

**مثال)** 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 رابطه (۸-۱) می‌توان استفاده نمود ولی در ابتدا کسر جرمی و مولکولی هر جزء را باید محاسبه گردد.

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

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

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

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

تمرین ۱۴: آنالیز گاز خروجی یک دودکش در یک کارخانه صنایع شیمیایی در جدول آورده شده است، جرم مولکولی این گاز را محاسبه نمایید.

تمرین



گازهای دودکش	درصد مولی
(CO) کربن منواکسید	۵
(CO <sub>2</sub> ) کربن دی اکسید	۱۵
(SO <sub>2</sub> ) گوگرد دی اکسید	۵
(H <sub>2</sub> O) بخار آب	۴۰
(O <sub>2</sub> ) اکسیژن	۶
(NO) نیتروژن منوکسید	۵
(N <sub>2</sub> ) نیتروژن	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 می‌گردد؛ 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:

$$\text{کسر جرمی گوگرد} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{10}{10^6} = 0.00001$$

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

تمرین ۱۵: 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



**مثال)** 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 نمود که در ۱۰۰۰۰۰۰ کیلوگرم نفت خام، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد، لذا با یک تناسب ساده میتوان آنرا محاسبه کرد.

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

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

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



تمرین ۱۶: میزان حداکثر مجاز گوگرد در گازوئیل ۱۰ ppm وزنی است، در یک تانکر حاوی ۲۵۸۰۰۰ کیلوگرم گازوئیل، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد؟

تمرین





تمرین ۱۷: میزان حد مجاز یک ماده سمی در پساب یک کارخانه شیمیایی ppm ۱۰۰ است. روزانه ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه می شود، مطلوب است:  
 الف) در هر روز چند کیلوگرم از این ماده سمی وارد رودخانه میشود؟  
 ب) در هر روز چند پوند از این ماده سمی وارد رودخانه می شود؟

### غلظت

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

واحدهای غلظت جرمی	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
واحدهای 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 ( $\text{SO}_2$ ) در هوا  $6 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$  است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر میبایست ۶ میلیگرم (۰/۰۰۶ گرم) وجود داشته باشد.

تمرین ۱۸: حداکثر مواد اسیدی کننده در آب لیمو در نکتار (شربت) هلو، گلابی و سیب (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۱۳)، ۵۰۰ ppm است، اگر هدف تولید ۱۵۰۰۰ کیلوگرم شربت هلو باشد، حداکثر مجاز مواد اسیدی کننده آن چند کیلوگرم است؟

تمرین ۱۹: حداکثر 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 محلول آرد به جرم ۲۷۰۰۰ کیلوگرم اگر میزان ماده اکسیدکننده ۲ کیلوگرم باشد، آیا این مقدار ماده اکسیدکننده در حد مجاز است؟

**مثال)** حداکثر استفاده از ماده شیرین کننده آسپارتام ( $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$ ) در تهیه آدامس ۲۵۰۰ ppm است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم آسپارتام باید استفاده نمود؟

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

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

۴۰۰۰

بنابراین میزان مجاز آسپارتم در (۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس)، حداکثر 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 آندرس سلسیوس نامگذاری شده و بخشی از سیستم بین‌المللی است. مبنای این مقیاس تخصیص دقیق صفر درجه برای نقطهٔ انجماد آب و صد درجه برای نقطه جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

واحدهای دما در دو سیستم بین‌المللی و انگلیسی عبارتند از:

الف) سیستم SI، سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ )؛

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

رابطهٔ دو واحد دما با رابطهٔ (۹-۱) بیان شده است.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times \frac{9}{5} + 32 \quad (9-1)$$

**مثال)** دمای بدن یک انسان سالم تقریباً  $37^{\circ}\text{C}$  درجهٔ سلسیوس است، این دما را بر حسب فارنهایت به دست آورید.

جواب مطابق با رابطه (۹-۱) :

$$T(^{\circ}\text{F}) = 37 \times \frac{9}{5} + 32 = 98.6$$

## فشار

فشار یک کمیت فرعی است؛ نیرویی است که به طور عمود بر واحد سطح وارد می‌شود و عموماً آنرا با نماد  $P$  نشان می‌دهند. در سیستم آحاد (SI)، فشار را با واحد پاسکال معرفی می‌نمایند که یک پاسکال فشاری است که نیروی یک نیوتنی به‌طور عمود بر سطح یک متر مربع وارد می‌کند.

$$P = \frac{F}{A} \quad (10-1)$$

$$P = \text{فشار} , F = \text{نیرو} , A = \text{سطح}$$

**مثال)** با توجه به واحدهای کمیت‌های موجود در رابطهٔ فشار (۱۰-۱)، واحد فشار و بعد آنرا در سیستم آحاد (SI) محاسبه نمایید.

$$F = m.a = m \frac{v}{t} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}}}{\text{sec}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$A = \text{m}^2$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{sec}^2}$$

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

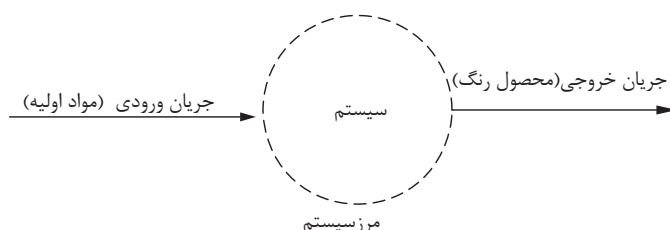
بعد فشار نیز عبارت است از:

## ۷-۱- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژه موازنه جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس اصلی این رشته، یادگیری این قسمت را ضروری جلوه می‌دهد. سرآغاز شیمی جدید، آزمایشهای دانشمند فرانسوی آنتوان لاوایر 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.

### سیستم<sup>۱</sup> و فرآیند<sup>۲</sup>

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



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از یک سیستم

درون این سیستم، فرایند تولید رنگ اتفاق می‌افتد البته فرایند اتفاق افتاده در سیستم می‌تواند از نوع واکنش شیمیایی یا غیر آن باشد.

اگر در یک سیستم واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد، موادی به‌عنوان مواد اولیه مصرف شده و موادی هم به عنوان محصول تولید می‌شوند؛ ولی اگر در این سیستم واکنش شیمیایی رخ ندهد، مانند خشک شدن کاغذ در کارخانجات کاغذسازی ماده ای مصرف و ماده ای تولید نمی‌شود. در عمل خشک شدن رطوبت کاغذ کم می‌شود، ولی در مقابل در کارخانجات تولید نقره کلرید هم سدیم کلرید (NaCl) و هم نقره نیترات (AgNO<sub>3</sub>) مصرف شده، در نتیجه نقره کلرید (AgCl) و سدیم نیترات (NaNO<sub>3</sub>) تولید می‌شود.



### انواع سیستم

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

۱-System

۲-Process

مدام ترمز کرده و متوقف می‌شود و سپس شروع به حرکت می‌کند در این حالت سرعت مدام 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 اتومبیل 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) سیستم ناپایدار:** در این سیستم متغیرها آن با گذشت زمان ثابت نمی‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر نیست.

معمولاً تغییرات یک متغیر در یک سیستم را تجمع می‌نامند؛ لذا برای سیستم‌های پایدار تجمع صفر و برای سیستم‌های ناپایدار تجمع صفر نیست.

مثال: مدرسه‌ای را با ۲۵۰ دانش‌آموز در نظر بگیرید، در این مدرسه ساعات کلاسی طوری است که طبق جدول زیر دانش‌آموزان وارد و خارج می‌شوند، حال اگر مدرسه را یک سیستم در نظر بگیریم و تعداد دانش‌آموزان را متغیر، در چه مواقعی این سیستم پایدار و چه مواقعی ناپایدار است؟

ساعت ورودی	ساعت ورودی		ساعت خروج	ساعت خروج
۸	۱۰		۱۴	۱۶
شنبه	۲۵۰	-	۲۵۰	-
یکشنبه	۲۵۰	-	۲۱۰	۲۰
دوشنبه	۲۴۰	-	۲۴۰	-
سه شنبه	۸۰	۱۵۰	-	۲۳۰
چهارشنبه	-	۲۵۰	-	۲۵۰

**پاسخ:**

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

در روز یکشنبه بین ساعت ۸ تا ساعت شانزده تعداد دانش‌آموزان حاضر در مدرسه با زمان تغییر می‌کند بنابراین سیستم ناپایدار است.

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

بحث کنید

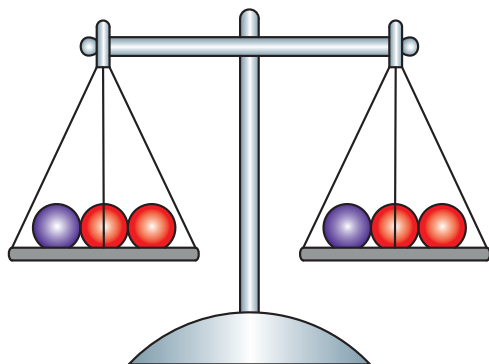


تمرین



تمرین ۲۰: با دو مثال ساده، سیستم پایدار و غیر پایدار را توضیح دهید.

## ۸-۱- موازنه مواد



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

$$(۱-۱) \text{ جرم کل خروجی} = \text{جرم کل ورودی}$$

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

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

### موازنه مواد برای سیستم‌های بدون واکنش شیمیایی

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

$$(۱-۱۲)$$

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

نکته



اگر سیستم پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

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

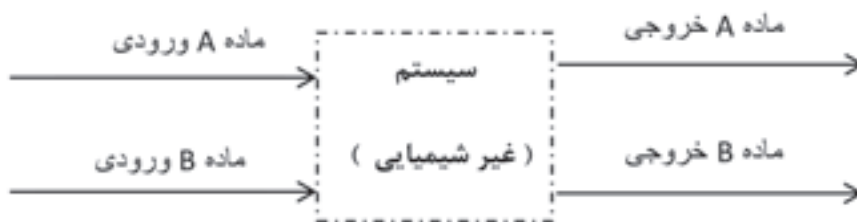
$$\text{جرم ماده A خروجی} = \text{جرم ماده A ورودی} \quad \text{بنابراین:}$$

تمرین ۲۱: تفاوت روابط ۱۱-۱ و ۱۲-۱ و ۱۱-۱ و ۱-۱۲ در چیست؟

مثال) برای سیستم پایدار مطابق با شکل ۱-۲ که فقط فرآیند فیزیکی (غیر شیمیایی) در آن اتفاق می‌افتد، موازنه‌های قابل قبول را بنویسید.

تمرین





شکل ۲ - ۱

**پاسخ:** سیستم بدون واکنش شیمیایی پایدار است، و موازنه‌های ذیل صادق است:

۱) جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

۲) جرم A خروجی = جرم A ورودی

۳) جرم B خروجی = جرم B ورودی

**مثال:** بنزین مصرفی مورد نیاز شهر تهران از دو پالایشگاه تهران و اراک تأمین میگردد. 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 اختلاط دو جریان بنزین مطرح است که در اختلاط واکنش شیمیایی وجود نداشته و سیستم پایدار است.



**موازنه حول سیستم عبارت است از:**

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم

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

بنابراین:

$$F_1 + F_2 = P \quad \text{جرم کل خروجی از سیستم} = \text{جرم کل ورودی به سیستم}$$

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

مطابق با موازنه جرم:

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

بنابراین میزان بنزین ورودی و مصرفی در تهران ۵۷۰۰۰ کیلوگرم خواهد بود.

**مثال:** 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 به‌دست آمده مطلوب است:

(الف) جرم محلول به دست آمده؛

(ب) آنالیز محلول به دست آمده.

**پاسخ:** در این مثال نیز هیچ واکنش شیمیایی اتفاق نمی‌افتد، ضمناً سیستم پایدار است.





موازنه کل جرم حول سیستم عبارت است از:

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم  
جرم محلول اسید و آب = جرم آب ورودی به مخزن + جرم اسید ورودی به مخزن

$$F_1 + F_2 = P$$

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

بنابراین :

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

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

$$x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{75}{100} = 0.75$$

$$x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{25}{100} = 0.25$$

$$x_{\text{آب}} + x_{\text{اسید}} = 0.25 + 0.75 = 1.0$$

$$\text{وزنی } \% 75 = 75 \times 100 = 7500 \text{ درصد جرمی اسید در محلول}$$

$$\text{وزنی } \% 25 = 25 \times 100 = 2500 \text{ درصد جرمی آب در محلول}$$

تمرین ۲۲: در یک پالایشگاه ۸۹۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده است. معمولاً بنزین در پالایشگاه از دو واحد تبدیل کاتالیستی و ایزومریزاسیون به دست می آید. اگر در این پالایشگاه از واحد تبدیل کاتالیستی ۵۳۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده باشد، مقدار بنزین تولیدی در واحد ایزومریزاسیون چقدر است؟

تمرین

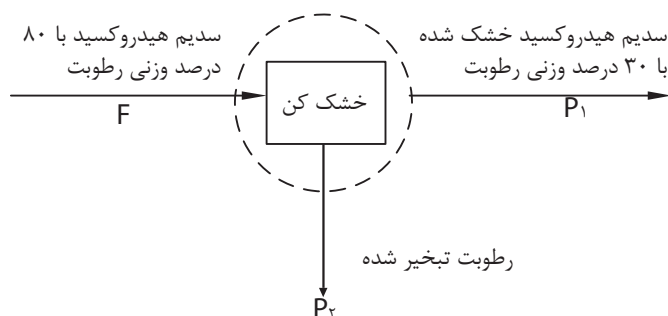


مثال: در یک فرایند شیمیایی به محلول سدیم هیدرواکسید (NaOH) ۳۰ درصد وزنی رطوبت نیاز است. بدین منظور ۱۰۰۰ کیلوگرم سدیم هیدرواکسید با ۸۰ درصد رطوبت را در یک خشک کن به ۳۰ درصد وزنی رطوبت می رسانند و خشک می کنند مطلوب است:

الف) مقدار رطوبت تبخیر شده در خشک کن؛

ب) مقدار سدیم هیدرواکسید خشک شده (با ۳۰ درصد جرمی).

**پاسخ:** فرایند خشک شدن، یک فرایند فیزیکی است که هیچگونه واکنش شیمیایی در آن اتفاق نمی افتد، زیرا فقط در حین خشک شدن ماده مرطوب، مقداری از رطوبت خود را از دست می دهد.



در این مثال یک ورودی و دو خروجی وجود دارد، بنابراین موازنه جرم حول سیستم، مطابق با روابط (۱۱-۱) و (۱۲-۱) عبارت است از:

جرم کل خروجی از خشک کن = جرم کل ورودی به خشک کن

$1000 \text{ Kg} = \text{جرم سدیم هیدرواکسید (با ۸۰ درصد جرمی رطوبت)} = \text{جرم کل ورودی}$

$\text{رطوبت تبخیر شده} + \text{سدیم هیدرواکسید خشک شده (با ۳۰ درصد جرمی رطوبت)} = \text{جرم کل خروجی}$

$$P_1 + P_2 = 1000 = \text{جرم کل خروجی} \quad (1)$$

همانطور که قبلاً اشاره شده است، موازنه را می توان هم برای کل سیستم و هم برای تک تک اجزا انجام داد. در جدول زیر اطلاعات جریان ورودی (F) که حاوی دو ماده سدیم هیدرواکسید و رطوبت است، ارائه شده است.

جرم (کیلوگرم)	کسر جرمی	درصد جرمی	مواد
$0.2 \times 1000 = 200$	$\frac{20}{100} = 0.2$	۲۰	سدیم هیدرواکسید
$0.8 \times 1000 = 800$	$\frac{80}{100} = 0.8$	۸۰	رطوبت ( $H_2O$ )
۱۰۰۰	۱/۰	۱۰۰	جمع

موازنه سدیم هیدرواکسید حول سیستم:

سدیم هیدرواکسید (NaOH) خروجی = سدیم هیدرواکسید (NaOH) ورودی

$200 \text{ kg} = \text{سدیم هیدرواکسید (NaOH) ورودی}$

$= \text{سدیم هیدرواکسید خروجی}$

$$200 = P_1 \times \frac{70}{100} \Rightarrow P_1 = \frac{200 \times 100}{70} = 285.7 \text{ kg}$$

حال در رابطه شماره (۱) به جای  $P_1$  از مقدار مساویش استفاده می شود.

$$1000 = P_1 + P_2 \rightarrow 1000 = 285.7 + P_2 \rightarrow P_2 = 714.3 \text{ kg}$$

چون جریان فقط حاوی رطوبت تبخیر شده است، میزان رطوبت تبخیر شده در این خشک کن برابر با ۷۱۴/۳ کیلوگرم است.

بنابراین:

الف) رطوبت تبخیر شده  $P_1 = 714/3 \text{ kg}$

ب) سدیم هیدرواکسید خشک شده (با ۳۰ درصد جرمی رطوبت)  $P_2 = 285/7 \text{ kg}$

تمرین ۲۳: در مثال قبل اگر سود کاملاً خشک شود و میزان رطوبت آن صفر گردد، مطلوب است:

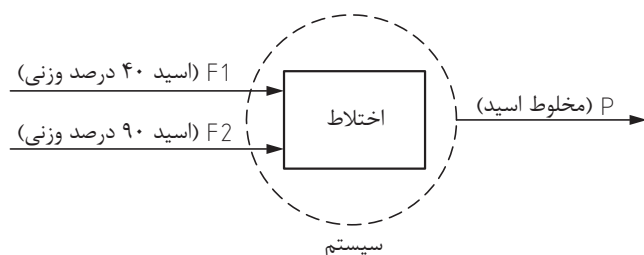
الف) میزان رطوبت تبخیر شده

ب) میزان سود کاملاً خشک شده

مثال) دو جریان حاوی اسیدسولفوریک با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می شوند، حال مطلوب است:

الف) وزن مخلوط سولفوریک اسید؛

ب) آنالیز اجزای سولفوریک اسید.



**پاسخ:** موازنه کل حول سیستم

جرم کل خروجی از سیستم = جرم کل ورودی به سیستم

جرم کل ورودی به سیستم  $= F_1 + F_2$

جرم کل خروجی از سیستم  $= P \longrightarrow F_1 + F_2 = P$

اطلاعات مربوط به دو جریان اسید ورودی در جدول های 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<sub>۱</sub>

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

الف) موازنه کلی:

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

برای تعیین مقادیر اجزای جریان ترکیبی (P) می‌بایست موازنه اجزای را حول سیستم تعیین نمود.

### موازنه اسید حول سیستم:

$$\text{اسید خروجی در جریان } P = \text{اسید ورودی در جریان } F_2 + \text{اسید ورودی در جریان } F_1$$

$$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵ \text{ kg}$$

### موازنه آب حول سیستم:

$$P = \text{آب خروجی در جریان } P = \text{آب ورودی در جریان } F_2 + \text{آب ورودی در جریان } F_1$$

$$۴۵ + ۱۵ = ۶۰ \text{ kg}$$

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

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

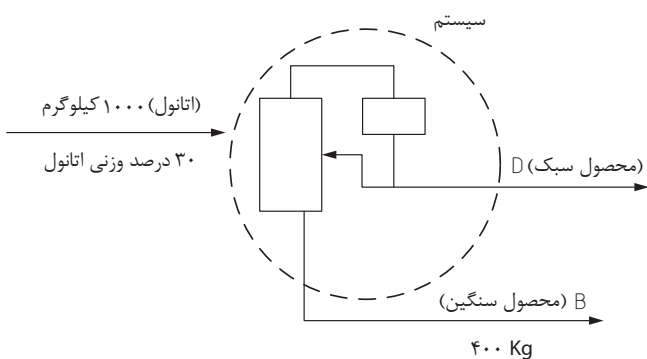
بنابراین خلوص اسید ترکیبی، ۷۳ درصد وزنی خواهد بود.

تمرین ۲۴: برای تولید ۱۰۰ کیلوگرم اسیدسولفوریک 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 نمایید.

تمرین ۲۵: برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم اسیدسولفوریک با خلوص ۸۰ درصد وزنی اسید سولفوریک و مابقی آب، از یک جریان اسیدسولفوریک خالص و یک جریان آب استفاده می‌شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل مقادیر هردو جریان را تعیین نمایید.

تمرین





تمرین ۲۶: برای افزایش خلوص اتانول مطابق شکل از یک برج تقطیر استفاده شود. مطلوب است:

الف) تعیین مقدار محصول سبک از برج (D)

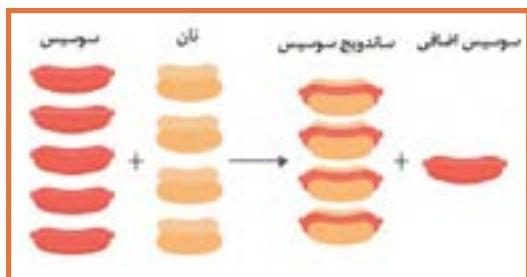
ب) درصد وزنی (آنالیز) اجزاء محصول سنگین از برج (B)

نکته: تمامی جریان ورودی و جریان های خروجی حاوی اتانول و آب می باشند.

نکته



### موازنه مواد برای سیستم های دارای واکنش شیمیایی



برای سیستمی که درون آن یک واکنش شیمیایی اتفاق می افتد و در حالت پایاست، موازنه های 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 نمود و سپس موازنه مواد را برای آن انجام داد.



## موازنه واکنشهای شیمیایی:

پس از نوشتن فرمول واکنش، اگر تعداد اتم های مواد مشابه در دو طرف واکنش یکسان باشند، آن واکنش را موازنه شده می نامند. بنا براین در واکنش های موازنه شده:

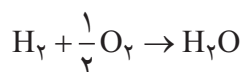
تعداد اتم های هر ماده در ترکیب شونده ها = تعداد اتم های همان ماده در محصولات

مثال) واکنش تولید آب ( $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$ ) در نظر بگیرید، آیا این واکنش موازنه شده است؟ در غیر اینصورت موازنه نمائید.

**جواب)** برای بررسی موازنه بودن یک واکنش باید تعداد اتم های هر ماده را در ترکیب شونده ها و محصولات مقایسه نمود.

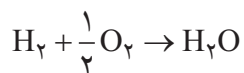
نام اتم	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها از طرف دوم محصولات
H	۲	۲
O	۲	۲

پس این واکنش موازنه نیست چون تعداد اتم اکسیژن در ترکیب شونده ها برابر با محصولات نیست بنابراین اگر تعداد اتم های اکسیژن در ترکیب شونده ها نصف گردد این واکنش موازنه خواهد شد یعنی از این معادله واکنش برای تولید آب استفاده نمود:



نام اتم	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها از طرف دوم محصولات
H	۲	۲
O	۱	۱

پس حالا واکنش موازنه شده است:

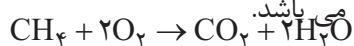


مثال) واکنش سوختن متان به صورت  $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$  می باشد این واکنش را موازنه نمائید.

نام مواد	تعداد اتم ها در طرف اول ترکیب شونده ها	تعداد اتم ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۲
O	۲	۳

**جواب)** برای موازنه می بایست با استفاده از ضرایبی در ترکیب شونده ها و یا محصولات تعداد اتم های هر ماده در طرفین واکنش را یکسان نمود. حال برای سوختن متان چنین واکنشی نوشته می شود.

با توجه به جدول تعداد اتم ها می توان دریافت که این واکنش موازنه شده می باشد.



جواب)

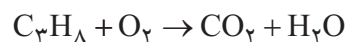
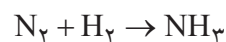
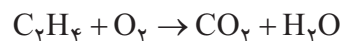
نام مواد	تعداد اتم ها در ترکیب شوونده ها	تعداد اتم ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

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

نکته



تمرین ۲۶: واکنش های زیر را موازنه نمائید.



**مثال** ۱۰۰ کیلوگرم کربن در یک کوره سوخته می شود، حال مطلوب است:

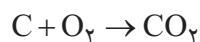
الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی اکسید تولیدی؛

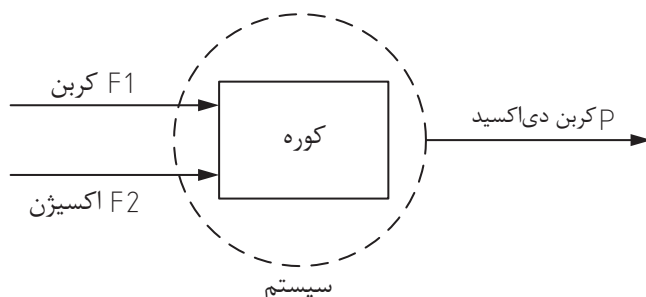
ج) موازنه کلی جرم و موازنه جرم هر یک از مواد.

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

**جواب**) در ابتدا همچنان که توضیح داده شد، می بایست معادله واکنش را نوشت و موازنه نمود.



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 دی اکسید تولید می شود.



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

$$Mw = \frac{m}{w} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow nc = \frac{100}{12} = 8.33$$

حال با استفاده از موازنه مولی مقادیر اکسیژن مورد نیاز (مصرفی) و دی اکسید کربن تولیدی تعیین می گردد.

اکسیژن مصرفی (Kmol)	کربن مصرفی (Kmol)
۱	۱
x	۸,۳۳

$$X = \frac{8.33 \times 1}{1} = 8.33 \quad \text{اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

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

$$Mw O_2 = \frac{m O_2}{n O_2} \rightarrow m O_2 = Mw O_2 \times n O_2 = 32 \times 8.33 = 266.6$$

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

کربن دی اکسید تولیدی (Kmol)	کربن مصرفی (Kmol)
۱	۱
x	۸,۳۳

$$x = \frac{8.33 \times 1}{1} = 8.33 \quad \text{کربن دی اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

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

$$\rightarrow n_{CO_2} = Mw_{CO_2} \times n_{CO_2} = 44 \times 8.33 = 366.6$$

حالا موازنه اجزا و موازنه کلی انجام خواهد شد.



### موازنه کربن حول سیستم:

$$mC_{\text{تجمع یافته}} = mC_{\text{مصرفی}} - mC_{\text{تولیدی}} + mC_{\text{خروجی}} - mC_{\text{ورودی}}$$

کربن در کوره مصرف می شود، پس  $mC_{\text{تولیدی}} = 0$  و چون سیستم پایاست پس  $mC_{\text{تجمع یافته}} = 0$  لذا:

$$0 = mC_{\text{تولیدی}} - 0 + mC_{\text{خروجی}} - 100 \rightarrow mC_{\text{تولیدی}} = 100 - mC_{\text{خروجی}}$$

### موازنه اکسیژن حول سیستم:

$$mO_2_{\text{تجمع یافته}} = mO_2_{\text{مصرفی}} - mO_2_{\text{تولیدی}} + mO_2_{\text{خروجی}} - mO_2_{\text{ورودی}}$$

اکسیژن تولید می شود بنابراین:  $mO_2_{\text{تولیدی}} = 0$  و چون سیستم پایاست  $mO_2_{\text{تجمع یافته}} = 0$

$$0 = mO_2_{\text{خروجی}} - 0 + mO_2_{\text{خروجی}} - 266/6 \rightarrow mO_2_{\text{خروجی}} = 266/6$$

### موازنه دی اکسید کربن حول سیستم:

$$mCO_2_{\text{تجمع یافته}} = mCO_2_{\text{مصرفی}} - mCO_2_{\text{تولیدی}} + mCO_2_{\text{خروجی}} - mCO_2_{\text{ورودی}}$$

$CO_2$  تولید می شود لذا:  $mCO_2_{\text{مصرفی}} = 0$

سیستم پایاست لذا:  $mCO_2_{\text{تجمع یافته}} = 0$

کربن دی اکسید محصول است، لذا  $CO_2$  وارد نشده است:  $mCO_2_{\text{ورودی}} = 0$

بنابراین موازنه کربن دی اکسید حول سیستم عبارت است از:

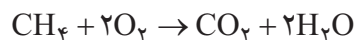
$$0 = mCO_2_{\text{خروجی}} + 366/6 - 0$$

$$mCO_2 = 366/6$$

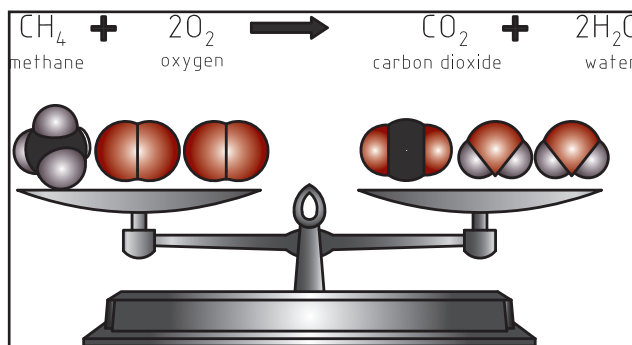
جدول اطلاعات برای جریان خروجی (P)

مواد	جرم Kg
کربن	0
اکسیژن	0
کربن دی اکسید	366/6
جمع	366/6

مثال) یکصد و شصت کیلوگرم متان در کوره سوخته میشود و کربن دی اکسید و بخار آب تولید می شود، فرمول موازنه شده واکنش به این صورت می باشد.

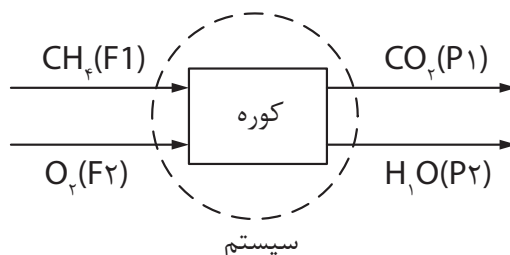


با توجه به اطلاعات ذیل مطلوب است آنالیز گاز خروجی از دودکش:



$$Mw_{\text{H}_2\text{O}} = 18, Mw_{\text{CO}_2} = 44, Mw_{\text{O}_2} = 32, Mw_{\text{CH}_4} = 16$$

پاسخ)  $\text{CO}_2 = (P)$



با توجه به معلوم بودن جرم متان ابتدا باید مول متان تعیین گردد، سپس با استفاده از معادله واکنش مقادیر اکسیژن مصرفی،  $\text{CO}_2$  تولیدی و بخار آب تولیدی محاسبه می شود.

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

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{Mw_{\text{CH}_4}} = \frac{160}{16} = 10 \text{ kmole}$$

حال با استفاده از معادله واکنش مقایسه بین مواد انجام می شود.

اکسیژن مصرفی (Kmol)	$\text{CH}_4$ ورودی (Kmol)
۲	۱
X	۱۰

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

کربن دیاکسید تولیدی (Kmol)	CH <sub>4</sub> ورودی (Kmol)
۱	۱
X	۱۰

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

آب تولیدی (Kmol)	CH <sub>4</sub> ورودی (Kmol)
۱	۱
X	۱۰

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

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

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

$$m_{O_2 \text{ (ورودی مصرفی)}} = 32 \times 2 = 64 \text{ kg}$$

$$m_{CO_2 \text{ (تولیدی خروجی)}} = 44 \times 1 = 44 \text{ kg}$$

حال موازنه مواد با استفاده از قانون بقای جرم برای کل اجزا انجام خواهد شد.

**موازنه متان حول سیستم:**

$$m_{CH_4 \text{ (تولیدی یافته)}} = m_{CH_4 \text{ (مصرفی)}} - m_{CH_4 \text{ (تولیدی)}} + m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} - m_{CH_4 \text{ (ورودی)}}$$

$$m_{CH_4 \text{ (تولیدی)}} = 0 \quad \text{متان واکنش گر است}$$

$$m_{CH_4 \text{ (تولیدی یافته)}} = 0 \quad \text{سیستم پایاست.}$$

$$160 - m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} + 0 - 160 = 0 \rightarrow m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} = 0 \text{ kg} \quad \text{موازنه اکسیژن حول سیستم:}$$

$$m_{O_2 \text{ (تولیدی یافته)}} = m_{O_2 \text{ (مصرفی)}} - m_{O_2 \text{ (تولیدی)}} + m_{O_2 \text{ (خروجی)}} - m_{O_2 \text{ (ورودی)}}$$

$$640 - m_{O_2} + 0 - 640 = 0 \rightarrow m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} = 0 \text{ kg}$$

$$m_{O_2 \text{ (تولیدی)}} = 0 \quad \text{اکسیژن واکنشگر است.}$$

$$m_{O_2 \text{ (تولیدی یافته)}} = 0 \quad \text{سیستم پایاست لذا}$$

$$160 - m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} + 0 - 160 = 0 \rightarrow m_{CH_4 \text{ (خروجی)}} = 0 \text{ kg}$$

### موازنه کربن دی اکسید حول سیستم:

$$m_{CO_2}^{\text{تولیدی}} - m_{CO_2}^{\text{مصرفی}} - m_{CO_2}^{\text{خروجی}} + m_{CO_2}^{\text{ورودی}} = m_{CO_2}^{\text{تجمع یافته}}$$

$$0 - m_{CO_2}^{\text{خروجی}} + 440 - 0 = 0 \rightarrow m_{CO_2}^{\text{خروجی}} = 440 \text{ kg}$$

کربن دی اکسید محصول است.  $m_{CO_2}^{\text{ورودی}} = 0$

سیستم پایاست.  $m_{CO_2}^{\text{تجمع یافته}} = 0$

### موازنه بخار آب حول سیستم:

$$m_{H_2O}^{\text{تولیدی}} - m_{H_2O}^{\text{مصرفی}} - m_{H_2O}^{\text{خروجی}} + m_{H_2O}^{\text{ورودی}} = m_{H_2O}^{\text{تجمع یافته}}$$

$$0 - m_{H_2O}^{\text{خروجی}} + 360 - 0 = 0 \rightarrow m_{H_2O}^{\text{خروجی}} = 360 \text{ kg}$$

آب محصول واکنش است.  $m_{H_2O}^{\text{ورودی}} = 0$

سیستم پایاست.  $m_{H_2O}^{\text{تجمع یافته}} = 0$

### 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 <sub>4</sub>	0	0	0
O <sub>2</sub>	0	0	0
CO <sub>2</sub>	440	$\frac{440}{800} = 0.55$	55%
H <sub>2</sub> O	360	$\frac{360}{800} = 0.45$	45%
جمع	800	1	100%

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، 55 درصد وزنی CO<sub>2</sub> و 45 درصد جرمی بخار آب وجود دارد.

## ارزشیابی شایستگی فصل به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

شرح کار:

- انجام محاسبات طبق دستورالعمل، انجام موازنه مواد برای سیستم‌های داده شده؛

استاندارد عملکرد:

- انجام عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

شاخص‌ها:

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

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کلاس      زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: جداول تبدیل واحدها در سیستم‌های اندازه‌گیری، ابزار عمومی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل 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 سیستم	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.