO}_2}{1 \text{ kgmol CH}_4} = 1 \text{ kgmol CO}_2 \rightarrow \text{خروجی}$$

$$1 \text{ kgmol CH}_4 \propto \frac{2 \text{ kgmol O}_2}{1 \text{ kgmol CH}_4} = 2 \text{ kgmol O}_2 \rightarrow \text{واکنش دانه مصرف}$$

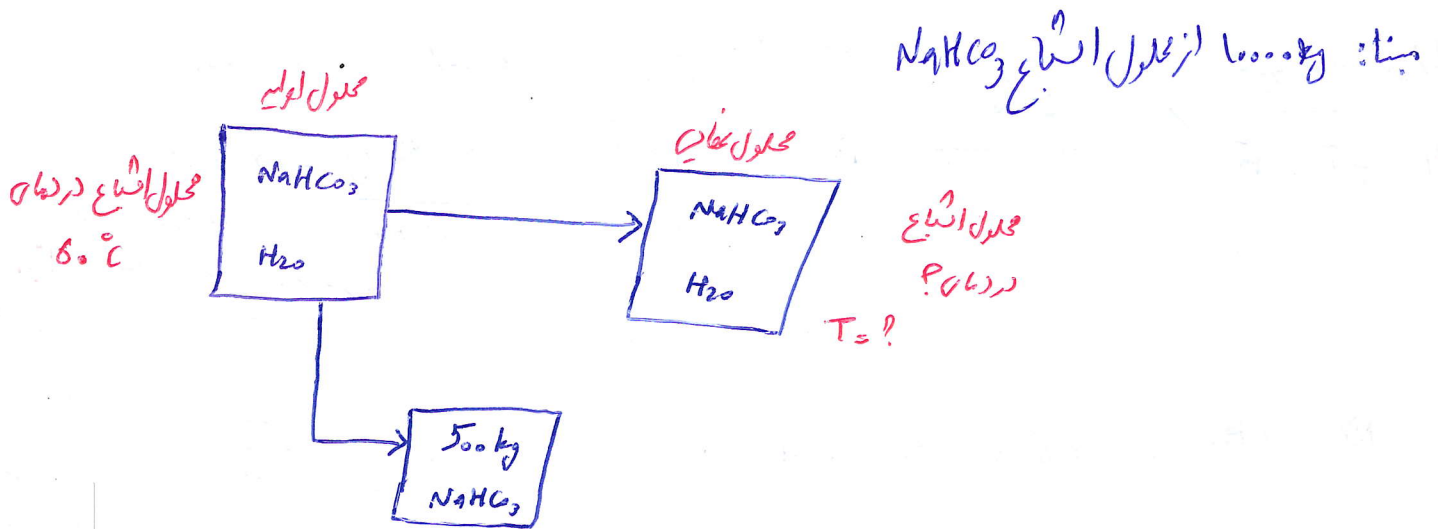
$$4.6 - 2 = 2.6 \text{ kgmol O}_2 \rightarrow \text{خروجی}$$

$$1 \text{ kgmol CH}_4 \propto \frac{2 \text{ kgmol H}_2\text{O}}{1 \text{ kgmol CH}_4} = 2 \text{ kgmol H}_2\text{O} \rightarrow \text{خروجی}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{1}{17.3 + 2.6 + 1 + 2} \times 100 = 4.36 \% \text{ CO}_2 \rightarrow \text{درصد کربن دی اکسید خروجی}$$

60 / مثال تبلور (Crystallization)  
 \* در مخزن ۱۰۰۰۰ kg محلول اشباع  $\text{NaHCO}_3$  در  $60^\circ\text{C}$  وجود دارد. می خواهیم ۵۰۰ kg  $\text{NaHCO}_3$  تبلور از محلول مذکور تهیه کنیم. محلول را تا چه دما باید سرد کرد؟

دما $^\circ\text{C}$	60	50	40	30	20	10
حلالیت $\frac{\text{g NaHCO}_3}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$	16.4	14.45	12.7	11.1	9.6	8.15



$$\text{در محلول اولیه } \text{NaHCO}_3 = \frac{16.4 \text{ g NaHCO}_3}{16.4 \text{ g NaHCO}_3 + 100 \text{ g H}_2\text{O}} \times 100 = 14.1\% \text{ NaHCO}_3 \rightarrow$$

$$\text{در محلول اولیه } \text{H}_2\text{O} = 100 - 14.1 = 85.9\% \text{ H}_2\text{O} \rightarrow$$

$$10000 \text{ kg محلول} \times \frac{14.1 \text{ kg NaHCO}_3}{100 \text{ kg محلول}} = 1410 \text{ kg NaHCO}_3 \rightarrow$$

$$10000 \text{ kg محلول} \times \frac{85.9 \text{ kg H}_2\text{O}}{100 \text{ kg محلول}} = 8590 \text{ kg H}_2\text{O} \rightarrow$$

$$1410 - 500 = 910 \text{ kg NaHCO}_3 \rightarrow$$

$$H_2O \text{ در خوراک: } 1000 \times \frac{90}{100} = 900 \text{ kg} \rightarrow$$

کال آب در خوراک

$$EtOH \text{ در محصول: } 100 \times \frac{60}{100} = 60 \text{ kg} \rightarrow$$

کال اتانول در محصول

$$H_2O \text{ در محصول: } 100 \times \frac{40}{100} = 40 \text{ kg} \rightarrow$$

کال آب در محصول

$$EtOH \text{ در آب: } 100 - 60 = 40 \text{ kg} \rightarrow$$

کال اتانول در آب

$$H_2O \text{ در آب: } 900 - 40 = 860 \text{ kg} \rightarrow$$

کال آب در آب

$$\frac{40}{900} \times 100 = 4.44\% \rightarrow$$

درصد اتانول در آب

$$\frac{860}{900} \times 100 = 95.56\% \rightarrow$$

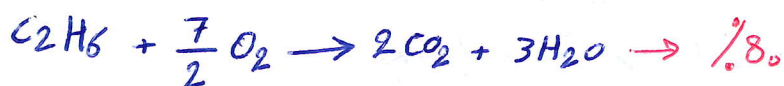
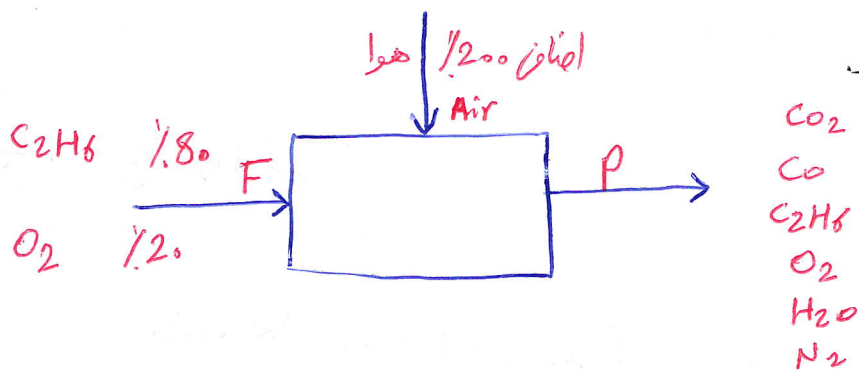
درصد آب در آب

مثال: احتراق (Combustion)

\* مخلوط از 8٪ اتان و 2٪ اکسژن در یک راکتور احتراق قرار دارند و با 20٪ هوای اضافی میسوزد

و 8٪ اتان به  $CO_2$ ، 1٪ به  $CO$  و مابقی دست نخورده باقی میماند و از سیستم خارج می شود. ترکیب گازها را خواص

را به صورت مرطوب و خشک محاسبه کنید.



مثبت: امگا 100 خوراک F



$$20 + 780 - 244 = 556 \text{ kgmol } O_2$$

موجود در گازهای خروجی ←

$$80 \text{ kgmol } C_2H_6 \propto \frac{10}{100} = 8 \text{ kgmol } C_2H_6$$

فرض ←

ترکیب	سوزش	هوا	گازهای خروجی	درصد گازهای خروجی بر مبنای مردود	درصد گازهای خروجی بر مبنای درآمد
$C_2H_6$	80	—	8	0.21	0.207
$O_2$	20	780	556	14.41	
$N_2$	—	2934	2934	76.05	
$CO_2$	—	—	128	3.32	
$CO$	—	—	16	0.41	
$H_2O$	—	—	216	5.60	
	100	3710	3850	100	

ترکیب	گازهای خروجی	درصد بر مبنای خشک
$C_2H_6$	8	0.22
$O_2$	556	15.27
$N_2$	2934	80.56
$CO_2$	128	3.51
$CO$	16	0.44
	3642	100

\* در درصد گازهای بر مبنای خشک  $H_2O$  در نظر گرفته نمی شود



$$155.4 + 0.1243 F_2 = 0.1863 F_2 + 37.26$$

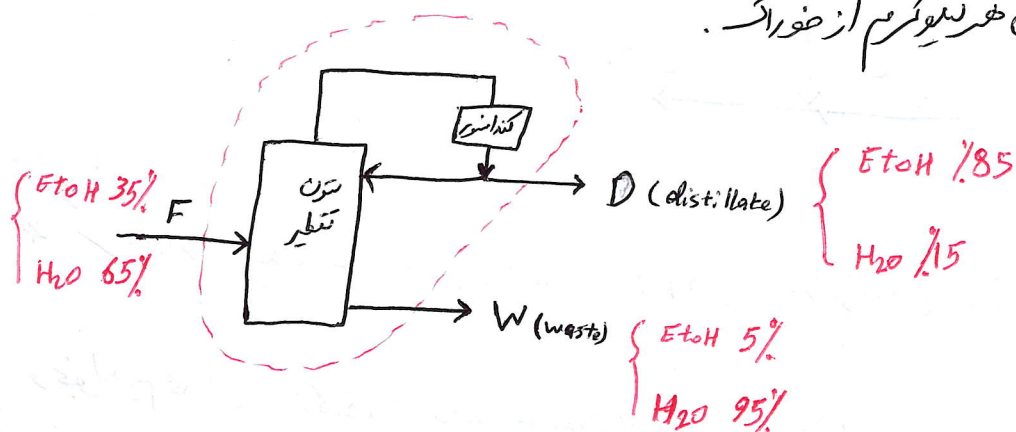
$$155.4 - 37.26 = 0.1863 F_2 - 0.1243$$

$$118.14 = 0.062 F_2 \Rightarrow F_2 = 1905 \text{ kg}$$

$$P = 1905 + 200 = 2105 \text{ kg}$$

\* مثال: تقطیر  
در شکل زیر یک نمونه از برج تقطیر همراه با اطلاعات موجود در مورد هر جریان داده شده است. مطلوب است وزن

محصول مقطر بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم از خوراک.



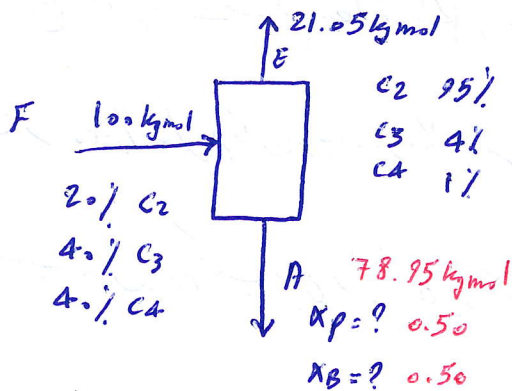
میباشد: یک کیلوگرم از خوراک

موازنه کلی:  $F = D + W \Rightarrow D = 1 - W$

EtOH:  $(0.35 \times 1) = 0.85 D + 0.05 W \Rightarrow 0.35 = 0.85(1 - W) + 0.05 W$

$$0.35 - 0.85 = 0.05 W - 0.85 W \Rightarrow -0.5 = -0.8 W \Rightarrow W = 0.625 \text{ kg}$$

$$D = 1 - 0.625 = 0.375 \text{ kg}$$



$$F = E + A \Rightarrow 100 = 21.05 + A \Rightarrow A = 78.95 \text{ kg mol}$$

$$0.4(100) = 0.04(21.05) + x_P(78.95) \Rightarrow x_P = 0.50$$

$$0.4(100) = 0.01(21.05) + x_B(78.95) \Rightarrow x_B = 0.50$$

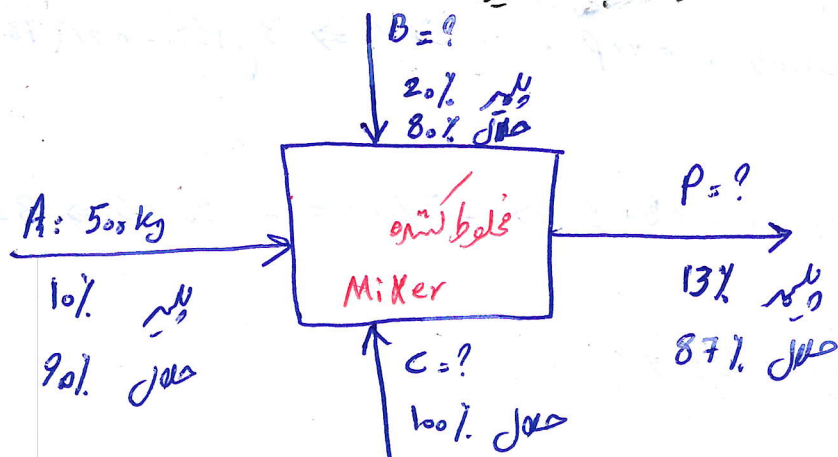
میشود

یک منبع چندگانه که برای ساخت تخت‌های چند لایه استفاده می‌شود شامل پلیمر حل شده در یک حلال می‌باشد.

برای این کار باید میزان پلیمر در محلول به وقت کنترل شود. برای تهیه 3000 kg از محلول 13% وزن پلیمر:

وزن پلیمر: 1) 500 kg از محلول 10% وزن 2) مقدار زیاد محلول 20% وزن و 3) حلال خالص

نیاز می‌باشد. مقادیر نامعلوم، موجود در مسئله را علامت می‌نماید.



مثلاً: 3000 kg از محلول 13% وزن پلیمر

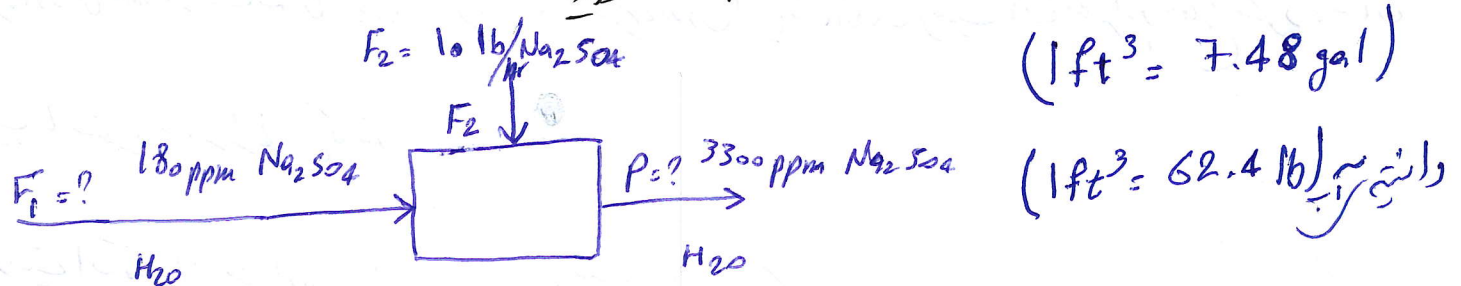
\* برای اندازه گیری دبی سیال در خطوط لوله، واحدهای توماس و رودخانه ها از مواد راب با

مقدار بسیار ناچیز استفاده می شود. فرض کنید که تجزیه آب حاوی در یک رودخانه 180 ppm از  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  را نشان

داده است. اگر 10 lb یونید  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  را به تدریج و به طور یکنواخت در مدت زمان یک ساعت به جریان آب بیفزاییم

و بکنیم آب در پایین جریان که در آنجا محل اختلاط به طور کامل انجام می گیرد 3300 ppm از  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  را نشان

دهد. دبی جریان آب را بر حسب گالن در ساعت بدست آوریم.



مینا: یک ساعت

موازنه کل:  $F_1 + F_2 = P \Rightarrow P - F_1 = 10$

موازنه آب:  $m_{in} = m_{out}$

$$F_1 \left(1 - \frac{180}{1.6}\right) = P \left(1 - \frac{3300}{1.6}\right) \Rightarrow F_1 = \left( \frac{1 - \frac{3300}{1.6}}{1 - \frac{180}{1.6}} \right) P$$

0.9967  
0.9998

$F_1 = 0.9969P$

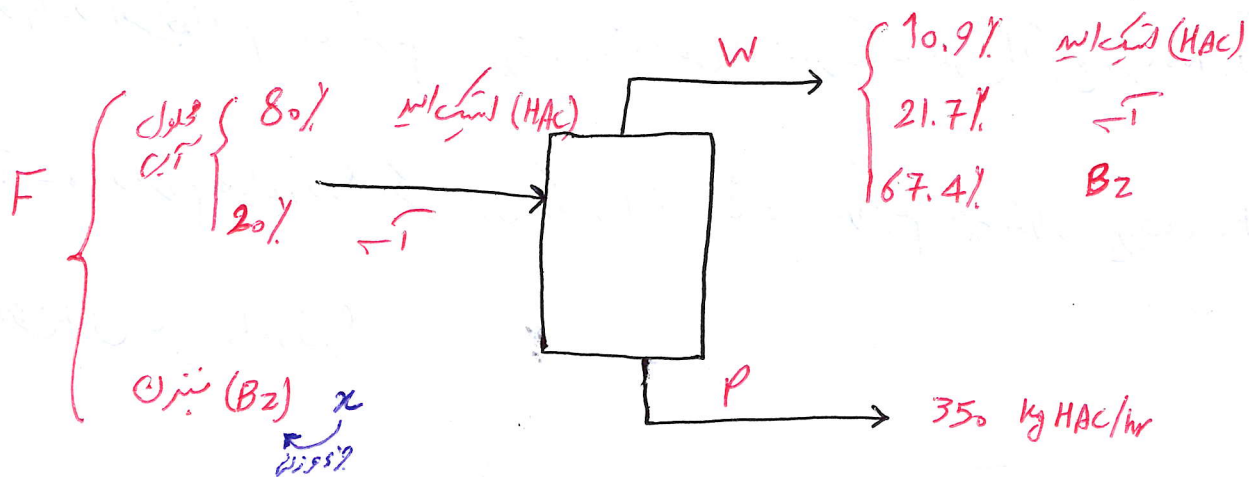
از موازنه کل:  $P - 0.9969P = 10 \Rightarrow P(1 - 0.9969) = 10 \Rightarrow P = 3225.81 \text{ lb}$

$F_1 = 0.9969(3225.81) = 3215.81 \text{ lb}$

$$3215.81 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{62.4 \text{ lb}} \times \frac{7.48 \text{ gal}}{1 \text{ ft}^3} = 385.48 \frac{\text{gal}}{\text{hr}}$$

تمرین  
از یک دستگاه برج تقطیر به منظور جداسازی استیک اسید، آب و بنزن از یکدیگر استفاده می‌شود. نتایج حاصل

از یک آنالیز در شکل زیر مشاهده می‌شود. شدت جریان بنزن را در ساعت بدست آورید.



موازنه کلی :

$$F = W + P \Rightarrow F = W + 35$$

موازنه استیک اسید :

$$\frac{0.8(100-x)}{100} F = 0.109(W) + 35$$

موازنه آب :

$$\frac{0.2(100-x)}{100} F = 0.217(W)$$

موازنه بنزن :

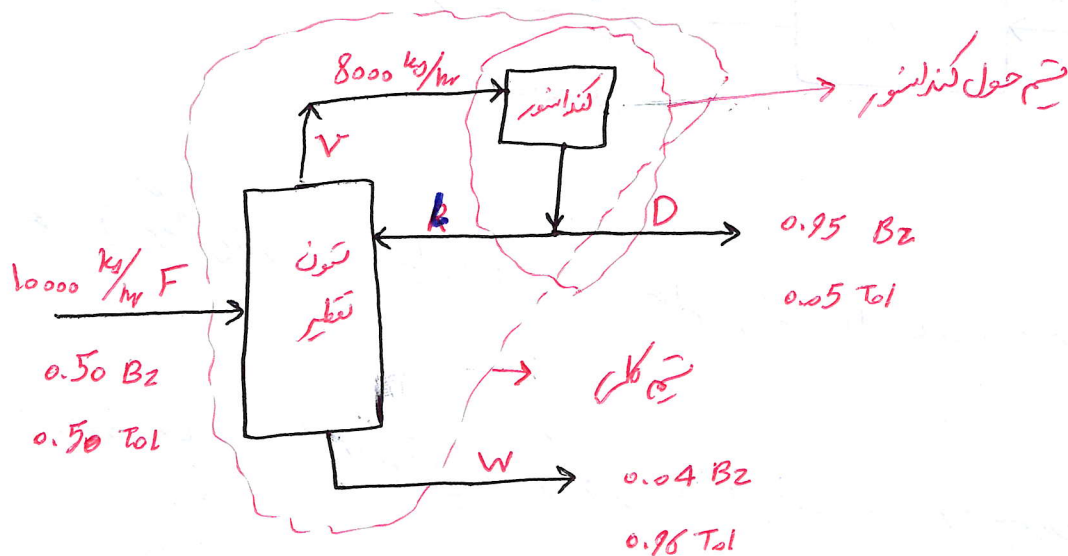
$$\frac{x(F)}{100} = 0.674 W$$

$$x = \frac{\text{مقدار بنزن در خوراک}}{\text{مقدار از خوراک}}$$

انضام معادلات بالا جواب حاصل می‌شود



مصارف دیگر خارج می‌کنند. با فرض آن که جریان فوقانی برج (V)، محصول غرضی (D) و جریان برگشتی (L) دارای ترکیب نسبی واحدی باشند. مطلوبیت نسبت مقدار جریان برگشتی به محصول غرضی.



میتا: 10000 kg از غوراک (یا یک ساعت)

معادله:  $F = D + W \Rightarrow 10000 = D + W \Rightarrow D = 10000 - W$

معادله:  $0.5(10000) = 0.95D + 0.04W$

$$5000 = 0.95(10000 - W) + 0.04W$$

$$9500 - 0.95W$$

$$5000 - 9500 = -0.91W \Rightarrow W = 4945.1 \text{ kg/hr}$$

$$-4500$$

معادله:  $D = 10000 - 4945.1 = 5054.9 \text{ kg/hr}$

معادله حول کنذاشور:  $V = L + D \Rightarrow 8000 = L + 5054.9 \Rightarrow L = 2945.1 \text{ kg/hr}$

نسبت:  $\frac{L}{D} = \frac{2945.1}{5054.9} = 0.583$

**نکته:** برای محاسبه جریان برگشتی شامل بر واکنش میماند، ابتدا لازمست تا معادله استوکیومتری، ترکیب شوند. محدودکننده و میزان تبدیل معین شود.

**میزان تبدیل کلی (overall fraction conversion):**

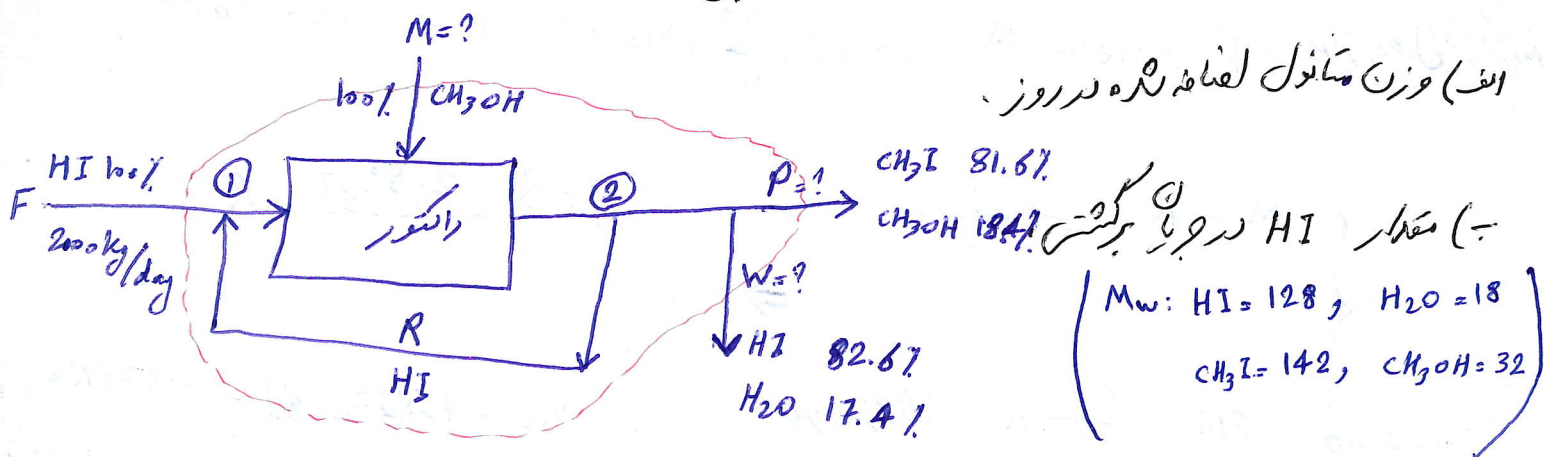
$$\text{میزان تبدیل کلی} = \frac{\text{جرم (مول) ترکیب تولید در محصول} - \text{جرم (مول) ترکیب تولید در خوراک}}{\text{جرم (مول) ترکیب تولید در خوراک}}$$

**مثال:** جریان برگشتی همراه با واکنش در یک روش تولید دیورمیل، 2000 کیلوگرم در روز اسیدیدیدریک را بر مبنای اضافی اثر می دهند:



اگر محصول محصو 81.6٪ وزنی  $\text{CH}_3\text{I}$  به همراه متانول ترکیب شده و سیاه متانول از 82.6٪ وزن

اسیدیدیدریک و 17.4٪  $\text{H}_2\text{O}$  فرض شود و درجه تکمیل واکنش در راکتور 40٪ باشد مطلوبست:



موازنه کلی:

$$F + M = P + W \Rightarrow 2000 + M = P + W$$

مبنای یک روز

\* از موازنه عناصر برای حل مسئله استفاده می کنیم

\* برای استفاده از اطلاعات مربوط به واکنش میماند و نیز برای موازنه های عنصری لازمست که ترکیب نسبی جریان ها

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

$$M \text{ kgmol CH}_3\text{OH} \propto \frac{1 \text{ kgmol C}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}} = \left( p \text{ kgmol} \propto \frac{50 \text{ kgmol CH}_3\text{I}}{100 \text{ kgmol p}} \propto \frac{1 \text{ kgmol C}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{I}} \right) + \left( p \text{ kgmol} \propto \frac{50 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}}{100 \text{ kgmol p}} \propto \frac{1 \text{ kgmol C}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}} \right)$$

$$M = 0.5p + 0.5p \Rightarrow M = p$$

$$O_{in} = O_{out}$$

$$M \text{ kgmol CH}_3\text{OH} \propto \frac{1 \text{ kgmol O}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}} = \left( p \text{ kgmol} \propto \frac{50 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}}{100 \text{ kgmol p}} \propto \frac{1 \text{ kgmol O}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{OH}} \right) + \left( w \text{ kgmol} \propto \frac{60 \text{ kgmol H}_2\text{O}}{100 \text{ kgmol w}} \propto \frac{1 \text{ kgmol O}}{1 \text{ kgmol H}_2\text{O}} \right)$$

$$M = 0.5p + 0.6w$$

$$I_{in} = I_{out}$$

$$15.62 \text{ kgmol HI} \propto \frac{1 \text{ kgmol I}}{1 \text{ kgmol HI}} = \left( p \text{ kgmol} \propto \frac{50 \text{ kgmol CH}_3\text{I}}{100 \text{ kgmol p}} \propto \frac{1 \text{ kgmol I}}{1 \text{ kgmol CH}_3\text{I}} \right) + \left( w \text{ kgmol} \propto \frac{40 \text{ kgmol HI}}{100 \text{ kgmol w}} \propto \frac{1 \text{ kgmol I}}{1 \text{ kgmol HI}} \right)$$

$$15.62 = 0.5p + 0.4w$$

$$M = 0.5p + 0.6w$$

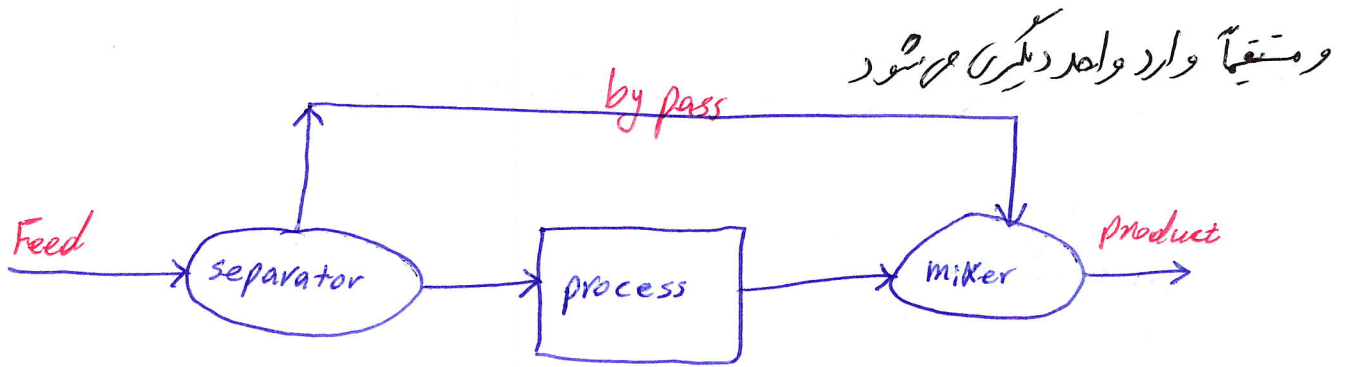
$$M = p$$

$$p = 0.5p + 0.6w$$

$$0.5p = 0.6w$$

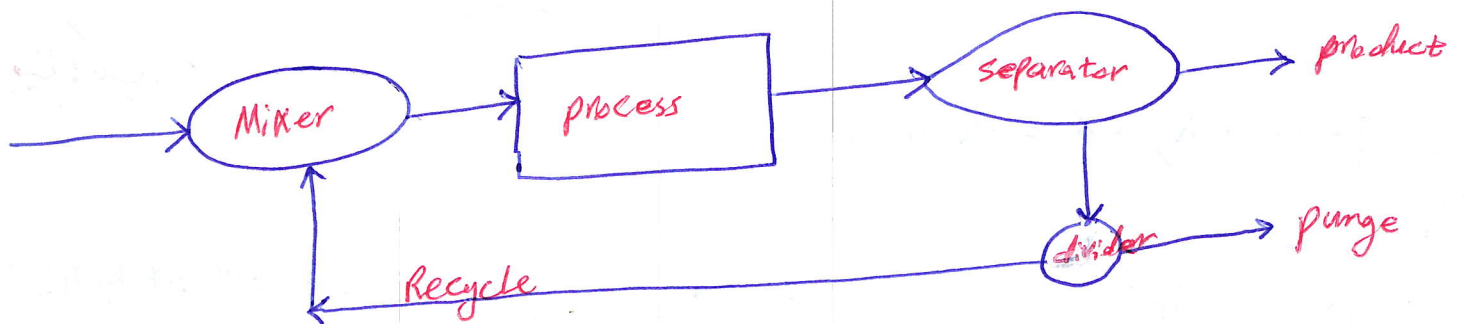


\* جریان كنارگذر (by pass): جرياني كه يك يا تعداد بسياري از واحدها را كنارگذارد.



\* جريان زدايشي (purge): جرياني كه براي خارج نمودن مواد ناخواسته و نا مطلوبه كه در سيستم يا

راكثري وجود مي آيند استفاده ميشود. استفاده جريان هاي تحليه در سيستم هاي بازگشتي به اين علت است كه جريان هاي بازگشتي تا حدي مواد ناخواسته را به سيستم بازيگراند.



نکته:

\* در صورتی که مسئله ای به این نگرده باشد غلظت جريان هاي تحليه (purge) و بازگشتي (Recycle)

را يك در نظر مي گيريم.

مثال

\* گازهاي كربن مونوكسيد و هيدروژن حاصل از اهرق زغال شست واپس از پاك سزي، ولرد را كنار

گذرد و طبق واكنش:  $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$  به ميثانول تبديل مي گشتند. اين فرايند در

شكل صفيحه بعد از هدم ميشود. از شكل م هدم ميشود كه مقداري  $CH_4$  وارد واحد كوليد ميشود.



$$\alpha \left( \frac{1 \text{ kmol C}}{1 \text{ kmol CH}_3\text{OH}} \right) + \left( y \text{ kmol CO} \alpha \frac{1 \text{ kmol C}}{1 \text{ kmol CO}} \right) + \left( z \text{ kmol CH}_4 \alpha \frac{1 \text{ kmol C}}{1 \text{ kmol CH}_4} \right)$$

$$32.7 = E + y + z \quad (2)$$

$$O_{in} = O_{out}$$

$$\left( 32.5 \text{ kmol CO} \alpha \frac{1 \text{ kmol O}}{1 \text{ kmol CO}} \right) = \left( E \text{ kmol CH}_3\text{OH} \alpha \frac{1 \text{ kmol O}}{1 \text{ kmol CH}_3\text{OH}} \right) + \left( y \text{ kmol CO} \alpha \frac{1 \text{ kmol O}}{1 \text{ kmol CO}} \right)$$

$$32.5 = E + y \quad (3)$$

$$\frac{z}{w} \alpha 100 = 3.2 \Rightarrow$$

از صورت بالا

③ mb:  $E = 32.5 - y$  در جایگزینی ②  $\Rightarrow 32.7 = 32.5 - y + y + z \Rightarrow z = 0.2$

$$\frac{0.2}{w} \alpha 100 = 3.2 \Rightarrow w = 6.25$$

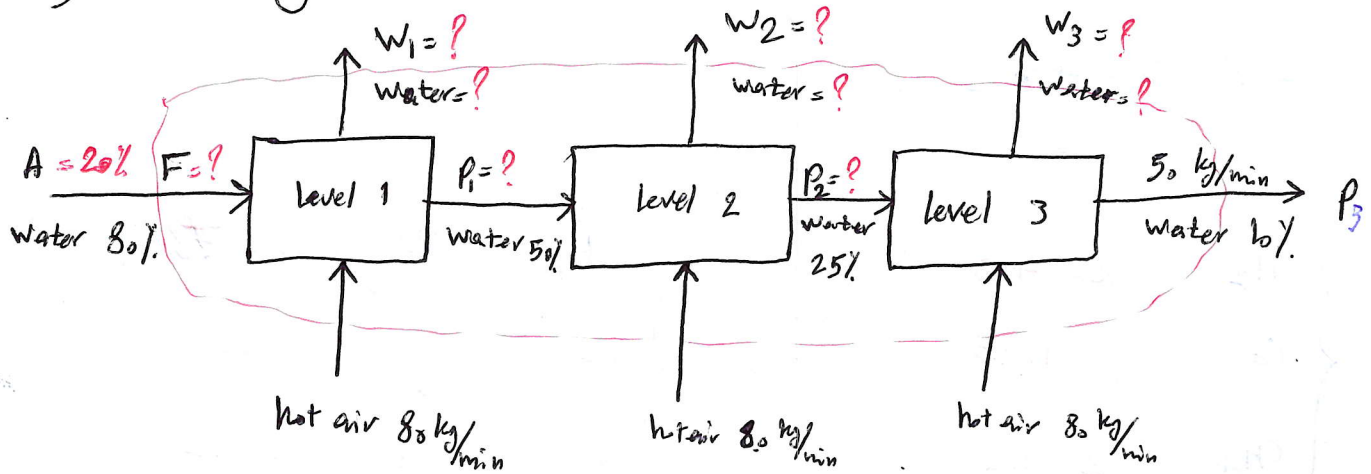
$$W = n + y + z \Rightarrow 6.25 - 0.2 = n + y \Rightarrow y = 6.05 - n \quad (4)$$

④ را در ② جایگزین کرد پس ② را در ① جایگزین کردیم:

$$32.7 = E + 6.05 - n + 0.2 \Rightarrow E = 26.45 + n$$

در ① جایگزین شود.

\* در شکل زیر ماده‌ای مرطوب A در 3 مرحله توسط هوای گرم که خودش شامل 5٪ رطوبت می‌باشد خشک می‌گردد. با فرض اینکه کلیه درجه‌های داده شده باشند مقدار محصول در هر مرحله را بدست آورید.



مبنا: یک دقیقه

موازنه A حول کل :  $0.2F = 0.9 \times 50 \Rightarrow F = 225 \text{ kg}$

موازنه در هر مرحله اول :  $F + \text{hot air} = P_1 + W_1 \Rightarrow 225 + 80 = P_1 + W_1$

موازنه A حول مرحله 1 :  $0.2F = 0.5P_1 \Rightarrow 0.2(225) = 0.5P_1 \Rightarrow P_1 = 90 \text{ kg}$

از موازنه در هر مرحله اول :  $3.5 - 90 = W_1 \Rightarrow W_1 = 215 \text{ kg}$

موازنه حول حباب برای  $H_2O$  :  $(0.05 \times 80) + 0.8(225) = 0.5(90) + x_{H_2O}(215) \Rightarrow$

$x_{H_2O} = 0.65$

مقدار اول

## فصل سوم: گاز، بخار، مایع و جامد

**گاز کامل:** گاز که هیچ گونه برهم کنش بین مولکول‌های آن، اعم از جاذبه و دافعه وجود نداشته باشد. دافعه بین مولکول‌های گاز نسبت به ابعاد خود مولکول گاز بسیار زیاد باشد.

نکته: هر گاز در دماهای بسیار بالا و فشارهای پایین، رفتاری نزدیک به رفتار گاز ایده آل از خود نشان می‌دهد. مثلاً گازهای  $H_2$ ،  $O_2$ ،  $N_2$ ،  $CO_2$  و  $CH_4$ ، هوای جوی، آب رطوبت‌دار، گاز ایده آل فرض می‌کنند.

### قوانین گازها:

1. **قانون بویل - ماریوت:** اگر دما و ترکیب (ماده) ثابت باشند، حجم یک گاز متناسب با عکس فشار مطلق است.

$$\left. \begin{array}{l} T = \text{Constant} \\ n = \text{Constant} \end{array} \right\} V \propto \frac{1}{P} \quad (P_1 V_1)_{n,T} = (P_2 V_2)_{n,T} = (P_3 V_3)_{n,T}$$

2. **قانون شارل کیوساک:** در فشار و ترکیب ثابت از گاز ایده آل، حجم گاز متناسب با دما (گاز) باشد.

$$n, P = \text{Cte} \quad \left( \frac{V_1}{T_1} \right)_{P,n} = \left( \frac{V_2}{T_2} \right)_{P,n} = \left( \frac{V_3}{T_3} \right)_{P,n}$$

$$V \propto T$$

3. **قانون آووگادرو:** در دما و فشار ثابت، حجم‌های مساوی از تمام گازها، تعداد مول‌های یکسانی دارند.

$$T, P = \text{cte} \quad V \propto n$$

نکته: در رابطه‌ی زیر دما و فشار حتماً باید مطلق باشند.

$$\left. \begin{array}{l} V \propto \frac{1}{P} \\ V \propto T \\ V \propto n \end{array} \right\} V \propto \frac{nT}{P} \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow \boxed{PV = nRT} \quad \text{قانون گاز کامل}$$

\* یک تانک فولاد در دمای طرفیت نامدار  $25 \text{ m}^3$  کربن دی اکسید در  $30^\circ \text{C}$  و  $1.6 \text{ atm}$  دریا با نمره مطلوبیت

وزن کربن دی اکسید گرم  $T = 30^\circ \text{C} \Rightarrow T = 30 + 273.15 = 303.15 \text{ K}$

$$P = 1.6 \text{ atm}$$

$$PV = nRT$$

$$V = 25 \text{ m}^3$$

R باید متناسب با واحدهای فشار، دما و حجم انتخاب شود. با استفاده از شرایط استاندارد (مقایسه)

$$R = 1 \text{ atm} \times \frac{22.415 \text{ m}^3}{1 \text{ kmol}} \times \frac{1}{273.15 \text{ K}} = 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

R محاسبه شود.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.6 \times 25}{0.0821 \times 303.15} = 1.607 \text{ kmol} \quad \text{یا} \quad 1607 \text{ g mol}$$

$$1607 \text{ g mol} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ g mol CO}_2} = 70708 \text{ g CO}_2$$

روش دوم:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \left(\frac{T_1}{T_2}\right) \Rightarrow \frac{1 \text{ atm}}{1.6 \text{ atm}} \times \frac{22.41 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3} = \frac{1 \text{ kmol}}{n_2} \times \frac{273.15}{303.15}$$

0.56      0.90

$$n_2 = 1.608 \text{ kmol}$$

\* مقدار 10 lb از  $\text{CO}_2$  در یک مخزن (کیپول) آتش نشان به حجم  $20 \text{ ft}^3$  در  $30^\circ \text{C}$  موجود است. با فرض

کن که قانون گاز کامل صادق باشد، تعیین کنید که اگر بشر اطمینان از پر بودن مخزن امکان به عمل آورند، مت رنج مخزن

$$P_1 = 14.7 \text{ psia} \quad V_1 = 10 \text{ lb CO}_2 \times \frac{11 \text{ lb mol CO}_2}{44 \text{ lb CO}_2} \times \frac{359 \text{ ft}^3}{11 \text{ lb mol CO}_2} = 81.59 \text{ ft}^3$$

حجم مت رنج را با توجه به حجم داده شده

$$T_1 = 273.15 \text{ K}$$

$$T_R = 1.8 T_C + 492 = (1.8 \times 30) + 492 = 546$$



	مول	جزء مول	فشار جزئی ( $P_i = P \cdot y_i$ )
$O_2$	0.75	0.42	286
$N_2$	1.05	0.58	396
	1.80	1.00	682 psia

تمرین

\* یک مخزن فولادی دارای حجم  $200 \text{ m}^3$  پر باشد. این مخزن با نیتروژن در  $22^\circ\text{C}$  و فشار اتمسفری پر شود. اگر

سیر مخزن باز شود و مخزن تا  $200^\circ\text{C}$  گرم شود، جزئی از نیتروژن که مخزن را ترک کرده نسبت به جزئیات مخزن

$$T_1 = 22^\circ\text{C} = 295 \text{ K}$$

$$T_2 = 200^\circ\text{C} = 473 \text{ K} \quad \text{رابطه است آفرید؟}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$V_1 = 200 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 200 \text{ m}^3$$

$$n_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{1 \times 200}{0.0821 \times 295} = 8.26 \text{ kg mol}$$

$$n_2 = \frac{1 \times 200}{0.0821 \times 473} = 5.15 \text{ kg mol}$$

$$\text{نسبت نیتروژن ترک کرده به نیتروژن در مخزن} = \frac{8.26 - 5.15}{5.15} = 0.60$$

\* جابجایی R

\* مقدار ثابت عمومی گازها «R» را در ترکیب واحدهای زیر بدست آورید:

1)  $1 \text{ lb mol}$  از گاز کامل در صورتی که فشار بر حسب  $\text{psia}$ ، حجم بر حسب  $\frac{\text{ft}^3}{\text{lb mol}}$  و دما بر حسب  $R^\circ$  بیان شود.

2.  $1 \text{ g mol}$  از گاز کامل در صورتی که فشار بر حسب اتمسفر، حجم بر حسب  $\text{cm}^3$  و دما بر حسب  $K$  بیان شود.

3.  $1 \text{ kg mol}$  از گاز کامل در صورتی که فشار بر حسب  $\text{kPa}$ ، حجم بر حسب  $\frac{\text{m}^3}{\text{kg mol}}$  و دما بر حسب  $K$  بیان شود.

جرم ویژه و چگالی:

جرم ویژه یک گاز را به صورت جرم واحد حجم آن تعریف می کنند. همان طور که قبلاً هم گفته شد، چون جرم مورد در واحد حجم یک گاز متغیر به دما و فشار آن دارد باید حتماً این دو متغیر مشخص باشند. و اگر این نسبت ها مشخص نشود، جرم ویژه را دادند. در شرایط معارض فرض می شود.

چگالی یک گاز را معرّف به صورت نسبت جرم ویژه آن گاز در دما و فشار دلخواه به جرم ویژه هوا (یا هر گاز مبنای دیگر) در دما و فشار معین تعریف می کنند.

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow \frac{PV}{RT} = \frac{m}{M} \Rightarrow \frac{PM}{RT} = \left( \frac{m}{V} \right)$$

$$\rho = \frac{P \cdot M}{RT}$$

چگالی  
(جرم ویژه)

$$Sp. Gr = \frac{\rho_{\text{گاز مورد نظر}}}{\rho_{\text{گاز مبنای}}}$$

\* چگالی  $N_2$  در  $8^\circ F$  و  $745 \text{ mmHg}$  در مقایسه با گازهای زیر را بدست آورید.

$$\rho_{N_2 \text{ at } 8^\circ F \text{ and } 745 \text{ mmHg}} = \frac{P_{N_2} \cdot M_{N_2}}{R \cdot T_{N_2}}$$

(1) هوای در شرایط معارض (  $32^\circ F$  و  $760 \text{ mmHg}$  )

(2) هوای در  $8^\circ F$  و  $745 \text{ mmHg}$

$$\rho_{\text{air at } 32^\circ F, 760 \text{ mmHg}} = \frac{P_{\text{air}} \cdot M_{\text{air}}}{R \cdot T_{\text{air}}}$$



\* فشار جزئی هر یک از گونه‌ها برابر است با فشاری که خود مورد نظر به دیواره ظرف وارد کند، در صورتی که تنها گاز موجود در ظرف مورد نظر باشد.

$$P_A = \frac{n_A RT}{V} \quad , \quad P_B = \frac{n_B RT}{V}$$

$$P_{tot} = P_A + P_B + \dots = \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} + \dots = (n_A + n_B + \dots) \frac{RT}{V}$$

$$n_{tot} = n_A + n_B + \dots$$

$$P_{tot} = n_{tot} \frac{RT}{V}$$

$$y_i = \frac{n_i}{n_{tot}} = \frac{P_i V / RT}{P_{tot} V / RT} = \frac{P_i}{P_{tot}} \Rightarrow P_i = y_i P_{tot}$$

$$P_i = y_i P_{tot}$$

\* قانون حجم‌های جزئی آماگاس:

$$T, P = \text{cte}$$

۱. گازهای تشکیل دهنده ایده‌آل باشند. ۲. در شرایط دما و فشار ثابت باشند.

حجم کل مخلوط گازها را به آن برابر خواهد بود با مجموع حجم‌های جزئی هر یک از اجزاء تشکیل دهنده مخلوط.

$$V_{tot} = V_A + V_B + \dots$$

همچنین جزء A اشغال می‌کند در صورتی که فشاری که گاز A وارد کند برابر فشار مخلوط باشد در حجم جزئی A می‌کنند.

$$V_A = \frac{n_A RT}{P} \quad , \quad V_B = \frac{n_B RT}{P}$$

$$V_{tot} = V_A + V_B + \dots = \frac{n_A RT}{P} + \frac{n_B RT}{P} + \dots = n_{tot} \frac{RT}{P}$$



$$96/ \quad P_t = 765 \text{ mmHg}$$

$$P_i = y_i P_t$$

$$P_{CO_2} = 107.1 \quad , \quad P_{O_2} = 45.9 \quad , \quad P_{N_2} = 612.0$$

\* گازهای حقیقی :

گازها که نتوان از برهم کنش ذرات آن صرف نظر کرد.

\* افزایش فشار در دما ثابت و یا کاهش دما در فشار ثابت هر دو باعث می شوند که از گاز ایده آل فاصله بگیریم و

به سمت گازهای حقیقی نزدیک شویم. در این صورت معادله ای را می توانیم بنویسیم  $PV = nRT$  افزایش می یابد و دیگر نمی توان

از آن استفاده کرد.

\* معادله حالت واندر والس :

فشاری که در معادله حالت گاز ایده آل منظور می گردد فشاری است که مولکول های گاز به دیواره ظرف وارد می کنند بدون آنکه

این مولکول ها هیچ اثرات جاذبه ای بر یکدیگر داشته باشند. اما در گازهای حقیقی به علت جاذبه بین مولکول های گاز فشار وارد

از طرف مولکول ها به دیواره ظرف متفاوت از حالت ایده آل آن خواهد بود. همچنین در معادله حالت ایده آل حجم منظور شده

حجم فضای است که مولکول های گاز در آن حجم آزادانه حرکت می کنند بدون آنکه حجم خود مولکول های گاز به حساب آید و

در اینست که خود مولکول ها تراکم پذیر نیستند لذا لازم است که حجم خود مولکول های گاز از حجم ظرف که گاز درون آن قرار

اثرات جاذبه

اثرات دفعه

دارد، کم گردد.

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

واندر والس برای رسیدن به معادله حالت برای گاز حقیقی دو جمله تصحیح در معادله حالت گاز ایده آل وارد کرد. یک جمله

برای فشار یا اثرات جاذبه و دیگری برای تصحیح حجم و یا اثرات دفعه.

$$V = 0.75 \text{ ft}^3$$

(1)

$$T = 120^\circ\text{F} + 460 = 580^\circ\text{R}$$

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

$$n = 7 \text{ lb } N_2 \times \frac{1 \text{ lbmol } N_2}{28 \text{ lb } N_2} = 0.25 \text{ lbmol } N_2$$

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{0.25 \times 10.73 \times 580}{0.75} = 2074.47 \text{ psia}$$

$$2074.47 \text{ psia} \times \frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psia}} = 141.12 \text{ atm}$$

ضریب تبدیل در اینج جدول ۲.۲ آورده شده است

(2) از جدول ۲.۲ کت. ۹ و ط را در حوالیم.

$$a = 1.347 \text{ atm}^6 \times \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{g.mol}} \right)^2 \times (3.77 \times 10^{-3})^2 = 5.86 \text{ psia} \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}} \right)^2$$

$$b = 38.6 \text{ atm} \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{g.mol}} \right)^2 \times (1.60 \times 10^{-2})^2 = 0.6176 \text{ psia} \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}} \right)^2$$

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

$$\left( P + \frac{(0.25)^2 (5.86)}{(0.75)^2} \right) (0.75 - ((0.25)(0.6176))) = 0.25 (10.73) (580)$$

$$(P + 565.1) (0.598) = 1555.85 \Rightarrow P = 2049.38 \text{ psia} \times \frac{1 \text{ atm}}{14.7 \text{ psia}} = 139.41 \text{ atm}$$

$$PV = znRT$$

(3)

از جدول پیوست دکت. ۱۰ هیل بلاو حوالی مجرای زیرین را در حوالیم.

$$P_c = 33.5 \text{ atm} \quad \text{and} \quad T_c = 126.2 \text{ K} (227^\circ\text{R})$$

و بخار می توانند به حالت تعادل با یکدیگر وجود داشته باشند. از نظر دیگر، می توان گفت که نقطه جوش عبارتست از یک نقطه جوش که ناپدید شدن یک حالت را متوقف می کند.

\* در ضمیمه D کتاب، مقادیر تجربی دمای جوش ( $T_c$ ) و فشار جوش ( $P_c$ ) مواد مختلف داده شده است.

کمیت های گاهش یافته به صورت زیر تعریف می شوند:

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

\* تمام مواد در حالت های گاهش یافته (تصحیح شده) به طور یکسان رفتار می نمایند.

$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

به خصوص اسیب در دما و فشار گاهش یافته برابر، دارای حجم گاهش یافته یکسان

$$V_r = \frac{V}{V_c}$$

هم هستند.

\* معادله ای حالت ترانم پذیر برای گاز حقیقی:

(compressibility factor) ضریب تراکم پذیر

$$P V = z n R T$$

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

\* با استفاده از دما و فشار گاهش یافته ( $T_r, P_r$ ) و ضریب تراکم پذیر ( $z$ ) برای گازهای مختلف مقادیر محاسبه می شود.

است. بنابراین با معلوم بودن  $T_r$  و  $P_r$  می توان  $z$  را بدست آورد. (صفحه 308-298 کتاب)

نکته \* در مورد گازهای  $H_2$  و  $He$  از تصحیحات نیوتن در ثابت های جوش حقیقی، به منظور تعیین ثابت های شبه جوش استفاده می کنند.

$$T'_c = T_c + 8 K$$

$$P'_c = P_c + 8 \text{ atm}$$

حجم جوش مول

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

نکته \* با فرض این که گاز در نقطه جوش ایده آل باشد داریم:

$$V_r = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_c}$$



۱۰۲ / فرض می‌کنیم که ۳.۵۰۰ kg اکسیژن مایع در مخزن به حجم  $0.0284 \text{ m}^3$  در  $-25^\circ\text{C}$  نگهداشته شود. فشار داخل مخزن

چه مقدار خواهد بود؟ (آیا از حد مجاز (۱۰۰ atm) تجاوز خواهد کرد؟) (از معادله ضریب تراکم مذکور استفاده شود)

$$m_{O_2} = 3.500 \text{ kg}$$

$$PV = znRT$$

$$V = 0.0284 \text{ m}^3$$

$$T = -25^\circ\text{C} + 273 = 248 \text{ K}$$

$$P = \frac{znRT}{V}$$

$$P = ?$$

$$V_r = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_c}$$

از ضمیمه D کتاب داریم:  $T_c = 154.4 \text{ K}$ ,  $P_c = 49.7 \text{ atm}$ ,  $V_c = 74 \frac{\text{cm}^3}{\text{gmol}}$

$$T_r = \frac{248}{154.4} = 1.6$$

$$3.500 \text{ kg } O_2 \times \frac{1 \text{ kmol } O_2}{32.00 \text{ kg } O_2} = 0.11 \text{ kmol } O_2$$

$$\hat{V} = \frac{V}{n} = \frac{0.0284 \text{ m}^3}{0.11 \text{ kmol}} = 0.259 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

$$\hat{V}_c = \frac{RT_c}{P_c} = \frac{0.08206 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \times 154.4 \text{ K}}{49.7 \text{ atm}} = 0.255$$

← ضمیمه D کتاب

$$V_r = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_c} = \frac{0.259}{0.255} = 1.02$$

از جدول A-3 با استفاده از  $T_r$  و  $V_r$ ،  $z$  را می‌خوانیم:  $z = 0.91$  صفحه 299 کتاب

$$P = \frac{znRT}{V} = \frac{0.91 \times 0.11 \times 0.08206 \times 248}{0.0284} = 79.73 \text{ atm}$$

بنابراین از حد مجاز تجاوز نمی‌کند و خطر اشتعال وجود ندارد.



نقطه حباب (Bubble point):

دمایی که در آن، بر اثر جویش اولین حباب بخار تشکیل می شود.

نقطه شبنم (Dew point):

دمایی است که در اثر سردی، اولین قطره مایع تشکیل می شود.

\* اگر گاز شروع به سفت شدن کند، پس از تشکیل اولین قطره مایع، گاز انبساط نامیده می شود. در حالی که اگر مایع شروع به تبخیر نماید، مایع انبساط گفته می شود. این دو حالت را به ترتیب نقطه شبنم و نقطه حباب نیز می گویند.

کیفیت (x):

در حالت انبساط، از آنجایی که در سیستم هم فاز مایع و هم فاز بخار وجود دارد مقدار  $x$  بیانگر درصدی از سیستم است که تبخیر شده است. (به جز این بخار، کیفیت گفته می شود).

کیفیت

$$x = \frac{\text{mass of vapor}}{\text{total mass}}$$

مثال

\* در  $400\text{ K}$  و  $245.6\text{ kPa}$  حجم ویژه یک بخار مرطوب برابر  $0.505 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  است. کیفیت بخار چیست؟

با استفاده از جداول کتاب، حجم های ویژه مایع انبساط را می خوانیم. (در این جدول ما بر حسب فارنهایت است)

$$400\text{ K} \rightarrow 260\text{ }^\circ\text{F} \quad T_F = 1.8 T_K - 460 \quad \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \right) \text{ حجم های ویژه بر حسب}$$

$$\hat{V}_l = 0.01708 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}, \quad \hat{V}_g = 11.77 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$$

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

$$\hat{V} = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$$

چگالی ویژه

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

در حالت ثابت

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

نابریکس:

$$P_{tot} = P_{air} + P_{H_2O}$$

$$V_{tot} = V_{air} + V_{H_2O}$$

\* حداقل حجم هوای خشک بر حسب مترمکعب در  $20^\circ C$  و  $100 \text{ kPa}$  (750 mmHg) را که برای تبخیر 6 لیتر آب نیاز است

این 6 لیتر آب است که باید آورده شود و در صورتی که فشار ثابت و برابر  $100 \text{ kPa}$  باقی بماند.

$$P_{air}^* \text{ در } 20^\circ C (68^\circ F) = 5.93 \text{ kPa} (44.5 \text{ mmHg})$$

\* حداقل حجم هوای در حالت اشباع خواهد بود. در هر مورد غیر اشباع مقدار هوای مورد نیاز بیشتر است.

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

$$n_1 = 6 \text{ لیتر آب} \times \frac{1 \text{ لیتر}}{46 \text{ لیتر}} = 0.13 \text{ لیتر}$$

$$P_{کل} = P_{air} + P_{H_2O} \Rightarrow P_{H_2O} = P_{کل} - P_{air} = 100 - 5.93 = 94.07 \text{ kPa}$$

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

$$\left( \frac{100 \text{ kPa}}{94.07 \text{ kPa}} \right) \left( \frac{V_1}{22.4} \right) = \left( \frac{0.13}{1} \right) \left( \frac{293}{273} \right) \Rightarrow V_1 = 3.157 \text{ m}^3$$

این

$$PV = nRT$$

$$\left(2 \text{ kPa} \times \frac{1 \text{ atm}}{101.3 \text{ kPa}}\right) (1 \text{ L}) = n \left(0.08206 \frac{\text{L atm}}{\text{g mol} \cdot \text{K}}\right) (29.5 \text{ K})$$

$$n = \frac{0.0197}{23.88} = 0.00082 \text{ g mol H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ g mol H}_2\text{O}} = 0.015 \text{ g H}_2\text{O}$$

**مثال**  
 \* هوای خشک در 25 °C، فشار مطلق 760 mmHg با تولهش انبساط کرده است. آیا این هوا برای احتراق کامل تولهش کافی است؟ درصد هوای اضافی در صدای موجود پس از احتراق را محاسبه کنید.

در ابتدا باید تعداد مول های تولهش و تعداد مول های اکسیژن در یک حجم ویژه محاسبه شوند.



مثلاً: 1 g mol C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>

از معادله بالا مشخص است که 5 مول اکسیژن برای یک مول تولهش لازم است.

$$1 \text{ mol O}_2 \times \frac{100 \text{ mol air}}{21 \text{ mol O}_2} = 42.86 \text{ mol air}$$

مول هوای مورد نیاز برای یک مول تولهش

$$\eta_{\text{مول تولهش}} = \frac{1}{42.86} = 0.0228$$

با استفاده معادله آنتوان فشار بخار تولهش را در 25 °C بدست آوریم:

$$\ln(p^*) = A - \frac{B}{C+T} = 16.0137 - \frac{3096.52}{-53.67 + 298.15} \Rightarrow p^* = 28.22 \text{ mmHg مطلق}$$

$$p_{\text{air}} = 760 - 28.22 = 731.78 \text{ mmHg مطلق}$$

نکته قانون راولت در درجه اول در مورد سازنده این به کار می رود که حیز مول آن نزدیک به واحد باشد و اگر غلظت ماده ن

کم باشد، خطای قانون راولت بالا می رود و در این صورت می توان از قانون هنری استفاده کرد.

نکته ثابت تعادل در سیستم های تعادل بخار-مایع به شکل زیر برای هر ماده تعریف می شود که شاخص میز آن فراریت هر ماده است:

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

نکته در خواص مخلوط از زئوال هگزا و زئوال هپتان در فاز مایع را تغییر کنیم. ترکیب نسبی بخار اولی حاصل را تعیین کنید.

صورتی که فشار کل دو استمر باشد و در حالت تعادل ن ۱۲۱ فرض شود!

مبنای یک کیوگرم مول از مایع

$$P_t \cdot y_{C6} = P_{C6}^* \cdot x_{C6} \Rightarrow y_{C6} = \left( \frac{P_{C6}^*}{P_t} \right) x_{C6}$$

$$P_t \cdot y_{C7} = P_{C7}^* \cdot x_{C7}$$

$$y_{C6} + y_{C7} = 1 \Rightarrow y_{C7} = 1 - y_{C6}$$

$$x_{C6} + x_{C7} = 1 \Rightarrow x_{C7} = 1 - x_{C6}$$

$$\begin{cases} P_t (1 - y_{C6}) = P_{C7}^* (1 - x_{C6}) \\ P_t - P_t y_{C6} = P_{C7}^* - P_{C7}^* x_{C6} \\ P_t - P_{C6}^* x_{C6} = P_{C7}^* - P_{C7}^* x_{C6} \end{cases}$$

$$P_t - P_{C7}^* = x_{C6} (P_{C6}^* - P_{C7}^*) \Rightarrow \frac{P_t - P_{C7}^*}{P_{C6}^* - P_{C7}^*} = x_{C6}$$

با استفاده از معادله آنتوان می توان فشارهای زئوال هگزا و زئوال هپتان را بدست آوردیم.

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

	A	B	C
زئوال هگزان	15.8366	2897.55	-48.73
زئوال هپتان	15.8737	2911.32	-56.51



\* رطوبت نسبی:

$$R.H = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^*}$$

Relative Humidity

\* رطوبت نسبی صفر دهد به این معناست که بخاری در گاز وجود ندارد.

\* رطوبت نسبی ۱۰۰٪ یعنی چه؟ یعنی این که فشار بخار بخار برابر با فشار بخار جبهه است که در نقطه تبخیر بخار می باشد.

\* **اسباع مول:** روش دیگر بیان غلظت بخار در یک گاز، استفاده از نسبت مول های بخار به مول های گاز عاری از بخار

Molal Saturation

$$M.S = \frac{n_{vap}}{n_{vap-free gas}}$$

می باشد:

\* اگر زیرین های ۱ و ۲ را به ترتیب در مورد بخار و گاز خشک به کار ببریم، برای یک سیستم دوگانه خواهیم داشت:

$$P_1 + P_2 = P_t$$

$$n_1 + n_2 = n_t$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_t - n_1} = \frac{P_1}{P_t - P_1} = \frac{V_1}{V_t - V_1}$$

از ضرب کردن وزن های مولکولی مربوطه در تعداد مول ها، می توانیم حجم بخار آب موجود به ازای واحد حجم گاز خشک را بدست

$$\frac{n_{vap} \propto M_{vap}}{n_{dry gas} \propto M_{dry gas}} = \frac{mass_{vap}}{mass_{dry gas}}$$

آورد:

\* کلید می بینیم رطوبت (H) به معنای حجم بخار آب به ازای واحد حجم گاز کاملاً خشک است.

$$P_{EtAc} = P_t \cdot y_{EtAc} = P_t \left( \frac{n_{EtAc}}{n_t} \right) = P_t \left( \frac{V_{EtAc}}{V_t} \right)$$

$$P_{EtAc} = 98 (0.12) = 11.76 \text{ kPa}$$

$$P_{He} = P_t - P_{EtAc} = 98 - 11.76 = 86.2 \text{ kPa}$$

در  $30^\circ\text{C}$ :

$$R.S. = \frac{P_{EtAc}}{P_{EtAc}^*} \times 100 = \frac{11.76}{15.9} \times 100 = 74.0 \%$$

ان درصد اشباع نسبی:

$$A.S. = \frac{\frac{P_{EtAc}}{P_t - P_{EtAc}}}{\frac{P_{EtAc}^*}{P_t - P_{EtAc}^*}} = \frac{\frac{11.76}{98 - 11.76}}{\frac{15.9}{98 - 15.9}} = 70.0 \%$$

(ب) درصد اشباع مطلق:

\* مخلوط لزج هوا و بخار استیل در  $30^\circ\text{C}$  فشار کل  $740 \text{ mmHg}$  دارای اشباع نسبی  $50\%$  است. مطلوبیت:

$$P_{EtAc}^* \text{ at } 30^\circ\text{C} = 15.9 \text{ kPa (119 mmHg)}$$

(ب) اشباع مطلق

ان تجزیه بخار

$$R.S. = \frac{P_{EtAc}}{P_{EtAc}^*} \Rightarrow 50 = \frac{P_{EtAc}}{119} \Rightarrow P_{EtAc} = 50 (119) = 59.5 \text{ mmHg}$$

$$\frac{n_{EtAc}}{n_t} = \frac{P_{EtAc}}{P_t} = \frac{59.5}{740} = 0.0805$$

نسبت:

EtAc 8.05 %  
 هوا 91.95 %

$$\frac{n_{EtAc}}{n_{air}} = \frac{P_{EtAc}}{P_{air}} = \frac{P_{EtAc}}{P_t - P_{EtAc}} = \frac{59.5}{740 - 59.5} = 0.0876 \frac{\text{mol EtAc}}{\text{mol air}}$$

(ج) انجاء ہو

☆ رطوبت مطلق ہوا در 86 °F و مٹا رکھ 750 mmHg. 2% است. مطلوب در رطوبت نسبی و مٹا رکھ

در جدول کتاب

$$P_{H_2O}^* \text{ at } 86^\circ F = 31.8 \text{ mmHg} \quad (0.6153 \text{ psi} \propto \frac{760 \text{ mmHg}}{14.7 \text{ psi}})$$

نظری بنیم ہوا چیت؟

$$R.H = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^*} \propto 100$$

$$A.H = \frac{\frac{P_{H_2O}}{P_t - P_{H_2O}}}{\frac{P_{H_2O}^*}{P_t - P_{H_2O}^*}} \Rightarrow 0.2 = \frac{\frac{P_{H_2O}}{750 - P_{H_2O}}}{\frac{31.8}{750 - 31.8}}$$

$$\frac{P_{H_2O}}{750 - P_{H_2O}} = 0.00886 \Rightarrow P_{H_2O} = 6.7 \text{ mmHg}$$

فشار جزئی بخار آہ در ہوا

$$R.H = \frac{6.7}{31.8} \propto 100 = 21.07\%$$

در رطوبت نسبی

نظری بنیم دما کے لئے در آن بخار آہ موجود در ہوا شروع ہو گا۔ اس عمل در مٹا رکھ 6.7 mmHg و دما در

$$6.7 \text{ mmHg} \propto \frac{14.7 \text{ psi}}{760 \text{ mmHg}} = 0.1295 \Rightarrow 41^\circ F \leftarrow \text{اندر جدول کتاب}$$

حدود 41 °F انجام نہ سکند

☆ در دما معادل 120 °F و مٹا رکھ 380 mmHg رطوبت مطلق 5% است. مٹا جزئی آب و نظری

$$P_{H_2O}^* \text{ at } 120^\circ F = 1.692 \text{ psi} \propto \frac{760 \text{ mmHg}}{14.7 \text{ psi}} = 87.48 \text{ mmHg}$$

بنیم رطوبت آوری

$$A.H = \frac{\frac{P_{H_2O}}{P_t - P_{H_2O}}}{\frac{P_{H_2O}^*}{P_t - P_{H_2O}^*}} \Rightarrow 0.5 = \frac{\frac{P_{H_2O}}{380 - P_{H_2O}}}{\frac{87.48}{380 - 87.48}} \Rightarrow 0.15 = \frac{P_{H_2O}}{380 - P_{H_2O}}$$

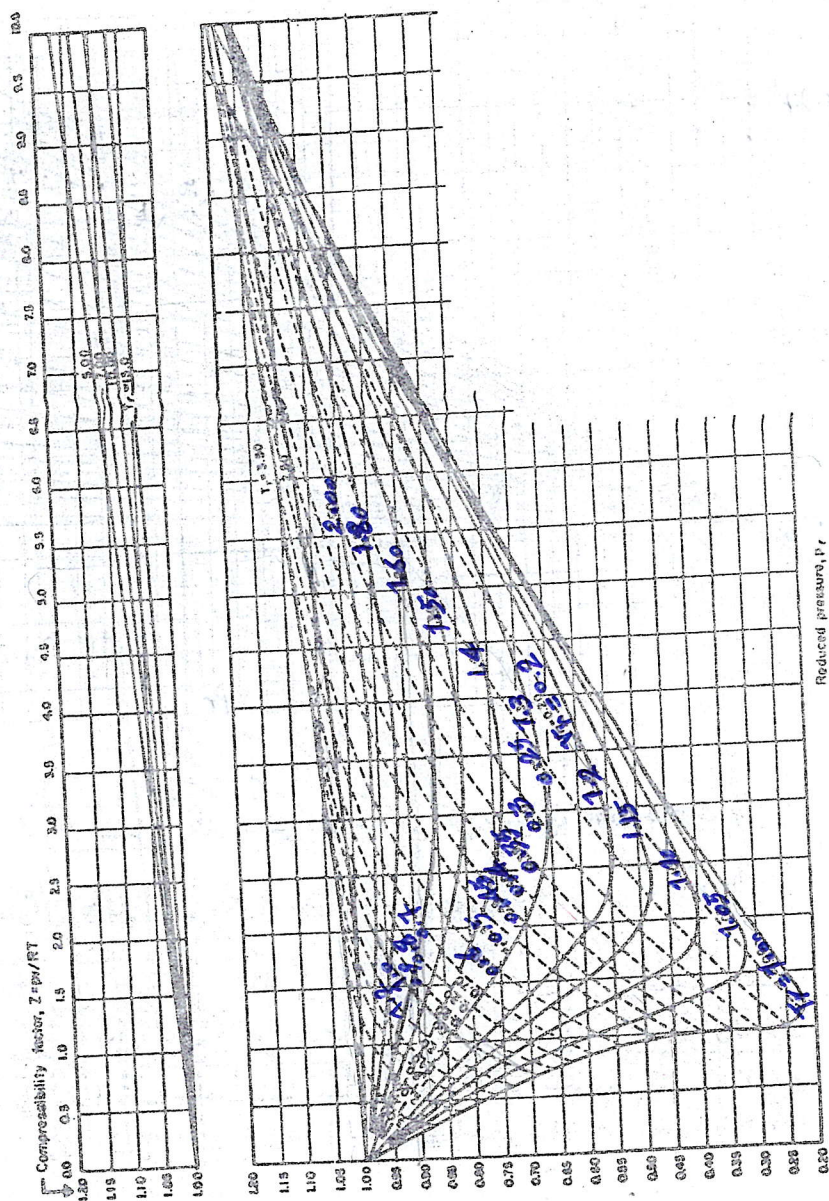
در جدول کتاب

نظری بنیم تقریباً 100 °F

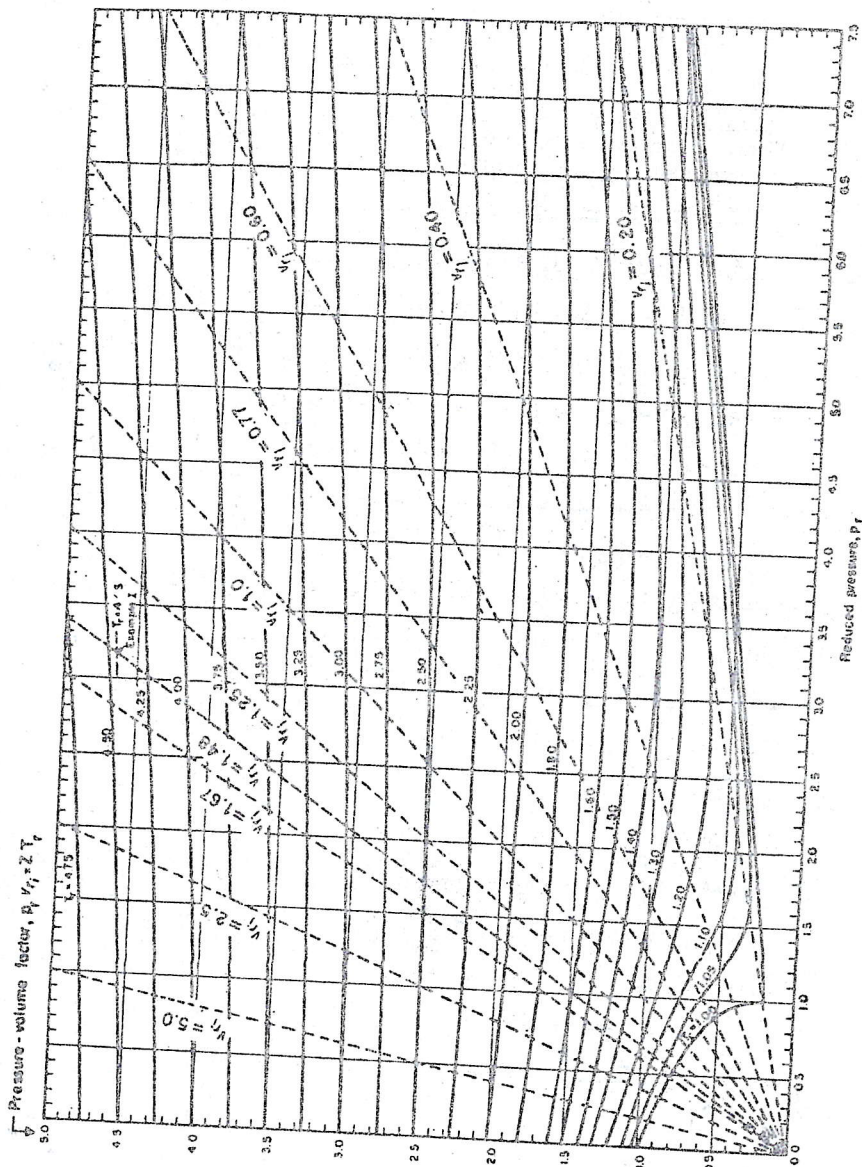
$$57 = P_{H_2O} (1 + 0.15) \Rightarrow P_{H_2O} = \frac{57}{1.15} = 49.57 \text{ mmHg} \propto \frac{14.7 \text{ psi}}{760 \text{ mmHg}} = 0.9588 \text{ psi}$$







شکل ۱-۱ منحنی عمومی تراکم پذیر در فشارهای متوسط



شکل ۱-۱) منحنی عمومی تراکم پذیری در مقیاس ویژه



TABLE D.1 (cont.)

Compound	Formula	Formula Wt	Sp Gr	Melting Temp. (K)	$\Delta H$ Fusion (kJ/g mol)	Normal b.p. (K)	$\Delta H$ Vap. at b.p. (kJ/g mol)	$T_c$ (°K)	$P_c$ (atm)	$\rho_c$ (cm <sup>3</sup> /g mol)	$z_c$
Nitrogen oxide	NO	30.01	1.0367(A)	109.51	2.301	121.39	13.78	19.2	65.0	58	0.256
Nitrogen pentoxide	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	108.02	1.631 <sup>8*</sup>	303		320					
Nitrogen tetroxide	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	92	1.448 <sup>20*</sup>	263.7		294.3					
Nitrogen trioxide	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76.02	1.447 <sup>2*</sup>	171		276.5		431.0	99.0		
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	44.02	1.226-99 <sup>9</sup>	182.1		184.4					
n-Nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.25	0.718	219.4		423.8		309.5	71.7	96.3	0.272
n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.22	0.703	216.2		398.7		595	23		
Oxalic acid	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	90.04	1.90	(decomposes at 459 K)				595.0	22.5	543	0.250
Oxygen	O <sub>2</sub>	32.00	1.1053(A)	54.40	0.443	90.19	6.820	154.4	49.7	74	0.290
n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.6301 <sup>8*</sup>	143.49	8.393	309.23	25.77	469.8	33.3	311	0.269
iso-Pentane	iso-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.6211 <sup>9*</sup>	113.1		300.9		461.0	32.9	308	0.268
1-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.13	0.641	107.96	4.937	303.13		474	39.9		
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94.11	1.071 <sup>23*</sup>	315.66	11.43	454.56		692.1	60.5		
Phenyl hydrazine	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub>	108.14	1.097 <sup>23*</sup>	292.76	16.43	51.66					
Phosphoric acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.00	1.8341 <sup>8*</sup>	315.51	10.5	(-1/2 H <sub>2</sub> O at 486 K)					
Phosphorus (red)	P <sub>4</sub>	123.90	2.20	863	81.17	863	41.84				
Phosphorus (white)	P <sub>4</sub>	123.90	1.82	317.4	2.5	553	49.71				
Phosphorus pentoxide	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141.95	2.387	(sublimes at 523 K)							
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.09	1.562(A)	85.47	3.524	231.09	18.77	369.9	42.0	200	0.277
Propene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	1.498(A)	87.91	3.002	225.46	18.42	365.1	45.4	181	0.274
Propionic acid	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.08	0.993	252.2		414.4		612.5	53.0		
Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.17	0.659	177.84	13.03	341.90	28.85	507.9	29.9	368	0.264
Hydrogen	H <sub>2</sub>	2.016	0.06948(A)	13.96	0.12	20.39	0.904	33.3	12.8	65	0.304
Hydrogen chloride	HCl	36.47	1.268(A)	158.94	1.99	188.11	16.15	324.6	81.5	87	0.266
Hydrogen fluoride	HF	20.01	1.15	238		293		503.2			
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	34.08	1.1895(A)	187.63	2.38	212.82	18.67	373.6	88.9	98	0.284
Iodine	I <sub>2</sub>	253.8	4.93 <sup>20*</sup>	386.5		457.4		826.0			
Iron	Fe	55.85	7.7	1808	15	3073	353				
Iron oxide	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	231.55	5.2	1867	138	(decomposes at 1867 K after melting)					
Lead	Pb	207.21	11.337 <sup>20*</sup>	600.6	5.10	2023	180				
Lead oxide	PbO	223.21	9.5	1159	11.7	1745	213				
Magnesium	Mg	24.32	1.74	923	9.2	1393	132				
Magnesium chloride	MgCl <sub>2</sub>	95.23	2.325 <sup>23*</sup>	987	43.1	1691	137				
Magnesium hydroxide	Mg(OH) <sub>2</sub>	58.34	2.4	(decomposes at 623 K)							
Magnesium oxide	MgO	40.32	3.65	3173	77.4	3873					
Mercury	Hg	200.61	13.546 <sup>20*</sup>								
Methane	CH <sub>4</sub>	16.04	0.554(A)	90.68	0.941	111.67	8.180	190.7	45.8	99	0.290
Methanol	CH <sub>3</sub> OH	32.04	0.792	175.26	3.17	337.9	35.3	513.2	78.5	118	0.222
Methyl acetate	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.08	0.933	174.3		330.3		506.7	46.3	228	0.254
Methyl amine	CH <sub>3</sub> N	31.06	0.699-11 <sup>*</sup>	180.5		266.37 <sup>38mm</sup>		429.9	73.6		
Methyl chloride	CH <sub>3</sub> Cl	50.49	1.785(A)	175.3		249		416.1	65.8	143	0.276
Methyl ethyl ketone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.10	0.805	186.1		352.6					
Methyl cyclohexane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	98.18	0.769	146.58	6.751	374.10	31.7	572.2	34.32	344	0.251
Molybdenum	Mo	95.95	10.2								
Napthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128.16	1.145	353.2		491.0					
Nickel	Ni	58.69	8.90 <sup>20*</sup>	1725		3173					
Nitric acid	HNO <sub>3</sub>	63.02	1.502	231.56	10.47	359	30.30				
Nitrobenzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> N	123.11	1.203	278.7		483.9					
Nitrogen	N <sub>2</sub>	28.02	12.5(D)	63.15	0.720	77.34	5.577	126.2	33.5	90	0.291
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	46.01	1.448	263.86	7.334	294.46	14.73	431.0	100.0	82	0.232

\*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).

TABLE D.1 (cont.)

Compound	Formula	Formula Wt	Sp Gr	Melting Temp. (K)	$\Delta \hat{H}$ Fusion (kJ/g mol)	Normal b.p. (K)	$\Delta \hat{H}$ Vap. at b.p. (kJ/g mol)	$T_c$ (°K)	$p_c$ (atm)	$\hat{V}_c$ (cm <sup>3</sup> /g mol)	$z_c$
Chlorobenzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112.56	1.107	228		405.26	36.5	632.4	44.6	308	0.265
Chloroform	CHCl <sub>3</sub>	119.39	1.489 <sup>20*</sup>	209.5		334.2		536.0	54.0	240	0.294
Chromium	Cr	52.01	7.1								
Copper	Cu	63.54	8.92								
Cumene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120.19	0.862	1356.2	13.0	2855	305				
Cupric sulfate	CuSO <sub>4</sub>	159.61	3.605 <sup>13*</sup>	177.125	7.1	425.56	37.5	636	31.0	440	0.260
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.16	0.779	(decomposes at 873 K)							
Cyclopentane	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.13	0.745	279.83	2.677	353.80	30.1	553.7	40.4	308	0.274
Decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.28	0.730 <sup>20*</sup>	179.71	0.6088	322.42	27.30	511.8	44.55	260	0.27
Dibutyl phthalate	C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	278.34	1.045 <sup>21*</sup>	243.3		447.0		619.0	20.8	602	0.2476
Diethyl ether	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74.12	0.708 <sup>23*</sup>			613					
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.07	1.049(A)	156.86	7.301	307.76	26.05	467	35.6	281	0.261
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	46.07	0.789	89.89	2.860	184.53	14.72	305.4	48.2	148	0.285
Ethyl acetate	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.10	0.901	158.6	5.021	351.7	38.6	516.3	63.0	167	0.248
Ethyl benzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.16	0.867	189.4		350.2		523.1	37.8	286	0.252
Ethyl bromide	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br	108.98	1.460	178.185	9.163	409.35	36.0	619.7	37.0	360	0.260
Ethyl chloride	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	64.52	0.903 <sup>10*</sup>	154.1		311.4		504	61.5	215	0.320
3-Ethyl hexane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.22	0.7169	134.83	4.452	285.43	25	460.4	52.0	199	0.274
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.05	0.975(A)			391.69	34.3	567.0	26.4	466	0.264
Ethylene glycol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62.07	1.113 <sup>19*</sup>	103.97	3.351	169.45	13.54	283.1	50.5	124	0.270
Ferric oxide	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159.70	5.12	260	11.23	470.4	56.9				
Ferric sulfide	Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	207.90	4.3	1833							
Ferrous sulfide	FeS	87.92	4.84	(decomposes)							
Formaldehyde	H <sub>2</sub> CO	30.03	0.815-20**	1466							
Formic acid	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	46.03	1.220	154.9		(decomposes)	24.5				
Glycerol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	92.09	1.260 <sup>30*</sup>	281.46	12.7	373.7	22.3				
Helium	He	4.00	0.1368(A)	291.36	18.30	563.2					
Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.684	3.5	0.02	4.216	0.084	5.26	2.26	58	0.304
				182.57	14.03	371.59	31.69	540.2	27.0	426	0.260

1-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.10	0.60	87.81	3.848	266.91	21.92	419.6	39.7	240	0.277
Butyl phthalate	see Dibutyl phthalate										
n-Butyric acid	n-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.10	0.958	267		437.1		628	52.0	290	0.293
iso-Butyric acid	iso-C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.10	0.949	226		427.7		609			
Calcium arsenate	Ca <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	398.06		1723							
Calcium carbide	Ca <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	64.10	2.221 <sup>8*</sup>	2573							
Calcium carbonate	CaCO <sub>3</sub>	100.09	2.93	(decomposes at 1098 K)							
Calcium chloride	CaCl <sub>2</sub>	110.99	2.152 <sup>15*</sup>	1055	28.4						
	CaCl <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	129.01									
	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	147.03									
	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	219.09	1.781 <sup>7*</sup>	303.4	37.3	(-6H <sub>2</sub> O at 473 K)					
Calcium cyanamide	CaCN <sub>2</sub>	80.11	2.29								
Calcium cyanide	Ca(CN) <sub>2</sub>	92.12									
Calcium hydroxide	Ca(OH) <sub>2</sub>	74.10	2.24	(-H <sub>2</sub> O at 853 K)							
Calcium oxide	CaO	56.08	2.62	2873	50	3123					
Calcium phosphate	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	310.19	3.14	1943							
Calcium silicate	CaSiO <sub>3</sub>	117.17	2.915	1803	48.62						
Calcium sulfate (gypsum)	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	172.18	2.32	(-1½H <sub>2</sub> O at 301°K)							
Carbon	C	12.010	2.26	3873	46.0	4473					
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	44.01	1.53(A)	217.0 <sup>5,2</sup>	8.32	(sublimes at 195 K)	304.2	72.9	94	0.275	
Carbon disulfide	CS <sub>2</sub>	76.14	1.261 <sup>22/20*</sup>	161.1	4.39	319.41	26.8	552.0	78.0	170	0.293
Carbon monoxide	CO	28.01	0.968(A)	65.10	0.837	81.66	6.042	133.0	34.5	93	0.294
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	153.84	1.595	250.3	2.5	349.9	30.0	556.4	45.0	276	0.272
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	70.91	2.49(A)	172.16	6.406	239.10	20.41	417.0	76.1	124	0.276

\*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).

ملاحظات

اول بنیادی و بیانی محاسبات

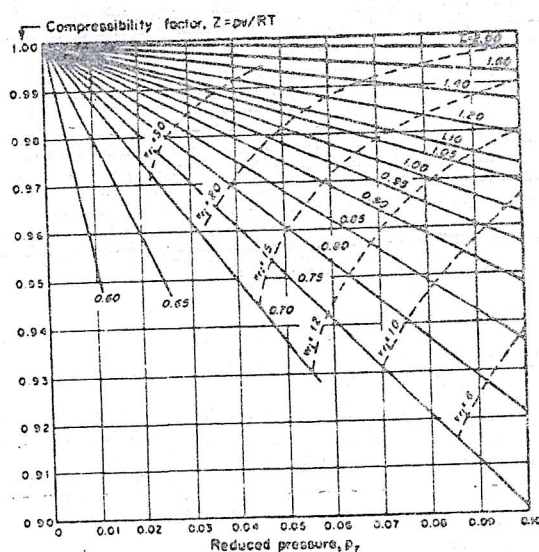
۴۷۳



$$T'_c = T_c + 8 \text{ K} \quad (۲۴۲)$$

$$p'_c = p_c + 8 \text{ atm} \quad (۲۵۲)$$

باین ترتیب کاربردشکلهای ۷-۲ تا ۱۰-۲ با حداقل خطا در مورد این دو گاز نیز ممکن میشود. شکل ۱۰-۲ یک منحنی منحصر بفرد است باین معنی که بارسم همزمان چندین عامل بر روی آن امکان پرهیز از روشهای حدس و خطا و ترسیمی در حل مسائل گازهای حقیقی میسر میگردد.



شکل ۷-۲ (b) منحنی عمومی تراکم پذیری، در دماهای بسیار پائین

یکی از این عوامل مفید حجم نقصانی آرمانی است که بصورت زیر بیان میشود:

$$V_{r1} = \frac{\hat{V}}{\hat{V}_{c1}} \quad (۲۶۲)$$

که  $\hat{V}_{c1}$  حجم بحرانی آرمانی میباشد، یا:

$$\hat{V}_{c1} = \frac{RT_c}{p_c} \quad (۲۷۲)$$

محاسبه  $V_{r1}$  و  $\hat{V}_{c1}$  بعلت معلوم بودن  $T_c$  و  $p_c$  بسادگی امکان پذیر است. تهیه منحنی عمومی تراکم پذیری از نظر عملی دارای ارزش زیادی میباشد زیرا در انجام محاسبات مهندسی تسهیل ایجاد کرده و سبب توسعه و تکمیل توابع ترمودینامیکی گازهای شده است که نتایج تجربی در مورد آنها