

موازنه مواد و انرژی

فصل اول - اصول محاسبات در مهندسی شیمی

کمیت ها و واحدها
انواع کمیت ها
مفهوم g_c
مول
جرم اتمی و جرم مولکولی
جرم حجمی
وزن مخصوص (چگالی)
درجه ی (API)
حجم مخصوص
دبی (شدت جریان)
محاسبه دبی جرمی ، مولی و حجمی
جزء جرمی ، مولی و حجمی
آنالیز (تجزیه)
غلظت
مینا
دما
فشار
فشار نسبی و مطلق
برقراری تعادل در لوله های حاوی سیالات
محاسبات استوکیومتری
درجه تکمیل واکنش
میزان تبدیل
تولید انتخابی
بازده

فصل دوم - موازنه ماده

تعاریف و مفاهیم موازنه ماده
بررسی سیستم های بدون واکنش
بررسی سیستم های همراه با واکنش
انواع فرآیندهای شیمیایی در صنعت
برنامه ریزی برای تجزیه تحلیل مسائل موازنه مواد

فصل اول :

اصول محاسبات در مهندسی شیمی

کمیت ها و واحد ها

- نکته ۱-** هیچ عدد بدون بعد و واحدی مفهوم فیزیکی نخواهد داشت.
- نکته ۲-** در جمع و تفریق کمیت های فیزیکی فقط آن دسته از کمیت هایی حق دارند با یکدیگر جمع شوند (یا تفریق شوند) که جنس آنها یکی باشد. (نه لزوماً واحد آنها)
- نکته ۳-** ضرب و تقسیم کمیت های فیزیکی حتی اگر دارای واحد مشترک یا جنس مشترک هم نباشند امکان پذیر است.

مثال :

$$3\text{kg} + 2\text{m}$$

نادرست

$$3\text{kg} + 2\text{kg} = 5\text{kg}$$

درست

$$2\text{kg} + 2\text{g}$$

قابل جمع هستند ولی ابتدا باید واحدها یکی شود
در ضرب و تقسیم لزوماً جنس کمیت ها یکی نیست.

مثال :

$$F = m \cdot a$$

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

انواع کمیت ها

- ۱- کمیت های اصلی :** کمیت هایی که وجودشان وابسته به کمیت دیگری نیست. تعداد آنها محدود است و مهم ترین آنها عبارتند از : طول ، جرم ، زمان ، مول و دما
- ۲- کمیت های فرعی :** کمیت هایی که وجودشان وابسته به کمیت دیگری است . تعداد آنها نامحدود بوده و مهم ترین آنها عبارتند از : نیرو ، دانسیته ، فشار ، حجم ، سطح و ...

اینکه هر کمیت را چگونه اندازه می گیریم و معیار سنجش آن چیست را واحد آن کمیت گویند. از آنجا که سیستم های آحاد مختلفی وجود دارد که در حال حاضر نیز در صنایع مختلف از آنها استفاده می شود به ناچار می بایست با آنها آشنا شد و ضرایب تبدیل این واحدها به یکدیگر را دانست.

کمیت سیستم	طول	جرم	زمان	دما	مول	نیرو	انرژی
SI	m	Kg	sec	^c o و K	gmole	N	J
cgs	cm	gr	sec	^c o و K	gmole	dyne	erg , cal
مهندسی امریکایی	ft	lbm	sec	^f o و ^R o	lbmole	lb	Btu , lb.ft
مهندسی انگلیسی	ft	slug	sec	^f o و ^R o	lbmole	lbw	Btu
انگلیسی مطلق	ft	poundal	sec	^f o و ^R o	lbmole	poundal	Ft.poundal
دیمانسیون	L	M	T	K	Mole	M.L. T ²	M.L ² . T ²

جدول یکاها در سیستم های مختلف

تذکره - ۱: دیمانسیون هر کمیت نشان دهنده ی جنس آن کمیت می باشد که با حروف انگلیسی بطور قراردادی نشان داده می شود.

تذکره - ۲: اعداد و پارامترهایی که در توابع ریاضی قرار می گیرند بدون بعد و واحد در نظر گرفته می شوند.

برخی از تبدیل واحد های مهم در زیر آورده شده است :

مثال: ۵۰ پوند چند کیلوگرم است ؟

$$1\text{lbm} = 0.454 \text{ Kg}$$

$$50\text{lbm} \times \frac{0.454\text{kgr}}{1\text{lbm}} = 50 \times 0.454\text{kgr} = 22.7 \text{ Kg}$$

یک فیزیکی: یک فیزیکی از ارتباط بین آحاد در سیستم های مختلف بدست می آید و دارای

خاصیتی است که واحد کمیت فیزیکی را تغییر می دهد بدون اینکه جنس آن کمیت را عوض کند.

نکته: می توان بی شمار یک فیزیکی تعریف کرد ولی بنا به نوع مسئله می بایست از یک فیزیکی

صحیح و مناسب با تبدیل واحد استفاده نمود.

نکته: یک فیزیکی یک عامل خنثی در ضرب است .

مثال :

$$1\text{lbm} = 0.454 \text{ Kg}$$

$$\frac{1\text{lbm}}{0.454\text{Kg}} = \frac{0.454\text{Kg}}{0.454\text{Kg}}$$

$$\Rightarrow \text{یک فیزیکی} \frac{1\text{lbm}}{0.454\text{Kg}} = 1$$

تذکر: در صورت نیاز می توان از یک فیزیکی چند بار به طور متوالی استفاده کرد.

مثال: اگر هواپیمایی با سرعت 2200ft/s حرکت کند سرعت آن را بر حسب کیلومتر بر ساعت بدست آورید؟

$$2200 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \left| \frac{12\text{in}}{1\text{ft}} \right| \left| \frac{2.54\text{cm}}{1\text{in}} \right| \left| \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} \right| \left| \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} \right| \left| \frac{60\text{sec}}{1\text{min}} \right| \left| \frac{60\text{min}}{1\text{hr}} \right| = 950.4 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

تذکر: در صورت نیاز می توان یک فیزیکی را به توان رساند.

مثال: اگر حجم ظرفی 1500 in^3 باشد حجم را بر حسب m^3 بدست آورید؟

$$1500\text{in}^3 = ?\text{m}^3$$

$$1\text{in}^3 = (2.54\text{cm})^3 \Rightarrow 1\text{in}^3 = 2.54^3 \text{cm}^3 \Rightarrow \frac{1\text{in}^3}{2.54^3} = 1$$

$$\Rightarrow 1500\text{in}^3 \left| \frac{2.54^3 \text{cm}^3}{1\text{in}^3} \right| \left| \frac{1\text{m}^3}{100^3 \text{cm}^3} \right| = 2.4581\text{m}^3$$

مثال: چنانچه یک لوله روزانه 400in^3 آب را به داخل یک مخزن هدایت کند محاسبه کنید که در

هر دقیقه چند cm^3 آب وارد مخزن می شود؟

$$\frac{400\text{in}^3}{\text{day}} = ? \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\frac{400\text{in}^3}{\text{day}} \left| \frac{2.45^3 \text{cm}^3}{1^3 \text{in}^3} \right| \left| \frac{1\text{day}}{24 \times 60 \text{min}} \right| = 4.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

مثال: در صورتیکه ضریب انتقال حرارت از یک لوله توسط رابطه ی $h = 0.02G \cdot \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}}$ بدست آید که در آن h ضریب انتقال حرارت بر حسب $\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 F}$ و G شدت جریان بر حسب $\frac{lb_m}{hr \cdot ft^2}$ و D قطر خارجی بر حسب ft باشد و بخواهیم h را بر حسب $\frac{cal}{min \cdot cm^2 \cdot ^\circ C}$ بیان کنیم ثابت عددی بجای 0.026 چه خواهد بود؟

حل:

$$1Btu = 252Cal$$

$$1hr = 60min$$

$$1in = 2.54cm$$

$$1ft = 12in$$

$$1^\circ C = 1.8^\circ F$$

$$h = (0.02G \cdot \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}}) \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 F} \left| \frac{252Cal}{1Btu} \right| \left| \frac{1hr}{60min} \right| \left| \frac{1ft^2}{144in^2} \right| \left| \frac{1in^2}{2.54^2 in^2} \right| \left| \frac{1.8^\circ F}{1^\circ F} \right|$$

$$= \left(\frac{0.026 \times 252 \times 1.8}{60 \times 144 \times 2} \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}} \right) \frac{Cal}{min \cdot cm^2 \cdot ^\circ C} = (2.11 \times 10^{-4} \frac{G^{0.6}}{D^{0.6}}) \frac{Cal}{min \cdot cm^2 \cdot ^\circ C}$$

در مثال قبل چنانچه بخواهیم G و D به ترتیب بر حسب واحدهای $\frac{Cal}{min \cdot cm^2}$ و cm بیان شوند و h به حسب همان واحد بدست آمده در مثال قبل باشد ثابت عددی را به نحو مناسب بدست آورید.

$$h = 2.11 \times 10^{-4} \frac{(G \frac{lbm}{hr \cdot ft^2} \left| \frac{454gr}{1lbm} \right| \left| \frac{1hr}{60min} \right| \left| \frac{1ft^2}{12^2 in^2} \right| \left| \frac{1in^2}{2.54^2 cm^2} \right|)^{0.6}}{(D \frac{ft}{1ft} \left| \frac{12in}{1ft} \right| \left| \frac{2.54cm}{1in} \right|)^{0.4}}$$

$$= 2.11 \times 10^{-4} \frac{(\frac{454}{60 \times 10^2 \times 2.54^2})^{0.6} G^{0.6}}{(12 \times 2.54)^{0.4} D^{0.4}} = 3.10^{-6} \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}}$$

مثال: چنانچه در رابطه زیر D فاصله و بر حسب میکرون، t زمان و بر حسب ثانیه باشد، فرمول را به نحوی تغییر دهید که D بر حسب in و t بر دقیقه باشد.

$$d = 16.2 - 16.2e^{-0.021t}$$

$$d = \frac{16.2\mu}{1\mu} \left| \frac{10^{-6}m}{1m} \right| \left| \frac{100cm}{2.54cm} \right| \frac{1in}{2.54cm} - \frac{16.2\mu}{1\mu} \left| \frac{10^{-6}m}{1m} \right| \left| \frac{100cm}{2.54cm} \right| \frac{1in}{2.54cm} \cdot e^{-\frac{0.021}{sec} \left| \frac{60sec}{1min} \right| t}$$

$$\Rightarrow d = 0.38 \times 10^{-4} - 0.38e^{-1.26t}$$

g_c :

در سیستم مهندسی به دو دلیل از ثابت g_c استفاده می شود.

۱- تعدیل واحد ها در فرمول قانون دوم نیوتن $F=m.a$

۲- یکی کردن عدد جرم و عدد وزن

مقدار عددی عددی g_c برابر با 32.174 می باشد که مقدار ثابت گرانش بر حسب (ft/sec^2) در سطح دریا و عرض جغرافیایی 45° می باشد.

با نوشتن $F=m.a/g_c$ می توان نتیجه گرفت که برای بدست آوردن F بر حسب lb_f می بایست

واحد g_c به صورت زیر باشد:

$$[g_c] = \frac{lb_m \cdot ft}{lb_f \cdot sec^2}$$

و برای یکی شدن عدد جرم و عدد وزن می بایست مقدار عددی g_c با توجه به رابطه $W = \frac{m \cdot g}{g_c}$ برابر 32.174 باشد.

برای تعدیل واحد ها در محاسبات انرژی نیز می بایست در سیستم مهندسی g_c را لحاظ کنیم. با این کار انرژی بر حسب $ft \cdot lb_f$ بدست می آید و روابط زیر را به کار می بریم:

$$W = F \cdot d = \frac{m \cdot g}{g_c} \cdot d$$
$$\Rightarrow lb_m \times \frac{\frac{ft}{sec^2} \times ft}{\frac{lb_m \cdot ft}{lb_f \cdot sec^2}} = ft \cdot lb_f$$

مثال: جسی به جرم $10lb_m$ چه وزنی بر حسب lb دارد؟

$$W = m \cdot \frac{g}{g_c} \Rightarrow W = 10 \times \frac{32.2}{32.174} \cong 10lb_f$$

مثال: $100lb_m$ آب بوسیله یک خط لوله و با سرعت $10 \frac{ft}{sec}$ در حال حرکت است. انرژی جنبشی آن را بر حسب Btu محاسبه کنید.

$$1Btu = 778lb_f \cdot ft$$

$$g_c = 32.174 \frac{lb_m \cdot ft}{sec^2 \cdot lb_f}$$

$$g = 32.2 \frac{ft}{sec^2}$$

$$E_k = \frac{mV^2}{2g_c} = \frac{1}{2} \times \frac{100 \times 10^2}{32.174} = 155 ft \cdot lb_f \Rightarrow 155 ft \cdot lb_f \times \frac{1Btu}{778 ft \cdot lb_f} = \frac{155}{778} Btu$$

مثال: انرژی پتانسیل یک بشکه آب را که محتوی $100lb_m$ می باشد و نسبت به سطح زمین $10ft$ ارتفاع دارد را محاسبه کنید.

$$E_p = \frac{mgh}{g_c} = \frac{100 \times 32.2 \times 10}{32.174} = 1001 ft.lb_f$$

مول (Mole)

طبق آزمایشات آووگادرو یک گرم مول از هر ماده دارای تعداد 6.023×10^{23} ذره بنیادی از آن ماده است.

واحد های اصلی مول عبارتند از گرم مول ($gmole$) ، پوند مول ($lbmole$) و کیلومول ($Kmole$)

ذره ی بنیادی $1 gmole = 6.02 \times 10^{23}$

ذره ی بنیادی $1lbmole = 454 gmole = 454 \times 6.02 \times 10^{23}$

ذره ی بنیادی $1Kmole = 1000 gmole = 1000 \times 6.02 \times 10^{23}$

نکته ۱- ذره بنیادی (تشکیل دهنده) برای مواد سازنده تک اتمی ، اتم و برای مقادیر مرکب و یا مواد ساده چند اتمی ، مولکول است.

نکته ۲- چنانچه کلمه مول به تنهایی به کار رود منظور گرم مول است.

مثلاً وقتی می گوئیم یک گرم مول آهن منظور 6.02×10^{23} ، اتم آهن است ولی وقتی می گوئیم یک گرم مول آب منظور 6.02×10^{23} ، مولکول آب است.

جرم اتمی و جرم مولکولی

جرم اتمی: جرم اتم های یک جسم به تعداد 6.02×10^{23} ، عدد اتم بر حسب گرم را جرم

اتمی می نامیم. (به عبارت دیگر جرم یک گرم مول از هر ماده بر حسب گرم)

جرم مولکولی: جرم مولکول های یک جسم به تعداد 6.02×10^{23} ، عدد مولکول بر

حسب گرم را جرم مولکولی می نامیم. (به عبارت دیگر جرم یک گرم مول از هر ماده بر حسب گرم)

نکته ۱- جرم اتمی برای مواد ساده تک اتمی و جرم مولکولی برای مواد مرکب و مواد ساده چند اتمی کاربرد دارد.

نکته ۲- از آنجایی که جرم اتمی و جرم مولکولی کمیت های فرعی هستند لذا می بایست محاسبه شود. رابطه محاسبه آنها به صورت زیر است.

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

m = جرم

n = تعداد مول

M = جرم اتم یا مولکولی

نکته ۳- با توجه به رابطه ی فوق می توان دیمانسیون جرم اتمی و جرم مولکولی را به صورت زیر بدست آورد .

$$[M] = \frac{[m]}{[n]} = \frac{M}{mole}$$

$$[M] = M \cdot mole^{-1}$$

نکته ۴- با توجه به دیمانسیون بدست آمده برای جرم اتمی و جرم مولکولی می توان واحدهای اصلی زیر را برای این کمیت ها معرفی کرد.

SI , cgs : استاندارد $\frac{gr}{gmole}$

مهندسی (Eng) : $\frac{lbm}{lbmole}$

واحد فرعی : $\frac{Kg}{K mole}$

نکته : برای برقراری ارتباط بین اعداد جرم اتمی و جرم مولکولی در واحدهای گوناگون به عنوان مثال مس را در نظر می گیریم :

$$Cu = 64 \frac{gr}{grmole} \left| \frac{1lbm}{454gr} \right| \frac{454mole}{1lbmole} = 64 \frac{lbm}{lbmole} = 64 \frac{Kg}{kmole}$$

با توجه به نمونه فوق می توان گفت که عدد جرم اتمی و جرم مولکولی در واحدهای مختلف یکی بدست می آید. ولی واحد متفاوتی دارد. مثلاً وقتی می گوئیم مس $cu = 64 \frac{gr}{gmole}$ است یعنی اینکه یک gmole مس 64 گرم جرم دارد و یا اینکه وقتی می گوئیم مس $64 \frac{lbm}{lbmole}$ مفهوم این است که یک lbmole، 64 پوند جرم دارد.

تذکر: مول از نظر لغوی به توده و انباشته ترجمه شده است که به درستی بیان کننده مفهوم فیزیکی و علمی این واژه نیست.

دانسیته (جرم حجمی) (جرم ویژه)

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

جرم واحد حجم هر ماده را گویند و داریم:

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{M}{L^3} = M.L^{-3}$$

نکته ۱: برخی مایعات در اثر تغییر فشار از خود تغییر حجم نشان می دهند این مایعات را مایعات تراکم پذیر می نامند.

نکته ۲: برای مایعات تراکم ناپذیر و جامدات دانسیته تابع فشار نیست و فقط تابع دما است. ولی برای گازها و مایعات تراکم پذیر هم تابع دما و هم تابع فشار است.

نکته ۳: برای مواد ناخالص علاوه بر مطالب قبلی دانسیته تابع غلظت نیز هست.

نکته ۴: از آنجاییکه در برخی محاسبات مهندسی تغییرات دانسیته و مطالعه روی آن اهمیت بسزایی دارد. یک سری گراف ها و نمودار هایی که از طریق آزمایش بدست می آیند مورد استفاده قرار می گیرند.

نکته ۵: چنانچه در مسئله ای دما و فشار قید نشوند حالت STP فرض می شود.

شرایط STP برای مایعات و جامدات ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار 1atm بوده اما برای گازها صفر درجه سانتیگراد و فشار 1atm می باشد.

چگالی (وزن مخصوص)- Specific gravity

نسبت جرم حجمی جسم به جرم حجمی جسم مینا را چگالی آن جسم می نامند.

$$Sp.gr = \frac{\rho_{a,T,P}}{\rho_{o,T_o,P_o}}$$

نکته ۱: ماده ی مینا برای مایعات و جامدات آب و برای گازها هواست.

نکته ۲: صورت و مخرج می بایست دارای یک واحد باشند.

طریقه بیان چگالی :

معمولاً باید دمای هر کدام از دو ماده مشخص باشد به عنوان مثال اگر وزن مخصوص یک جسم جامد بصورت زیر داده شده باشد :

$$Sp.gr = 0.73 \frac{20^{\circ}C}{40^{\circ}C}$$

منظور این است که جرم حجمی ماده مورد نظر در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد تقسیم بر جرم حجمی آب در ۴ درجه سانتیگراد برابر ۰,۷۳ است که همان چگالی جسم می باشد. (چنانچه دمایی قید نشود منظور این بوده که هر دو جسم در شرایط STP بوده اند و یا اگر برای یکی از مواد دما مشخص شود برای آن ماده نیز صادق است که در این صورت نیازی به بیان دما در کنار عدد چگالی نیست.

تذکر: در برخی موارد برای بیان چگالی امکان دارد واحد صورت و واحد مخرج یکی نباشد که در آنصورت می بایست حتماً واحد آنها بیان شود به عنوان مثال اگر یک چگالی بصورت زیر داده شده باشد :

$$Sp.gr = 150 \frac{20^{\circ}C \frac{Kg}{m^3}}{4^{\circ}C \frac{gr}{cm^3}}$$

منظور این بوده که دانسیته جسم مورد نظر در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و بر حسب $\frac{Kg}{m^3}$ بر دانسیته جسم مینا در دمای ۴ درجه سانتیگراد و بر حسب $\frac{gr}{cm^3}$ تقسیم شده است.

مثال: چنانچه وزن مخصوص یک جسم جامد 1.25 باشد جرم حجمی آن را بر حسب lb / ft^3 حساب کنید در صورتیکه $\rho_{H_2O} = 1 \frac{gr}{cm^3}$ باشد.

راه حل اول:

محاسبه ρ_a از رابطه ی: $sp.gr = \frac{\rho_a}{\rho_o}$ و تبدیل آن به lbm / ft^3 :

$$\rho_a = \frac{1.25 gr}{cm^3} \left| \frac{1 lbm}{454 gr} \right| \frac{2.54^3 cm^3}{1 in^3} \left| \frac{12^3 in^3}{1 ft^3} \right| = 77.9 \frac{lbm}{ft^3}$$

راه حل دوم:

تبدیل ρ_{H_2O} از gr / cm^3 به lbm / ft^3 و استفاده از آن در رابطه ی $sp.gr = \frac{\rho_a}{\rho_o}$

$$\rho_o = \frac{1 gr}{cm^3} \left| \frac{1 lbm}{454 gr} \right| \frac{2.54^3 cm^3}{1 in^3} \left| \frac{12^3 in^3}{1 ft^3} \right| = 62.4 \frac{lbm}{ft^3}$$

$$\Rightarrow 1.25 = \frac{\rho_a}{62.4 \frac{lbm}{ft^3}} \Rightarrow \rho_a = 1.25 \times 62.4 = 78 \frac{lbm}{ft^3}$$

مثال: اگر جرم حجمی آب در 4 درجه سانتیگراد برابر $1 \frac{gr}{cm^3}$ باشد و چگالی یک جسم بصورت $0.73 \frac{20^\circ C}{4^\circ C}$ داده شده باشد جرم حجمی آن را بر حسب $\frac{lbm}{ft^3}$ بدست آورید.

$$0.73 = \frac{\rho_{solid.at.20^\circ C}}{\rho_{H_2O.at.4^\circ C}}$$

$$\Rightarrow \rho_{solid.at.20^\circ C} = \frac{1 \times 0.73 gr}{cm^3} \left| \frac{1 lb_m}{454 gr} \right| \frac{2.54^3 cm^3}{1 in^3} \left| \frac{12^3 in^3}{1 ft^3} \right| = \frac{0.73 \times 2.54^3 \times 12^3}{454} \frac{lb_m}{ft^3}$$

درجه ی (API):

در صنف نفت چگالی مواد نفتی را غالباً توسط مقیاسی به نام درجه API می سنجند که از رابطه ی زیر محاسبه می گردد:

$$^\circ API = \frac{141.5}{Sp.gr \left(\frac{60^\circ F}{60^\circ F} \right)} - 131.5 \Rightarrow Sp.gr \frac{60^\circ F}{60^\circ F} = \frac{141.5}{^\circ API + 131.5}$$

حجم مخصوص (specific volume)

حجم واحد جرم را گویند .

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

حجم مخصوص v

جرم m

حجم V

$$[v] = L^3 . M^{-1}$$

نکته ۱: برخی مواقع حجم مخصوص را به صورت مولی بیان می کنند که عبارت است از حجم واحد

مول و از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\hat{V} = \frac{V}{n}$$

حجم V

تعداد مول n

حجم مخصوص مولی \hat{V}

$$[\hat{V}] = L^3 . \text{Mole}^{-1}$$

تذکر : \hat{V} را بخوانید وی بار

نکته 2: حجم مخصوص در جداول ترمودینامیکی کاربرد فراوان دارد.

دبی (deby) (شدت جریان) (flow rate) :

در جریان های پیوسته شدت جریان عبارت است از مقدار ماده ی عبوری در واحد زمان از یک مقطع خاص .

مقدار ماده عبوری می تواند بر حسب جرم یا مول یا حجم بیان شود.

انواع دبی :

۱- دبی جرمی (\dot{m}) : جرم عبوری در واحد زمان

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$[\dot{m}] = M.T^{-1}$$

۲- دبی حجمی (\dot{V}) (Q) : حجم عبوری در واحد زمان

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

$$[\dot{V}] = L^3.T^{-1}$$

۳- دبی مولی (\dot{n}) : مول عبوری در واحد زمان

$$\dot{n} = \frac{n}{t}$$

$$[\dot{n}] = Mole.T^{-1}$$

محاسبه دبی جرمی :

$$\dot{m} = \rho.u.A$$

ρ دانسیته

u سرعت

A سطح عمود بر جریان

$$[\dot{m}] = \frac{M}{L^3} \times \frac{L}{T} \times L^2 = M.T^{-1}$$

تذکر :

محاسبه دبی حجمی

$$\rho = \frac{\frac{m}{t}}{\frac{V}{t}} = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \Rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$\dot{V} = \frac{\rho \cdot u \cdot A}{\rho} = u \cdot A$$

محاسبه دبی مولی

$$M = \frac{\frac{m}{t}}{\frac{n}{t}} = \frac{\dot{m}}{\dot{n}} \Rightarrow \dot{n} = \frac{\dot{m}}{M} = \frac{\rho \cdot V \cdot A}{M}$$

تذکر: در رابطه فوق M جرم مولکولی است.

مثال: چنانچه ماده ای با جرم حجمی $800 \frac{kg}{m^3}$ و با سرعت $3 \frac{m}{s}$ از یک لوله استوانه ای شکل به قطر 4in عبور کند، دبی جرمی، حجمی و مولی آن را محاسبه کنید. $M=18$

$$\dot{m} = \rho \cdot u \cdot A = 800 \frac{kg}{m^3} \left| \frac{3m}{sec} \right| \pi \times \frac{4^2 in^2}{4} \left| \frac{2.54^2 cm^2}{1^2 in^2} \right| \frac{1m^2}{100cm^2} = 19.46 \frac{kg}{sec}$$

$$A = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad \text{تذکر:}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{19.46 \frac{kg}{sec}}{800 \frac{kg}{m^3}} = 1.24 \frac{m^3}{sec}$$

$$\dot{n} = \frac{\dot{m}}{M} = \frac{19.46 \frac{kg}{sec}}{18 \frac{kg}{kmole}} = 1.08 \frac{kmole}{sec}$$

مثال: شدت جریان خروجی یک نوع دارو از یک راکتور که دارای جرم مولکولی ۱۹۲ می باشد $10.5 \frac{Lit}{min}$ غلظت دارو ۴۱/۲٪ (محلول در آب) و چگالی آن ۱/۰۲۴ است. غلظت دارو را بر حسب کیلوگرم بر لیتر در جریان خروجی و دبی جریان خروجی را بر حسب کیلومول بر دقیقه محاسبه کنید. $\rho_{H_2O} = 1000 \frac{Kg}{m^3}$

$$\dot{V} = 10.5 \frac{lit}{min}$$

$$M = 192$$

$$C = 41.2\%$$

$$Sp.gr = 1.024$$

$$C_{out} = ? \frac{Kg}{lit}$$

$$n = ? \frac{K mole}{min}$$

بافرض اینکه ۴۱.۲٪ در آب باشد

$$\frac{41.2Kg}{100Kg_{H_2O}} \left| \frac{1000Kg_{H_2O}}{1m^3} \right| \frac{1m^3}{1000Lit} = 0.412 \frac{Kg}{Lit}$$

اگر فرض کنیم ۴۱.۲٪ مقدار حل شونده در کل محلول باشد داریم:

$$\frac{41.2Kg}{100Kg_{solution}} \left| \frac{1.024 \times 1000Kg_{solution}}{1m^3} \right| \frac{1m^3}{1000Lit} = 0.422 \frac{Kg}{Lit}$$

بافرض اینکه جرم مولکولی داده شده مربوط به کل محلول باشد:

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

$$\dot{n} = \frac{\dot{m}}{M} + \frac{\dot{V}\rho}{M} = \frac{10.5Lit}{min} \left| \frac{1024Kg}{m^3} \right| \frac{1m^3}{1000lit} = 0.056 \frac{K mole}{min}$$

بافرض اینکه ۱۹۲ جرم مولکولی حل شونده باشد:

$$\frac{0.422Kg_{solute}}{Lit_{solution}} \left| \frac{10.5lit_{solution}}{min} \right| \frac{1K mole_{solute}}{192Kg_{solute}} = 0.023 \frac{K mole}{min}$$

نکته :

به مثال های زیر در گرد کردن اعداد توجه کنید :

در 20.465 عدد 6 زوج بوده و به صورت 20.46 گرد می شود.

$$20.465 \rightarrow 20.46$$

$$20.4651 \rightarrow 20.47$$

$$20.4551 \rightarrow 20.46$$

$$20.455 \rightarrow 20.46$$

در 20.455 عدد 5 فرد بوده و به صورت 20.46 گرد می شود.

جزء جرمی

عبارت است از جرم ماده A تقسیم بر جرم کل محلول یا مخلوط

$$\text{mass.fraction} = \frac{m_A}{m_t}$$

جزء مولی

عبارت است از تعداد مول ماده A تقسیم بر تعداد مول کل محلول یا مخلوط

$$\text{mole.fraction} = \frac{n_A}{n_t}$$

جزء حجمی

عبارت است از حجم ماده A تقسیم بر حجم کل محلول یا مخلوط

$$\text{volume.fraction} = \frac{V_A}{V_t}$$

نکته ۱: درصد = جزء $\times 100$

نکته ۲: در محاسبه ی جزءها واحد صورت و مخرج باید یکی باشد.

نکته ۳: مجموع در صد های اجزاء محلول یا مخلوط = 100

مجموع جزءهای اجزای محلول یا مخلوط = 1

نکته ۴: گاهی اوقات از عبارت جزء وزنی هم استفاده می شود:

$$\text{جزء وزنی} = \frac{m_A}{m_t} = \frac{g \times m_A}{g \times m_t} = \text{جزء جرمی}$$

درصد وزنی = درصد جرمی

نکته ۵: معمولاً جزء در فاز مایع و جامد را با X و در فاز گاز را با Y نمایش می دهند.

مثال: یک محلول صنعتی تمیزکننده شامل 5Kg آب و 5Kg NaOH می باشد جزء مولی و جزء وزنی هر کدام را محاسبه کنید.

$$\begin{cases} 5\text{Kg}.H_2O \\ 5\text{Kg}.NaOH \end{cases}$$

$$\text{mass.fraction} \begin{cases} x_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{NaOH}} = \frac{5}{5+5} = 0.5 \\ x_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{m_{NaOH} + m_{H_2O}} = 1 - x_{H_2O} = 0.5 \end{cases}$$

$$\text{mole.fraction} \begin{cases} \hat{x}_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O} + n_{NaOH}} = \frac{\frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{m_{NaOH}}{M_{NaOH}}} = \frac{\frac{5}{18}}{\frac{5}{18} + \frac{5}{40}} = 0.69 \\ \hat{x}_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_{H_2O} + n_{NaOH}} = 1 - \hat{x}_{H_2O} = 0.31 \end{cases}$$

مثال : چنانچه در یک محلول گازی 3gmole متان با 3gmole اتان مخلوط شود و دارای شرایط

STP نیز باشیم جزء های جرمی ، مولی و حجمی را محاسبه کنید؟

محاسبه جزء های مولی :

$$\text{جزء مولی متان} = \frac{n_{CH_4}}{n_{CH_4} + n_{C_2H_6}} = \frac{3}{3+3} = 0.5$$

$$\text{جزء مولی اتان} = \frac{n_{C_2H_6}}{n_{CH_4} + n_{C_2H_6}} = \frac{3}{3+3} = 0.5$$

محاسبه جزء های جرمی :

$$\text{جزء جرمی متان} = \frac{m_{CH_4}}{m_{CH_4} + m_{C_2H_6}} = \frac{n_{CH_4} \cdot M_{CH_4}}{n_{CH_4} \cdot M_{CH_4} + n_{C_2H_6} \cdot M_{C_2H_6}} = \frac{3 \times 16}{3 \times 16 + 3 \times 30} = 0.35$$

$$\text{جزء جرمی اتان} = \frac{m_{C_2H_6}}{m_{CH_4} + m_{C_2H_6}} = \frac{n_{C_2H_6} \cdot M_{C_2H_6}}{n_{CH_4} \cdot M_{CH_4} + n_{C_2H_6} \cdot M_{C_2H_6}} = \frac{3 \times 30}{3 \times 16 + 3 \times 30} = 0.65$$

محاسبه جزء های حجمی :

$$PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P}$$

$$\text{جزء حجمی متان} = \frac{V_{CH_4}}{V_{CH_4} + V_{C_2H_6}} = \frac{\frac{n_{CH_4} \cdot RT}{P}}{\frac{n_{CH_4} \cdot RT}{P} + \frac{n_{C_2H_6} \cdot RT}{P}} = \frac{\left(\frac{RT}{P}\right) \cdot n_{CH_4}}{\left(\frac{RT}{P}\right) \cdot (n_{CH_4} + n_{C_2H_6})} = 0.5$$

برای محاسبه جزء حجمی اتان نیز به همین صورت عمل می کنیم.

آنالیز (تجزیه)

آنالیز عبارت است از بیان مقادیر اجزاء موجود در محلول یا مخلوط بر حسب درصد.
انواع آنالیز عبارتند از (جرمی) ، (وزنی) ، (مولی) و (حجمی) .

نکته ۱: برای مایعات و جامدات همواره فرض بر این است که آنالیز به صورت جرمی (وزنی) است.
مگر اینکه خلاف آن گفته شده باشد و برای گازها فرض بر این است که آنالیز بر حسب درصد حجمی است ، مگر آنکه خلاف آن گفته شود.

نکته ۲: در مورد گازهای ایده آل آنالیز مولی و حجمی با هم برابرند.

نکته ۳: چنانچه در محاسبه ی آنالیز آگوا آب منظور نگردد این آنالیز را آنالیز اُرسات – Orsat – می نامند.

نکته ۴: در مورد گازهای غیر ایده آل نیز در این درس همواره فرض می کنیم آنالیز مولی باشد مگر آنکه در مسئله خلاف آن گفته شده باشد.

نکته ۵: در این درس همه ی گازها را ایده آل فرض می کنیم مگر آنکه خلاف آن گفته شده باشد.

مثال : در صورتیکه آنالیز هوا شامل 21٪ اکسیژن و 79٪ نیتروژن باشد جرم مولکولی هوا را محاسبه کنید؟

$$100 \text{ gmole} : \text{air} \begin{cases} 21 \text{ gmole} : O_2 \\ 79 \text{ gmole} : N_2 \end{cases}$$

$$M_{\text{air}} = \frac{m_{\text{air}}}{n_{\text{air}}} = \frac{m_{O_2} + m_{N_2}}{100 \text{ gmole}} = \frac{n_{O_2} \cdot M_{O_2} + n_{N_2} \cdot M_{N_2}}{100 \text{ gmole}} =$$

$$\frac{21 \text{ gmole} \times 32 \frac{\text{gr}}{\text{gmole}} + 79 \times 28}{100 \text{ gmole}} = 29 \frac{\text{gr}}{\text{gmole}}$$

غلظت - Concentration

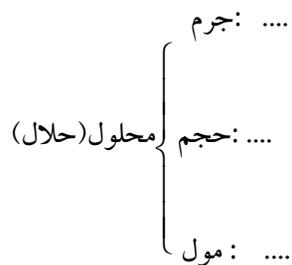
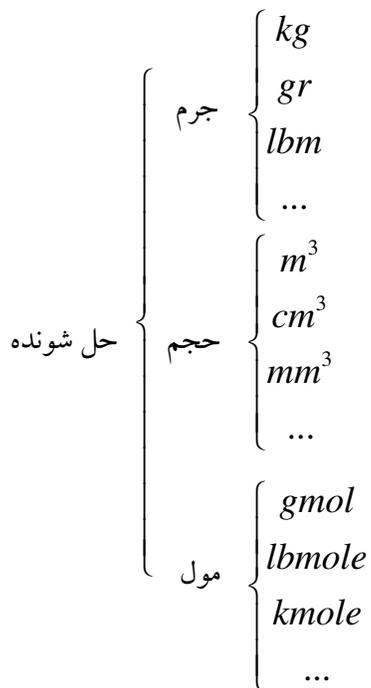
غلظت عبارت است از مقداری از حل شونده بر حسب مول یا جرم یا حجم که در مقدار معینی از حلال یا محلول بر حسب مول یا جرم یا حجم وجود داشته باشد.

حلال : solvent

حل شونده : solute

محلول : solution

واحد های غلظت : با توجه به تعریف فوق غلظت می تواند واحد های مختلفی داشته باشد.



تذکر: چنانچه در بیان واحد غلظت اشاره ای نشود فرض بر این است که مقدار حل شونده به ازای واحد محلول داده شده است.

دو واحد خاص در غلظت عبارتند از:

p.p.m : (part per million)

p.p.b : (part per billion)

جرمی: مقدار جرم حل شونده در (10^9) ، 10^6 واحد جرم محلول

$$= \frac{\text{جرم حل شونده}}{10^6 (10^9) \text{ واحد جرم محلول}}$$

مولی: تعداد مول حل شونده در (10^9) ، 10^6 واحد مول

$$= \frac{\text{تعداد مول حل شونده}}{10^6 (10^9) \text{ واحد مول محلول}}$$

حجمی: مقدار حجم حل شونده در (10^9) ، 10^6 واحد حجم محلول

$$= \frac{\text{مقدار حجم حل شونده}}{10^6 (10^9) \text{ واحد حجم محلول}}$$

انواع p.p.m (p.p.b):

نکته ۱: در بیان انواع غلظت های ppm و ppb باید واحد صورت و مخرج یکی باشد.

نکته ۲: در تمام تعاریف می توان به جای کلمه ی محلول از کلمه حلال استفاده کرد. (بدلیل اینکه

عدد حل شونده در مقابل عدد حلال قابل صرف نظر کردن است)

نکته ۳: در بیان ppm و ppb چنانچه خلاف آن گفته نشده باشد برای مایعات و جامدات همواره فرض بر این است که ppm و ppb داده شده جرمی و برای گازها، حجمی (مولی) می باشد.

سوال: (غلظت یک محلول مایع 10 ppm است)، این جمله چه مفهومی دارد؟

پاسخ:

این جمله می تواند مفاهیم زیر را داشته باشد:

- ۱- در 10^6 کیلوگرم از محلول یا حلال 10 کیلوگرم حل شونده وجود دارد.
- ۲- در 10^6 گرم از حلال یا محلول 10 گرم حل شونده وجود دارد.
- ۳- در 10^6 پوند حلال یا محلول 10 پوند حل شونده وجود دارد.

سوال: (غلظت CO در هوا 0.1ppm است)، این جمله چه مفهومی می تواند داشته باشد؟

پاسخ:

می تواند مفاهیم زیر را داشته باشد:

- ۱- در $10^6 m^3$ هوا 0.1 متر مکعب CO وجود دارد.
- ۲- در $10^6 cm^3$ هوا 0.1 سانیمتر مکعب CO وجود دارد.
- ۳- در $10^6 in^3$ هوا 0.1 اینچ مکعب CO وجود دارد.
- ۴- و چون در مورد غیر ایده آل بودن صحبتی نشده می توان گفت:
- ۵- در $10^6 gmole$ هوا 0.1gmole CO وجود دارد.
- ۶- در $10^6 lbmole$ هوا 0.1lbmole CO وجود دارد.

مثال: چنانچه در پساب یک کارخانه غلظت یک ماده سمی 0.01 ppm باشد و روزانه ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شود، محاسبه کنید که در هر روز چند پوند از این ماده وارد رودخانه می شود؟

A پساب

B ماده سمی

$$C_B = 0.01 ppm$$

$$\dot{m}_A = 500000 \frac{kg}{day}$$

راه حل اول:

$$\begin{array}{l} 10^6 Kg A \quad 0.01Kg B \\ 500000Kg A \quad ? = 5 \times 10^{-3} Kg B \end{array}$$

راه حل دوم:
 مبنای محاسبات بر پایه ی یک روز

$$? = \frac{0.01Kg \ B}{10^6 \ Kg \ A} \Big| \frac{500000Kg \ A}{0.454Kg} \Big| \frac{1lbm}{0.454Kg} = 0.011lbm$$

مثال: محلول HNO_3 در آب چگالی 1.1 در دمای 250 درجه سانتیگراد را در نظر بگیرید. غلظت HNO_3 برابر $15 \frac{gr}{Lit}$ می باشد. مطلوب است:
 الف: جزءمولی HNO_3 در محلول
 ب: مقدار HNO_3 بر حسب ppm در محلول

$$Sp.gr = 1$$

$$M_{H_2O} = 18$$

$$M_{HNO_3} = 63$$

$$C = 15 \frac{gr}{Lit}$$

$$15 \frac{gr}{Lit_{Solution}} \Big| \frac{1m^3_{Solution}}{1.1 \times 1000Kg_{Solution}} \Big| \frac{1000Lit}{1m^3} = \frac{15}{101} \frac{gr_{solute}}{gr_{solution}} = 13.63 \frac{gr_{solute}}{gr_{solution}}$$

$$\Rightarrow 1000gr_{Solution} \begin{cases} 13.63gr_{HNO_3} \\ (1000 - 13.63)gr_{H_2O} \end{cases}$$

$$\hat{x}_{HNO_3} = \frac{\frac{m_{HNO_3}}{M_{HNO_3}}}{\frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{m_{HNO_3}}{M_{HNO_3}}} = \frac{\frac{13.63}{63}}{\frac{1000-13.63}{18} + \frac{13.63}{63}} = 0.0393$$

$$ppm: \frac{15gr_{solute}}{1Lit_{solution}} \Big| \frac{1m^3_{solution}}{1.1 \times 1000Kg_{solution}} \Big| \frac{1000Lit}{1m^3} \Big| \frac{1Kg_{solute}}{1000gr} \times 10^6 = 13636.36$$

مبنا – BASE

خواص شدتی – IntenSive : به مقدار جرم بستگی ندارد.

خواص ترمودینامیکی

خواص مقداری – ExtenSive : به مقدار جرم بستگی دارند.

مطالعه روی خواص شدتی به جرم بستگی ندارد و می توان آزمایشات یا محاسبات را روی هر مقداری از ماده که راحت تر است انجام داد.

تعریف مبنا: عبارت است از مقداری از جسم که روی آن مطالعات خود را انجام می دهیم و نتایجی را که از آن بدست می آوریم می توان برای کل جسم یا سیستم مورد استفاده قرار داد. (در واقع مبنا عبارت است از مرجعی که برای انجام محاسبات مربوط به هر مسئله انتخاب می شود و انتخاب درست آن غالباً سبب آسانتر شدن حل مسئله می شود).

نکته ۱: مبنای انتخاب شده را باید در شروع حل مسئله ذکر کرد تا همواره اساس واقعی محاسبات مد نظر باشد و هر شخص دیگری نیز که مسئله را مطالعه می کند مبنای آن را به سادگی در یابد.

نکته ۲: امکان دارد که نیاز داشته باشیم مبنای مسئله را در میانه راه مسئله عوض کنیم و یا اینکه از مبناهای تو در تو استفاده کنیم در این صورت هم باید مبنای جدید را قید کنیم.

نکته ۳: معمولاً اعدادی همچون 1، 100، 1000 که ساده تر هستند را به عنوان مبنا در نظر می گیریم

نکته ۴: در برخی موارد (معمولاً وقتی که از دبی استفاده می کنیم) بهتر است مبنا را واحد زمان در نظر بگیریم.

نکته ۵: توانایی مناسب در انتخاب مبنای صحیح از طریق ممارست و تمرین حاصل خواهد شد.

مثال: اگر سوختی متشکل از 80٪ متان و 20٪ اتان داشته باشیم، نسبت تعداد اتم های کربن به تعداد اتم های هیدروژن را در این سوخت محاسبه کنید؟

$$\text{آنالیز گاز} \left\{ \begin{array}{l} 80\% \text{ CH}_4 \\ 20\% \text{ C}_2\text{H}_6 \end{array} \right.$$

$$\frac{\text{تعداد اتم C}}{\text{تعداد اتم H}} = ?$$

$$\overbrace{\begin{array}{cc} \text{Base: 100 gmole of Mix} \\ 80\text{gmole CH}_4 & 20\text{gmole C}_2\text{H}_6 \end{array}}$$

$$80\text{gmole CH}_4 : \quad \overbrace{\begin{array}{cc} \text{Base: 1gmole of CH}_4 \\ 1\text{gmole C} & 4\text{gmole H} \end{array}}$$

$$\text{تعداد کل گرم مول C} : 1 \times 80 = 80\text{gmole}$$

$$\text{تعداد کل گرم مول H} : 4 \times 80 = 320\text{gmole}$$

$$20\text{gmole C}_2\text{H}_6 : \quad \overbrace{\begin{array}{cc} \text{Base: 1gmole of C}_2\text{H}_6 \\ 2\text{gmole C} & 6\text{gmole H} \end{array}}$$

$$\text{تعداد کل گرم مول C} : 2 \times 20 = 40\text{gmole}$$

$$\text{تعداد کل گرم مول H} : 6 \times 20 = 120\text{gmole}$$

$$\text{تعداد کل اتم های C در مخلوط} = 80 + 40 = 120\text{gmole} \times \frac{6.02 \times 10^{23}}{1\text{gmole}}$$

$$\text{تعداد کل اتم های H در مخلوط} = 320 + 120 = 440\text{gmole} \times \frac{6.02 \times 10^{23}}{1\text{gmole}}$$

$$\text{نسبت مول های C به H} = \text{نسبت تعداد اتم C به H} = \frac{120}{440} = \frac{3}{11}$$

مثال: چنانچه یک گاز شامل 30٪ مونوکسید کربن، 40٪ متان، 10٪ هیدروژن و 20٪ دی اکسید کربن باشد وزن مولکولی این گاز را محاسبه کنید.

$$\begin{array}{l} \text{آنالیز} \left\{ \begin{array}{l} 30\% \text{ CO} \\ 40\% \text{ CH}_4 \\ 10\% \text{ H}_2 \\ 20\% \text{ CO}_2 \end{array} \right. \xrightarrow{\text{از ضمائم آخر کتاب همبل بلاو}} \left\{ \begin{array}{l} \text{CO} = 28 \\ \text{CH}_4 = 16 \\ \text{H}_2 = 2 \\ \text{CO}_2 = 44 \end{array} \right. \end{array}$$

$$\text{Base: } 100 \text{ gmole of Mix} \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ gmole CO} = 30 \times 28 \text{ gr CO} \\ 40 \text{ gmole CH}_4 = 40 \times 16 \text{ gr CH}_4 \\ 10 \text{ gmole H}_2 = 10 \times 2 \text{ gr H}_2 \\ 20 \text{ gmole CO}_2 = 20 \times 44 \text{ gr CO}_2 \end{array} \right.$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{30 \times 28 + 40 \times 16 + 10 \times 2 + 20 \times 44}{100} = 23.8 \frac{\text{gr}}{\text{gmole}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kmole}} \right) \left(\frac{\text{lbm}}{\text{lbmole}} \right)$$

مثال: با فرض اینکه آنالیز داده شده در مثال قبل وزنی باشد مسئله را حل کنید.

راه حل اول:

$$\text{Base: } 100 \text{ gr of Mix} \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ gr CO} = \frac{30}{28} \text{ gmole CO} \\ 40 \text{ gr CH}_4 = \frac{40}{16} \text{ gmole CH}_4 \\ 10 \text{ gr H}_2 = \frac{10}{2} \text{ gmole H}_2 \\ 20 \text{ gr CO}_2 = \frac{20}{44} \text{ gmole CO}_2 \end{array} \right.$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{100 \text{ gr}}{\frac{30}{28} + \frac{40}{16} + \frac{10}{2} + \frac{20}{44}} = 11.08 \left(\frac{\text{gr}}{\text{gmole}} \right) \text{ or } \left(\frac{\text{kg}}{\text{kmole}} \right) \text{ or } \left(\frac{\text{lbm}}{\text{lbmole}} \right)$$

راه حل دوم :

تبدیل آنالیز جرمی به مولی و سپس حل مسئله :

$$\text{Base : 100gr of Mix} \left\{ \begin{array}{l} 30\text{gr CO} = \frac{30}{28} \text{ gmole} \\ 40\text{gr CH}_4 = \frac{40}{16} \text{ gmole} \\ 10\text{gr H}_2 = \frac{10}{2} \text{ gmole} \\ 20\text{gr CO}_2 = \frac{20}{44} \text{ gmole} \end{array} \right.$$

$$n_t = \frac{30}{28} + \frac{40}{16} + \frac{10}{2} + \frac{20}{44}$$

$$\text{آنالیز مولی} \left\{ \begin{array}{l} \%CO = \frac{n_{CO}}{n_t} \times 100 = \frac{\frac{30}{28}}{n_t} \times 100 = 11.9\% \\ \%CH_4 = \frac{n_{CH_4}}{n_t} \times 100 = \frac{\frac{40}{16}}{n_t} \times 100 = 27.7\% \\ \%H_2 = \frac{n_{H_2}}{n_t} \times 100 = \frac{\frac{10}{2}}{n_t} \times 100 = 55.4\% \\ \%CO_2 = \frac{n_{CO_2}}{n_t} \times 100 = \frac{\frac{20}{44}}{n_t} \times 100 = 5\% \end{array} \right.$$

گرفتن مبنای دوم برای محاسبه M از آنالیز مولی :

$$\text{Base : 100gmole of Mix} \left\{ \begin{array}{l} 11.9\text{gmole CO} = 11.9 \times 28\text{gr CO} \\ 27.7\text{gmole CH}_4 = 27.7 \times 16\text{gr CH}_4 \\ 55.4\text{gmole H}_2 = 55.4 \times 2\text{gr H}_2 \\ 5\text{gmole CO}_2 = 5 \times 44\text{gr CO}_2 \end{array} \right.$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{11.9 \times 28 + 27.7 \times 16 + 55.4 \times 2 + 5 \times 44}{100} = 11.07$$

مثال : نمونه ای از ذغال سنگ دارای مواد زیر می باشد :

ماده	گوگرد	ازت	اکسیژن	خاکستر	آب
درصد(جرمی)	2	1	6	11	3

باقیمانده شامل کربن و هیدروژن با نسبت اتمی $\frac{C}{H}=9$ می باشد. مطلوب است محاسبه در صد مواد موجود در این ذغال سنگ به طور کامل و بدون احتساب آب و خاکستر .

حل :

Base : 100Kg.Coal

$$2+1+6+11+3=23 \quad \Rightarrow 100-23=77 \quad (\text{باقیمانده } C_9H)$$

$$m_C + m_H = W$$

Base : 10lbmole.of.C + H

$$\frac{n_H}{n_C} = 9 \Rightarrow n_H = 9n_C \quad \Rightarrow n_H + n_C = 10 \quad \Rightarrow 9n_C + n_C = 10$$

$$n_C = 1 \text{ lbmole} = 12 \text{ Kg} \quad C$$

$$n_H = 9 \text{ kmole} = 9 \text{ Kg} \quad H$$

$$\frac{m_C}{m_H} = \frac{12}{9} \Rightarrow \begin{cases} m_C + m_H = 77 \\ \frac{m_C}{m_H} = \frac{12}{9} \end{cases} \Rightarrow m_C = 44 \text{ Kg}, m_H = 33 \text{ Kg}$$

$$S : 2 \quad \frac{2}{86} \times 100 = 2.32$$

$$N_2 \quad 1 \quad \frac{1}{86} \times 100 = 1.17$$

$$O_2 \quad 6 \quad \frac{6}{86} \times 100 = 7$$

$$H : 33 \quad \frac{33}{86} \times 100 = 38.39$$

$$C : 44 \quad \frac{44}{86} \times 100 = 51.17$$

دما - Temperature

دما عبارت است از معیاری از انرژی حرارتی مربوط به حرکات اتفاقی مولکول های یک جسم در حالت تعادل حرارتی.

به عبارت دیگر دما احساس بشر است در مورد سرعت حرکت ذرات یک جسم و هر چقدر سرعت حرکت ذرات بیشتر باشد احساس دمای بیشتری را خواهیم کرد.

نکته ۱: دما با گرما متفاوت است ، گرما از جنس انرژی است و توانایی انجام کار را دارد در حالیکه دما اینگونه نیست.

نسبی $(^{\circ}C, ^{\circ}F)$ نسبت به یک سیال خاص }
مطلق $(^{\circ}R, K)$ نسبت به جنبش ذرات } **نکته ۲:** انواع دما:

نکته ۳: (مهم):

$$\Delta^{\circ}C = 1.8\Delta^{\circ}F$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta^{\circ}C}{1 \Delta^{\circ}F} = 1 \Leftrightarrow \Delta K = 1.8\Delta^{\circ}R \quad \frac{\Delta K}{1.8\Delta^{\circ}R} = 1$$

$$\begin{cases} ^{\circ}F = 1.8^{\circ}C + 32 \\ K = 273 + ^{\circ}C \\ ^{\circ}R = 460 + ^{\circ}F \end{cases}$$

فشار - pressure

فشار نوعی تنش است.

انواع تنش عبارتند از:

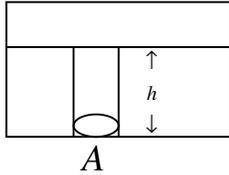
۱- برشی

۲- کششی

۳- فشاری

فشار در سیالات :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$



واحد های فشار :

$$\begin{aligned} \text{فشار اتمسفر استاندارد} &= 76\text{cmHg} = 760\text{mmHg} = 29.92\text{inHg} \\ &= 33.91\text{ft } H_2O \\ &= 1\text{atm} \\ &= 1.013 \times 10^5 \frac{\text{n}}{\text{m}^2} (\text{pa}) \\ &= 14.7 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} (\text{psi}) \end{aligned}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow \frac{\frac{\text{lb}_m}{\text{in}^3} \times \frac{\text{in}}{\text{sec}^2} \times \text{in}}{\frac{\text{lbm} \cdot \text{in}}{\text{sec}^2 \cdot \text{lb}_f}} = 14.7 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2}$$

سوال : 2atm چند psi است ؟

$$2\text{atm} \times \frac{14.7\text{psi}}{1\text{atm}} = (2 \times 14.7)\text{psi} = 29.4\text{psi}$$

نکته ۱: فشار ۱ اتمسفر استاندارد عبارت است از فشار هوا در سطح دریا و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد که اعداد آن در فوق داده شده است ، ولی وقتیکه صحبت از فشار هوا در حالت کلی می کنیم منظور فشار محیطی است که در آن قرار گرفته که باید توسط دستگاه ها اندازه گیری شود.

نکته ۲: چون دستگاه اندازه گیری فشار هوا بارومتر نام دارد لذا اگر بگوییم فشار بارومتر منظورمان همان فشار هوا است.

نکته ۳: اگر در مسئله ای فشار هوا لازم باشد ولی داده نشده باشد منظور این است که آن را فشار هوای استاندارد یعنی یک اتمسفر ، یا هر کدام از اعداد دیگری که داده شده در نظر می گیریم.

مثال: اگر فشار هوا در یک لوله مرتفع 40mmHg باشد معادل inH_2O و Kpa آنرا بدست آورید.

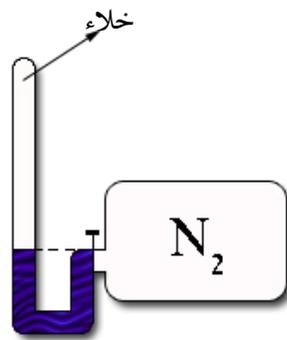
$$\frac{40\text{mmHg}}{760\text{mmHg}} \left| \frac{33.91\text{ftH}_2\text{O}}{1\text{ft}} \right| \frac{12\text{in}}{760} = \frac{40 \times 33.91 \times 12}{760} = 21.42\text{inH}_2\text{O}$$

$$\frac{40\text{mmHg}}{760\text{mmHg}} \left| \frac{1.013 \times 10^5 \text{Pa}}{100\text{pa}} \right| \frac{1\text{Kpa}}{10^3 \times 760} = \frac{40 \times 1.013 \times 10^5}{10^3 \times 760} = 5.33\text{Kpa}$$

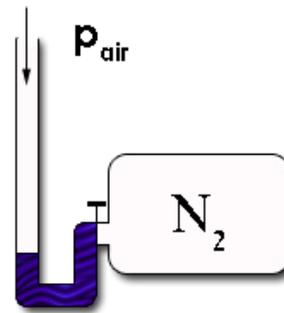
فشار نسبی (relative)(gage)(Prel) و فشار مطلق (absolute)(abs) :

Pabs: نسبت به خلاء سنجیده می شود.

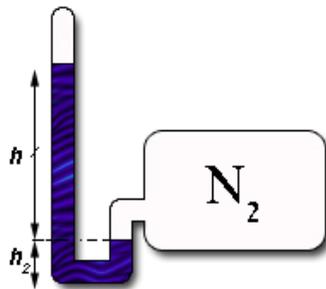
Prel: نسبت به فشار هوا سنجیده می شود.



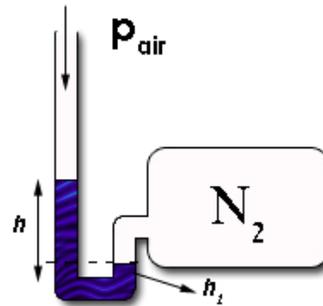
شکل ۲



شکل ۱



شکل ۴



شکل ۳

در شکل ۳ داریم :

$$\begin{aligned} P_{N_2} \cdot A + \rho g h_1 \cdot A &= P_{air} \cdot A + \rho g h \cdot A + \rho g h_1 \cdot A \\ \Rightarrow P_{N_2} &= P_{air} + P_{rel N_2} \end{aligned} \quad (1)$$

در شکل ۴ داریم :

$$\begin{aligned} P_{N_2} \cdot h + \rho g h_2 \cdot A &= \rho g h_2 \cdot A + \rho g h' \cdot A \\ \Rightarrow P_{N_2} &= P_{abs N_2} \end{aligned} \quad (2)$$

ارتباط بین فشار مطلق و فشار نسبی :

$$(1) \text{ و } (2) \Rightarrow P_{abs} = P_{air} + P_{rel}$$

نکته ۱: در محاسبات همواره باید فشار مطلق را در نظر بگیریم.

نکته ۲: در صورتیکه خلاف آن گفته نشده باشد فشار را همواره مطلق می گوئیم.

نکته ۳: مواردی مثل عبارت زیر ما را به این مسئله هدایت می کند که فشار نسبی است:

- در سیستم مهندسی عبارت $Psig$ نشان دهنده فشار نسبی و $Psia$ نشان دهنده فشار مطلق است.
- عبارت (بالتر از فشار جو)، (پایین تر از فشار جو) ، (تحت مکش) ، (فشار خلاء) ، (نسبت به فشار جو) ، همگی نشان دهنده فشار نسبی است.
- از بین عبارات فوق چنانچه (تحت مکش) ، (پایین تر از فشار جو) ، (فشار خلاء) به کار روند نشان دهنده فشار نسبی **منفی** است.

مثال: هوا در یک مجرای تحت مکش معادل با 4cm آب جریان دارد. فشار هوا 730mmHg می باشد فشار مطلق هوای داخل لوله را بر حسب inHg بدست آورید ؟

$$P_{rel} = -4cm_{H_2O}$$

$$P_{air} = 730mmHg$$

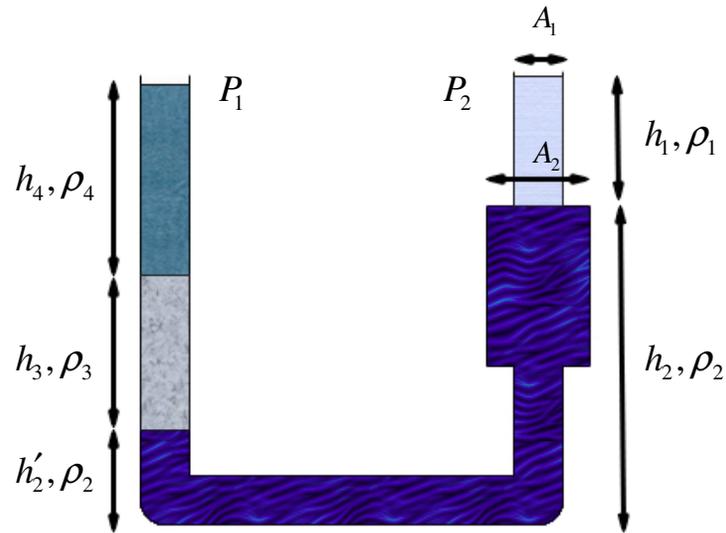
$$P_{abs} = ?inHg$$

$$P_{abs} = P_{air} + P_{rel}$$

$$P_{abs} = \frac{730mmHg}{10mm} \left| \frac{1cm}{10mm} + \frac{-4cm_{H_2O}}{2.54cm} \right| \frac{1in}{12in} \left| \frac{1ft}{33.91ft_{H_2O}} \right| 29.92inHg$$

$$\Rightarrow P_{abs} = 28.62inHg$$

برقراری تعادل در لوله های حاوی سیالات



با توجه به شکل فوق داریم :

$$\rho_1 \cdot A_1 + \rho_4 \cdot g \cdot h_4 \cdot A_1 + \rho_3 \cdot g \cdot h_3 \cdot A_1 + \rho_2 \cdot g \cdot h'_2 \cdot A_1$$

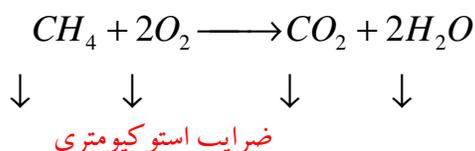
$$P_2 \cdot A_1 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 \cdot A_1 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \cdot A_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h'_2 \cdot A_1$$

تذکره ۱: مثال اریفیس از کتاب هیمبل بلاو در این زمینه مطالعه شود.

تذکره ۲: خواص فیزیکی و شیمیایی محلول ها و ترکیبات را باید از کتاب هایی به نام هندبوک استخراج نمود.

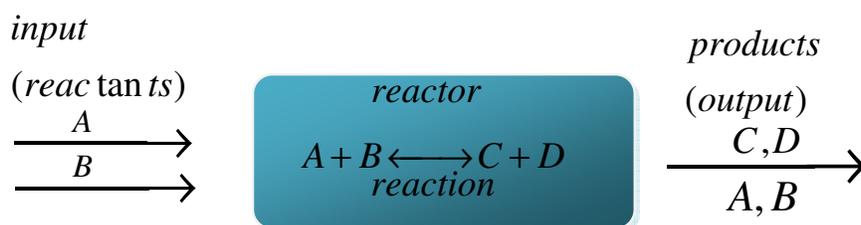
محاسبات استوکیومتری

همانگونه که می دانیم در نوشتن معادلات شیمیایی باید جهت ارضای قانون بقای ماده یک سری ضرایب را بکاربرد که این ضرایب را ضرایب استوکیومتری می نامیم.



انجام محاسبات گوناگون در حل برخی مسائل با توجه به ضرایب استوکیومتری را محاسبات استوکیومتری می نامند.

نکته: چنانچه صحبت خاصی به میان نیاید همواره فرض بر این است که مواد اولیه (واکنش دهنده ها) به نسبت استوکیومتری با هم ترکیب شده اند و واکنش هم صددرصد انجام شده و در خروجی ها فقط محصول وجود دارد. اما این یک حالت ایده آل است و عملاً در صنعت اینگونه نیست و یکی از مواد به عنوان محدودکننده و ما بقی اضافه می باشند.



عامل محدودکننده: واکنش دهنده ای که زودتر از سایر واکنش دهنده ها مصرف شده و باعث اتمام واکنش می شود.

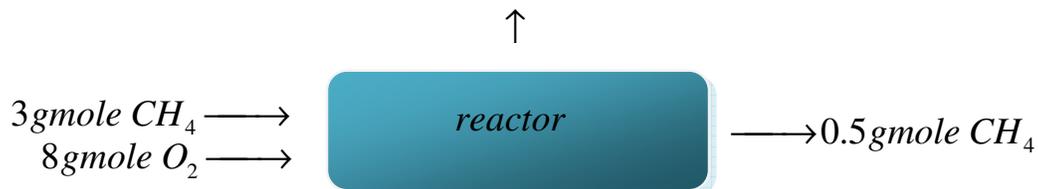
عامل اضافه: واکنش دهنده ای که بیشتر از نسبت استوکیومتری وارد شده و مقداری از آن بدون شرکت در واکنش باقی می ماند.

دلیل استفاده از عامل اضافه انجام بهتر واکنش و بالا بردن راندمان آن است.

درصد اضافه به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\%Exess = \frac{\text{مقدار اضافه}}{\text{مقداری که برای واکنش کامل با کل محدود کننده لازم است}} \times 100$$

مثال : به شکل زیر توجه کنید : محصولات واکنش



$$\%Exess = \frac{8-6}{6} \times 100 \cong 33.33\%$$

مقدار اضافه را غالباً از تفاضل مقدار ورودی و مقدار مورد نیاز (لازم) برای ترکیب با عامل محدود کننده بدست می آورند.

تذکر ۱: مقادیر می توانند بر حسب جرم یا مول یا حجم در رابطه ی فوق بکار روند. (مهم)

تذکر ۲: حتی اگر فقط قسمتی از عامل محدود کننده وارد واکنش شود ، مقادیر لازم را بر مبنای مصرف کامل عامل محدود کننده محاسبه می کنیم.

درجه تکمیل واکنش :

درصدی از عامل محدود کننده که در واکنش شرکت می کند را درجه تکمیل واکنش می گوئیم.

مقداری از عامل محدود کننده که در واکنش شرکت کرده است.

$$\text{درجه تکمیل واکنش} = \frac{\text{مقدار عامل محدود کننده در ورودی}}{\text{مقدار عامل محدود کننده در ورودی}}$$

در مثال قبل می توان درجه تکمیل واکنش را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\text{درجه تکمیل} = \frac{2.5}{3} \times 100 \cong 83.33\%$$

تذکر: در صورتیکه همه ی مواد به نسبت استوکیومتری بکار روند درجه تکمیل نسبت به هر کدام از اجزا که حساب شود در پاسخ تفاوتی نخواهد داشت.

سه تعریف دیگر برای سنجش کمی واکنش ها به کار می روند که عبارتند از :

۱- میزان تبدیل (Conversion)

۲- تولید انتخابی (Selectivity)

۳- بازده (Yield)

۱- میزان تبدیل :

عبارت است از جزئی از خوراک یا جزئی از یک ماده موجود در خوراک که به محصول تبدیل می شود. (خوراک مورد نظر و محصول مورد نظر باید دقیقاً مشخص شود).

در مثال قبل داریم :

مول هایی از اکسیژن که در واکنش شرکت کرده اند

$$\text{میزان تبدیل اکسیژن در تبدیل به دی اکسید کربن} = \frac{\text{مول های دی اکسید کربن تولیدی}}{\text{مول های دی اکسید کربن تولیدی}}$$

مول های دی اکسید کربن تولیدی

$$\text{میزان تبدیل اکسیژن به دی اکسید کربن} = \frac{2 \text{ gmole } O_2}{1 \text{ gmole } CH_4} \times \frac{2.5 \text{ gmole } CH_4}{1 \text{ gmole } CO_2} \times \frac{2.5 \text{ gmole } CH_4}{1 \text{ gmole } CH_4}$$

۲- تولید انتخابی

عبارت است از نسبت تعداد مول های یک محصول معین (معمولاً محصول مطلوب) به تعداد مول های یک محصول دیگر (معمولاً محصول نا مطلوب) که در یک دسته واکنش ایجاد می شود.

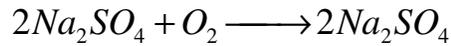
۳- بازده

در مورد یک ترکیب شونده و یک محصول عبارت است از جرم یا تعداد مول محصول نهایی تقسیم بر جرم یا تعداد مول ترکیب شونده اولیه (اگر بیش از یک محصول و ترکیب شونده وجود داشته باشد ترکیب شونده و محصولی یکبازده بر اساس آن محاسبه می گردد بایستی کاملاً مشخص باشد.

تذکر مهم:

باید به خاطر داشت که معادله شیمیایی گویای مکانیزم، سرعت و میزان پیشرفت واکنش نمی باشد. مثلاً یک قطعه ذغال در دمای معمولی تغییری نمی کند ولی در دمای بالا به سرعت می سوزد. معادله شیمیایی فقط مقادیر استوکیومتری لازم برای انجام واکنش و محصول این فعل و انفعال را بدست می دهد.

مثال: خوردگی لوله های دیگ بخار در اثر اکسیژن را می توان با استفاده از سولفیت سدیم کاهش داد ، سولفیت سدیم اکسیژن موجود در ورودی به دیگ بخار را به موجب واکنش زیر حذف می کند:



به لحاظ تئوری چند پوند سولفیت سدیم برای حذف اکسیژن موجود در 8,330,000 پوند آب لازم است . در صورتیکه اکسیژن محلول در آب 10ppm بوده و بخواهیم 35% سولفیت سدیم نیز در آب داشته باشیم. ($O_2 : 32$, $Na_2SO_3 : 126$)

حل:

$$\%Excess = \frac{\text{مقدار مورد نیاز} - \text{مقدار ورودی}}{\text{مقدار مورد نیاز}} = 0.35$$

این مقدار با عدد یک جمع شده و در محاسبات لحاظ می گردد.

چرا؟

زیرا این مقدار عبارت از مقدار ماده ایست که اضافه بر واکنش وارد شده و با مقدار 100% آنچه که مصرف شده جمع می شود.

با طرفین وسطین رابطه فوق به این مفهوم میرسیم:

$$\text{مقدار مورد نیاز} \times 1.35 = \text{مقدار مورد نیاز} + 0.35 \text{ مقدار مورد نیاز} = \text{مقدار ورودی}$$

روش اول:

$$m_{Na_2SO_3} = \frac{10 \text{ lbm } O_2}{10^6 \text{ lbm } H_2O} \left| \frac{8,330,000 \text{ lbm } H_2O}{10^6 \text{ lbm } H_2O} \right| \left| \frac{2 \times 126 \text{ lbm } Na_2SO_3}{32 \text{ lbm } O_2} \right| 1.35$$

$$= 885.583 \text{ lbm}$$

روش دوم:

$$m_{Na_2SO_4} = \frac{2 \times 126 \text{ lbm } Na_2SO_4}{32 \text{ lbm } O_2} \left| \frac{10 \text{ lbm } O_2}{10^6 \text{ lbm } H_2O} \right| \left| \frac{8,330,000 \text{ lbm } H_2O}{10^6 \text{ lbm } H_2O} \right| 1.35$$

$$= 885.583 \text{ lbm}$$

مثال : آنالیز یک نوع سنگ آهک به قرار زیر است :

$CaCO_3$	$MgCO_3$	$else(insolubb)$
92.89%	5.4%	1.7%

- الف : چند پوند اکسید کلسیم می توان از 5 تن سنگ آهک بدست آورد ؟
 ب : چند پوند CO_2 می توان به ازای هر پوند سنگ آهک بدست آورد ؟
 ج : چند پوند سنگ آهک برای تولید یک تن آهک لازم است ؟
 تذکر: در سیستم مهندسی هر تن معادل 2000 پوند است.

$$CaCO_3 = 100$$

$$MgCO_3 = 84$$

$$CaO = 40$$

$$CO_2 = 44$$



حل :

الف :

$$\frac{56lbm CaO}{100lbm CaCO_3} \Big| \frac{92.89lbm CaCO_3}{100lbm_{lim.stone}} \Big| \frac{5 \times 2000lbm_{lim.stone}}{1} = 5501 lbm CaO$$

ب : مقدار دی اکسید کربن تولیدی برابر با مجموع دی اکسید کربن تولید شده از 2 واکنش می باشد :

$$CO_2 = \frac{44lbm CO_2}{100lbm CaCO_3} \Big| \frac{92.89lbm CaCO_3}{100lbm_{lim.stone}} \Big| \frac{1lbm_{lim.stone}}{1} +$$

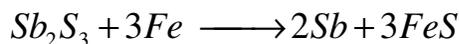
$$\frac{44lbm CO_2}{84lbm_{MgCO_3}} \Big| \frac{5.4lbm MgCO_3}{100lbm_{lim.stone}} \Big| \frac{1lbm_{stone}}{1} = 0.44lbm$$

ج :

$$1lbm_{lim.stone} - 0.44CO_2 = 0.56 \quad \text{آهک}$$

$$\frac{1lbm_{lim.stone}}{0.56lbm} \Big| \frac{2000lbm}{1} = \frac{2000}{0.56} = 3571lbm \quad \text{سنگ آهک}$$

مثال: فلز آنتیموان در اثر حرارت دادن به گرد نرم سولفور آنتیموان با آهن قراضه تهیه می شود ، واکنش انجام شده به قرار زیر است :



فرض کنید ۶ کیلوگرم سولفور آنتیموان را با ۰٫۲۵ کیلوگرم آهن حرارت داده ۰٫۲ کیلوگرم فلز آنتیموان

بدست آید مطلوب است :

$$Sb_2S_3 : 339.7$$

$$Fe : 55.8$$

$$Sb : 121.8$$

$$FeS : 87.9$$

الف : ترکیب شونده محدود کننده

ب : درصد ترکیب شونده اضافی

ج : درجه تکمیل واکنش

حل :



$$n_{Sb_2S_3} = \frac{m_{Sb_2S_3}}{M_{Sb_2S_3}} = \frac{600 \text{ gr}}{339.7} = \frac{1.76 \text{ gmole}}{1} = 1.76 \text{ gmole}$$

الف :

$$n_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} = \frac{250 \text{ gr}}{55.8} = \frac{4.48 \text{ gmole}}{3} = 1.49 \text{ gmole}$$

پس آهن عامل محدود کننده است.

ب :

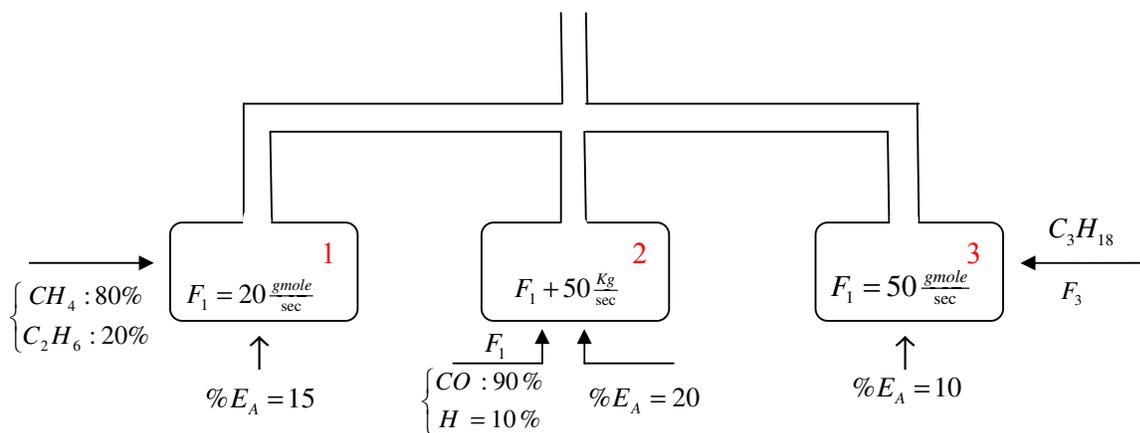
$$\%Excess = \frac{Sb_2S_3 \text{ مقدار ورودی} - Sb_2S_3 \text{ مقدار مورد نیاز}}{Sb_2S_3 \text{ مقدار مورد نیاز}} \times 100$$

$$\Rightarrow \%Excess = \frac{600 \text{ gr} - \frac{339.7 \text{ gr } Sb_2S_3}{3 \times 55.8} \times \frac{250 \text{ gr } Fe}{3}}{\frac{339.73}{3 \times 55.8} \times 250} \times 100 = 18\%$$

ج: مقداری از عامل محدود کننده که در واکنش شرکت کرده است.
 درجه تکمیل واکنش = $\frac{\text{مقدار عامل محدود کننده در ورودی}}{\text{مقدار عامل محدود کننده که در واکنش شرکت کرده است}} \times 100$

$$\Rightarrow \frac{\frac{3 \times 55.8 \text{ gr Fe}}{2 \times 121.8 \text{ gr Sb}} \times 200 \text{ gr Sb}}{250 \text{ gr}} \times 100 = 54.9\%$$

تمرین: در شکل زیر آنالیز گازهای حاصل از احتراق خروجی از دودکش را حساب کنید.



درجه تکمیل واکنش در محفظه ی سوم 80% می باشد.

فصل دوم :

موازنه ماده

مفهوم موازنه ماده :

مفهوم موازنه ماده چیزی نیست جز به کار بستن قانون بقای جرم.

قانون بقای جرم :

مجموع کل جرم موجود در جهان مقداری است ثابت.

سیستم :

حجمی از فضا که مطالعاتمان را روی آن متمرکز می کنیم را سیستم می نامیم.

محیط :

هر آنچه در جهان به جز سیستم را محیط می نامیم.

مرز سیستم :

خطوطی فرضی که سیستم را از محیط جدا کرده است .

باز : سیستمی که جرم مرز آن را قطع می کند.
بسته : سیستمی که جرم مرز آن را قطع نمی کند.

} انواع سیستم

سیستم پایدار : سیستمی که متغیرهای آن با گذشت زمان ثابت بماند.

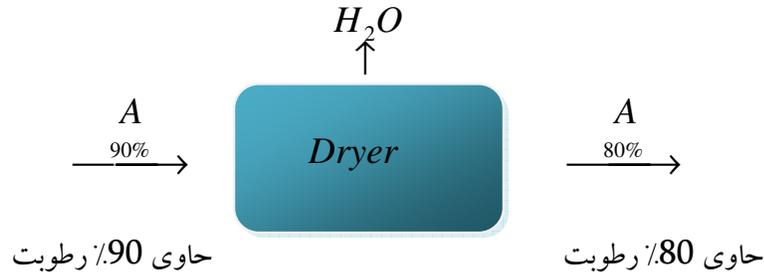
سیستم نا پایدار : سیستمی که متغیرهای آن با گذشت زمان تغییر کند.

بدون واکنش
همراه با واکنش

} دسته بندی کلی مطالعات موازنه ماده :

بررسی سیستم های بدون واکنش

به شکل زیر توجه کنید :



موازنه حول سیستم برای ماده A :

$$m_{A \text{ in}} - m_{A \text{ out}} = m_{\text{accumulation}}$$

برای مول هم می توان روابط را نوشت :

$$n_{A \text{ in}} - n_{A \text{ out}} = n_{A \text{ acc}}$$

تذکر: اگر سیستم پایدار باشد $m_{\text{accumulation}} = 0$ و $n_{A \text{ acc}} = 0$ خواهد بود.

موازنه حول سیستم برای H_2O :

$$m_{H_2O \text{ in}} - m_{H_2O \text{ out}} = m_{H_2O \text{ acc}}$$

همچنین برای مول آب داریم :

$$n_{H_2O \text{ in}} - n_{H_2O \text{ out}} = n_{H_2O \text{ acc}}$$

بررسی سیستم های همراه با واکنش



موازنه حول سیستم برای ماده A :

$$m_{A \text{ in}} - m_{A \text{ out}} + m_{A \text{ generation}} - m_{A \text{ consumption}} = m_{A \text{ acc}}$$

تذکر: منظور از $m_{A \text{ generation}}$ جرم A تولیدی و منظور از $m_{A \text{ consumption}}$ جرم A مصرفی می باشد.

بطور کلی می توان نوشت:

$$in - out + gen - cons = acc$$

برای مواد B و C نیز به همین ترتیب عمل می کنیم.

تذکر: در سیستم پایدار همواره $acc=0$ است. در این درس تا خلاف آن گفته نشود سیستم را پایدار (steady state) فرض می کنیم.

مثال: چنانچه در شکل زیر $NaOH$ از طریق دو خط لوله که دو نوع محلول متفاوت را وارد می کنند وارد مخلوط کننده شوند جرم $NaOH$ و H_2O خروجی را محاسبه کنید.



حل:

موازنه حول سیستم برای ماده $NaOH$:

$$m_{NaOH \text{ in}} - m_{NaOH \text{ out}} + \#_{NaOH \text{ gen}} - \#_{NaOH \text{ cons}} = 0$$

$$m_{NaOH \text{ out}} = m_{NaOH \text{ in}} = 10 \times 0.8 + 15 \times 0.3 = 12.5 \text{ kg}$$

موازنه حول سیستم برای ماده H_2O :

$$m_{H_2O \text{ in}} - m_{H_2O \text{ out}} + m_{H_2O \text{ gen}} - m_{H_2O \text{ cons}} = 0$$

$$m_{H_2O \text{ out}} = m_{H_2O \text{ in}} = 10 \times 0.2 + 15 \times 0.7 = 12.5 \text{ kg}$$

انواع فرآیندهای شیمیایی در صنعت :

پیوسته: مواد اولیه دائماً وارد شده و محصولات هم دائماً خارج می شوند. در این نوع از فرایند مواد

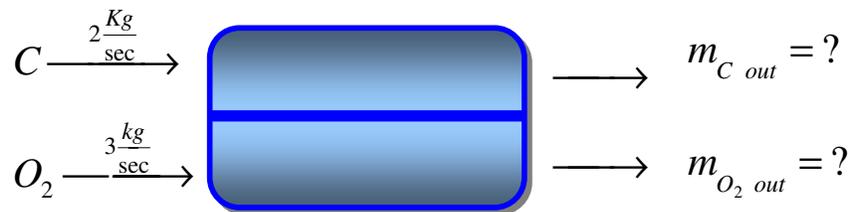
ورودی و خروجی به صورت دبی بیان می شوند

ناپیوسته: مواد اولیه را وارد می کنیم و صبر می کنیم تا محصول تولید شود. سپس باقیمانده ها را از سیستم خارج می کنیم.

نیمه پیوسته: مواد ضمن انجام فرآیند وارد می شوند اما از سیستم خارج نمی شوند بنابراین جرم در سیستم تجمع می کند و محصول وقتی خارج می شود که فرآیند تمام شده باشد.

به سلسله مثال های زیر توجه کنید :

مثال ۱: در شکل زیر جرم کربن و اکسیژن و جرم کل خروجی را پیدا کنید.



حل :

موازنه حول سیستم برای ماده C :

$$\dot{m}_{C \text{ in}} - \dot{m}_{C \text{ out}} + \dot{m}_{C \text{ (gen-cons)}} = 0$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{C \text{ out}} = \dot{m}_{C \text{ in}} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

به همین صورت برای اکسیژن داریم :

$$\dot{m}_{O_2 \text{ out}} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

موازنه جرم کلی :

$$\dot{m}_{\text{total in}} - \dot{m}_{\text{total out}} = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_{\text{total out}} = 3 + 2 = 5 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

حل :

وقتی واکنش شیمیایی انجام می شود ابتدا باید واکنش به لحاظ کمی شناسایی شود.

$$n_C = \frac{2000}{12} = 166.67 \Rightarrow \frac{166.67}{1} = 166.67$$

$$n_{O_2} = \frac{3000}{32} = 93.75 \Rightarrow \frac{93.75}{1} = 93.75$$

پس ماده محدود کننده اکسیژن خواهد بود.

$$C_{cons} = 3000 \text{ gr } O_2 \times \frac{1 \text{ gmole } O_2}{16 \text{ gr } O_2} \left| \frac{1 \text{ gmole } C}{1 \text{ gmole } O_2} \right| \frac{12 \text{ gr } C}{1 \text{ gmole } C} = 1125 \text{ gr}$$

$$CO_{2 \text{ gen}} = 3000 \text{ gr } O_2 \times \frac{1 \text{ gmole } O_2}{16 \text{ gr } O_2} \left| \frac{1 \text{ gmole } CO_2}{1 \text{ gmole } O_2} \right| \frac{44 \text{ gr } C}{1 \text{ gmole } C} = 4125 \text{ gr}$$

موازنه حول سیستم برای ماده کربن :

$$n_{O_2} = \frac{3000}{32} = 93.75 \Rightarrow \frac{93.75}{1} = 93.75$$

موازنه حول سیستم برای ماده اکسیژن :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{O_2 in} - \dot{m}_{O_2 out} + \dot{m}_{O_2 gen} - \dot{m}_{O_2 cons} &= 0 \\ \Rightarrow 3 - \dot{m}_{O_2 out} + 0 - 3 &= 0 \Rightarrow \dot{m}_{O_2 out} = 0 \frac{\text{Kg}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

موازنه حول سیستم برای ماده دی اکسید کربن :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{CO_2 in} - \dot{m}_{CO_2 out} + \dot{m}_{CO_2 gen} - \dot{m}_{CO_2 cons} &= 0 \\ \Rightarrow 0 - \dot{m}_{CO_2 out} + 4.125 - 0 &= 0 \Rightarrow \dot{m}_{CO_2 out} = 4.125 \frac{\text{Kg}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

مثال ۴: در مثال (3) تعداد مول های مواد ورودی و خروجی اجزاء و کل را در ورودی و خروجی محاسبه کنید.

حل:

	<i>gmole in</i>	<i>gmole out</i>
C:	166.67	$\frac{785}{12} = 72.91$
O ₂ :	93.75	0
CO ₂ :	0	$\frac{4125}{44} = 93.75$
total:	260.42	166.67

مثال ۵: در مثال (3) تعداد مول های عناصر ورودی و خروجی کل را محاسبه کنید.

	<i>gmole in</i>	<i>gmole out</i>
C:	166.67	$\frac{785}{12} + \frac{4125}{44} = 166.67$
O:	$93.75 \times 2 = 187.5$	$2 \times \frac{4125}{44} = 187.5$
total:	354.17	354.17

نتایج مثال های فوق عبارتند از:

- ۱- در مواردی که واکنشی اتفاق نیفتد هم جرم و هم مول های مواد در جزء و کل هم در ورودی و هم در خروجی برابرند.
- ۲- در مواردی که واکنش شیمیایی اتفاق می افتد باز هم جرم کل ورودی با جرم کل خروجی مساوی است ولی مواد در ورودی و خروجی نه مول و نه جرم مساوی ندارند.
- ۳- چنانچه موازنه روی عناصر بسته شود حتی در مواردی که واکنش شیمیایی هم انجام شود تعداد مول عناصر ورودی و خروجی و نیز تعداد کل مول های ورودی با تعداد کل مول های خروجی یکی خواهد بود.

مثال: اگر ۳۰۰ پوند هوا و ۲۴ پوند کربن را در دمای ۶۰۰ درجه فارنهایت در راکتوری قرار دهیم و پس از احتراق کامل هیچ ماده ای در راکتور باقی نماند:

الف: چند پوند اکسیژن و چند پوند کربن خارج شده است؟

ب: چند مول کربن و چند مول اکسیژن وارد شده و چند مول از راکتور خارج شده است؟

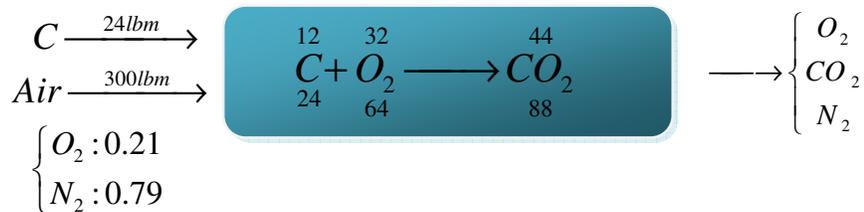
ج: کل مول های ورودی و خروجی چه بوده است؟

$$n_C = \frac{24}{12} = 2 \Rightarrow \frac{2}{1} = 2$$

حل:

$$n_{O_2} = \frac{300}{29} \times 0.21 = 2.17 \Rightarrow \frac{2.17}{1} = 2.17$$

پس کربن عامل محدود کننده است.



چون درجه تکمیل واکنش داده نشده پس فرض بر این است که همه ی کربن ورودی مصرف می گردد.

الف:

موازنه حول سیستم برای ماده کربن:

$$m_{C \text{ in}} - m_{C \text{ out}} + m_{C \text{ gen}} - m_{C \text{ cons}} = 0$$

$$24 - m_{C \text{ out}} + 0 - 24 = 0 \Rightarrow m_{C \text{ out}} = 0$$

موازنه حول سیستم برای ماده اکسیژن:

$$m_{O_2 \text{ in}} - m_{O_2 \text{ out}} + m_{O_2 \text{ gen}} - m_{O_2 \text{ cons}} = 0$$

$$\frac{300}{29} \times 0.21 \times 32 - m_{O_2 \text{ out}} + 0 - 64 = 0 \Rightarrow m_{O_2 \text{ out}} = 5.52lbm$$

موازنه حول سیستم برای کل :

$$m_{total} = m_{O_2out} + m_{CO_2out} + m_{N_2out} =$$
$$5.52 + 88 + \frac{300}{29} \times 0.79 \times 28 = 322.35lbm$$

عدد دقیق ۳۲۴ است (مساوی با جرم ورودی)

علت بدست نیامدن دقیق ۳۲۴ :

۱- خطای ناشی از گرد کردن

۲- عدم لحاظ اعداد جرم مولکولی دقیق

ب :

$$n_{C\ in} = \frac{m_{C\ in}}{M_C} = \frac{24}{12} = 2lbmole$$
$$n_{O_2in} = \frac{m_{O_2in}}{M_{O_2}} = \frac{\frac{300}{29} \times 0.21 \times 32}{32} = 2.17lbmole$$
$$n_{C\ out} = \frac{m_{C\ out}}{M_C} = \frac{0}{12} = 0$$
$$n_{O_2out} = \frac{m_{O_2out}}{M_{O_2}} = \frac{5.52}{32} = 0.17lbmole$$

ج :

$$n_{total\ in} = n_{C\ in} + n_{air\ in} = \frac{24}{12} + \frac{300}{29} = 12.34lbm$$
$$n_{total\ out} = n_{O_2out} + n_{CO_2out} + n_{N_2out} = \frac{m_{O_2out}}{M_{O_2}} + \frac{m_{CO_2out}}{M_{CO_2}} + \frac{m_{N_2out}}{M_{N_2}}$$
$$\Rightarrow n_{total\ out} = \frac{5.52}{32} + \frac{88}{44} + \frac{\frac{300}{29} \times 0.79 \times 28}{28} = 10.34lbmole$$

برنامه ریزی برای تجزیه تحلیل مسائل موازنه مواد:

نکته ۱: چنانچه سیستمی ناپیوسته باشد باز هم می توان با رسم جریان های فرضی مسائل موازنه مواد را همانند سیستم های پیوسته حل کرد.

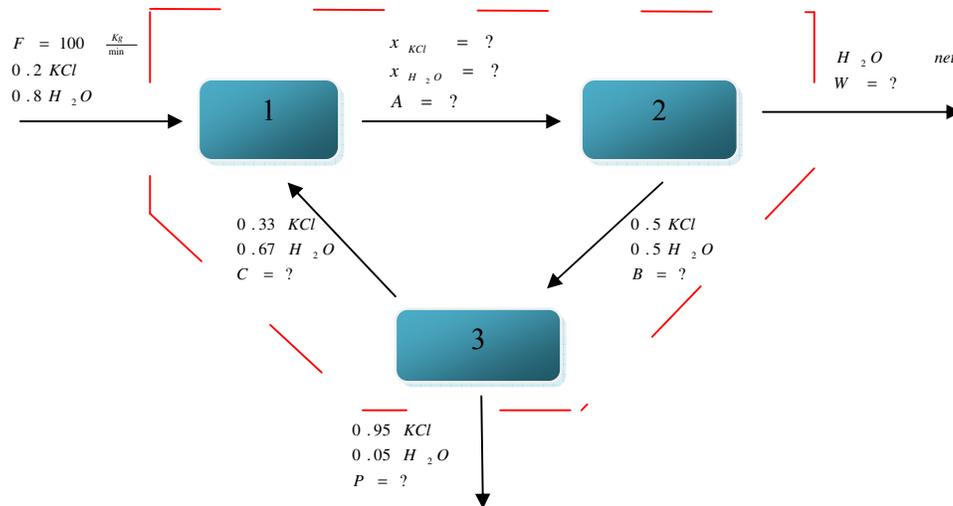
نکته ۲: در برقراری موازنه مواد که به فراخور مسئله حول سیستم یا برای جزیی از سیستم به صورت مولی یا جرمی یا عنصری موازنه نوشته می شود و امکان دارد دستگاه های n معادله، n مجهول ظاهر شود که در صورتیکه تعداد مجهولات و معادلات مستقل یکی باشد دستگاه قابل حل است ولی اگر تعداد مجهولات بیشتر از تعداد معادلات باشد مسئله غیر قابل حل است و بالاخره چنانچه تعداد معادلات بیشتر از تعداد مجهولات باشد از نظر ریاضی دستگاه بی شمار جواب دارد ولی در حل مسائل موازنه مواد ما آن دسته از معادلاتی را که به نظر خودمان دقت بالاتری دارند انتخاب نموده و دستگاه را حل می کنیم و مابقی معادلات اضافه را کنار می گذاریم.

صفحات ۱۳۲ تا ۱۴۰ کتاب دیوید هیمبل بلاو در این زمینه به دقت مطالعه گردد.

نکته ۳: در صورتیکه خلاف موضوع گفته نشود فرآیند مورد مطالعه را پایدار (steady state) در نظر می گیریم حتی اگر تحول بصورت ناپیوسته نیز باشد (جریان ورودی و خروجی نداشته باشیم) باز هم می توان فرض نمود که مواد اولیه وارد سیستم شده اند و از طریق دیگر آن نیز خارج شده اند. (منظور این است که روند محاسبات در حالت پایدار چه سیستم باز و چه پیوسته تفاوتی ندارد.)

سیستم های شامل زیر سیستم

در برخی موارد برای حل مجهولات و به دست آوردن آنها لازم است یک سیستم بزرگتر را به زیر سیستم های کوچکتری تقسیم کنیم و معادلات موازنه ماده را برای آنها بطور مستقل برقرار کنیم. مثال زیر را در نظر بگیرید:



چنانچه بخواهیم فقط برای کل سیستم موازنه برقرار کنیم بدلیل اینکه دارای دو ماده هستیم فقط خواهیم توانست دو معادله مستقل بنویسیم در حالیکه مسئله هفت مجهول دارد. لذا مجبوریم برای بدست آوردن معادلات بیشتر از برقراری موازنه ماده حول زیر سیستم های شماره 1 و 2 و 3 نیز استفاده کنیم و از بین آنها هفت معادله را انتخاب و مسئله را حل کنیم مثلاً می توان دستگاه زیر را برقرار نمود:

$100 + C = A$	موازنه جرم حول سیستم 1:
$0.2 \times 100 + 0.33 \times C = x_{KCl} \times A$	موازنه KCl حول سیستم 1:
$A + (W + B) = 0$	موازنه جرم حول سیستم 2:
$x_{KCl} \cdot A - (0.5B + 0) = 0$	موازنه KCl حول سیستم 2:
$F - (P + W) = 0$	موازنه جرم حول کل سیستم:
$0.8F = W + 0.05P$	موازنه حول کل سیستم برای آب:
$x_{KCl} + x_{H_2O} = 1$	برای بدست آوردن معادله هفتم می توان نوشت:

مسائل موازنه مواد با حل مستقیم :

به مسائلی گفته می شود که در آنها موازنه های مواد با یکدیگر ممزوج نیستند و بدون نیاز به روش های جبری قابل حل هستند.
بدلیل اهمیت فرآیند احتراق و کاربرد زیاد آن در صنعت ابتدا به ذکر برخی تعاریف در این زمینه می پردازیم :

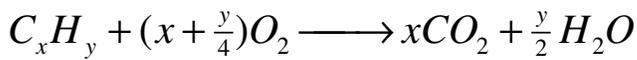
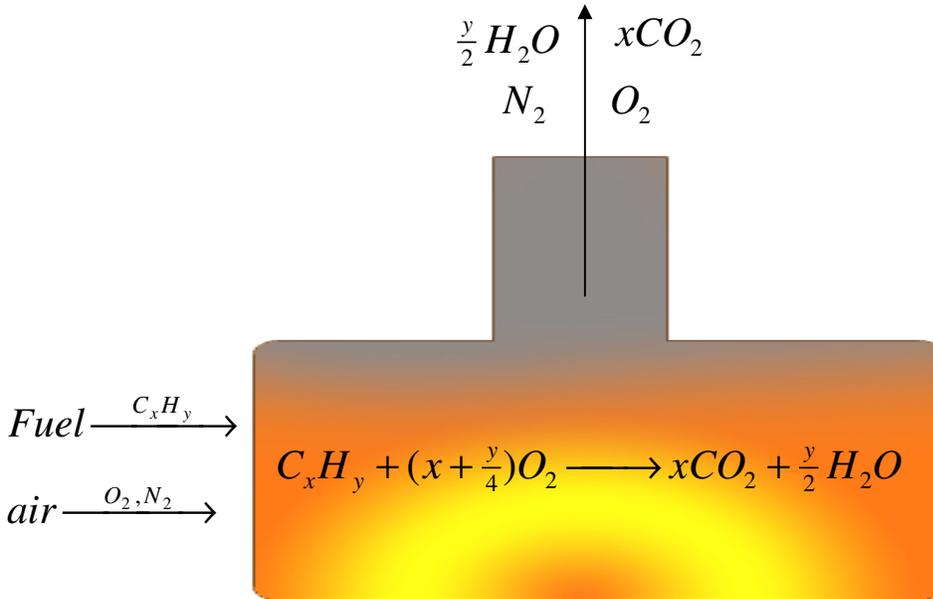
گاز دودکش (stack gas) : تمام گازهای حاصل از احتراق با در نظر گرفتن بخار آب موجود در آنها را می گویند.

آنالیز اورسات (orsat) : آنالیز گازهای حاصل از احتراق بدون در نظر گرفتن آب آنها.
هوای تئوری : مقداری از هوا که برای احتراق کامل بایستی وارد فرآیند شود (هوای مورد نیاز هم نامیده می شود)

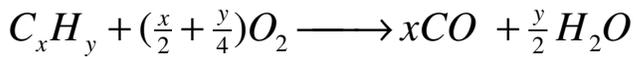
هوای اضافه (اکسیژن اضافی) : مقدار هوا (اکسیژن) مازاد بر آنچه جهت احتراق کامل مورد نیاز است

نکته : حتی اگر عمل احتراق به طور ناقص انجام شود مبنای محاسبات هوای اضافه بر حسب کامل خواهد بود.

در شکل زیر واکنش کلی احتراق دیده می شود:

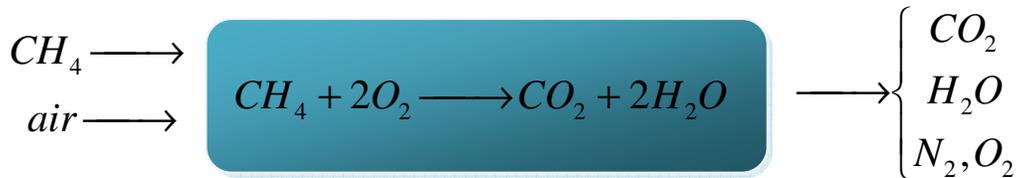


واکنش احتراق کامل:



واکنش احتراق ناقص:

مثال: اگر متان را با ۱۳٪ هوای اضافی بسوزانیم، آنالیز گازهای حاصل از احتراق را بدست آورید؟



Base: 1 gmole of CH_4

موازنه ماده حول سیستم برای مول های دی اکسید کربن :

$$n_{CO_2 in} - n_{CO_2 out} + n_{CO_2 gen} - n_{CO_2 cons} = 0$$

$$\Rightarrow 0 - n_{CO_2 out} + n_{CO_2 gen} = 0 \quad \Rightarrow \quad n_{CO_2 out} = n_{CO_2 gen} = 1 \text{ gmole}$$

موازنه ماده حول سیستم برای مول های آب :

$$n_{H_2O in} - n_{H_2O out} + n_{H_2O gen} - n_{H_2O cons} = 0$$

$$\Rightarrow 0 - n_{H_2O out} + n_{H_2O gen} = 0 \quad \Rightarrow \quad n_{H_2O out} = n_{H_2O gen} = 2 \text{ gmole}$$

موازنه ماده حول سیستم برای مول های نیتروژن :

$$n_{N_2 in} - n_{N_2 out} + n_{N_2 gen} - n_{N_2 cons} = 0$$

$$\Rightarrow \quad n_{N_2 out} = n_{N_2 in} = \frac{79}{21} \times n_{N_2 in} = \frac{79}{21} \times (2 \times 2.3) = 17.3 \text{ gmole}$$

شاید این سوال مطرح شود که چگونه مول ورودی نیتروژن محاسبه می گردد :

پاسخ:

با توجه به این که ۱۳٪ هوای اضافی وارد سیستم می شود، مول مورد نیاز اکسیژن را در عدد ۲/۳ ضرب کرده تا مقدار اکسیژن ورودی و به تبع آن مقدار نیتروژن ورودی محاسبه گردد. با توجه به اینکه ضریب استوکیومتری اکسیژن در واکنش ۲ است و نیز درصد نیتروژن به اکسیژن هوا ۷۹ به ۲۱ می باشد پس مول ورودی نیتروژن به طریق فوق محاسبه می گردد. در واقع عدد ۴/۶ مقدار مول ورودی اکسیژن است که وقتی در عدد $\frac{79}{21}$ ضرب شود مقدار نیتروژن ورودی را به ما می دهد.

موازنه ماده حول سیستم برای مول های اکسیژن :

$$n_{O_2 in} - n_{O_2 out} + n_{O_2 gen} - n_{O_2 cons} = 0$$

$$\Rightarrow 2 \times 2.3 - n_{O_2 out} + 0 - 2 = 0 \quad \Rightarrow \quad n_{O_2 out} = 2 \times 2.3 - 2 = 2.6 \text{ gmole}$$

$$\text{آنالیز} \left\{ \begin{array}{l} \%CO_2 = \frac{1}{1+2+17.3+2.6} \\ \%H_2O = \frac{2}{1+2+17.3+2.6} \\ \%N_2 = \frac{17.3}{1+2+17.3+2.6} \\ \%O_2 = \frac{2.6}{1+2+17.3+2.6} \end{array} \right.$$

مثال: در مخزنی ۱۰۰۰۰ کیلوگرم محلول اشباع $NaHCO_3$ در ۶۰ درجه فارنهایت وجود دارد می خواهیم ۵۰۰ کیلوگرم $NaHCO_3$ متبلور را از محلول تهیه کنیم. محلول را تا چه دمایی باید سرد کنیم تا این اتفاق بیفتد؟

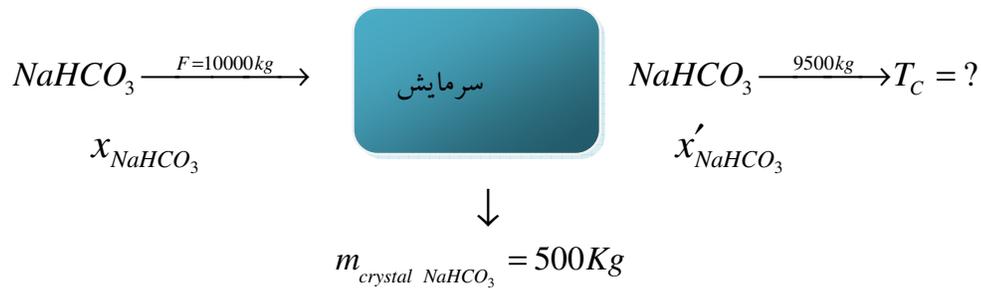
دما oC	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
حلالیت $NaHCO_3$	۱۶/۴	۱۴/۴۵	۱۱/۷	۱۱/۱	۹/۶	۸/۱۵

حلالیت در جدول فوق بر حسب $\frac{gr}{100grH_2O}$ می باشد

حل:

$$m_{NaHCO_3} = 10000Kg \text{ at } 60^\circ F$$

$$m_{NaHCO_3} = 500Kg \Rightarrow T_C = ?$$



موازنه حول سیستم برای ماده $NaHCO_3$:

$$m_{NaHCO_3, in} - m_{NaHCO_3, out} = 0$$

$$\Rightarrow m_{NaHCO_3, in} = m_{NaHCO_3, out}$$

$$\Rightarrow 10000x_{NaHCO_3} = 500 + (10000 - 500)x'_{NaHCO_3}$$