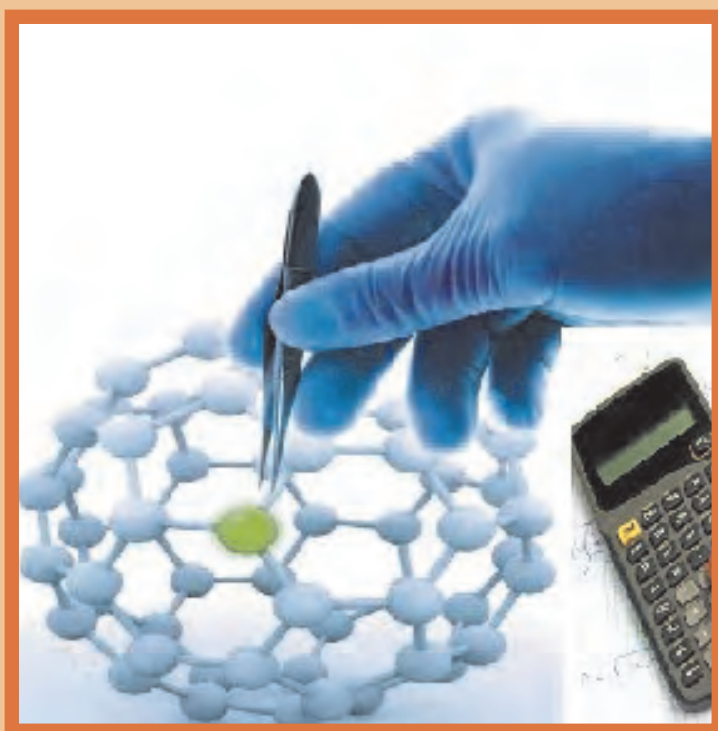


## فصل ۱

# محاسبات در صنایع شیمیایی



در رشته صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات با بهای قابل فروش، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. وظیفه متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعه سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری می‌باشد؛ لذا برای درک و حل مسائلی که در ایجاد فناوری پیش خواهد آمد، لازم است اصول اساسی محاسبات در صنایع شیمیایی را فرا گرفت و کاربرد آن را تمرین نمود.

# واحد یادگیری ۱

## بکارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

### مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام صحیح محاسبات از اهمیت به سزایی برخوردار می باشد. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی می باشد. در این بخش مباحثی در مورد انواع کمیت ها و یکاها در سیستم های مختلف بین المللی و ارتباط آنها با یکدیگر، محاسبات ریاضی با کمیت ها، تبدیل یکاها در صنایع شیمیایی و محاسبات مربوط به موازنه جرم برای فرایندهای شیمیایی (فرایندی که در آن واکنش شیمیایی اتفاق می افتد) و فرایندهای فیزیکی (فرآیندهایی که واکنش شیمیایی در آن اتفاق نمی افتد) مطرح خواهند شد.

### استاندارد عملکرد

انجام عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیتهای گروهی- انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی های فنی:

- ۱- به کارگیری یکاها و ابعاد؛
- ۲- تبدیل یکاها (واحدها)؛
- ۳- موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سیستم.

## ۱-۱- کمیت‌ها و یکاها<sup>۱</sup>

هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم را کمیت مینامند. مثلاً کمیت وزن دو جسم را می‌توان اندازه‌گیری و با هم مقایسه نمود.



آیا کمیت‌های دیگری را می‌شناسید؟ این کمیت‌ها با چه وسیله‌ای قابل اندازه‌گیری هستند؟

بحث گروهی



هر کمیت را با سه مشخصه مقدار، یکا<sup>۱</sup> و بعد<sup>۲</sup> شناسایی می‌کنند، به‌عنوان نمونه قد یک دانش‌آموز ۱۸۰ سانتیمتر است. بنابراین مقدار این کمیت (قد) ۱۸۰ و یکای آن سانتیمتر است. بعد هر کمیت نیز نشان‌دهنده جنس آن کمیت است که با یکی از حروف بزرگ انگلیسی یا ترکیبی از حروف بزرگ انگلیسی معرفی می‌شوند؛ به‌عنوان مثال بعد طول را با «L» نشان می‌دهند.

تمرین ۱: بعد قد دانش‌آموز در مثال بالا چیست؟

تمرین ۲: ارتفاع ساختمانی ۲۰ متر است. کمیت، یکا و بعد را مشخص کنید.

تمرین



## ۱-۲- انواع کمیت‌ها

با توجه به اینکه خواص فیزیکی به‌وسیله قوانین مکانیکی و فیزیکی به یکدیگر مربوط می‌شوند لذا بعضی از کمیت‌ها را اصلی و بعضی دیگر را فرعی می‌نامند.

### کمیت اصلی

کمیت اصلی کمیتی است که با ابزار مخصوص قابل اندازه‌گیری بوده، و وجودشان وابسته به کمیت دیگری نیست و مستقل‌اند. مهمترین کمیت‌های اصلی عبارت‌اند از: طول، جرم، زمان، دما و (مقدار ماده) مول.

### کمیت فرعی

کمیت فرعی کمیتی است که وجودش وابسته به کمیت‌های اصلی است و از ترکیب چند کمیت اصلی ایجاد می‌شود. تعداد کمیت‌های فرعی نامحدود بوده و از آنها می‌توان به نیرو، حجم و سرعت اشاره نمود.

<sup>۱</sup>- Units  
<sup>۲</sup>- Dimension



تمرین ۳: چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

### ۳-۱- سیستم یکاها

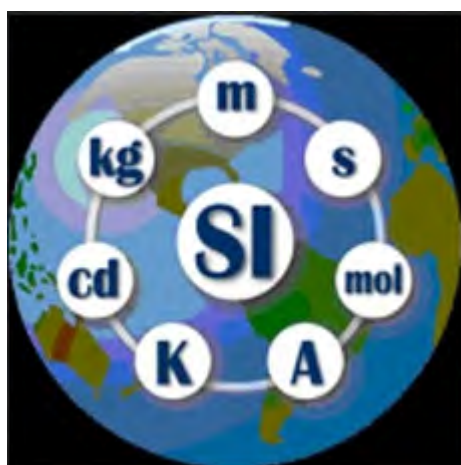
برای بیان یکاهای کمیت‌های اصلی و فرعی در محاسبات صنایع شیمیایی، از سه دسته بندی زیر استفاده میشود که اصطلاحاً هر کدام از این دسته‌بندی‌ها را یک سیستم می‌نامند.

#### سیستم یکاهای بین‌المللی<sup>۱</sup> (متریک):

در این دسته‌بندی کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای متر، کیلوگرم، ثانیه، سلسیوس و کیلومول بیان می‌کنند.

#### سیستم یکاهای بین‌المللی (CGS)

در این دسته‌بندی یا سیستم، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای سانتیمتر، گرم، ثانیه، سلسیوس، گرم مول بیان می‌کنند.



#### سیستم آحاد انگلیسی

در این دسته بندی یا سیستم، کمیت های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مول را به ترتیب بر حسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می کنند. در جدول شماره ۱-۱، آحاد و نماد کمیت های اصلی در سه سیستم مذکور آورده شده است.

جدول ۱-۱- سیستم آحاد کمیت های اصلی

سیستم	طول	جرم	زمان	مقدار ماده (مول)	دما
(متریک) (SI)	(متر) (m)	(کیلوگرم) (kg)	(ثانیه) (sec)	(کیلومول) (kmol)	سلسیوس (°C)
(CGS)	سانتیمتر (cm)	گرم (g)	ثانیه (sec)	گرم مول (gmol)	سلسیوس (°C)
انگلیسی (FPS)	فوت (ft)	پوند (lb)	ثانیه (sec)	پوندمول (lbmol)	فارنهایت (°F)

۱- SI (system- International)

بعد کمیت‌های اصلی در تمام سیستمهای متداول واحدهای یکسان بوده و همانطور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده میشوند. در جدول شماره ۲-۱، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۲-۱ ابعاد کمیت‌های اصلی

مول	دما	زمان	جرم	طول	کمیت
N	$\theta$	T	M	L	بعد

## ۴-۱- انجام محاسبات ریاضی با کمیت‌ها

### جمع و تفریق کمیت‌ها

در جمع و تفریق کمیت‌های فیزیکی فقط کمیت‌هایی با یکدیگر قابل جمع یا تفریق هستند که جنس یا بعد آنها یکسان باشد.

**مثال:** دانش‌آموزی سه کیلوگرم سیب و دو متر سیم برق خریداری کرده است. این دانش‌آموز چند کیلوگرم خرید داشته است؟

**پاسخ:** در این مثال از دو کمیت جرم و طول استفاده شده است و با توجه به اینکه جنس (بعد) این دو کمیت متفاوت است، لذا با هم قابل جمع نیست و نمی‌توان گفت به‌طور کلی این دانش‌آموز چند کیلوگرم خرید کرده و یا چند متر خرید داشته است.

**مثال:** کدامیک از عملیات‌های زیر قابل انجام و کدامیک غیر قابل انجام است؟

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

الف) دو کیلوگرم + سه ثانیه

$$3 \text{ g} + 5 \text{ g}$$

ب) سه گرم + پنج گرم

$$2 \text{ ft} + 3 \text{ lb}$$

ج) دو فوت + سه پوند

$$3 \text{ lbmol} + 4 \text{ lbmol}$$

د) چهار پوندمول + سه پوندمول

**پاسخ:** الف) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (جرم، زمان)، قابل جمع نیستند.

ب) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (جرم)، قابل جمع هستند و حاصل آن هشت گرم می‌شود.

ج) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (طول، جرم)، قابل جمع نیستند.

د) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (مول)، قابل جمع هستند و حاصل آن هفت پوند مول است.

### ضرب و تقسیم کمیت‌ها

ضرب و تقسیم چند کمیت با جنس و بعد متفاوت، قابل انجام است.

**مثال:** کدامیک از عملیات زیر قابل انجام است؟ حاصل عملیات چیست؟

الف) سه فوت  $\times$  دو کیلوگرم

ب) پنج ثانیه  $\times$  سه متر

ج) صد کیلومتر تقسیم بر دو ساعت

**پاسخ:** چون عملیات های انجام شده در مثال مذکور ضرب و تقسیم بین کمیت ها است، پس تمامی عملیات ها قابل انجام است و حاصل آنها عبارتند از:

$$2\text{kg} \times 3\text{ft} = 6\text{kg.fh}$$

$$5\text{sec} \times 3\text{m} = 15\text{sec.m}$$

الف )

ب)

ج)

$$\frac{100\text{km}}{2\text{h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

در مثال مذکور هر کدام از کمیت ها، یک کمیت اصلی است، ولی حاصل یک کمیت فرعی است.

نکته



مثال) مکعب مستطیلی دارای ۳ سانتی متر طول ، ۲ سانتی متر عرض و ۵ سانتی متر ارتفاع است. مطلوب است:

الف) تعیین حجم مکعب مستطیل

ب) تعیین سطح یک وجه

ج) تعیین بعد حجم مکعب مستطیل و سطح مکعب مستطیل

د) تعیین حاصل تقسیم حجم بر سطح یک وجه مکعب مستطیل

پاسخ)

الف) حجم مکعب مستطیل از حاصل ضرب طول در عرض و ارتفاع به دست می آید.

ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول = حجم مکعب

$$(5\text{cm}) \times (2\text{cm}) \times (3\text{cm}) = (3 \times 2 \times 5)(\text{cm} \times \text{cm} \times \text{cm}) = 30\text{cm}^3$$

ب) سطح مکعب از حاصل ضرب طول در عرض بدست می آید.

$$2\text{cm} \times (3\text{cm}) = 6\text{cm}^2 = \text{عرض} \times \text{طول} = \text{سطح مکعب}$$

ج) با توجه به اینکه هر سه کمیت طول، عرض و ارتفاع دارای بعد طول می باشند لذا:

$$L = \text{بعد طول}$$

$$L \times L \times L = L^3 = \text{ارتفاع} \times \text{عرض} \times \text{طول} = \text{حجم مکعب}$$

$$L = \text{بعد ارتفاع}$$

$$L \times L = L^2 \Rightarrow \text{عرض} \times \text{طول} = \text{سطح مکعب}$$

$$\frac{\text{حجم مکعب}}{\text{سطح مکعب}} = \frac{30\text{cm}^3}{6\text{cm}^2} = 5\text{cm}$$

د)



- ۱: در این مثال کمیت‌های طول، عرض، ارتفاع کمیت‌های اصلی و کمیت‌های حجم و سطح کمیت‌های فرعی هستند.
- ۲: در ضرب واحدهای یکسان، به تعداد دفعات ضرب، واحد حاصل عملیات، توان می‌گیرد.
- ۳: در تقسیم واحدهای یکسان، واحدهای یکسان با توجه به توانشان از صورت و مخرج حذف می‌گردند.

**مثال)** بعد کمیت فرعی سرعت، را تعیین نمایید.

**پاسخ)** برای تعیین کمیت‌های فرعی، ابتدا باید فرمول آن کمیت را نوشت، سپس بعد کمیت‌های مورد استفاده را مشخص و نهایتاً بعد کمیت فرعی را تعیین نمود. سرعت از حاصل تقسیم مسافت طی شده بر واحد زمان بدست می‌آید.  
\* بعد سرعت عبارت است از:

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}}$$

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

$T = \text{بعد زمان و } L = \text{بعد مسافت}$   
 $\text{سرعت} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$



تمرین ۴: رابطه ابعادی شتاب و نیرو را تعیین نمایید.

تمرین ۵: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در سیستم SI (متریک) تعیین کنید.

تمرین ۶: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در سیستم یکای انگلیسی به دست آورید.

تمرین ۷: یکای کمیت‌های انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را در دو سیستم یکای SI (متریک) و انگلیسی به دست آورید. فرمول‌های مورد نیاز:

$$\begin{aligned} \text{انرژی جنبشی} &= \frac{1}{2} (\text{جرم}) (\text{سرعت})^2 \\ (\text{ارتفاع}) (\text{شتاب}) (\text{جرم}) &= \text{انرژی پتانسیل} \end{aligned}$$

تمرین ۸: بعد انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را تعیین نمایید.

## ۵-۱- تبدیل یکاها

بحث گروهی: چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

الف) سه متر + بیست سانتیمتر      ب) دو کیلوگرم + صد گرم

برای تعیین حاصل جمع مثال فوق چه راه‌هایی به ذهنتان می‌رسد؟

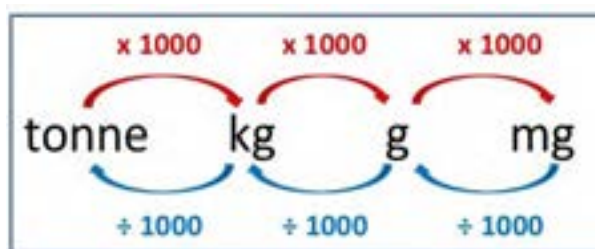
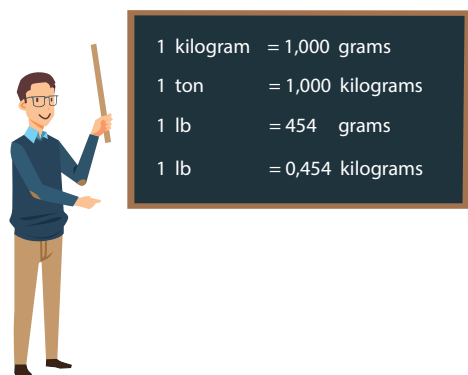


برای تبدیل یک‌کاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل<sup>۱</sup> آن کمیت‌ها استفاده نمود. در جدول شماره ۳-۱، نمونه ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده‌است.

جدول ۳-۱ ضرایب تبدیل

کمیت	ضرایب تبدیل
طول	$1\text{m} = 100\text{cm}$ $1\text{ft} = 0.3048\text{m}$ $1\text{ft} = 30.48\text{cm}$ $1\text{ft} = 12\text{inch}$ $1\text{inch} = 2.54\text{cm}$
جرم	$1\text{kg} = 1000\text{g}$ $1\text{lb} = 454\text{g}$ $1\text{lb} = 0.454\text{kg}$
زمان	$1\text{h} = 60\text{min}$ $1\text{h} = 3600\text{sec}$ $1\text{min} = 60\text{sec}$

برای تبدیل واحد یک کمیت از روش نردبانی استفاده می‌شود. در این روش باید از ضرایب تبدیل به گونه‌ای استفاده نمود که واحد قدیمی و واحد جدید در صورت و مخرج این نردبان قرار گیرد و واحد قدیمی حذف و واحد جدید ایجاد شود.





**مثال)** جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب واحدهای گرم و پوند به دست آورید.

**پاسخ)** در ابتدا بایست ضرایب تبدیل مورد نیاز را پیدا کرد.

$$1\text{lb} = 0.454\text{kg}$$

$$1\text{kg} = 1000\text{g}$$

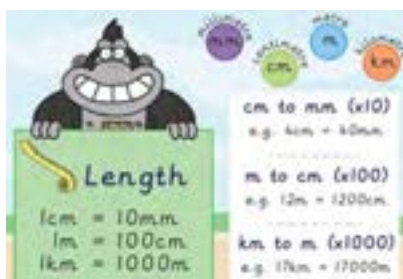
با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

$$\text{جرم جسم} = 25\text{kg} \times \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} = 25000\text{g}$$

$$\text{جرم جسم} = 25\text{kg} \times \frac{1\text{lb}}{0.454\text{kg}} = 55.06\text{lb}$$

**مثال)** فاصله شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را بر حسب واحدهای متر و فوت به دست

آورید.



**پاسخ)** با توجه به ضرایب تبدیل طول:

$$1\text{km} = 1000\text{m} \quad (\text{یک کیلومتر} = 1000 \text{ متر})$$

$$1\text{ft} = 0.3048\text{m} \quad (\text{یک فوت} = 0.3048 \text{ متر})$$

$$\text{فاصله تهران تا قم} = 130\text{km} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} = 130000\text{m} \quad (\text{الف})$$

$$\text{فاصله تهران تا قم} = 130\text{km} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times \frac{1\text{ft}}{0.3048\text{m}} = 426509.186\text{ft} \quad (\text{ب})$$

**مثال):** خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب

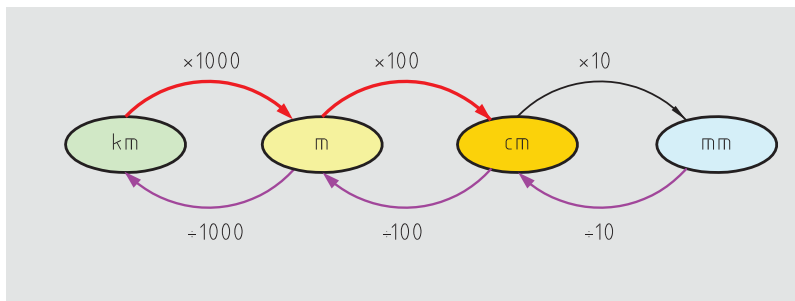
متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل مورد نیاز:

$$1\text{km} = 1000\text{m}$$

$$1\text{h} = 60\text{min}$$

$$\text{سرعت خودرو} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 1666.6 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$



تمرین



تمرین ۹: سرعت خودرو را در مثال بالا بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.  
تمرین ۱۰: هواپیمایی با سرعت  $500 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$  در حال حرکت است، سرعت این هواپیما را بر حسب  $\frac{\text{ft}}{\text{h}}$  و  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  به دست آورید.

**مثال** حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتیمتر مکعب به دست آورید.  
**پاسخ** ضریب تبدیل مورد نیاز:

$$1 \text{ لیتر} = 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{حجم مخزن} = 5L \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1L} = 5000 \text{ cm}^3$$

**مثال** حجم یک بشر  $1000 \text{ cm}^3$  است، حجم آن را بر حسب متر مکعب به دست آورید.

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

**پاسخ** ضریب تبدیل مورد نیاز:

$$\text{حجم بشر} = 1000 \text{ cm}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 = 1000 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} = 0.001 \text{ m}^3$$

نکته



در هنگام استفاده از ضرایب تبدیل، می توان واحدها را به توان رساند.

تمرین



تمرین ۱۱: به وسیله یک لوله روزانه  $4 \text{ m}^3$  آب به داخل یک مخزن ریخته می شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتیمتر مکعب آب داخل مخزن ریخته می شود؟

انجام محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیت خاصی دارد. در این قسمت نحوه تبدیل واحدها در کمیتهای متداول صنایع شیمیایی ارائه می گردد.

### مقدار ماده (مول)<sup>۱</sup>

واحدهای اصلی مول عبارتند از: گرم مول (gmol)، پوند مول (lbmol) و کیلو مول (kmol). ضرایب تبدیل مولی عبارتند از:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kmol} &= 1000 \text{ gmol} \\ 1 \text{ lbmol} &= 454 \text{ gmol} \\ 1 \text{ lbmol} &= 0.454 \text{ kmol} \end{aligned}$$

چنانچه کلمه مول به تنهایی به کار رود، منظور گرم مول است.

نکته



### جرم اتمی و جرم مولکولی<sup>۲</sup>

جرم یک گرم مول از هر اتم را جرم اتمی و جرم یک گرم مول از هر مولکول را جرم مولکولی می نامند. با توجه به تعریف جرم مولکولی می توان واحدهای زیر را برای آن بیان کرد:

$\frac{\text{g}}{\text{gmol}}$	سیستم CGS :	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	سیستم SI :
		$\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$	سیستم انگلیسی:

با توجه به واحدهای جرم اتمی، جرم اتمی سدیم را ۲۳ و آب را ۱۸ در نظر می گیرند؛ یعنی یک گرم مول سدیم، ۲۳ گرم و یک گرم مول آب، ۱۸ گرم جرم دارد.

بخت کنید



**مثال)** جرم اتمی مس  $64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$  است، جرم اتمی آن را بر حسب  $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$  و  $\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$  به دست آورید. (جواب) با استفاده از ضرایب تبدیل و روش نردبانی:

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ gmol}}{1 \text{ kmol}} = 64 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ g}} \times \frac{454 \text{ gmol}}{1 \text{ lbmol}} = 64 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$$

۱- Mole

۲- molecular Weight (MW)



مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در سیستم واحدهای مختلف، یکسان است.

**کسر جرمی (جزء جرمی):** اگر ماده A یک جزء از یک مخلوط (یا محلول) باشد، کسر جرمی A عبارت است از جرم ماده A تقسیم بر جرم کل مخلوط (یا محلول). معمولاً کسر جرمی را با  $x$  نشان می‌دهند.

$$x_A = \frac{\text{جرم ماده A}}{\text{جرم کل مخلوط}} = \frac{m_A}{m_t} \quad (1-1)$$

در رابطه (1-1)، اندیس t اشاره به total یعنی کل است.

**کسر مولی (جزء مولی):** اگر مخلوطی از مواد وجود داشته باشد که A یکی از اجزاء این مخلوط باشد، کسر مولی ماده A برابر است با حاصل تقسیم مول A بر مول کل مخلوط. معمولاً کسر مولی را با  $y$  نشان می‌دهند.

$$y_A = \frac{\text{مول ماده A}}{\text{مول کل مخلوط}} = \frac{N_A}{N_t} \quad (1-2)$$

**کسر حجمی (جزء حجمی):** در مخلوطی از مواد اگر A یکی از اجزاء تشکیل دهنده آن مخلوط باشد، کسر حجمی ماده A برابر است با حاصل تقسیم حجم A بر حجم کل مخلوط معمولاً کسر حجمی را با  $V$  نشان می‌دهند.

$$V_A = \frac{\text{حجم ماده A}}{\text{حجم کل مخلوط}} = \frac{V_A}{V_t} \quad (1-3)$$

مجموع کسرهای جرمی (مولی، حجمی) اجزاء تشکیل دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک می‌باشد.



$$\sum x_i = 1 \quad (1-4)$$

$$\sum y_i = 1 \quad (1-5)$$

$$\sum v_i = 1 \quad (1-6)$$

$$x_A + x_B + x_C + \dots = 1$$

$$y_A + y_B + y_C + \dots = 1$$

$$V_A + V_B + V_C + \dots = 1$$

A, B, C و ... اجزای تشکیل دهنده مخلوط (یا محلول)

نکته



درصدهای جرمی (مولی، حجمی) اجزاء تشکیل دهنده یک مخلوط از حاصل ضرب کسرهای جرمی (مولی، حجمی) در عدد ۱۰۰ بدست می آید.

جرم (مول، حجم) یک جزء در مخلوط، از حاصل ضرب کسر جرمی (مولی، حجمی) همان جزء در جرم کل (مول کل، حجم کل) مخلوط بدست می آید.

نکته



مجموع درصدهای جرمی (مولی، حجمی) اجزای موجود در یک مخلوط همواره برابر با ۱۰۰ است.

## ۶-۱- آنالیز (تجزیه)

اگر مخلوطی (یا محلولی) از مواد در فاز مایع، جامد یا گاز وجود داشته باشد، تعیین درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهنده مخلوط را آنالیز آن مخلوط می نامند.

**مثال)** یک محلول شیمیایی تمیزکننده شامل ۵ کیلوگرم آب و ۵ کیلوگرم سدیم هیدروکسید است. آنالیز جرمی و مولی این محلول را تعیین نمایید.

**پاسخ)** برای آنالیز جرمی و مولی این محلول کافی است کسرهای جرمی و مولی اجزای محلول را به دست آورده و سپس در عدد ۱۰۰ ضرب کنید.

$$M_{w_{H_2O}} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_{w_{NaOH}} = 40 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\begin{cases} m_{H_2O} = 5 \text{ kg} \\ m_{NaOH} = 5 \text{ kg} \end{cases} \rightarrow m_{\text{کل}} = 5 + 5 = 10 \text{ kg}$$

اطلاعات مورد نیاز:

**الف) آنالیز جرمی:**

$$\text{کسر جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرمی آب} = 0.5 \times 100 = 50\%$$

$$\text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} = \frac{\text{جرم سدیم هیدروکسید}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرمی سدیم هیدروکسید} = 0.5 \times 100 = 50\%$$

**ب)** برای تعیین کسر مولی اجزاء، در ابتدا باید تعداد مول هر کدام را به دست آورد. با توجه به تعریف تعداد گرم مول:

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

$$\text{تعداد مول آب} = n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{w_{H_2O}}} = \frac{5}{18} = 0.27 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول سدیم هیدروکسید} = n_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{M_{w_{NaOH}}} = \frac{5}{40} = 0.125 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{H_2O} + n_{NaOH} = 0.27 + 0.125 = 0.395 \text{ kmol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} = \frac{0.27}{0.395} = 0.68$$

$$\text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} = y_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_t} = \frac{0.125}{0.395} = 0.32$$

**یادآوری:** مجموع کسرهای جرمی و یا مولی اجزای یک مخلوط همواره برابر با یک است.

$$68 = 0.68 \times 100 = \text{کسر مولی آب} \times 100$$

$$32 = 0.32 \times 100 = \text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} \times 100$$

**یادآوری:** مجموع درصدهای جرمی یا مولی اجزای یک مخلوط، همواره برابر با ۱۰۰ است، نتایج محاسبات در جدول زیر ارائه شده است.

درصد مولی	کسر مولی	درصد جرمی	کسر جرمی	مول (کیلو مول)	جرم (کیلو گرم)	مواد
۶۸	۰/۶۸	۵۰	۰/۵	۰/۲۷	۵	آب
۳۲	۰/۳۲	۵۰	۰/۵	۰/۱۲۵	۵	سدیم هیدرواکسید
۱۰۰	۱/۰	۱۰۰	۱/۰	۰/۳۹۵	۱۰	جمع

**مثال:** هوا مخلوطی از گازهای نیتروژن و اکسیژن است، اگر مقدار نیتروژن و اکسیژن موجود در هوا به ترتیب ۱۵۸ گرم مول و ۴۲ گرم مول باشد، آنالیز مولی و جرمی هوا را به دست آورید.

**پاسخ:** برای تعیین آنالیز هوا (درصد مولی، درصد جرمی) ابتدا باید جرم و مول اجزای را تعیین نمود.

اطلاعات مورد نیاز.

$$M_{w_{O_2}} = 32 \frac{g}{gmol}$$

$$M_{w_{N_2}} = 28 \frac{g}{gmol}$$

یادآوری



یادآوری



الف) آنالیز مولی اجزا:

$$\begin{aligned} n_{O_2} &= 42 \text{ gmol} \\ n_{N_2} &= 158 \text{ gmol} \end{aligned} \longrightarrow n_{\text{مخلوط}} = n_t = 42 + 158 = 200 \text{ gmol}$$

$$y_{O_2} = \frac{\text{مول اکسیژن}}{\text{مول کل}} = \frac{42}{200} = 0.21$$

$$y_{N_2} = \frac{\text{مول نیتروژن}}{\text{مول کل}} = \frac{158}{200} = 0.79$$

$$\text{درصد مولی اکسیژن} = 0.21 \times 100 = 21\%$$

$$\text{درصد مولی نیتروژن} = 0.79 \times 100 = 79\%$$

ب) آنالیز جرمی اجزای: برای آنالیز جرمی اجزا در ابتدا باید جرم هر جز را به دست آورد؛ بدین منظور با توجه به تعریف جرم مولکولی، برای تعیین جرم کافی است تعداد گرم مول را در جرم مولکولی ضرب نمود.

$$n = \frac{m}{M_w} \rightarrow m = n \times M_w$$

$$M_{w_{O_2}} = 32 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

$$M_{w_{N_2}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$$

$$m_{O_2} = M_{w_{O_2}} \times n_{O_2} = 32 \times 42 = 1344 \text{ g}$$

$$m_{N_2} = M_{w_{N_2}} \times n_{N_2} = 28 \times 158 = 4424 \text{ g}$$

$$m_t = m_{O_2} + m_{N_2} = 1344 + 4424 = 5768 \text{ g}$$

$$x_{N_2} = \frac{\text{جرم نیتروژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{N_2}}{m_t} = \frac{4424}{5768} = 0.767$$

$$x_{O_2} = \frac{\text{جرم اکسیژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{O_2}}{m_t} = \frac{1344}{5768} = 0.233$$

$$\text{درصد جرمی اکسیژن} = 0.233 \times 100 = 23.3\%$$

$$\text{درصد جرمی نیتروژن} = 0.767 \times 100 = 76.7\%$$

نتایج محاسبات در جدول زیر ارائه شده است.

درصد مولی	درصد جرمی	کسر مولی	کسر جرمی	مواد
۲۱	۲۳/۳	۰/۲۱	۰/۲۳۳	اکسیژن
۷۹	۷۶/۷	۰/۷۹	۰/۷۶۷	نیتروژن
۱۰۰	۱۰۰	۱/۰	۱/۰	جمع

### جرم مولکولی متوسط یک مخلوط

بر اساس تعریف جرم مولکولی، جرم مولکولی یک مخلوط از حاصل تقسیم جرم کل بر تعداد مول کل مخلوط به دست می‌آید.

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = M_{W_{\text{کل}}} = \frac{\text{جرم کل مخلوط}}{\text{تعداد مول کل مخلوط}}$$

نکته



علاوه بر رابطه اصلی جرم مولکولی، می‌توان برای تعیین جرم مولکولی یک مخلوط با توجه به معلوم بودن کسرهای جرمی یا مولی اجزای تشکیل دهنده مخلوط از روابط ۷-۱ و ۸-۱ استفاده نمود.

(۷-۱)

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = \sum_{i=1}^n (M_{wi} y_i) = M_{w1} y_1 + M_{w2} y_2 + \dots + M_{wn} y_n$$

(۸-۱)

$$\frac{1}{M_w} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{M_{wi}} \right) = \frac{x_1}{M_{w1}} + \frac{x_2}{M_{w2}} + \frac{x_3}{M_{w3}} + \dots + \frac{x_n}{M_{wn}}$$

$i$  = تعداد اجزای تشکیل دهنده مخلوط

$M_{wi}$  = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

$y_i$  = کسر مولی هر ماده در مخلوط

$x_i$  = کسر جرمی هر ماده در مخلوط



**مثال)** جرم مولکولی متوسط مخلوط زیر را تعیین کنید.

درصد مولی	مواد
۳۰	پروپان ( $C_3H_8$ )
۵۰	اتان ( $C_2H_6$ )
۲۰	متان ( $CH_4$ )

**پاسخ)** با توجه به معلوم بودن درصد مولی اجزا، از رابطه شماره (۱-۷) میتوان استفاده نمود، ولی در ابتدا باید جرم مولکولی و کسر مولی هر جزء در این مخلوط را تعیین نمود.  
**یادآوری:** کسر مولی از حاصل تقسیم درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به دست می آید.

(Mw) جرم مولکولی	(Y) کسر مولی	درصد مولی	مواد
۱۶	$\frac{20}{100} = 0.2$	۲۰	$CH_4$
۳۰	$\frac{50}{100} = 0.5$	۵۰	$C_2H_6$
۴۴	$\frac{30}{100} = 0.3$	۳۰	$C_3H_8$
	۱/	۱۰۰	جمع

$$\begin{aligned}
 M_{w, \text{مخلوط}} &= M_{wCH_4} \cdot y_{CH_4} + M_{wC_2H_6} \cdot y_{C_2H_6} + M_{wC_3H_8} \cdot y_{C_3H_8} \\
 &= 16 \times 0.2 + 30 \times 0.5 + 44 \times 0.3 \\
 &= 3/2 + 15 + 13/2 = 31/2
 \end{aligned}$$

تمرین ۱۲: محلولی حاوی ۲۰ درصد مولی آب و ۸۰ درصد مولی سدیم هیدروکسید (NaOH) است، جرم مولکولی این محلول را محاسبه نمایید.

تمرین ۱۳: هوا شامل ۲۱ درصد مولی اکسیژن ( $O_2$ ) و ۷۹ درصد مولی نیتروژن ( $N_2$ ) است. جرم مولکولی متوسط هوا را به دست آورید.

تمرین

