

مثال ۱۵) در یک فرایند شیمیایی از اتانول با خلوص ۸۰ درصد جرمی استفاده می‌شود. جرم مولکولی این محلول را به دست آورید.

پاسخ) با توجه به درصد خلوص اتانول، این محلول حاوی ۸۰ درصد جرمی اتانول و ۲۰ درصد جرمی آب است؛ لذا برای تعیین جرم مولکولی از معادله ۸-۱ می‌توان استفاده کرد ولی در ابتدا کسر جرمی و مولکولی هر جزء باید محاسبه شود.

نام ماده	Mw	درصد جرمی	(=) کسر جرمی
اتانول (C ₂ H ₅ OH)	۴۶	۸۰	$\frac{۸۰}{۱۰۰} = ۰/۸$
H ₂ O	۱۸	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰} = ۰/۲$
جمع		۱۰۰	۱/۰

$$\frac{1}{Mw} = \sum \frac{x_i}{Mw_i} = \frac{x_{\text{آب}}}{Mw_{\text{آب}}} + \frac{x_{\text{اتانول}}}{Mw_{\text{اتانول}}}$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = \frac{۰/۲}{۱۸} + \frac{۰/۸}{۴۶} = ۰/۰۱۱ + ۰/۰۱۷ = ۰/۰۲۸$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = ۰/۰۲۸ \rightarrow Mw_{\text{مخلوط}} = \frac{1}{۰/۰۲۸} = ۳۵/۷۱$$

درصدهای مولی اجزای گاز خروجی یک دودکش در یک کارخانه صنایع شیمیایی در جدول زیر آورده شده است، جرم مولکولی این گاز را محاسبه کنید.

تمرین ۷



گازهای دودکش	درصد مولی
کربن منوکسید (CO)	۵
کربن دی‌اکسید (CO ₂)	۱۵
گوگرد دی‌اکسید (SO ₂)	۵
بخار آب (H ₂ O)	۴۰
اکسیژن (O ₂)	۶
نیتروژن منوکسید (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:

$$\text{کسر جرمی گوگرد در گازوئیل} = x_{\text{گوگرد}} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{10}{10^6} = 0/000001$$

$$\text{درصد جرمی گوگرد} = \text{کسر جرمی گوگرد} \times 100 = 0/000001 \times 100 = 0/0001$$

بنابراین حد میزان گوگرد در گازوئیل باید حداکثر ۰/۰۰۰۱ درصد جرمی باشد، ولی به دلیل کم بودن این درصد و برای راحتی، به جای این درصد از کمیت ۱۰ ppm استفاده می‌شود.

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.

تمرین ۸



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

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

$$\frac{420000}{1000000} = \frac{100}{x} \rightarrow x = \frac{100 \times 1000000}{420000} = 238 \text{ ppm}$$

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



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

تمرین ۹





میزان مجاز یک ماده سمی در پساب یک کارخانه شیمیایی ppm ۰/۰۱ است. اگر ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شده باشد،
 الف) چند کیلوگرم از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟
 ب) چند پوند از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟

غلظت

غلظت یک ماده به مقدار جرم (مول) آن ماده در حجم معینی از محلول گفته می شود. در محاسبات صنایع شیمیایی یکاهای غلظت عبارت اند از:

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

استفاده از غلظت در مباحث آلودگی هوا بسیار رایج است؛ مثلاً میزان غلظت مجاز گاز SO_2 در هوا $\frac{6 \text{ mg}}{\text{m}^3}$ است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر می بایست ۶ میلی گرم (۰/۰۰۶ گرم) گاز SO_2 وجود دارد.

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



بیشترین مقدار مواد اکسیدکننده (آزودی کربن آمید) در تهیه آرد، برای انواع شیرینی و کیک ۴۵ ppm است (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 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 ماده شیرین کننده اسپارتام ($\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$) در تهیه آدامس ۲۵۰۰ ppm است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم اسپارتام باید استفاده کرد؟
پاسخ) با توجه به تعریف ppm و استفاده از تناسب زیر:

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

$$x = \frac{2500 \times 4000}{1000000} = 10 \text{ kg}$$

بنابراین میزان مجاز اسپارتام 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، درجه 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 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 ($^{\circ}\text{C}$)؛

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

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

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1/8 + 32 \quad (1-9)$$

مثال ۱۸ دمای بدن یک انسان سالم حدود ۳۷ درجه سلسیوس است، این دما را بر حسب درجه فارنهایت به دست آورید.

پاسخ:

$$T(^{\circ}\text{F}) = 37 \times 1/8 + 32 = 98/6^{\circ}\text{F}$$

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.

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمودی}}{\text{سطح}} \rightarrow P = \frac{F}{A} \quad (1-10)$$

P = فشار ، F = نیرو ، A = سطح

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

$$\text{نیروی } F = m \cdot a = m \frac{v}{t} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{پاسخ:}$$

$$\text{سطح } A = \text{m}^2$$

$$\text{فشار } P = \frac{F}{A} = \frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$\frac{\text{M}}{\text{L} \cdot \text{T}^2} = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$$

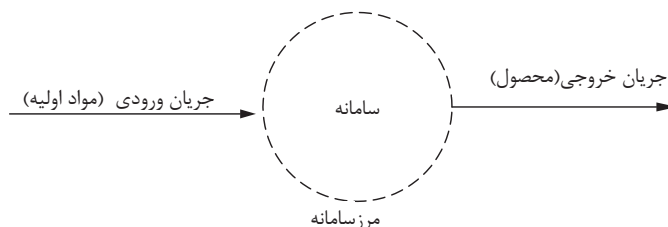
بنابراین بعد فشار عبارت است از:

۱-۱- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژه موازنه جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس تخصصی رشته صنایع شیمیایی، یادگیری این قسمت ضروری است. سرآغاز شیمی جدید، آزمایش‌های دانشمند فرانسوی آنتوان لوازیه است. مطابق با آزمایش‌های او، مجموعه 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 کارخانه 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 اتفاق افتاده 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 نقره کلرید، هم سدیم کلرید (NaCl) و هم نقره‌نیترات (AgNO_۳) مصرف می‌شوند، و مطابق واکنش شیمیایی زیر نقره کلرید (AgCl) و سدیم‌نیترات (NaNO_۳) تولید می‌شود.



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

مدام ترمز می‌کند و متوقف می‌شود و سپس دوباره شروع به حرکت می‌کند. در این حالت سرعت به‌طور پیوسته کم و زیاد می‌شود و مصرف بنزین متناسب با سرعت تغییر می‌کند؛ لذا این عملیات یکنواخت نیست و میزان سرعت و مصرف بنزین با گذشت زمان تغییر می‌کند. ولی وقتی خودرو وارد بزرگراه می‌شود و در خط مشخصی از سرعت قرار می‌گیرد و سرعت خود را روی یک عدد مشخص تنظیم می‌کند تا مدتی در همان حالت باقی می‌ماند بدون اینکه ترمز کند و یا سرعتش را افزایش دهد؛ لذا در این حالت این عملیات یکنواخت است و میزان مصرف بنزین و سرعت ماشین ثابت خواهد بود.

(ب) سامانه ناپایدار: در این سامانه متغیرها با گذشت زمان ثابت نمی‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر نیست.

معمولاً تغییرات یک متغیر در یک سامانه را تجمع می‌نامند؛ لذا برای سامانه‌های پایدار تجمع صفر است و برای سامانه‌های ناپایدار تجمع صفر نیست.

مثال ۲۰) هنرستانی را با ۲۵۰ هنرجو در نظر بگیرید، در این هنرستان ساعت کلاس‌ها طوری است که طبق جدول زیر هنرجویان وارد و خارج می‌شوند، حال اگر هنرستان را یک سامانه در نظر بگیرید و تعداد هنرجویان را متغیر، در چه روزهایی این سامانه پایدار و چه مواقعی ناپایدار است؟

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

پاسخ:

در روز شنبه بین ساعت ۸ و ساعت چهارده تعداد هنرجویان (متغیر) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بنابراین سامانه پایدار است.

در روز یکشنبه بین ساعت ۸ تا ساعت شانزده تعداد هنرجویان حاضر در مدرسه با زمان تغییر می‌کند؛ بنابراین سامانه ناپایدار است.

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

بحث کنید ۱

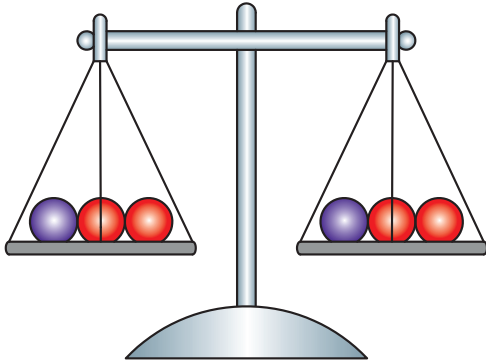


تمرین ۱۳



با دو مثال ساده دیگر، سامانه پایدار و ناپایدار را توضیح دهید.

۸-۱- 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.

$$(1-11) \text{ جرم کل خروجی} = \text{جرم کل ورودی}$$

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

$$\text{جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A مصرفی} - \text{جرم ماده A تولیدی} + \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

موازنه مواد برای سامانه‌های بدون واکنش شیمیایی

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

$$(1-12) \text{ جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

اگر سامانه پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

$$0 = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

$$\text{جرم ماده A خروجی} = \text{جرم ماده A ورودی}$$

بنابراین:

نکته ۱۰

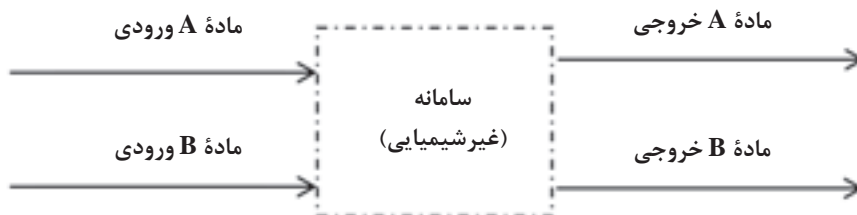


تفاوت معادله‌های (۱-۱۱) و (۱-۱۲) در چیست؟

تمرین ۱۴



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

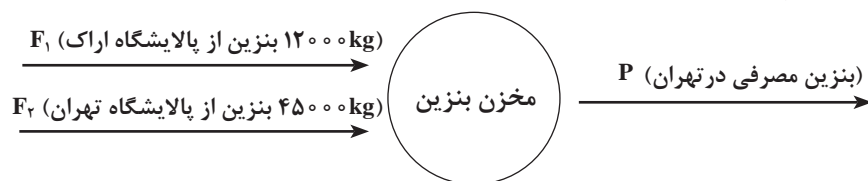


شکل ۱-۲

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

مثال ۲۲) بنزین مصرفی خودروهایی شهر تهران از دو پالایشگاه تهران و اراک تأمین می‌شود. از پالایشگاه اراک روزانه ۱۲۰۰۰ کیلوگرم بنزین و از پالایشگاه تهران روزانه ۴۵۰۰۰ کیلوگرم بنزین وارد شهر تهران می‌شود، معین کنید در یک روز چند کیلوگرم بنزین مصرف می‌شود؟
پاسخ) در این مثال مخلوط شدن دو جریان بنزین مطرح است که در عمل مخلوط کردن، واکنش شیمیایی وجود ندارد و سامانه پایدار است.



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:

$$F_1 + F_2 = 12000 + 45000 = 57000 \text{ kg} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$P = \text{بنزین مصرفی در شهر تهران} = \text{جرم کل خروجی از سامانه}$$

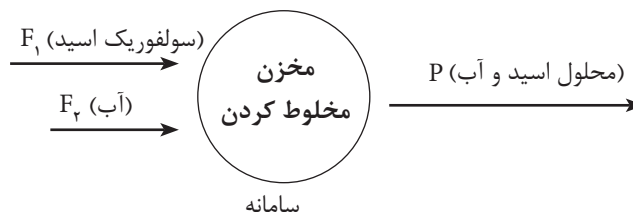
مطابق با موازنه جرم:

$$F_1 + F_2 = P \rightarrow P = 45000 + 12000 = 57000 \text{ kg}$$

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

مثال ۲۳) جریانی حاوی آب خالص با جرم ۲۵ کیلوگرم و جریانی حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ کیلوگرم را در یک مخزن با هم مخلوط می‌کنند. برای محصول به دست آمده مطلوب است تعیین:
 الف) جرم محلول به دست آمده؛
 ب) درصد جرمی اجزای محلول به دست آمده.

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



موازنه 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

$$F_1 + F_2 = P$$

$$\text{جرم کل ورودی به مخزن} = F_1 + F_2 = 75 + 25 = 100 \text{ kg}$$

$$P = 100 \text{ kg}$$

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

$$x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{75}{100} = 0/75$$

$$x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{25}{100} = 0/25$$

$$x_{\text{اسید}} + x_{\text{آب}} = 0/75 + 0/25 = 1/0$$

$$\text{درصد جرمی اسید در محلول} = 0/75 \times 100 = 75\%$$

$$\text{درصد جرمی آب در محلول} = 0/25 \times 100 = 25\%$$

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

تمرین ۱۵

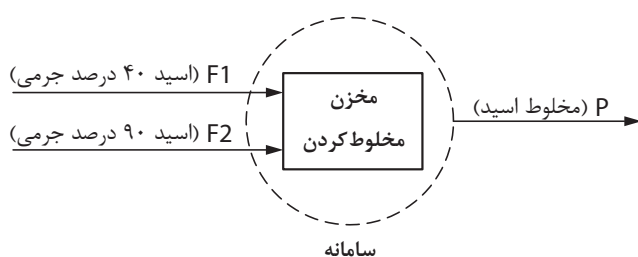


مثال ۲۴) دو جریان حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد

جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می شوند، مطلوب است مقدار:

الف) جرم مخلوط سولفوریک اسید؛

ب) خلوص مخلوط سولفوریک اسید.



پاسخ: موازنه کل به دور سامانه

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

$F_1 + F_2 =$ جرم کل ورودی به سامانه

جرم کل خروجی از سامانه = P

$$\longrightarrow \boxed{F_1 + F_2 = P}$$

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	$۰/۴ \times ۷۵ = ۳۰$
آب	۶۰	۰/۶	$۰/۶ \times ۷۵ = ۴۵$
جمع	۱۰۰	۱/۰	۷۵

اطلاعات جریان F_2

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

الف) موازنه کلی:

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

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

موازنه اسید به دور سامانه:

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

$$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵ \text{ kg}$$

موازنه آب به دور سامانه:

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

$$۴۵ + ۱۵ = ۶۰ \text{ kg}$$

خلاصه 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.

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

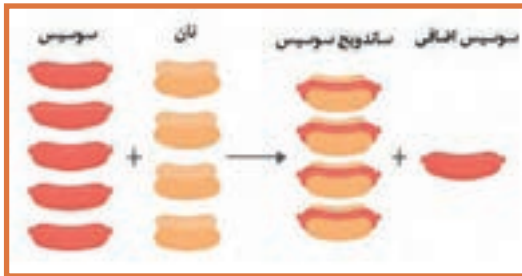
۲: برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید با خلوص ۸۰ درصد جرمی سولفوریک اسید و مابقی آب، از یک جریان سولفوریک اسید خالص و یک جریان آب استفاده می‌شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل، مقدار هر دو جریان را تعیین کنید.

تمرین ۱۶



موازنه 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 ماده A تجمع یافته = جرم ماده A مصرفی - جرم ماده A تولیدی + جرم ماده A خروجی - جرم ماده A ورودی



لازم به ذکر است که برای یک واکنش شیمیایی ابتدا باید فرمول واکنش (معادله واکنش) را موازنه کرد و سپس موازنه 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 موازنه شده می‌نامند. بنابراین در واکنش‌های موازنه شده:

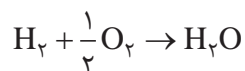
تعداد اتم‌های هر ماده در ترکیب شونده‌ها = تعداد اتم‌های همان ماده در محصولات

مثال ۲۵ واکنش تولید آب ($H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$) 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 هر ماده را در ترکیب شونده‌ها و محصولات مقایسه کرد.

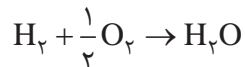
نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۲	۱

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



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

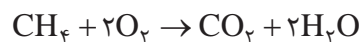
پس واکنش موازنه شده است:



مثال ۲۶ واکنش سوختن متان به صورت $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ است، این واکنش را موازنه کنید.

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

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



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

جواب)

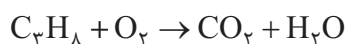
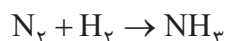
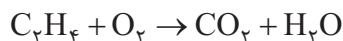
نام اتم	تعداد اتم‌ها در ترکیب شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

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

نکته ۱۱



۲۵: واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



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

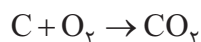
الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی‌اکسید تولیدی؛

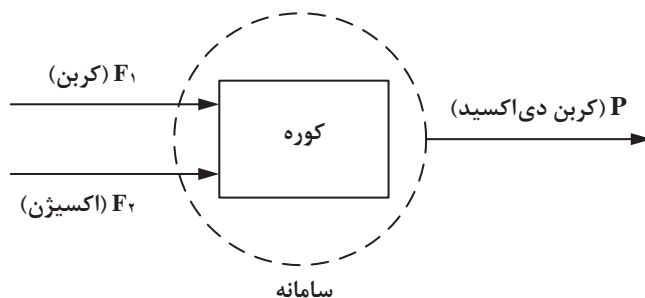
ج) موازنه کلی جرم و موازنه جرم هر یک از مواد.

$$Mw(C) = 12 \quad , \quad Mw(O_2) = 32 \quad , \quad Mw(CO_2) = 44$$

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



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 کربن دی‌اکسید تولید می‌شود.



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

$$Mw = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow n_c = \frac{100}{12} = 8/33 \text{ مول}$$

حال با استفاده از موازنه مولی مقدار اکسیژن مصرفی و کربن دی اکسید تولیدی تعیین می شود.

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

$$X = \frac{8/33 \times 1}{1} = 8/33 \text{ اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

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

$$Mw O_2 = \frac{m O_2}{n O_2} \rightarrow m O_2 = Mw O_2 \times n O_2 = 32 \times 8/33 = 266/6 \text{ kg}$$

حال با استفاده از ضریب های استوکیومتری، مقدار کربن دی اکسید را به دست می آوریم:

کربن دی اکسید تولیدی (kmol)	کربن مصرفی (kmol)
۱	۱
x	۸/۳۳

$$x = \frac{8/33 \times 1}{1} = 8/33 \text{ کربن دی اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم کربن دی اکسید تولیدی تعیین می شود.

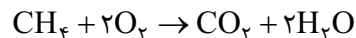
$$m CO_2 = M_{wCO_2} \times n CO_2 = 44 \times 8/33 = 366/6 \text{ kg}$$

حال موازنه جرم کنترل می شود:

$$\begin{aligned} \text{کل جرم اکسیژن} + \text{کل جرم کربن} &= \text{کل جرم ورودی} \\ &= 100 + 266/6 = 366/6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$366/6 = 366/6 \Rightarrow \text{کل جرم خروجی} = \text{کل جرم ورودی} \Rightarrow \text{بنابراین} \quad 366/6 = \text{کل جرم خروجی}$$

مثال ۲۸) یکصد و شصت کیلوگرم متان در کوره سوخته می شود و گازهای کربن دی اکسید و بخار آب تولید می شود، فرمول موازنه شده واکنش به این صورت است:



$$\rightarrow X = \frac{10 \times 1}{1} = 10 \text{ kmol}$$

آب تولیدی (kmol)	CH ₄ ورودی (kmol)
1	1
X	10

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

با استفاده از رابطه جرم مولکولی ($M_w = \frac{m}{n}$)، جرم هر یک از اجزا تعیین می شود.

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

$$m_{O_2 \text{ (ورودی مصرفی)}} = 32 \times 20 = 640 \text{ kg}$$

$$m_{CO_2 \text{ (تولیدی خروجی)}} = 44 \times 10 = 440 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O \text{ (تولیدی خروجی)}} = 18 \times 20 = 360 \text{ kg}$$

بررسی موازنه جرم کلی:

$$F_1 + F_2 = 160 + 640 = 800 \text{ kg}$$

$$P_1 + P_2 = 440 + 360 = 800 \text{ kg}$$

جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

$$F_1 + F_2 = P_1 + P_2$$

بنابراین:

اطلاعات جریان خروجی

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	درصد جرمی
CH ₄	0	0	0
O ₂	0	0	0
CO ₂	440	$\frac{440}{800} = 0.55$	٪۵۵
H ₂ O	360	$\frac{360}{800} = 0.45$	٪۴۵
جمع	800	1	٪۱۰۰

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، ۵۵ درصد جرمی گاز CO₂ و ۴۵ درصد جرمی، بخار آب وجود دارد.

ارزشیابی شایستگی پودمان به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

شرح کار:

- انجام دادن محاسبات طبق روش کار و انجام دادن موازنه مواد برای سامانه‌های داده شده؛

استاندارد عملکرد:

- انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

شاخص‌ها:

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

شرایط انجام دادن کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کلاس زمان: یک جلسه آموزشی

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

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری یکاها و ابعاد	۱	
۲	تبدیل یکاها	۲	
۳	موازنه 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 وسایل 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: گزارش نویسی.	۲	
	میانگین نمرات		*

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