پودمان ۱

محاسبات در صنایع شیمیایی

در رشتهٔ صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی اقتصادی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات بررسی می‌شوند. وظیفهٔ متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعهٔ سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره برداری 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
به‌کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام دادن صحیح محاسبات از اهمیّت به‌سزایی برخوردار است. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی است. در این پودمان مباحثی در مورد انواع کمیّت‌ها 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 عملیّات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی‌های غیر فنی:

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

شایستگی‌های فنی:

۱ به‌کارگیری یکاها و ابعاد؛
۲ تبدیل یکاها (واحدها)؛
۳ موازنهٔ مواد ورودی و خروجی به یک سامانه.

۱ـ۱ـ کمیت‌ها و یکاها[۱]

هر مشخصهٔ 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.

بحث گروهی ۱

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

هر کمیت را با سه مشخصهٔ 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 نشان‌دهندهٔ 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.

تمرین ۱

۱ بعد قد هنرجو در مثال بالا چیست؟
۲ ارتفاع ساختمانی ۲۰ متر است. کمیت، یکا و بعد را مشخص کنید.

۲ـ۱ـ انواع کمیت‌ها

با توجه به اینکه خواص فیزیکی به‌وسیلهٔ 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.

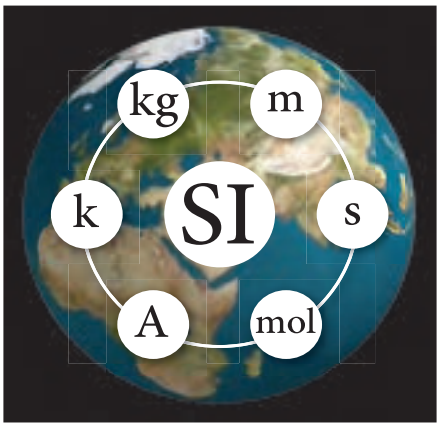
تمرین ۲

چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

۱- Units ۲- Dimension

۳ـ۱ـ دستگاه یکاها

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



دستگاه یکاهای بین‌المللی[۱] (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 بین المللی (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 برحسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می‌کنند.

در جدول ۱ـ۱، آحاد و نماد کمیت‌های اصلی در سه دستگاه مذکور آورده شده است.

جدول ۱ـ ۱ـ دستگاه یکاهای کمیت‌های اصلی

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

۱- SI (System- International)

۲- Mole

بعد کمیت‌های اصلی در تمام دستگاه‌های یکاها یکسان است و همان‌طور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده می‌شوند. در جدول ۲ـ۱، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۲ـ۱ـ ابعاد کمیت‌های اصلی

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

۴ـ۱ـ 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: کدام‌یک از عملیات زیر انجام شدنی و کدام‌یک انجام نشدنی است؟

الف) دو کیلوگرم + سه ثانیه — ۲ kg + ۳ S

ب) سه گرم + پنج گرم — ۳ g + ۵ g

ج) دو فوت + سه پوند — ۲ ft + ۳ lb

د) چهار پوندمول + سه پوندمول — ۳ lbmol + ۴ lbmol

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: کدام‌یک از عملیات زیر انجام شدنی است؟ حاصل عملیات چیست؟

الف) سه فوت × دو کیلوگرم

ب) پنج ثانیه × سه متر

ج) صد کیلومتر تقسیم بر دو ساعت

پاسخ: چون عملیات انجام‌شده در مثال ۳ ضرب و تقسیم بین کمیت‌ها است، پس تمامی عملیات انجام‌شدنی است و حاصل آنها عبارت‌اند از:

الف) $۲\,kg \times ۳\,ft = ۶\,kg.ft$

ب) $۵s \times ۳m = ۱۵\,s.m$

ج) $\frac{۱۰۰\,km}{۲\,h} = ۵۰\,\frac{km}{h}$

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: مکعب‌مستطیلی دارای ۳ سانتی‌متر طول، ۲ سانتی‌متر عرض و ۵ سانتی‌متر ارتفاع است.
مطلوب است:
الف) مقدار حجم مکعب‌مستطیل
ب) مقدار سطح یک وجه
ج) تعیین بعد حجم و سطح مکعب‌مستطیل
د) تعیین حاصل تقسیم حجم بر سطح یک وجه مکعب‌مستطیل

پاسخ:

الف) حجم مکعب‌مستطیل از حاصل‌ضرب طول در عرض و ارتفاع به دست می‌آید.

حجم مکعب‌مستطیل = طول × عرض × ارتفاع

$(۵\,cm) \times (۲\,cm) \times (۳\,cm) = (۳ \times ۲ \times ۵)(cm \times cm \times cm) = ۳۰\,cm^۳$

ب) سطح هر وجه مکعب‌مستطیل از حاصل‌ضرب طول در عرض به‌دست می‌آید.

سطح مکعب‌مستطیل = طول × عرض = $(۳\,cm) \times (۲\,cm) = ۶\,cm^۲$

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

بعد طول = L
بعد عرض = L
بعد ارتفاع = L

حجم مکعب‌مستطیل = طول × عرض × ارتفاع $= L \times L \times L = L^۳$

سطح مکعب مستطیل = طول × عرض $\Rightarrow L \times L = L^۲$

د) $\frac{\text{حجم مکعب‌مستطیل}}{\text{سطح مکعب‌مستطیل}} = \frac{۳۰\,cm^۳}{۶\,cm^۲} = ۵\,cm$

نکته ۲

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 به‌دست می‌آید.

* بنابراین بعد سرعت عبارت است از:

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

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

سرعت $= \frac{L}{T} = LT^{-1}$

تمرین ۳

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 به‌دست آورید. فرمول‌های مربوط عبارت‌اند از:

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

انرژی پتانسیل = (جرم) (شتاب) (ارتفاع)

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

۵-۱- تبدیل یکاها

بحث گروهی ۲

چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

الف) سه متر + بیست سانتی‌متر **ب) دوکیلوگرم + صدگرم**

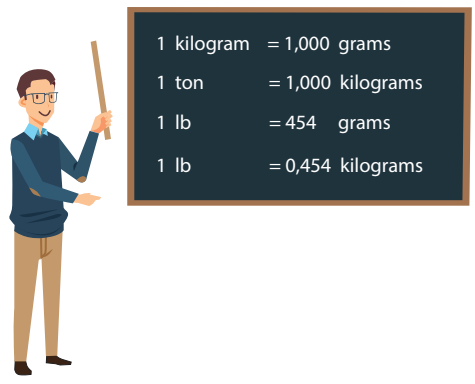
برای تعیین حاصل‌جمع مثال الف و ب چه راه‌هایی به ذهنتان می‌رسد؟

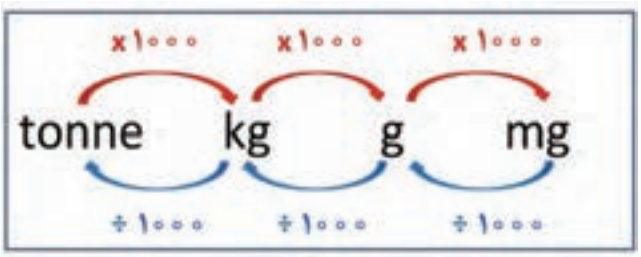
برای تبدیل یکاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل[1] آن کمیت‌ها استفاده کرد. در جدول ۳-۱، نمونه‌ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده‌است.

جدول ۳-۱- ضرایب تبدیل

کمیت	ضرایب تبدیل
طول	۱ m = ۱۰۰ cm ۱ ft = ۰/۳۰۴۸ m ۱ ft = ۳۰/۴۸ cm ۱ ft = ۱۲ in ۱ in = ۲/۵۴ cm
جرم	۱ kg = ۱۰۰۰ g ۱ lb = ۴۵۴ g ۱ lb = ۰/۴۵۴ kg
زمان	۱ h = ۶۰ min ۱ h = ۳۶۰۰ s ۱ min = ۶۰ s

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





۱- Conversion Factor

مثال ۶) جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب یکاهای گرم و پوند به‌دست آورید.

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

با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

$$۱\,lb = ۰/۴۵۴\,kg$$

$$۱\,kg = ۱۰۰۰\,g$$

$$\text{جرم جسم} = ۲۵\,kg \times \frac{۱۰۰۰\,g}{۱\,kg} = ۲۵۰۰۰\,g$$

$$\text{جرم جسم} = ۲۵\,kg \times \frac{۱\,lb}{۰/۴۵۴\,kg} = ۵۵/۰۶\,lb$$

مثال ۷) فاصلهٔ شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را برحسب یکاهای متر و فوت به دست آورید.

پاسخ: با توجه به ضرایب تبدیل طول:

(۱ km =۱۰۰۰ m) یک کیلومتر = ۱۰۰۰ متر

(۱ ft =۰/۳۰۴۸ m) یک فوت = ۰/۳۰۴۸ متر

الف) فاصلهٔ تهران تا قم :

$$\text{فاصله تهران قم} = ۱۳۰\,km \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} = ۱۳۰۰۰۰\,m$$

ب)

$$\text{فاصله تهران قم} = ۱۳۰\,km \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,ft}{۰/۳۰۴۸\,m} = ۴۲۶۵۰۹/۱۸۶\,ft$$

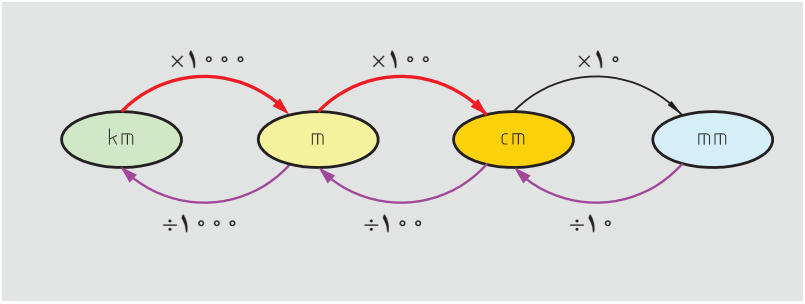
مثال ۸) خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل لازم:

۱ km =۱۰۰۰ m

۱ h =۶۰ min

$$\text{سرعت خودرو} = ۱۰۰\frac{km}{h} \times \frac{۱۰۰۰\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,h}{۶۰\,min} = ۱۶۶۶/۶\,\frac{m}{min}$$



تمرین ۴

۱: سرعت خودرو را در مثال ۸ بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.

۲: هواپیمایی با سرعت $۵۰۰\frac{ft}{s}$ در حال حرکت است، سرعت این هواپیما را برحسب $\frac{ft}{h}$ و $\frac{km}{h}$ به‌دست آورید.

مثال ۹) حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتی‌مترمکعب به‌دست آورید.

پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

$$۱ \text{ لیتر} = ۱۰۰۰ \text{ mL} = ۱۰۰۰ \text{ cm}^۳$$

$$\text{حجم مخزن} = ۵\text{L} \times \frac{۱۰۰۰\text{cm}^۳}{۱\text{L}} = ۵۰۰۰\text{cm}^۳$$

مثال ۱۰) حجم یک بشر $۱۰۰۰\text{cm}^۳$ است، حجم آن را بر حسب مترمکعب به‌دست آورید.

پاسخ: ضریب تبدیل مناسب:

$$۱\text{ m} = ۱۰۰\text{ cm}$$

$$\text{حجم بشر} = ۱۰۰۰\text{cm}^۳ \times \left(\frac{۱\text{m}}{۱۰۰\text{cm}}\right)^۳ = ۱۰۰۰\text{cm}^۳ \times \frac{۱\text{m}^۳}{۱۰۰۰۰۰۰\text{cm}^۳} = ۰/۰۰۱\text{ m}^۳$$

نکته ۳

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

تمرین ۵

به وسیله یک لوله روزانه $۴\text{m}^۳$ آب به داخل یک مخزن ریخته می‌شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتی‌مترمکعب آب داخل مخزن ریخته می‌شود؟

انجام دادن محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیّت خاصی دارد. در این قسمت شیوهٔ تبدیل یکاها در کمیت‌های متداول صنایع شیمیایی ارائه می‌شود.

مقدار ماده (مول)

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

۱ kmol = ۱۰۰۰ mol
۱ kgmol = ۱۰۰۰ gmol
۱ lbmol = ۴۵۴ gmol
۱ lbmol = ۰/۴۵۴ kgmol

نکته ۴

چنانچه کلمهٔ مول به تنهایی به‌کار رود، منظور گرم‌مول است.

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

دستگاه SI : $\frac{kg}{kmol}$ دستگاه CGS : $\frac{g}{gmol}$

دستگاه انگلیسی: $\frac{lb}{lbmol}$

نکته ۵

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

مثال ۱۱) جرم اتمی مس $۶۴\frac{g}{gmol}$ است، جرم اتمی آن‌را بر حسب $\frac{kg}{kmol}$ و $\frac{lb}{lbmol}$ به دست آورید.

جواب) با استفاده از ضرایب تبدیل و روش نردبانی:

$$\text{جرم اتمی مس} = ۶۴\frac{g}{gmol}\times\frac{۱\,kg}{۱۰۰۰\,g}\times\frac{۱۰۰۰\,gmol}{۱\,kmol}=۶۴\frac{kg}{kmol}$$

$$\text{جرم اتمی مس} = ۶۴\frac{g}{gmol}\times\frac{۱\,lb}{۴۵۴\,g}\times\frac{۴۵۴\,gmol}{۱\,lbmol}=۶۴\frac{lb}{lbmol}$$

نکته ۶

مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در دستگاه یکاهای مختلف، یکسان است.

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

$$\text{کسر جرمی ماده A} = x_A = \frac{\text{جرم ماده A}}{\text{جرم کل مخلوط}} = \frac{m_A}{m_t} \qquad (۱-۱)$$

در معادلهٔ (۱-۱)، زیروند 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.

$$\text{کسر مولی مادهٔ A} = y_A = \frac{\text{مول ماده A}}{\text{مول کل مخلوط}} = \frac{N_A}{N_t} \qquad (۱-۲)$$

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.

$$\text{کسر حجمی مادهٔ A} = V_A = \frac{\text{حجم ماده A}}{\text{حجم کل مخلوط}} = \frac{V_A}{V_t} \qquad (۱-۳)$$

نکته ۷

مجموع کسرهای جرمی (مولی) یا (حجمی) اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک است.

$$\sum x_i = ۱ \quad \text{و} \quad X_A + X_B + X_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۴)$$

$$\sum y_i = ۱ \quad \text{و} \quad Y_A + Y_B + Y_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۵)$$

$$\sum v_i = ۱ \quad \text{و} \quad V_A + V_B + V_C + \ldots = ۱ \qquad (۱-۶)$$

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

نکته ۸

درصدهـای جرمـی (مولـی یا حجمـی) اجزای تشـکیل‌دهنده یـک مخلـوط از حاصل‌ضرب کسـرهای جرمی (مولـی یـا حجمـی) در عـدد ۱۰۰ به‌دسـت می‌آید.

جـرم (مـول، حجـم) یـک جـزء در مخلـوط، از حاصل ضرب کسـر جرمـی (مولی، حجمـی) همان جـزء در جرم کل (مـول کل، حجـم کل) مخلـوط به‌دسـت می‌آید.

نکته ۹

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 تشکیل‌دهندهٔ مخلوط را تجزیه و تحلیل (آنالیز[۱]) آن مخلوط می‌نامند.

مثـال ۱۲) یـک محلـول شـیمیایی تمیزکننـده شـامل ۵ کیلوگـرم آب و ۵ کیلوگـرم سدیم‌هیدروکسـید اسـت. درصدهـای جرمـی و مولـی ایـن محلـول را تعییـن کنید.

پاسـخ: بـرای تعییـن درصدهـای جرمـی و مولـی ایـن محلـول کافـی اسـت، کسـرهای جرمـی و مولـی اجزای محلـول را به‌دسـت آوریـد و سـپس هـر کـدام را در عـدد ۱۰۰ ضـرب کنیـد.

اطلاعات لازم:

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

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

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

الف) تجزیه و تحلیل جرمی:

$$\text{کسر جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم کل}} = \frac{5\ kg}{10\ kg} = 0/5$$

$$\text{درصد جرمی آب} = \text{کسر جرمی آب} \times 100 = 0/5 \times 100 = 50$$

$$\text{کسر جرمی سدیم‌هیدروکسید} = \frac{\text{جرم سدیم‌هیدروکسید}}{\text{جرم کل}} = \frac{5\ kg}{10\ kg} = 0/5$$

$$\text{درصد جرم سدیم‌هیدروکسید} = \text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} \times 100 = 0/5 \times 100 = 50$$

۱- Analyses

٪۱۰۰ = ٪۵۰ + ٪۵۰ = درصد جرمی سدیم هیدروکسید + درصد جرمی آب

ب) بـرای تعییـن کسـر مولـی اجـزا، در ابتدا بایـد تعداد مول هر کـدام را به‌دسـت آورد. با توجه بـه تعریف تعداد گرم مول:

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

$$\text{تعداد مول آب} = n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Mw_{H_2O}} = \frac{۵}{۱۸} = ۰/۲۷ \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول سدیم‌هیدروکسید} = n_{NaoH} = \frac{m_{NaOH}}{Mw_{NaOH}} = \frac{۵}{۴۰} = ۰/۱۲۵ \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{H_2O} + n_{NaOH} = ۰/۲۷ + ۰/۱۲۵ = ۰/۳۹۵ \text{ mol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} = \frac{۰/۲۷}{۰/۳۹۵} = ۰/۶۸$$

$$\text{کسر مولی سدیم‌هیدروکسید} = y_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_t} = \frac{۰/۱۲۵}{۰/۳۹۵} = ۰/۳۲$$

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

درصد مولی آب = کسر مولی آب × ۱۰۰ = ۰/۶۸ × ۱۰۰ = ۶۸

درصد مولی سدیم‌هیدروکسید = کسر مولی سدیم هیدروکسید × ۱۰۰ = ۰/۳۲ × ۱۰۰ = ۳۲

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده‌است.

مواد	جرم (کیلوگرم)	مول (کیلومول)	کسر جرمی	درصد جرمی	کسر مولی	درصد مولی
آب	۵	۰/۲۷	۰/۵	۵۰	۰/۶۸	۶۸
سدیم‌هیدروکسید	۵	۰/۱۲۵	۰/۵	۵۰	۰/۳۲	۳۲
جمع	۱۰	۰/۳۹۵	۱/۰	۱۰۰	۱/۰	۱۰۰

مثـال ۱۳) هـوا مخلوطـی از گازهـای نیتروژن و اکسـیژن اسـت، اگر مقـدار نیتروژن و اکسـیژن موجـود در هوا بـه ترتیـب ۱۵۸ گرم‌مـول و ۴۲ گرم‌مـول باشـد، تجزیـه و تحلیـل مولـی و جرمـی هوا را انجـام دهید.

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

اطلاعات مسئله:

$$M_{wO_2} = ۳۲ \frac{g}{gmole}$$

$$M_{wN_2} = 28 \frac{g}{gmole}$$

الف) تجزیه و تحلیل مولی اجزای هوا:

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

کسر مولی اکسیژن $= y_{O_2} = \frac{\text{مول اکسیژن}}{\text{مول کل}} = \frac{42}{200} = 0/21$

کسر مولی نیتروژن $= y_{N_2} = \frac{\text{مول نیتروژن}}{\text{مول کل}} = \frac{158}{200} = 0/79$

درصد مولی اکسیژن $=$ کسر مولی اکسیژن $\times 100 = 0/21 \times 100 = 21$

درصد مولی نیتروژن $=$ کسر مولی نیتروژن $\times 100 = 0/79 \times 100 = 79$

ب) تجزیه و تحلیل جرمی اجزای هوا: برای تجزیه و تحلیل جرمی اجزا، در ابتدا باید جرم هر جز را به‌دست آورد؛ بدین منظور با توجه به تعریف جرم مولکولی، برای تعیین جرم کافی است تعداد گرم‌مول را در جرم مولکولی ضرب کرد.

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

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

$$M_{wN_2} = 28 \frac{g}{gmole}$$

جرم اکسیژن $= m_{O_2} = Mw_{O_2} \times n_{O_2} = 32 \times 42 = 1344\,g$

جرم نیتروژن $= m_{N_2} = Mw_{N_2} \times n_{N_2} = 28 \times 158 = 4424\,g$

جرم کل $= m_t = m_{O_2} \times m_{N_2} = 1344 + 4424 = 5768\,g$

کسر جرمی نیتروژن $= x_{N_2} = \frac{\text{جرم نیتروژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{N_2}}{m_t} = \frac{4424}{5768} = 0/767$

کسر جرمی اکسیژن $= x_{O_2} = \frac{\text{جرم اکسیژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{O_2}}{m_t} = \frac{1344}{5768} = 0/233$

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

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

بـر اسـاس تعریـف جـرم مولکولـی، جـرم مولکولـی یک مخلوط از تقسـیمِ جـرم کل بـر تعداد مـول کل مخلوط به‌دسـت می‌آیـد.

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

عـلاوه بـر معادلـهٔ اصلـی جـرم مولکولی، می‌تـوان بـرای تعیین جـرم مولکولی یک مخلـوط با توجه بـه معلوم بـودن کسـرهای جرمـی یا مولی اجزای تشـکیل‌دهنده مخلـوط از معادله‌هـای ۷- ۱ و۸ -۱ اسـتفاده کرد.

(۱-۷)

$$Mw_{\text{مخلوط}} = \sum_{i=1}^{n}(Mw_i\, y_i) = Mw_1\, y_1 + Mw_2\, y_2 + \ldots + Mw_n\, y_n$$

(۱-۸)

$$\frac{1}{Mw} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i}{Mw_i}\right) = \frac{x_1}{Mw_1} + \frac{x_2}{Mw_2} + \frac{x_3}{Mw_3} + \ldots + \frac{x_n}{Mw_n}$$

i = تعداد اجزای تشکیل‌دهندهٔ مخلوط

Mwi = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

yi = کسر مولی هر ماده در مخلوط

xi = 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 اجزا، از معادلهٔ 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 تقسیمِ درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید.

مواد	درصد مولی	کسر مولی (Y)	جرم مولکولی (Mw)
CH_4	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰}=۰/۲$	۱۶
C_2H_6	۵۰	$\frac{۵۰}{۱۰۰}=۰/۵$	۳۰
C_3H_8	۳۰	$\frac{۳۰}{۱۰۰}=۰/۳$	۴۴
جمع	۱۰۰	۱/۰	

$$Mw_{\text{مخلوط}} = Mw_{CH_4}.y_{CH_4} + Mw_{C_2H_6}.y_{C_2H_6} + Mw_{C_3H_8}.yC_3H_8$$
$$= ۱۶\times ۰/۲ + ۳۰\times ۰/۵ + ۴۴\times ۰/۳$$
$$= ۳/۲ + ۱۵ + ۱۳/۲ = ۳۱/۴$$

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 به‌دست آورید.