مثـال۱۵) در یـک فراینـد شـیمیایی از اتانـول بـا خلـوص ۸۰ درصـد جرمی اسـتفاده می‌شـود. جـرم مولکولی ایـن محلـول را بـه دسـت آورید.

پاسـخ) بـا توجـه بـه درصد خلـوص اتانـول، این محلـول حـاوی ۸۰ درصـد جرمی اتانـول و ۲۰ درصـد جرمی آب اسـت؛ لـذا بـرای تعییـن جـرم مولکولـی از معادلـهٔ ۸-۱ می‌تـوان اسـتفاده کرد ولـی در ابتدا کسـر جرمی و مولکولـی هرجزء باید محاسـبه شـود.

نام ماده	Mw	درصد جرمی	(=)کسرجرمی
اتانول (C_2H_5OH)	۴۶	۸۰	$\frac{۸۰}{۱۰۰}=۰/۸$
H_2O	۱۸	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰}=۰/۲$
جمع		۱۰۰	۱/۰

$$\frac{۱}{Mw}=\sum\frac{x_i}{Mw_i}=\frac{x_{\text{آب}}}{Mw_{\text{آب}}}+\frac{x_{\text{اتانول}}}{Mw_{\text{اتانول}}}$$

$$\frac{۱}{Mw_{\text{مخلوط}}}=\frac{۰/۲}{۱۸}+\frac{۰/۸}{۴۶}=۰/۰۱۱+۰/۰۱۷=۰/۰۲۸$$

$$\frac{۱}{Mw_{\text{مخلوط}}}=۰/۰۲۸\rightarrow Mw_{\text{مخلوط}}=\frac{۱}{۰/۰۲۸}=۳۵/۷۱$$

تمرین ۷

درصدهـای مولـی اجـزای گاز خروجـی یک دودکـش در یک کارخانـهٔ صنایع شـیمیایی در جـدول زیر آورده شـده اسـت، جـرم مولکولی ایـن گاز را محاسـبه کنید.

گازهای دودکش	درصد مولی
کربن‌منوکسید (CO)	۵
کربن‌دی‌اکسید (CO_2)	۱۵
گوگرد دی‌اکسید (SO_2)	۵
بخار آب (H_2O)	۴۰
اکسیژن (O_2)	۶
نیتروژن‌منوکسید (NO)	۵
نیتروژن (N_2)	۲۴
	۱۰۰

در صنایع شیمیایی، نفت، گاز و پتروشیمی گاهی اوقات درصد جرمی (مولی یا حجمی) یک جزء بسیار پایین است؛ لذا در این صنعت از تعریف «یک جزء در میلیون» با نماد (ppm) استفاده می‌شود؛ به‌عنوان مثال میزان مجاز ترکیبات گوگردی در گازوئیل طبق استاندارد یورو ۵ می‌بایست ۱۰ ppm باشد، یعنی در هر یک میلیون کیلوگرم گازوئیل باید حداکثر ۱۰ کیلوگرم گوگرد وجود داشته باشد. در این مثال کسر جرمی گوگرد و گازوئیل و درصد آن عبارت است از:

$$\text{کسر جرمی گوگرد در گازوئیل} = x_{\text{گوگرد}} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{۱۰}{۱۰^{۶}} = ۰/۰۰۰۰۱$$

درصد جرمی گوگرد = کسر جرمی گوگرد × ۱۰۰ = ۰/۰۰۰۰۱ × ۱۰۰ = ۰/۰۰۱

بنابراین حد میزان گوگرد در گازوئیل باید حداکثر ۰/۰۰۱ درصد جرمی باشد، ولی به دلیل کم بودن این درصد و برای راحتی، به جای این درصد از کمیت ۱۰ ppm استفاده می‌شود.

تمرین ۸

با توجه به برچسب مواد غذایی، دارویی و شوینده در کالاهایی که خرید می‌کنید، در سه نمونه کالا که مقدار ماده‌ای را در حد ppm است، بیان کنید.

مثال ۱۶) میزان مجاز ترکیبات گوگردی در نفت خام ۵۰۰ ppm است. در یک محمولهٔ نفتی با جرم ۴۲۰۰۰۰ کیلوگرم، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد وجود دارد. آیا مقدار گوگرد این محمولهٔ نفتی در حد مجاز است؟

پاسخ) با توجه به تعریف ppm، باید تعیین کرد که در ۱,۰۰۰,۰۰۰ کیلوگرم نفت خام، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد، لذا با یک تناسب ساده می‌توان آن را محاسبه کرد.

گوگرد (kg)	نفت خام (kg)
۱۰۰	۴۲۰۰۰۰
x	۱۰۰۰۰۰۰

$$\frac{۴۲۰۰۰۰}{۱۰۰۰۰۰۰} = \frac{۱۰۰}{x} \rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۱۰۰۰۰۰۰}{۴۲۰۰۰۰} = ۲۳۸ \text{ ppm}$$

بنابراین با توجه به حد استاندارد گوگرد در نفت خام (۵۰۰ ppm)، میزان گوگرد این محمولهٔ نفتی در حد مجاز است.

تمرین ۹

میزان مجاز گوگرد در گازوئیل ۱۰ ppm جرمی است، در یک تانکر حاوی ۲۵۸۰۰۰ کیلوگرم گازوئیل، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد؟

تمرین ۱۰ میزان مجاز یک مادهٔ سمّی در پساب یک کارخانهٔ شیمیایی ppm ۰/۰۱ است. اگر ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شده‌باشد،

الف) چند کیلوگرم از این مادهٔ سمّی وارد رودخانه شده است؟

ب) چند پوند از این ماده سمّی وارد رودخانه شده است؟

غلظت

غلظت یک ماده به مقدار جرم (مول) آن ماده در حجم معینی از محلول گفته می‌شود. در محاسبات صنایع شیمیایی یکاهای غلظت عبارت‌اند از:

یکاهای غلظت جرمی	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{lb}{ft^3}$
یکاهای غلظت مولی	$\frac{kmol}{m^3}$	$\frac{gmol}{cm^3}$	$\frac{lbmol}{ft^3}$

استفاده از غلظت در مباحث آلودگی هوا بسیار رایج است؛ مثلاً میزان غلظت مجاز گاز so_2 در هوا ۶ $\frac{mg}{m^3}$ است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر می‌بایست ۶ میلی‌گرم (۰/۰۰۶ گرم) گاز so_2 وجود دارد.

تمرین ۱۱ بیشترین مقدار مواد اسیدی‌کننده در آب لیمو، شربت هلو، گلابی و سیب (طبق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۲۶۱۳)، ppm ۵۰۰ است، اگر هدف تولید ۱۵۰۰۰ کیلوگرم شربت هلو باشد، مقدار مجاز مواد اسیدی‌کننده آن چند کیلوگرم است؟

تمرین ۱۲ بیشترین مقدار مواد اکسیدکننده (آزودی‌کربنامید) در تهیهٔ آرد، برای انواع شیرینی و کیک ۴۵ ppm است (مطابق با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۳۴۹۴). در یک محموله آرد به جرم ۲۷۰۰۰ کیلوگرم، اگر میزان ماده اکسیدکننده ۲ کیلوگرم باشد، آیا این مقدار ماده اکسیدکننده در حد مجاز است؟

مثال ۱۷ بیشترین مقدار استفاده از مادهٔ شیرین‌کنندهٔ آسپارتام ($C_{14}H_{18}N_2O_5$) در تهیهٔ آدامس ppm ۲۵۰۰ است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم آسپارتام باید استفاده کرد؟

پاسخ) با توجه به تعریف ppm و استفاده از تناسب زیر:

مقدار مجاز آسپارتام (kg)	آدامس (kg)
۲۵۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
x	۴۰۰۰

$$x = \frac{۲۵۰۰ \times ۴۰۰۰}{۱۰۰۰۰۰۰} = ۱۰\,kg$$

بنابراین میزان مجاز آسپارتام در ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، تا ۱۰ کیلوگرم است.

دما

دما معیاری است که میزان گرمی و سردی جسم را مشخص می‌کند. برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشت و برای این کار می‌توان از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره جست که با گرمی و سردی جسم تغییر کند.

یکی از مقیاس‌های متداول دما، درجهٔ سلسیوس است که به نام اخترشناس سوئدی آندره سلسیوس نام‌گذاری شد و بخشی از دستگاه بین‌المللی یکاها است. مبنای این مقیاس تخصیص دقیق صفر درجه برای دمای انجماد آب و صد درجه برای دمای جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

یکاهای دما در دو دستگاه بین‌المللی و انگلیسی یکاها عبارت‌اند از:

الف) دستگاه SI، سلسیوس ($^\circ C$)؛

ب) دستگاه انگلیسی، فارنهایت ($^\circ F$).

معادلهٔ دو یکای دما با معادلهٔ (۹-۱) بیان می‌شود.

$$T(^\circ F) = T(^\circ C) \times ۱/۸ + ۳۲ \qquad (۹-۱)$$

مثال ۱۸) دمای بدن یک انسان سالم حدود ۳۷ درجهٔ سلسیوس است، این دما را بر حسب درجهٔ فارنهایت به‌دست آورید.

پاسخ:

$$T(^\circ F) = ۳۷ \times ۱/۸ + ۳۲ = ۹۸/۶\ ^\circ F$$

فشار

فشار یک کمیت فرعی است و نیرویی است که به طور عمود بر واحد سطح وارد می‌شود و آن را با نماد P نشان می‌دهند. در دستگاه یکاهای (SI)، فشار را با واحد پاسکال معرفی می‌کنند. یک پاسکال فشاری است که نیروی یک نیوتنی به‌طور عمود بر سطح یک متر مربع وارد می‌کند.

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمودی}}{\text{سطح}} \rightarrow P = \frac{F}{A} \qquad (۱۰-۱)$$

P = فشار ، F = نیرو ، A = سطح

مثال ۱۹) با توجه به یکاهای کمیت‌های موجود در معادلهٔ (۱۰-۱)، یکای فشار و بعد آن را در دستگاه واحدها (SI) محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\text{نیرو } F = m.a = m\frac{v}{t} = \frac{kg.\frac{m}{s}}{s} = \frac{kg.m}{s^۲}$$

$$\text{سطح } A = m^۲$$

$$\text{فشار } P = \frac{F}{A} = \frac{\frac{kg.m}{s^۲}}{m^۲} = \frac{kg}{m.s^۲}$$

بنابراین بعد فشار عبارت است از:

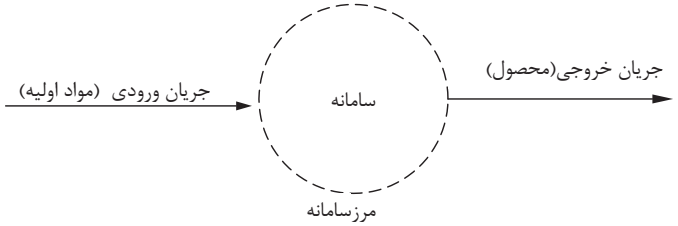
$$\frac{M}{L.T^۲} = ML^{-۱}T^{-۲}$$

۷-۱- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژهٔ موازنهٔ جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس تخصصی رشتهٔ صنایع شیمیایی، یادگیری این قسمت ضروری است.
سرآغاز شیمی جدید، آزمایش‌های دانشمند فرانسوی آنتوان لاوازیه است. مطابق با آزمایش‌های او، مجموعهٔ کل جرم موجود در جهان مقداری ثابت است، لذا با استفاده از این قانون همان‌طور که در بخش‌های آتی می‌بینید، می‌توان واکنش‌ها و اتفاقات فیزیکی و شیمیایی را از نظر جرمی بررسی کرد.

سامانه (سیستم[۱]) و فرایند[۲]

حجمی از فضا را که قانون بقای جرم روی آن مطالعه می‌شود، سامانه و تغییرات و اتفاقاتی را که داخل آن رخ می‌دهد، فرایند می‌نامند. خطوطی که اطراف یک سامانه وجود دارد، مرز سامانه می‌گویند. مطابق با شکل ۱-۱ در یک کارخانهٔ رنگ‌سازی، مواد اولیه وارد کارخانه می‌شوند و طی یک فرایند، رنگ به عنوان محصول کارخانه خارج می‌شود.



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از یک سامانه

درون این سامانه، فرایند تولید رنگ اتفاق می‌افتد، البته فرایند اتفاق‌افتاده در سامانه می‌تواند از نوع واکنش شیمیایی یا غیر از آن باشد.
اگر در یک سامانه واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد، موادی به‌عنوان مواد اولیه مصرف می‌شوند و موادی هم به‌عنوان محصول تولید می‌شوند؛ ولی اگر در آن واکنش شیمیایی رخ ندهد، مانند خشک شدن کاغذ در کارخانجات کاغذسازی، ماده‌ای مصرف و ماده‌ای تولید نمی‌شود. در عمل خشک شدن رطوبت کاغذ کم می‌شود، ولی در مقابل در کارخانه‌های تولید نقره‌کلرید، هم سدیم‌کلرید ($NaCl$) و هم نقره‌نیترات ($AgNO_3$) مصرف می‌شوند، و مطابق واکنش شیمیایی زیر نقره‌کلرید ($AgCl$) و سدیم‌نیترات ($NaNO_3$) تولید می‌شود.

$$AgNO_3 + NaCl \longrightarrow AgCl + NaNO_3$$

انواع سامانه

الف) سامانه پایدار: در این سامانه متغیرهای آن با گذشت زمان ثابت می‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر است. ورود یک خودرو را به بزرگراه مورد بررسی قرار دهید، پیش از ورود به بزرگراه، خودرو

۱-System
۲-Process

مـدام ترمـز می‌کنـد و متوقـف می‌شـود و سـپس دوبـاره شـروع بـه حرکـت می‌کنـد. در ایـن حالـت سـرعت به‌طـور پیوسـته کـم و زیـاد می‌شـود و مصـرف بنزیـن متناسـب بـا سـرعت تغییـر می‌کنـد؛ لـذا ایـن عملیـات یکنواخـت نیسـت و میـزان سـرعت و مصـرف بنزیـن بـا گذشـت زمـان تغییر می‌کنـد. ولـی وقتی خـودرو وارد بزرگـراه می‌شـود و در خط مشـخصی از سـرعت قرار می‌گیرد و سـرعت خـود را روی یک عدد مشـخص تنظیم می‌کنـد تـا مدتـی در همـان حالـت باقی می‌مانـد بدون اینکـه ترمز کنـد و یا سـرعتش را افزایش دهـد؛ لذا در ایـن حالـت ایـن عملیـات یکنواخـت اسـت و میزان مصـرف بنزین و سـرعت ماشـین ثابت خواهـد بود .

ب) سـامانه ناپایـدار: در ایـن سـامانه متغیرهـا با گذشـت زمان ثابـت نمی‌ماننـد و تغییرات آن با گذشـت زمان صفر نیسـت.

معمـولاً تغییـرات یـک متغیـر در یک سـامانه را تجمـع می‌نامند؛ لـذا برای سـامانه‌های پایدار تجمع صفر اسـت و بـرای سـامانه‌های ناپایدار تجمع صفر نیسـت.

مثـال ۲۰) هنرسـتانی را بـا ۲۵۰ هنرجـو در نظـر بگیریـد، در این هنرسـتان سـاعت کلاس‌ها طوری اسـت که طبـق جـدول زیـر هنرجویـان وارد و خارج می‌شـوند، حال اگر هنرسـتان را یک سـامانه در نظـر بگیرید و تعداد هنرجویـان را متغیـر، در چـه روزهایـی این سـامانه پایـدار و چه مواقعی ناپایدار اسـت؟

روز	ساعت ورودی ۸	ساعت ورودی ۱۰		ساعت خروج ۱۴	ساعت خروج ۱۶
شنبه	۲۵۰	–	–	۲۵۰	–
یکشنبه	۲۵۰	–	–	۲۱۰	۴۰
دوشنبه	۲۵۰	–	–	۲۵۰	–
سه شنبه	۱۰۰	۱۵۰	–	–	۲۵۰
چهارشنبه	–	۲۵۰	–	–	۲۵۰

پاسخ:

در روز شـنبه بیـن سـاعت ۸ و سـاعت چهـارده تعـداد هنرجویـان (متغیـر) بـا گذشـت زمـان تغییـر نمی‌کنـد؛ بنابرایـن سـامانه پایدار اسـت.

در روز یکشـنبه بیـن سـاعت ۸ تـا سـاعت شـانزده تعـداد هنرجویـان حاضر در مدرسـه بـا زمان تغییـر می‌کند بنابراین سـامانه ناپایداراسـت.

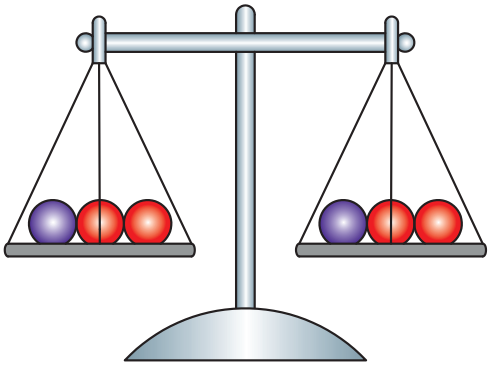
بحث کنید ۱

در بقیهٔ روزهای هفته پایدار یا ناپایدار بودن هنرستان را بررسی کنید.

تمرین ۱۳

با دو مثال سادهٔ دیگر، سامانهٔ پایدار و ناپایدار را توضیح دهید.

۸ـ۱ـ موازنه مواد



مطابق با قانون بقای جرم، مجموع کل جرم موجود در جهان ثابت است، پس در سامانه (شکل ۱-۱) همواره جرم کل ورودی برابر با جرم کل خروجی است.

(۱-۱۱) جرم کل خروجی= جرم کل ورودی

قانون بقای جرم برای یک ماده (مثلاً مادهٔ A) در سامانه مذکور عبارت است از:

جرم ماده A تجمع‌یافته = جرم ماده A مصرفی - جرم مادهٔ A تولیدی + جرم مادهٔ A خروجی - جرم ماده A ورودی

موازنهٔ مواد برای سامانه‌های بدون واکنش شیمیایی

اگر در سامانه‌ای، واکنش شیمیایی اتفاق نیفتد، جرم مادهٔ A مصرفی و جرم مادهٔ A تولیدی صفر است، لذا:

(۱-۱۲) جرم ماده A تجمع‌یافته= جرم مادهٔ A خروجی - جرم ماده A ورودی

نکته ۱۰

اگر سامانه پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

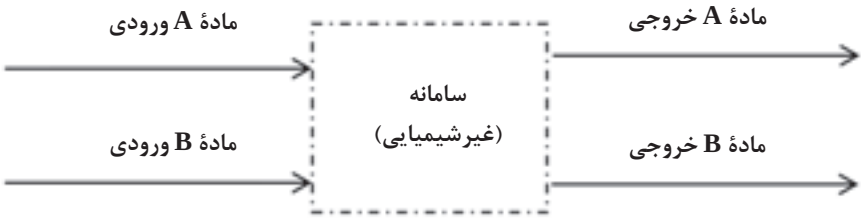
۰ = جرم مادهٔ A خروجی – جرم مادهٔ A ورودی

بنابراین: جرم مادهٔ A خروجی = جرم مادهٔ A ورودی

تمرین ۱۴

تفاوت معادله‌های (۱-۱۱) و (۱-۱۲) در چیست؟

مثال ۲۱ برای سامانه پایدار مطابق با شکل ۲-۱ که فقط فرایند فیزیکی (غیرشیمیایی) در آن اتفاق می‌افتد، موازنه‌های قابل قبول را بنویسید.



شکل ۲ـ۱

پاسخ: سامانه بدون واکنش شیمیایی پایدار است، و موازنه‌های زیر صادق است:

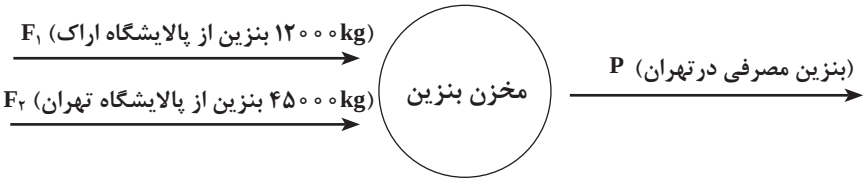
۱) جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

۲) جرم A خروجی = جرم A ورودی

۳) جرم B خروجی = جرم B ورودی

مثـال ۲۲) بنزیـن مصرفی خودروهای شـهر تهـران از دو پالایشـگاه تهران و اراک تأمین می‌شـود. از پالایشـگاه اراک روزانـه ۱۲۰۰۰ کیلوگـرم بنزیـن و از پالایشـگاه تهـران روزانـه ۴۵۰۰۰ کیلوگـرم بنزین وارد شـهر تهران می‌شـود، معیـن کنیـد در یـک روز چنـد کیلوگـرم بنزین مصرف می‌شـود؟

پاسـخ) در ایـن مثـال مخلـوط شـدن دو جریـان بنزیـن مطـرح اسـت کـه در عمـل مخلـوط کـردن، واکنـش شـیمیایی وجـود نـدارد و سـامانه پایـدار اسـت.



موازنه جرم به دور سامانه عبارت است از:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

(بنزین از پالایشگاه تهران) + (بنزین از پالایشگاه اراک) = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

$F_۱ + F_۲ = ۱۲۰۰۰ + ۴۵۰۰۰ = ۵۷۰۰۰$ kg = جرم کل ورودی به سامانه

P = بنزین مصرفی در شهر تهران = جرم کل خروجی از سامانه

مطابق با موازنهٔ جرم:

$F_۱ + F_۲ = P \rightarrow P = ۴۵۰۰۰ + ۱۲۰۰۰ = ۵۷۰۰۰$ kg

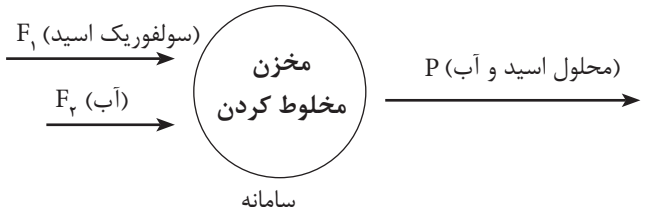
بنابراین میزان روزانهٔ بنزین ورودی و مصرفی در تهران ۵۷۰۰۰ کیلوگرم است.

مثـال ۲۳) جریانـی حـاوی آب خالـص بـا جـرم ۲۵ کیلوگـرم و جریانـی حـاوی سولفوریک‌اسـید بـا جـرم ۷۵ کیلوگـرم را در یـک مخـزن بـا هـم مخلـوط می‌کننـد. بـرای محصـول به‌دسـت‌آمده مطلـوب اسـت تعییـن:

الف) جرم محلول به‌دست‌آمده؛

ب) درصد جرمی اجزای محلول به‌دست‌آمده.

پاسخ) در این مثال هیچ واکنش شیمیایی اتفاق نمی‌افتد و سامانه پایدار است.



موازنهٔ کل جرم به دور سامانه عبارت است از:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

جرم محلول اسید و آب موجود در مخزن = جرم آب ورودی به مخزن + جرم اسید ورودی به مخزن

$F_۱ + F_۲ = P$

جرم کل ورودی به مخزن $= F_۱ + F_۲ = ۷۵ + ۲۵ = ۱۰۰ \text{ kg}$

$P = ۱۰۰ \text{ kg}$

بنابراین در جریان خروجی یا همان محلول تهیه‌شده که جرم کل آن ۱۰۰ کیلوگرم است، ۷۵ کیلوگرم اسید و ۲۵ کیلوگرم آب وجود دارد.

$$\text{کسر جرمی اسید در جریان P} = x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان P}}{\text{جرم کل P}} = \frac{۷۵}{۱۰۰} = ۰/۷۵$$

$$\text{کسر جرمی آب در جریان P} = x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان P}}{\text{جرم کل P}} = \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۰/۲۵$$

$x_{\text{اسید}} + x_{\text{آب}} = ۰/۷۵ + ۰/۲۵ = ۱/۰$

درصد جرمی اسید در محلول $= ۰/۷۵ \times ۱۰۰ = ٪۷۵$

درصد جرمی آب در محلول $= ۰/۲۵ \times ۱۰۰ = ٪۲۵$

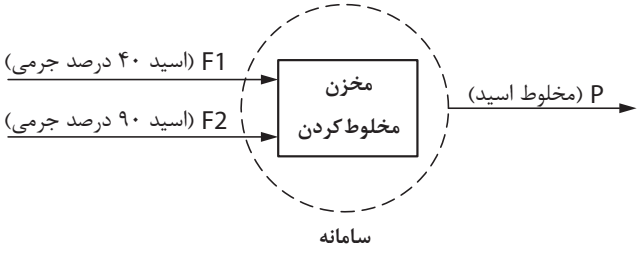
تمرین ۱۵

۲۲: در یک پالایشگاه ۸۹,۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده‌است. معمولاً بنزین در پالایشگاه از دو واحد تبدیل کاتالیزگری و ایزومریزاسیون به‌دست می‌آید. اگر در این پالایشگاه از واحد تبدیل کاتالیزگری ۵۳۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده باشد، مقدار بنزین تولیدی در واحد ایزومریزاسیون چقدر است؟

مثال ۲۴) دو جریان حاوی سولفوریک‌اسید با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می‌شوند، مطلوب است مقدار:

الف) جرم مخلوط سولفوریک‌اسید؛

ب) خلوص مخلوط سولفوریک‌اسید.



پاسخ: موازنه کل به دور سامانه

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

جرم کل ورودی به سامانه = $F_1 + F_2$

جرم کل خروجی از سامانه = P ⟶ $F_1 + F_2 = P$

اطلاعات مربوط به دو جریان اسید ورودی در جدول‌های زیر آورده شده است:

اطلاعات جریان F_1

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۴۰	۰/۴	۰/۴ × ۷۵ = ۳۰
آب	۶۰	۰/۶	۰/۶ × ۷۵ =۴۵
جمع	۱۰۰	۱/۰	۷۵

اطلاعات جریان F_2

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۹۰	۰/۹	۰/۹ × ۱۵۰ = ۱۳۵
آب	۱۰	۰/۱	۰/۱ × ۱۵۰ =۱۵
جمع	۱۰۰	۱/۰	۱۵۰

الف) موازنهٔ کلی:

$F_1 + F_2 = P$ $\quad\quad$ $P = ۷۵ + ۱۵۰ = ۲۲۵$ kg

ب) برای تعیین مقدار اجزای جریان ترکیبی (P)، می‌بایست موازنه اجزا را حول سامانه تعیین کرد.

موازنهٔ اسید به دور سامانه:

اسید خروجی در جریان P = اسید ورودی در جریان F_2 + اسید ورودی در جریان F_1

$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵$ kg

موازنهٔ آب به دور سامانه:

آب خروجی در جریان P = آب ورودی درجریان F_2 + آب ورودی درجریان F_1

$۴۵ + ۱۵ = ۶۰$ kg

خلاصهٔ محاسبات برای جریان خروجی (P) عبارت است از:

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۱۶۵	$\frac{۱۶۵}{۲۲۵}=۰/۷۳$	٪ ۷۳
آب	۶۰	$\frac{۶۰}{۲۲۵}=۰/۲۷$	٪۲۷
جمع	۲۲۵	۱/۰	٪۱۰۰

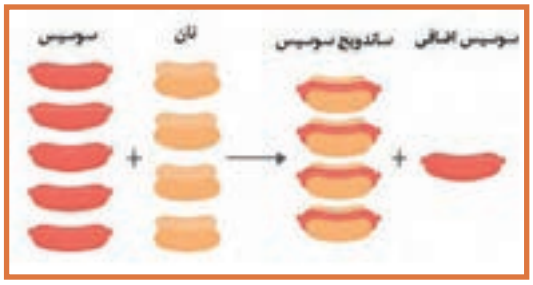
بنابراین خلوص اسید ترکیبی، ۷۳ درصد جرمی خواهد بود.

تمرین ۱۶

۱: برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم سولفوریک‌اسید از دو جریان اسید که مقدار یکی از دو جریان ۶۵۰ کیلوگرم است، استفاده می‌شود، با استفاده از موازنهٔ مواد و رسم شکل مقدار جریان دیگر را تعیین کنید .

۲: برای تهیهٔ ۱۰۰ کیلوگرم سولفوریک‌اسید با خلوص ۸۰ درصد جرمی سولفوریک اسید و مابقی آب، از یک جریان سولفوریک‌اسید خالص و یک جریان آب استفاده می‌شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل، مقدار هردو جریان را تعیین کنید.

موازنهٔ مواد برای سامانه‌های دارای واکنش شیمیایی



برای سامانه‌ای که درون آن یک واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد و در حالت پایاست، موازنه‌های کلی و اجزا صادق است.

جرم کل مواد خروجی = جرم کل مواد ورودی

جرم مادهٔ A تجمع‌یافته = جرم مادهٔ A مصرفی – جرم مادهٔ A تولیدی + جرم مادهٔ A خروجی – جرم مادهٔ A ورودی

لازم به ذکر است که برای یک واکنش شیمیایی ابتدا باید فرمول واکنش (معادلهٔ واکنش) را موازنه کرد و سپس موازنهٔ مواد را برای آن انجام داد.

موازنه واکنش‌های شیمیایی:

پس از نوشتن فرمول واکنش، اگر تعداد اتم‌های مواد مشابه در دو طرف واکنش یکسان باشند، آن واکنش را موازنه‌شده می‌نامند. بنابراین در واکنش‌های موازنه‌شده:

تعداد اتم‌های هر ماده در ترکیب شونده‌ها = تعداد اتم‌های همان ماده در محصولات

مثال ۲۵) واکنش تولید آب ($H_۲ + O_۲ \rightarrow H_۲O$) را در نظر بگیرید، آیا این واکنش موازنه شده است؟ در غیر از این صورت آن را موازنه کنید.

پاسخ) برای بررسی موازنه بودن یک واکنش باید تعداد اتم‌های هرماده را در ترکیب شونده‌ها و محصولات مقایسه کرد.

نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب‌شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۲	۱

پس این واکنش موازنه نیست، چون تعداد اتم اکسیژن در ترکیب‌شونده‌ها برابر با محصولات نیست، بنابراین اگر تعداد اتم‌های اکسیژن در ترکیب‌شونده‌ها نصف شود، این واکنش موازنه خواهد شد. یعنی:

$$H_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow H_۲O$$

نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب‌شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۱	۱

پس واکنش موازنه شده است:

$$H_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow H_۲O$$

مثال ۲۶) واکنش سوختن متان به صورت $CH_۴ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$ است، این واکنش را موازنه کنید.

نام مواد	تعداد اتم‌ها در ترکیب‌شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۲
O	۲	۳

پاسخ) برای موازنه می‌بایست با استفاده از ضرایبی در ترکیب‌شونده‌ها و یا محصولات تعداد اتم‌های هر ماده، در دو طرف واکنش را یکسان کرد. حال برای سوختن متان چنین واکنشی نوشته می‌شود.

$$CH_۴ + ۲O_۲ \rightarrow CO_۲ + ۲H_۲O$$

با توجه به جدول تعداد اتم‌ها، می‌توان دریافت که این واکنش موازنه‌شده است.

جواب)

نام اتم	تعداد اتم‌ها در ترکیب‌شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

نکته ۱۱

پس از موازنه و تنظیم ضرایب، دوباره کنترل کنید که معادلهٔ واکنش موازنه باشد.

۲۵: واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

$$C_۲H_۴ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$$
$$N_۲ + H_۲ \rightarrow NH_۳$$
$$C_۳H_۸ + O_۲ \rightarrow CO_۲ + H_۲O$$

مثال ۲۷) ۱۰۰ کیلوگرم کربن در یک کوره سوخته می‌شود، مطلوب است:

الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی‌اکسید تولیدی؛

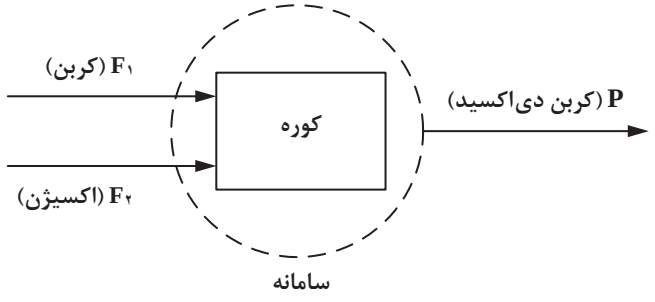
ج) موازنهٔ کلی جرم و موازنهٔ جرم هر یک از مواد.

$Mw(C) = ۱۲$ ، $Mw(O_۲) = ۳۲$ ، $Mw(CO_۲) = ۴۴$

پاسخ: در ابتدا می‌بایست معادلهٔ واکنش را نوشت و سپس آن را موازنه کرد.

$$C + O_۲ \rightarrow CO_۲$$

این واکنش موازنه است و هر سه ماده دارای ضریب استوکیومتری یک هستند، یعنی برای سوزاندن یک مول کربن، یک مول اکسیژن مصرف می‌شود و یک مول کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود.



در ابتدا لازم است تعداد مول کربن را با توجه به تعریف جرم مولکولی تعیین کرد.

$$Mw = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow n_c = \frac{۱۰۰}{۱۲} = ۸/۳۳ \quad \text{مول}$$

حال با استفاده از موازنهٔ مولی مقدار اکسیژن مصرفی و کربن‌دی‌اکسید تولیدی تعیین می‌شود.

اکسیژن مصرفی (kmol)	کربن مصرفی (kmol)
۱	۱
x	۸/۳۳

$$X = \frac{۸/۳۳ \times ۱}{۱} = ۸/۳۳ \quad \text{اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم اکسیژن مصرفی تعیین می‌شود.

$$Mw\,O_۲ = \frac{m\,O_۲}{n\,O_۲} \rightarrow m\,O_۲ = Mw\,O_۲ \times n\,O_۲ = ۳۲ \times ۸/۳۳ = ۲۶۶/۶\,kg$$

حال با استفاده از ضریب‌های استوکیومتری، مقدار کربن‌دی‌اکسید را به دست می‌آوریم:

کربن‌دی‌اکسید تولیدی (kmol)	کربن مصرفی (kmol)
۱	۱
x	۸/۳۳

$$x = \frac{۸/۳۳ \times ۱}{۱} = ۸/۳۳ \quad \text{کربن‌دی‌اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم کربن‌دی‌اکسید تولیدی تعیین می‌شود.

$$m_{CO_۲} = M_{wCO_۲} \times nCO_۲ = ۴۴ \times ۸/۳۳ = ۳۶۶/۶\,kg$$

حال موازنه جرم کنترل می‌شود:

کل جرم اکسیژن + کل جرم کربن= کل جرم ورودی

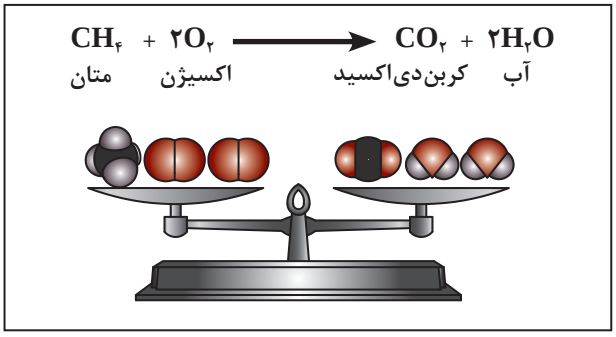
$= ۱۰۰ + ۲۶۶/۶ = ۳۶۶/۶$ kg

کل جرم خروجی =۳۶۶/۶ بنابراین ⇒ کل جرم خروجی = کل جرم ورودی ⇒۳۶۶/۶=۳۶۶/۶ kg

مثـال ۲۸) یکصـد و شـصت کیلوگـرم متـان در کـوره سـوخته می‌شـود و گازهـای کربن‌دی‌اکسـید و بخار آب تولیـد می‌شـود، فرمـول موازنه‌شـدهٔ واکنـش به‌ایـن صورت اسـت:

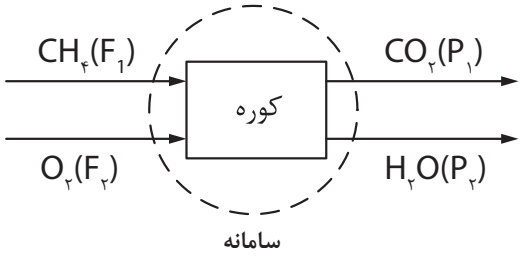
$$CH_۴ + ۲O_۲ \rightarrow CO_۲ + ۲H_۲O$$

با توجه به اطلاعات زیر مطلوب است تجزیه و تحلیل گاز خروجی از دودکش:



$Mw_{H_2O}=18$, $Mw_{CO_2}=44$, $Mw_{O_2}=32$, $Mw_{CH_4}=16$

پاسخ: $CO_2=(P)$



با توجه به معلوم بودن جرم متان ابتدا باید مول متان تعیین شود، سپس با استفاده از معادلهٔ واکنش مقدارهای اکسیژن مصرفی، CO_2 تولیدی و بخار آب تولیدی محاسبه می‌شود.

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

$$n_{CH_4}=\frac{m_{CH_4}}{Mw_{CH_4}}=\frac{160}{16}=10\,kmol$$

حال با استفاده از معادلهٔ واکنش مقایسه بین مواد انجام می‌شود.

CH_4 ورودی (kmol)	اکسیژن مصرفی (kmol)
1	2
10	x

$$\rightarrow X=\frac{10\times 2}{1}=20\,kmol$$

CH_4 ورودی (kmol)	کربن‌دی‌اکسید تولیدی (kmol)
1	1
10	x

$$\rightarrow X = \frac{۱۰ \times ۱}{۱} = ۱۰ \, kmol$$

آب تولیدی (kmol)	$CH_۴$ ورودی (kmol)
۱	۱
x	۱۰

$$\rightarrow X = \frac{۱۰ \times ۲}{۱} = ۲۰ \, kmol$$

با استفاده از رابطهٔ جرم مولکولی ($Mw = \frac{m}{n}$) ، جرم هر یک از اجزا تعیین می‌شود.

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

$$m_{O_۲ \text{ (ورودی (مصرفی}} = ۳۲ \times ۲۰ = ۶۴۰ \, kg$$

$$m_{Co_۲ \text{(تولیدی (خروجی}} = ۴۴ \times ۱۰ = ۴۴۰ \, kg$$

$$m_{H_۲O \text{ (تولیدی (خروجی}} = ۱۸ \times ۲۰ = ۳۶۰ \, kg$$

بررسی موازنهٔ جرم کلی:

جرم کل ورودی $F_۱ + F_۲ = ۱۶۰ + ۶۴۰ = ۸۰۰ \, kg$

جرم کل خروجی $P_۱ + P_۲ = ۴۴۰ + ۳۶۰ = ۸۰۰ \, kg$

جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

بنابراین:

$$F_۱ + F_۲ = P_۱ + P_۲$$

اطلاعات جریان خروجی

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	درصد جرمی
$CH_۴$	۰	۰	۰
$O_۲$	۰	۰	۰
$CO_۲$	۴۴۰	$\frac{۴۴۰}{۸۰۰} = ۰/۵۵$	٪۵۵
$H_۲O$	۳۶۰	$\frac{۳۶۰}{۸۰۰} = ۰/۴۵$	٪۴۵
جمع	۸۰۰	۱	٪۱۰۰

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، ۵۵ درصد جرمی گاز $CO_۲$ و ۴۵ درصد جرمی، بخار آب وجود دارد.

ارزشیابی شایستگی پودمان به‌کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

شرح کار:

- انجام دادن محاسبات طبق روش کار و انجام دادن موازنهٔ مواد برای سامانه‌های داده‌شده؛

استاندارد عملکرد:

- انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

شاخص‌ها:

- داشتن دانش پایهٔ ریاضی
- توانایی تبدیل واحدهای اندازه‌گیری در دستگاه‌های بین‌المللی یکاها
- توانایی موازنهٔ مواد در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی

شرایط انجام دادن کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کلاس **زمان:** یک جلسهٔ آموزشی

ابزار و تجهیزات: جدول تبدیل یکاها در دستگاه‌های اندازه‌گیری، ابزار عمومی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	کمترین نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	به‌کارگیری یکاها و ابعاد	۱	
۲	تبدیل یکاها	۲	
۳	موازنهٔ مواد ورودی و خروجی به یک سامانه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.