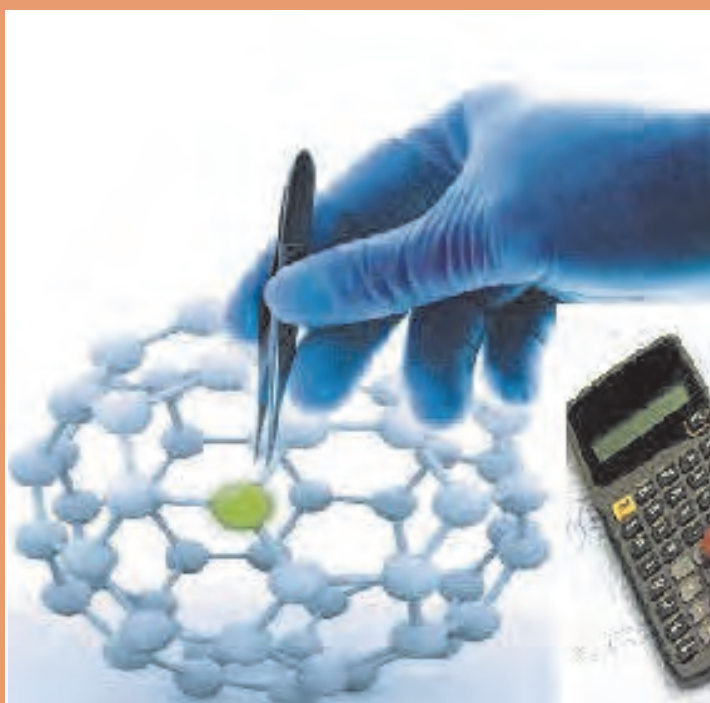


پودمان ۱

محاسبات در صنایع شیمیایی



در رشته صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی اقتصادی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات بررسی می‌شوند. وظیفه متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعه سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری است؛ 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 کرد.

واحد یادگیری ۱

به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام دادن صحیح محاسبات از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی است. در این پودمان مباحثی در مورد انواع کمیت‌ها و یکاها در دستگاه‌های مختلف بین‌المللی و ارتباط آنها با یکدیگر، محاسبات ریاضی با کمیت‌ها، تبدیل یکاها در صنایع شیمیایی و محاسبات مربوط به موازنه جرم برای فرایندهای شیمیایی و فرایندهای فیزیکی مطرح خواهند شد.

استاندارد عملکرد

انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی‌های غیر فنی:

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

شایستگی‌های فنی:

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

۱-۱- کمیت‌ها و یکاها^۱

هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم را کمیت می‌نامند. مثلاً کمیت جرم دو جسم را اندازه‌گیری می‌کنند و وزن آنها را محاسبه می‌کنند. در پایان کمیت‌های مشابه را با یکدیگر مقایسه می‌کنند.



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

بحث گروهی ۱



هر کمیت را با سه مشخصه مقدار، یکا و بعد^۲ شناسایی می‌کنند، به‌عنوان نمونه قد یک هنرجو 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 می‌شود؛ به‌عنوان مثال بعد طول را با حرف «L» نشان می‌دهند.

۱ بعد قد هنرجو در مثال بالا چیست؟

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

تمرین ۱



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 است، 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 محدود نیست و از آنها می‌توان به نیرو، حجم و سرعت اشاره کرد.

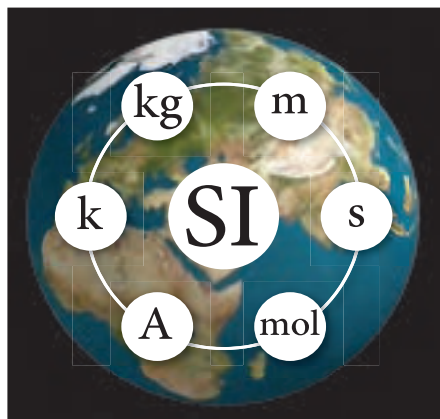
چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

تمرین ۲



۱-۳- دستگاه یکاها

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



دستگاه یکاهای بین‌المللی (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^۲ بیان می‌کنند.

دستگاه یکاهای بین‌المللی (CGS)

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

دستگاه یکاهای انگلیسی

در این دسته‌بندی یا دستگاه، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مول را به ترتیب بر حسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می‌کنند. در جدول ۱-۱، واحدها و نماد کمیت‌های اصلی در سه دستگاه مذکور آورده شده است.

جدول ۱-۱- دستگاه یکاهای کمیت‌های اصلی

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

بعد کمیت‌های اصلی در تمام دستگاه‌های یک‌کسا است و همان‌طور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده می‌شوند. در جدول ۱-۲، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- ابعاد کمیت‌های اصلی

کمیت	طول	جرم	زمان	دما	مول
بعد	L	M	T	θ	N

۱-۴- محاسبات ریاضی 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 ۱: هنرجویی سه کیلوگرم سیب و دو متر سیم برق خریداری کرده‌است. این هنرجو چند کیلوگرم خرید داشته‌است؟

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

مثال ۲: کدام یک از عملیات زیر انجام شدنی و کدام یک انجام نشدنی است؟

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

(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 و 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 و جرم)، قابل جمع نیستند.

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

ضرب و تقسیم کمیت‌ها

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

مثال ۳: کدام یک از عملیات زیر انجام شدنی 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 انجام شده در مثال ۳ ضرب و تقسیم بین کمیت‌ها است، پس تمامی عملیات انجام شدنی است و حاصل آنها عبارت‌اند از:

$$2 \text{ kg} \times 3 \text{ ft} = 6 \text{ kg.ft} \quad (\text{الف})$$

$$5 \text{ s} \times 3 \text{ m} = 15 \text{ s.m} \quad (\text{ب})$$

$$\frac{100 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (\text{ج})$$

نکته ۱



در مثال ۳ هر کدام از کمیت‌ها، یک کمیت اصلی است، ولی حاصل ضرب و تقسیم آنها، یک کمیت فرعی است.

مثال ۴: مکعب مستطیلی دارای ۳ سانتی‌متر طول، ۲ سانتی‌متر عرض و ۵ سانتی‌متر ارتفاع است. مطلوب است:

(الف) مقدار حجم مکعب مستطیل

(ب) مقدار سطح یک وجه

(ج) تعیین بعد حجم 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 می‌آید.

ارتفاع \times عرض \times طول = حجم مکعب مستطیل

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

(ب) سطح هر وجه مکعب مستطیل از حاصل ضرب طول در عرض به دست می‌آید.

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

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

$$\text{بعد طول} = L$$

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

$$\text{بعد ارتفاع} = L$$

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

$$\frac{\text{حجم مکعب مستطیل}}{\text{سطح مکعب مستطیل}} = \frac{30 \text{ cm}^3}{6 \text{ cm}^2} = 5 \text{ cm} \quad (\text{د})$$



- ۱: در مثال ۴ 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 می‌شوند.

مثال ۵) بعد کمیت فرعی سرعت، را تعیین کنید.

پاسخ: برای تعیین کمیت‌های فرعی، ابتدا باید فرمول آن کمیت را نوشت، سپس بعد کمیت‌های استفاده‌شده را مشخص و در پایان بعد کمیت فرعی را تعیین کرد. سرعت یک متحرک از تقسیم مسافت طی‌شده بر زمان به دست می‌آید.

* بنابراین بعد سرعت عبارت است از:

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

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

$\Rightarrow T = \text{بعد زمان و } L = \text{بعد مسافت}$

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



- ۱: بعد کمیت‌های شتاب و نیرو را تعیین کنید.
- ۲: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه SI (متریک) تعیین کنید.
- ۳: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه یکای انگلیسی به دست آورید.
- ۴: یکای کمیت‌های انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را در دو دستگاه یکای SI (متریک) و انگلیسی به دست آورید. فرمول‌های مربوط عبارت‌اند از:

$$\text{انرژی جنبشی} = \frac{1}{2} (\text{جرم}) (\text{سرعت})^2$$

$$\text{(ارتفاع) (شتاب) (جرم)} = \text{انرژی پتانسیل}$$

۵: بعد انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را تعیین کنید.

۵-۱- تبدیل یکاها

چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

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

برای تعیین حاصل جمع مثال الف و ب چه راه‌هایی به ذهنتان می‌رسد؟

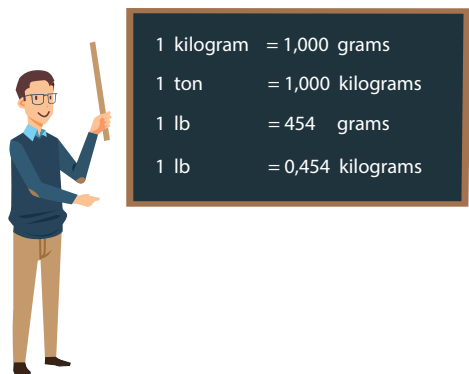


برای تبدیل یک‌کاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل^۱ آن کمیت‌ها استفاده کرد. در جدول ۱-۳، نمونه‌ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده است.

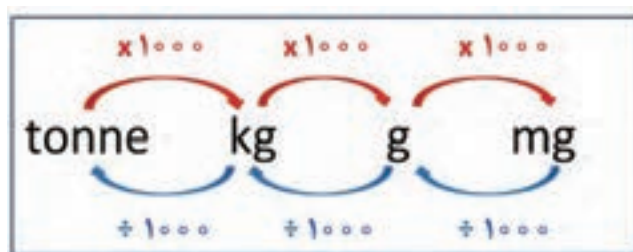
جدول ۱-۳- ضرایب تبدیل

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

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



$1\text{ kilogram} = 1,000\text{ grams}$
 $1\text{ ton} = 1,000\text{ kilograms}$
 $1\text{ lb} = 454\text{ grams}$
 $1\text{ lb} = 0,454\text{ kilograms}$



مثال ۶) جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب یکه‌های گرم و پوند به دست آورید.

پاسخ: در ابتدا بایست ضرایب تبدیل مناسب را پیدا کرد.

با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

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

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

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

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

مثال ۷) فاصله شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را بر حسب یکه‌های متر و فوت به دست

آورید.



پاسخ: با توجه به ضرایب تبدیل طول:

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

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

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

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

مثال ۸) خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب

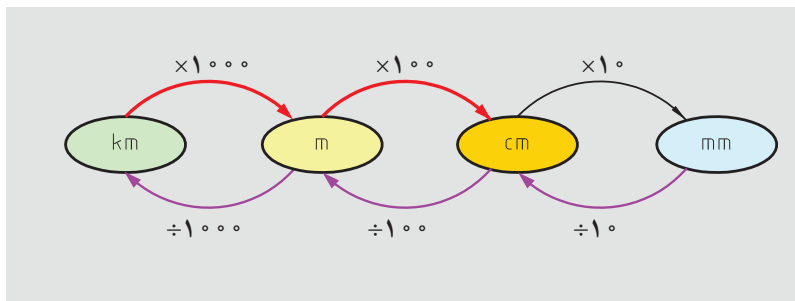
متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل لازم:

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

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

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



تمرین ۴



۱: سرعت خودرو را در مثال ۸ بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.
 ۲: هواپیمایی با سرعت $500 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$ 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 ۹ حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتی متر مکعب به دست آورید.
پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

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

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

مثال ۱۰ حجم یک بشر 1000 cm^3 است، حجم آن را بر حسب متر مکعب به دست آورید.

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

پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

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

نکته ۳



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

تمرین ۵



به وسیله یک لوله روزانه 4 m^3 آب به داخل یک مخزن ریخته می شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتی متر مکعب آب داخل مخزن ریخته می شود؟

انجام دادن محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیت خاصی دارد. در این قسمت شیوه تبدیل یکاها در کمیت های متداول صنایع شیمیایی ارائه می شود.

مقدار ماده (مول)

یکاهای اصلی مول عبارت‌اند از: گرم مول (gmol)، پوند مول (lbmol) و کیلومول (kmol) و کیلوگرم مول (kgmol) ضرایب تبدیل مولی عبارت‌اند از:

$$1 \text{ kmol} = 1000 \text{ mol}$$

$$1 \text{ kgmol} = 1000 \text{ gmol}$$

$$1 \text{ lbmol} = 454 \text{ gmol}$$

$$1 \text{ lbmol} = 0.454 \text{ kgmol}$$

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

نکته ۴



با توجه به تعریف جرم مولکولی می‌توان یکاهای زیر را در دستگاه‌های مختلف برای آن بیان کرد:

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

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

نکته ۵



مثال (۱۱) جرم اتمی مس $\frac{64 \text{ g}}{\text{gmol}}$ 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:

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

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



مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در دستگاه یکاهای 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 معادله (1-1)، zبروند t اشاره به total یعنی کل است.

کسر مولی (جزء مولی): اگر مخلوطی از مواد وجود داشته باشد که A یکی از اجزای 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 اجزای تشکیل‌دهنده 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) یا (حجمی) اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک است.



$$\sum x_i = 1 \quad \text{و} \quad x_A + x_B + x_C + \dots = 1 \quad (1-4)$$

$$\sum y_i = 1 \quad \text{و} \quad y_A + y_B + y_C + \dots = 1 \quad (1-5)$$

$$\sum v_i = 1 \quad \text{و} \quad v_A + v_B + v_C + \dots = 1 \quad (1-6)$$

در این معادله‌ها A, B, C و ... اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط (یا محلول) هستند.

درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهنده یک مخلوط از حاصل ضرب کسرهای جرمی (مولی یا حجمی) در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.



جرم (مول، حجم) یک جزء در مخلوط، از حاصل ضرب کسر جرمی (مولی، حجمی) همان جزء در جرم کل (مول کل، حجم کل) مخلوط به دست می‌آید.

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



۶-۱- تجزیه و تحلیل مخلوط‌ها

اگر مخلوطی (یا محلولی) از مواد در فاز مایع، جامد یا گاز وجود داشته باشد، تعیین درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهندهٔ مخلوط را تجزیه و تحلیل (آنالیز) آن مخلوط می‌نامند.

مثال ۱۲) یک محلول شیمیایی تمیزکننده شامل ۵ کیلوگرم آب و ۵ کیلوگرم سدیم هیدروکسید است. درصدهای جرمی و مولی این محلول را تعیین کنید.

پاسخ: برای تعیین درصدهای جرمی و مولی این محلول کافی است، کسرهای جرمی و مولی اجزای محلول را به دست آورید و سپس هر کدام را 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 لازم:

الف) تجزیه و تحلیل جرمی:

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

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

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

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

$$100\% = 50\% + 50\% = \text{درصد جرمی آب سدیم هیدروکسید} + \text{درصد جرمی آب}$$

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

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

$$\text{تعداد مول آب} = n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_w_{H_2O}} = \frac{5}{18} = 0.277 \text{ kmol}$$

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

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{H_2O} + n_{NaOH} = 0.277 + 0.125 = 0.402 \text{ mol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} = \frac{0.277}{0.402} = 0.689$$

$$\text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} = y_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_t} = \frac{0.125}{0.402} = 0.311$$

مجموع کسرهای (درصدهای) جرمی و یا مولی اجزای تمیزکننده شیمیایی برابر با یک (صد) است.

$$68.9\% = 0.689 \times 100\% = \text{درصد مولی آب}$$

$$31.1\% = 0.311 \times 100\% = \text{درصد مولی سدیم هیدروکسید}$$

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده است.

مواد	جرم (کیلوگرم)	مول (کیلومول)	کسر جرمی	درصد جرمی	کسر مولی	درصد مولی
آب	5	0.277	0.5	50	0.689	68.9
سدیم هیدروکسید	5	0.125	0.5	50	0.311	31.1
جمع	10	0.402	1.0	100	1.0	100

مثال ۱۳) 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، تجزیه و تحلیل مولی و جرمی هوا را انجام دهید.

پاسخ: برای تعیین درصد مولی و درصد جرمی اجزای هوا، ابتدا باید جرم و مول اجزای آن را تعیین کرد.

اطلاعات مسئله:

$$M_{wO_2} = 32 \frac{g}{gmole}$$

$$M_{wN_r} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$n_{O_r} = 42 \text{ gmol} \quad \longrightarrow \quad n_{\text{مخلوط}} = n_t = 42 + 158 = 200 \text{ gmol}$$

$$n_{N_r} = 158 \text{ gmol}$$

الف) تجزیه و تحلیل مولی اجزای هوا:

$$\text{کسر مولی اکسیژن} = y_{O_r} = \frac{\text{مول اکسیژن}}{\text{مول کل}} = \frac{42}{200} = 0/21$$

$$\text{کسر مولی نیتروژن} = y_{N_r} = \frac{\text{مول نیتروژن}}{\text{مول کل}} = \frac{158}{200} = 0/79$$

$$\text{کسر مولی اکسیژن} = 0/21 \times 100 = 21\%$$

$$\text{کسر مولی نیتروژن} = 0/79 \times 100 = 79\%$$

ب) تجزیه و تحلیل جرمی اجزای هوا: برای تجزیه و تحلیل 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 کرد.

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

$$M_{wO_r} = 32 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$M_{wN_r} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$\text{جرم اکسیژن} = m_{O_r} = M_{wO_r} \times n_{O_r} = 32 \times 42 = 1344 \text{ g}$$

$$\text{جرم نیتروژن} = m_{N_r} = M_{wN_r} \times n_{N_r} = 28 \times 158 = 4424 \text{ g}$$

$$\text{جرم کل} = m_t = m_{O_r} + m_{N_r} = 1344 + 4424 = 5768 \text{ g}$$

$$\text{کسر جرمی نیتروژن} = x_{N_r} = \frac{\text{جرم نیتروژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{N_r}}{m_t} = \frac{4424}{5768} = 0/767$$

$$\text{کسر جرمی اکسیژن} = x_{O_r} = \frac{\text{جرم اکسیژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{O_r}}{m_t} = \frac{1344}{5768} = 0/233$$

$$\text{درصد جرمی اکسیژن} = 0/233 \times 100 = 23/3\%$$

$$\text{درصد جرمی نیتروژن} = 0/767 \times 100 = 76/7\%$$

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده است.

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

جرم مولکولی متوسط یک مخلوط

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

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

علاوه بر معادله اصلی جرم مولکولی، می توان برای تعیین جرم مولکولی یک مخلوط با توجه به معلوم بودن کسرهای جرمی یا مولی اجزای تشکیل دهنده مخلوط از معادله های ۷-۱ و ۸-۱ استفاده کرد.

(۱-۷)

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = \sum_{i=1}^n (M_{W_i} y_i) = M_{W_1} y_1 + M_{W_2} y_2 + \dots + M_{W_n} y_n$$

(۱-۸)

$$\frac{1}{M_{W_{\text{مخلوط}}}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{M_{W_i}} \right) = \frac{x_1}{M_{W_1}} + \frac{x_2}{M_{W_2}} + \frac{x_3}{M_{W_3}} + \dots + \frac{x_n}{M_{W_n}}$$

i = تعداد اجزای تشکیل دهنده مخلوط

M_{W_i} = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

y_i = کسر مولی هر ماده در مخلوط

x_i = کسر جرمی هر ماده در مخلوط

مثال ۱۴) جرم مولکولی متوسط مخلوط زیر را تعیین کنید.

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

پاسخ: با توجه به معلوم بودن درصد مولی اجزاء، از معادله ۷-۱ می‌توان استفاده کرد، ولی در ابتدا باید جرم مولکولی و کسر مولی هر جزء در این مخلوط تعیین شود.

یادآوری: کسر مولی از تقسیم درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.

مواد	درصد مولی	کسر مولی (Y)	جرم مولکولی (Mw)
CH_4	۲۰	$\frac{20}{100} = 0.2$	۱۶
C_2H_6	۵۰	$\frac{50}{100} = 0.5$	۳۰
C_3H_8	۳۰	$\frac{30}{100} = 0.3$	۴۴
جمع	۱۰۰	۱/۰	

$$\begin{aligned}
 Mw_{\text{مخلوط}} &= Mw_{CH_4} \cdot y_{CH_4} + Mw_{C_2H_6} \cdot y_{C_2H_6} + Mw_{C_3H_8} \cdot y_{C_3H_8} \\
 &= 16 \times 0.2 + 30 \times 0.5 + 44 \times 0.3 \\
 &= 3.2 + 15 + 13.2 = 31.4
 \end{aligned}$$

تمرین ۶



۱: محلولی حاوی ۲۰ درصد مولی آب و ۸۰ درصد مولی سدیم‌هیدروکسید (NaOH) است، جرم مولکولی این محلول را محاسبه کنید.

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