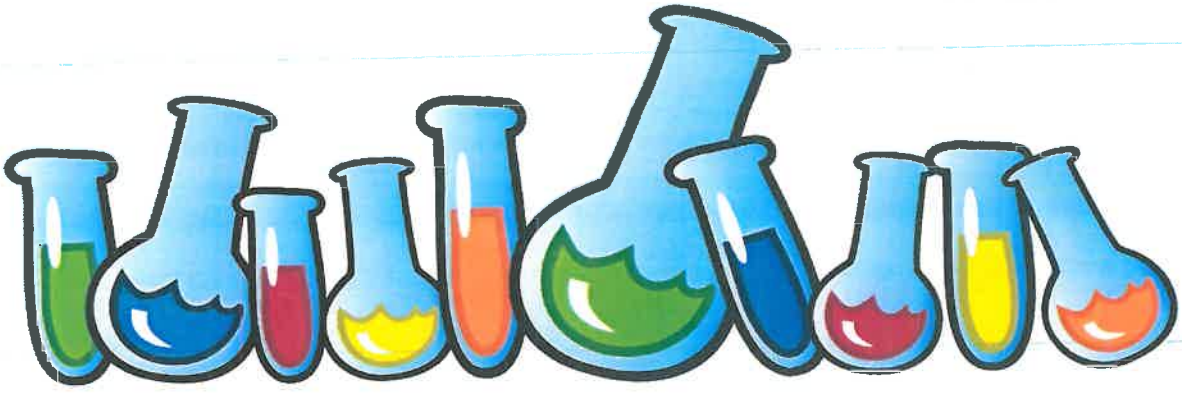
# فصل دوم:

# ردپای گاز ها در زندگی



## آشنایی با هواکره

لایه نیروزه‌ای پیرامون زمین (تمسفر زمین یا همان هواکره است)، که اغلب هوا نامیده می‌شود.

در میان سیاره‌های سامانه خورشیدی، تنها زمین است که تمسفری دارد که امکان زندگی را روی آن فراهم می‌کند. وظایف هواکره و کاربردهای آن عبارت‌اند از:

۱) گرمای خورشید را در خود نگه می‌دارد.

۲) ساکنان زمین را از پرتوهای خطرناک کیهانی (مانند فرابنفش) محافظت می‌کند.

۳) آب را (برف و باران) در سراسر زمین توزیع می‌کند.

علم شیمی کمک می‌کند تا با بررسی خواص، رفتار و برهم‌کنش گازهای هواکره را- های تداوم زندگی سالم را بیابیم و باعث شویم که ردپای سنگین بر روی آن ایجاد نشود. (ردپا همین مشکلاتی که ادامه آن به زمین آسیب می‌زند)

هواکره (تمسفر) مخلوطی از گازهای گوناگون است که تا فاصله ۱۰۰۰km از سطح زمین امتداد یافته است به طوری که ما در کف اقیانوسی از گازها زندگی می‌کنیم. جاذبه زمین این گازها را پیرامون خود نگه می‌دارد و مانع از خروج آن‌ها از تمسفر می‌شود. از سوی دیگر انرژی گرمایی مولکول‌ها سبب می‌شود تا پیوسته مولکول‌های هوا در حال جنبش باشند و در سراسر هواکره توزیع شوند. چون اغلب گازهای هواکره بی‌رنگ هستند در نتیجه ما هوا را نمی‌توانیم ببینیم ولی اگر از فضا به سیاره زمین نگاه کنیم هواکره را به صورت هاله‌ای نیروزه‌ای رنگ و باشکوه که حول زمین را فرگرفته خواهیم دید.

**! توجه:** اغلب گازهای هواکره ناقرمزی هستند ولی در شرایطی خاص گازهای رنگی مانند $NO_2$ در آن ایجاد می‌شود که قهوه‌ای رنگ است و یکی از آلاینده‌های هوا به شمار می‌رود.

**نکته:** اگر زمین را به سیب تشبیه کنیم، ضخامت هواکره نسبت به زمین به نازکی پوست سیب می‌ماند.

صرفا جهت اطلاع:
جرم کل هوا کره در حدود $5,3 \times 10^{15}$ تن و نزدیک به ۱۰۰۰۰۰ جرم زمین است. در گاز های هوا کره واکنش های شیمیایی گوناگونی رخ می دهد که اغلب بود منبع برخی منید نیستند.

هوا کره از ۴ لایه تشکیل شده است که به توضیح هر یک می پردازیم:

لایه اول (تروپوسفر): پائین ترین لایه هوا کره است که از ارتفاع ۱۲-۱۰ کیلومتری قرار دارد. این لایه همان بخشی از هوا کره است که در آن زندگی می کنیم. تغییرات $H_2O$ و هوا این زمین هم در همین لایه اتفاق می افتد. حدود ۷۵٪ جرم هوا کره در این لایه (تروپوسفر) قرار دارد و بیشترین جرم را در بین لایه ها دارد.

صرفا جهت اطلاع:
$H_2O$ و هوا نتیجه برهم کنش میان زمین، هوا کره، $H_2O$ و خورشید است. تغییرات $H_2O$ و هوا در فاصله ۱۲-۱۰ کیلومتری از سطح زمین (تروپوسفر) اتفاق می افتد.)

لایه دوم (استراتوسفر): این لایه در ارتفاع ۵۰-۱۱ کیلومتری سطح زمین قرار دارد. اهمیت این لایه بیشتر به دلیل وجود گاز اوزون ($O_3$) است که از رسیدن تابش های خطرناک فرابنفش خورشید به زمین جلوگیری می کند. (در آینده در مورد گاز اوزون بیشتر صحبت خواهیم کرد.)

لایه سوم (مزوسفر): این لایه از ارتفاع ۸۰-۵۰ کیلومتری را در بر می گیرد.

لایه چهارم (ترموسفر): این لایه از ارتفاع ۵۰۰-۸۰ کیلومتری از سطح زمین را شامل می شود.

▲ روند تغییر دما در هوا کره:
یکی از دلایلی که دانشمندان پی بردند هوا کره به صورت لایه لایه است همین روند متفاوت و نا منظم تغییر دما در ارتقاعات

هوا کره بوده حال در مورد تغییرات دمایی هر لایه جداگانه صحبت می‌کنیم:

لایه اول (تروپوسفر): در این لایه با افزایش ارتقاع از سطح زمین دما کاهش می‌یابد و همان طور که در دوره‌ی پایه‌ی ۴۸ اشاره کرده به ازای هر کیلومتر افزایش ارتقاع، دما در حدود ۶°C کم می‌شود، دما در ابتدای لایه ۱۴°C و در انتهای لایه حدود ۵۵°C - (۱۲۸ کلوین) می‌رسد.

لایه دوم (استراتوسفر): دما در لایه استراتوسفر با افزایش ارتقاع افزایش می‌یابد و از دمای ۵۵°C - در ابتدای لایه دمای حدود ۷°C در انتهای لایه می‌رسد.

لایه سوم (مزوسفر): در این لایه با افزایش ارتقاع دما به تدریج کاهش می‌یابد و از دمای ۷°C در ابتدای لایه به حدود ۸۷°C - در انتهای لایه می‌رسد.

لایه چهارم (ترموسفر): در این لایه، با افزایش ارتقاع، دما هم افزایش می‌یابد (به دمای این لایه در کتاب درسی اشاره‌ای نشده، فقط در همین حد بدانید کافیست!)

خلاصه:
- در لایه‌های اول و سوم ← با افزایش ارتقاع دما کاهش می‌یابد.
- در لایه‌های دوم و چهارم ← با افزایش ارتقاع دما افزایش می‌یابد.

▲ درصد توزیع گازها در هوا کره:

۱) از لایه اول (تروپوسفر) تا لایه سوم (مزوسفر) از گازهای نیتروژن ($N_2$) اکسیژن ($O_2$) و کربن دی اکسید ($CO_2$) تشکیل شده است.

نکته: بخار آب ($H_2O$) فقط در لایه اول (تروپوسفر) وجود دارد. به همین دلیل تغییرات آب و هوایی و جوی که بیشتر با رطوبت درگیر هستند در این لایه اتفاق می‌افتد.

۲) اوزون ($O_3$) در لایه دوم (استراتوسفر) قرار دارد. (البته در آینده خواهیم خواند که $O_3$ در هوا هست که به آن اوزون بد می‌گویند در لایه اول (تروپوسفر) هم وجود دارد.)

۳) در لایه چهارم گازهای $N_2$ و $O_2$ و اتم اکسیژن ($O$) و یون‌های مثبت مانند: $H^+$، $N_2^+$، $O_2^+$، $O^+$، $He^+$ وجود دارد.

**نکته:** علت وجود یون‌های مثبت در ارتفاع حدود ۱۰۰ کیلومتر به بالا پرتوهای پرانرژی خورشید (پرتوهای الکترومغناطیسی) می‌باشد که الکترون‌های لایه آخر مولکول‌ها و اتم‌ها را کنده (اصطلاحاً به آن یونش می‌گویند) و باعث تبدیل این ذره‌ها به یون‌های مثبت می‌شود.

▲ روند تغییر فشار در هوا کره:

**نکته:** فشار هر گاز، ناشی از برخورد مولکول‌های آن با دیواره ظرف است. هوا کره نیز به دلیل داشتن گازهای گوناگون فشار دارد. این فشار در همه جهت‌ها بر بدن ما و به میزان یکسان وارد می‌شود.

فشار گاز با مقدار گاز در حجم مشخص (غلظت گاز) رابطه مستقیم دارد. یعنی هر چه تعداد ذره‌ها بیشتر برخوردها بیشتر و در نتیجه فشار گاز بیشتر می‌شود. از طرفی می‌دانیم که با افزایش ارتفاع در هوا کره، غلظت گازها کمتر شده یا به عبارت دیگر هوا کره رقیق‌تر می‌شود یا توجه به این استدلالات فشار در هوا کره با افزایش فاصله از زمین و افزایش ارتفاع، به تدریج کاهش می‌یابد. (با افزایش ارتفاع به دلیل رقیق شدن هوا کره، چگالی هم مانند فشار، به طور منظم کاهش می‌یابد.)

**توجه:** با توجه به شکل پایین صفحه کتاب درسی، کاهش فشار در ارتفاع‌های پایین‌تر بیشتر از ارتفاع‌های بالاتر است. یعنی هر چه ارتفاع بیشتر شود، کاهش فشار کندتر می‌شود. (یعنی وقتی ۳ کیلومتر از سطح زمین فاصله می‌گیریم فشار ۰/۳ اتمسفر کاهش می‌یابد، حال اگر ۳ کیلومتر دیگر فاصله بگیریم، یعنی ۶ کیلومتر از سطح زمین فاصله بگیریم، فشار ۰/۲ اتمسفر تغییر می‌یابد نه ۰/۳ اتمسفر.)

**نکته:** با توجه به روند تغییر دما و تغییر فشار می‌توان نتیجه گرفت که: روند تغییر فشار بر خلاف روند تغییر دما که به صورت نامنظم

تغییر می‌کرد، به صورت منظم تغییر می‌کند.

**مثال**

در لایه تروپوسفر به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع دما در حدود $6^{\circ}C$ کاهش می‌یابد. اگر میانگین دما در سطح زمین حدود $14^{\circ}C$ ($287$ کلوین) و در انتهای لایه تروپوسفر دما به حدود $-55^{\circ}C$ ($218$ کلوین) برسد، ارتفاع تقریبی لایه تروپوسفر را به دست آورید؟

تغییرات دما در مقیاس کلوین و سلسیوس برابر است $\Delta T = 218 - 287 = -69K = -69^{\circ}C$

اگر دما ۱ درجه کلوین افزایش یابد برابر ۱ درجه افزایش دما با درجه سلسیوس است و هیچ فرقی ندارد که تغییرات دما را با کلوین حساب کنیم یا با درجه سلسیوس.

$$?km = 69^{\circ}C \times \frac{1km}{6^{\circ}C} = 11,5\,km$$ ارتفاع تقریبی تروپوسفر است $\Rightarrow$

**تمرین**

اگر میانگین دما در سطح زمین $20^{\circ}C$ باشد، در چه ارتفاعی از سطح زمین بر حسب متر دما در مقیاس درجه سلسیوس، به ۰ درجه می‌رسد؟

## ▲ مقیاس دمای کلوین

ما قبلا با درجه سلسیوس آشنا شدیم که فاصله بین دمای یخ زدن و دمای جوش آب خالص را به ۱۰۰ قسمت تقسیم کردیم و هر قسمت را یک درجه سلسیوس خواندیم. با اینکه یکای سلسیوس در روزمره بیشتر به کار می‌رود ولی یکای دیگری است که جزو یکاهای بین المللی (SI) است و با نماد K نشان می‌دهند در این مقیاس دمایی، نقطه انجماد آب برابر $273K$ و نقطه جوش آب برابر $373K$ است. رابطه دما بر حسب کلوین با دما بر حسب درجه سلسیوس به صورت زیر است:

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273$$

**نکته:** تغییر دما در مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است $\Rightarrow \Delta T = \Delta\theta$

**مثال** الف) دمای ۲۵°C را بر حسب کلوین به دست آورید. ب) دمای ۵K را بر حسب درجه سلسیوس به دست آورید.

الف) $T(K) = ۲۵ + ۲۷۳ = ۲۹۸K$

ب) $T(C) + ۲۷۳ = ۰ \Rightarrow -۲۷۳°C$

**توجه!** دمای صفر کلوین که معادل ۲۷۳°C- است را صفر مطلق می‌گویند، زیرا دمای پایین‌تر از آن وجود ندارد.

**تمرین ۱** اگر میانگین دما در سطح زمین در حدود ۱۱°C (۲۸۴ کلوین) باشد در ارتفاع ۹ کیلومتری از سطح زمین دمای هوا به چند کلوین می‌رسد؟

**تمرین ۲** دمای گازی برابر ۴۰°C است. اگر دمای این گاز ۲۵°C افزایش یابد، دمای آن بر حسب کلوین چقدر می‌شود؟

**تمرین ۳** نمودار تغییرات دما بر حسب ارتفاع در یک لایه هوا کره را بکشید؟

## هوا، مجموعی ارزشمند

همگی تجربه کرده‌ایم که گاهی مغز گردو، بادام و حتی آفتابگردان و... بو و مزه کهنگی می‌دهد که دلیل این ویژگی، ماندن آنها در هوای آزاد به مدت طولانی است. امروزه در صنعت با بسته بندی مناسب، می‌توان زمان ماندگاری مواد غذایی را افزایش داد.

## ▲ کاربرد های گاز نیتروژن

۱) در بسته بندی برخی مواد خوراکی از گاز $N_2$ استفاده می شود تا زمان ماندگاری مواد غذایی را افزایش دهند ← چون نیتروژن واکنش پذیری بسیار کمی دارد بنابراین استفاده از آن در بسته بندی های مواد غذایی سرعت فاسد شدن مواد غذایی را به حداقل می رساند

۲) برای پر کردن تایر خودرو از گاز $N_2$ استفاده می شود ← چون حجم مولکول نیتروژن از اکسیژن بیشتر است و اگر لاستیک با باد نیتروژن پر شود (به جای اکسیژن) در طول زمان افت فشار کمتری پیدا می کند. هم چنین باد $N_2$ برخلاف $O_2$ از زنگ زدگی اجزای تایر مثل رینگ جلوگیری می کند. گاز نیتروژن دمای تایر در حال حرکت را کاهش می دهد.

۳) در صنعت سرمایشی برای انجماد مواد غذایی از گاز $N_2$ استفاده می شود. به دلیل اینکه نقطه جوش نیتروژن بسیار پایین است ($-196^{\circ}C$) در نتیجه نیتروژن مایع دمای بسیار پایینی دارد. در دمای پایین هم باکتری هایی که باعث فساد می شوند، غیر فعال شده و رشد آنها متوقف می شود.

۴) برای نگهداری نمونه های بیولوژیکی در پزشکی استفاده می شود. چون نیتروژن مایع بسیار سرد است به عنوان یک سرمازا در کاربردهای پزشکی در نظر گرفته می شود تا از ورود موجودات ریز مانند باکتری به داخل نمونه های پزشکی جلوگیری کند.

## ▲ برهم کنش هوازه با زیست کره :

زندگی جانداران گوناگون در زیست کره با هوازه خورده است. گیاهان با بهره گیری از نور خورشید و مصرف کربن دی اکسید هوازه، اکسیژن مورد نیاز جانداران را تولید می کنند. جانداران در زمینی، گاز نیتروژن هوازه را برای مصرف گیاهان در خاک تثبیت می کنند.

## ▲ در همه مخلوط گازهای تشکیل دهنده تروپوسفر:

نیتروژن ($N_2$)، اکسیژن ($O_2$) و کربن دی اکسید ($CO_2$) از جمله گازهای هوازه هستند که در زندگی روزانه نقش حیاتی دارند.

حدود ۷۵٪ از جرم هوازه در لایه ای که ما در آن زندگی می کنیم (تروپوسفر) قرار دارد. پس از تروپوسفر هوازه رقیق و رقیق تر

می‌شود. در جدول زیر، درصد حجمی گازهای تشکیل دهنده هوای خشک و پاک در لایه ترو پوسفر، نشان داده شده است. بخش عمده هوا که به ترتیب گازهای $N_2$، $O_2$ تشکیل می‌دهند و گاز Ar در میان اجزای هوا که رتبه سوم را دارد؛ بنابراین می‌توان هوا را منبع غنی برای تهیه این گازها ($Ar$، $O_2$، $N_2$) دانست.

در صنعت این سه گاز را از تقطیر جزء به جز هوای مایع تهیه می‌کنند که در آینده درباره تقطیر جزء به جز شیمی صحبت خواهیم کرد.

| نام گاز | درصد گاز در هوا |
|---|---|
| نیتروژن ($N_2$) | ۷۸/۰۷۹ |
| اکسیژن ($O_2$) | ۲۰/۹۵۲ |
| آرگون ($Ar$) | ۰/۹۳۸ |
| کربن دی اکسید ($CO_2$) | ۰/۰۳۸۵ |
| نئون ($Ne$) | ۰/۰۰۱۸ |
| هلیم ($He$) | ۰/۰۰۰۵ |
| کریپتون ($Kr$) | ۰/۰۰۰۱ |
| زنون ($Xe$) | ناچیز |

با توجه به جدول:

- از ۷ نوع گاز تشکیل دهنده هوا که ۶ مورد عنصری باشد و یک مورد ترکیب $CO_2$ است.
- ۴ مورد از ۷ مورد گاز نجیب هستند.
- رتبه بندی مقدار گازها در هوا که:

$$N_2 > O_2 > Ar > CO_2 > Ne > He > Kr > Xe$$

**توجه:** قبلاً گفتیم که در ترو پوسفر بخار آب ($H_2O$) هم وجود دارد ولی در این جدول چون هوای خشک را در نظر گرفته، رطوبت هوا ($H_2O$) را در نظر نگرفته است. توجه کنید که رطوبت هوا متغیر بوده و میانگین بخار آب در هوا، حدود یک درصد است. هرچند این مقدار از جایی به جای دیگر، از روزی به روز دیگر و حتی از ساعتی به ساعت دیگر تغییر می‌کند.

**نکته:** بررسی‌های دانشمندان در مورد هوای به دام افتاده در بلورهای یخی در یخچال‌های قطبی و نیز گنبدهای آتشفشانی نشان می‌دهد که از ۲۰۰ میلیون سال پیش تاکنون، نسبت گازهای سازنده هوا که تقریباً ثابت مانده است.

**به دست آوردن درصد حجمی در یک نمونه گازی:**

همانطور که در جدول بالا مشاهده کردیم، هوا مخلوطی از گازهای مختلف است و اگر نمونه‌ای از مخلوط گازهای هوا را

بردارهم و بخواهیم درصد حجمی گاز A را در مخلوط آن به دست آوریم از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{درصد حجمی گاز A} = \frac{\text{حجم گاز A}}{\text{حجم مخلوط گازی}} \times 100$$

**نکته:** در صورت و مخرج رابطه روی‌هم باید از یک نوع واحد حجم استفاده کنیم برای مثال یا هردو لیتر باشد یا میلی لیتر و ...

**مثال**

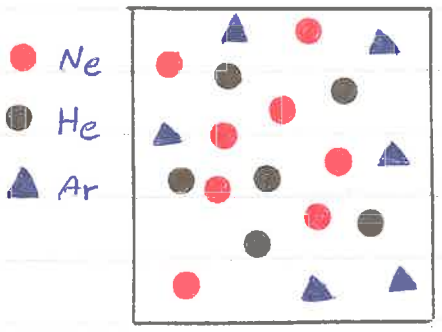
اگر درصد حجمی گاز Ar در هوا کره ۰٫۹۳٪ باشد در یک نمونه ۵۰ لیتری از هوا چند میلی لیتر Ar وجود دارد؟

$$\text{درصد حجمی Ar} = \frac{\text{حجم Ar}}{\text{حجم مخلوط گازی}} \times 100 \Rightarrow 0{,}93 = \frac{V_{Ar}}{5.0\,L} \times 100$$

$$\Rightarrow V_{Ar} = \frac{0{,}93}{2} = 0{,}465\,L = 465\,mL$$

**تمرین**

در دما و فشار ثابت، نسبت حجمی یا نسبت مولی آنها برابر است. با توجه به شکل زیر درصد حجمی گاز Ne درون ظرف را به دست آورید؟ (هر گلوله نشان دهنده ۰٫۱ مول است)




**فرایند تقطیر**

تقطیر یک فرایند فیزیکی است که برای جدا سازی مواد از یکدیگر به کار می‌رود. تقطیر انواع مختلفی دارد: ۱) تقطیر ساده ۲) جزء به جزء

**یادآوری:** تقطیر ساده برای جدا سازی یک جامد محلول در مایع (جدا سازی نمک از آب دریا) و یا دو یا چند مایع که اختلاف نقطه جوش آنها زیاد است (مثل آب و اتانول) استفاده می‌شود. در این روش مخلوط را گرم می‌کنند و مایعی که نقطه جوش پایین‌تری دارد، بخار شده و از مخلوط جدا می‌شود. در مرحله بعد مولکول‌های ماده بخار شده از یک لوله سرد عبور داده می‌شوند تا بخار به مایع تبدیل شود (میعان) و از مخلوط جدا شود.

تقطیر جزء به جزء: این نوع تقطیر در مواقعی به کار می‌رود که اجزای مخلوطی که می‌خواهیم از هم جدا کنیم، نقطه جوش

نزدیک به هم داشته باشند (مانند گازهای موجود در هوا که)

! توجه: شما در کتاب یازدهم خواهید خواند که اجزای نفت خام هم نقاط جوش نزدیک به هم دارند و برای جداسازی اجزای نفت خام هم از روش تقطیر جزء به جز استفاده می‌شود.

وجه تمایز تقطیر جزء به جز با تقطیر ساده، وجود ستون تقطیر است که کمک می‌کند اجزای مخلوط به صورت خالص از هم جدا شوند. در این روش ابتدا مخلوط را گرم می‌کنند و مایعی که نقطه جوش کمتری دارد ابتدا از مخلوط خارج می‌شود و در ستون تقطیر سرد شده و به صورت خالص جدا می‌شود. به همین ترتیب هرچه دما بالا می‌رود مایعات با دمای جوش بالاتر به ترتیب از مخلوط خارج شده، بخار آنها در برج تقطیر سرد می‌شود و به صورت مایع خالص جدا می‌شوند.

صرفا جهت اطلاع:
انبیق وسیله ساده‌ای است که جابرین حیان به منظور تقطیر مواد ابداع کرده این ظرف برای گرم کردن مخلوط‌ها و جمع‌آوری و هدایت بخارهای حاصل به کار می‌رفت.

▲ تقطیر جزء به جز هوای مایع:

گفتیم که هوا مخلوطی از چند گاز است برای جدا سازی اجزای سازنده هوا:

۱) نخست هوا را از صافی‌هایی عبور می‌دهند تا گرد و غبار آن گرفته شود

۲) در مرحله بعد با افزایش فشار و کاهش دما تا ۲۰۰- مخلوط بسیار سردی از چند مایع ($N_2$ ، $O_2$ ، Ar) به نام هوای مایع به دست می‌آید.

۳) در مرحله آخر با عبور هوای مایع از یک ستون تقطیر، گازهای سازنده هوای مایع به ترتیب نقطه جوش خود تبخیر شده، در ستون تقطیر سرد شده (منعقد) و به طور جداگانه جمع‌آوری می‌شوند.

! توجه: $CO_2$ ، $H_2O$ که جزء اجزای سازنده هوا هستند طی فرایند سردسازی (کاهش دما همراه افزایش فشار) قبل از

رسیدن به دمای $-200^{\circ}C$ به صورت یخ از محلول‌ها جدا می‌شوند. در دمای $0^{\circ}C$ (نقطه انجماد آب) رطوبت موجود در هوا ($H_2O$) به صورت یخ از محلول‌ها جدا می‌شود و در دمای $-78^{\circ}C$ (نقطه انجماد $CO_2$)، $CO_2$ به صورت یخ که به آن یخ خشک می‌گویند از محلول‌ها جدا می‌شود.

**صد خاجعت اطلاع:** هنگام رخنه هوای مایع درون یک بالن، محلول‌ها شروع به جوشیدن می‌کنند و یخ می‌شود.

**مثال**

با توجه به جدول زیر به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید:

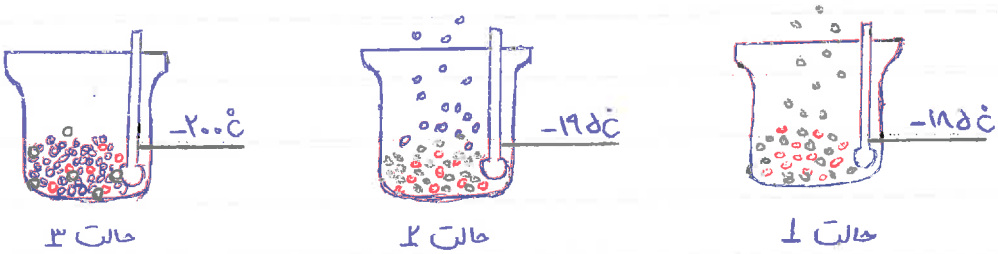
| گاز | نقطه جوش (°C) |
|---|---|
| نیتروژن | -۱۹۶ |
| اکسیژن | -۱۸۳ |
| آرگون | -۱۸۶ |
| هلیم | -۲۶۹ |

**الف)** نمونه‌ای از هوای مایع با دمای $-200^{\circ}C$ تهیه کرده‌ایم، اگر این نمونه را وارد برج تقطیر کنیم ترتیب جدا شدن گازها را مشخص کنید.

**پاسخ:** با توجه به اینکه هوای مایع دمای $-200^{\circ}C$ دارد در این دما همچنان هلیم به صورت گاز است، پس هوای مایع عاری از هلیم می‌باشد. از طرفی می‌دانیم هر چه نقطه جوش ماده‌ای پایین‌تر باشد، زودتر به جوش می‌آید و از محلول‌ها هوای مایع جدا می‌شود

$\Rightarrow$ ترتیب جدا شدن گازها: ۱) $N_2$ ۲) $Ar$ ۳) $O_2$

**ب)** دانش‌آموزی جدا شدن برخی گازها از هوای مایع مطابق شکل صدا می‌کرده است مشخص کنید هر گوی رنگی نشان‌دهنده کدام گاز است چرا؟




**پاسخ:** با توجه به اینکه دمای محلول‌ها در حالت (۱) $-200^{\circ}C$ است، هیچ‌کدام از سه گاز نیتروژن، اکسیژن و آرگون بخار نمی‌شوند و به صورت محلول مایع در ظرف باقی می‌مانند و این به این معنی است که نقطه جوش هر سه گاز بالاتر از $-200^{\circ}C$ است.

در حالت (۲) دما از این بالاتر و به $-195^{\circ}C$ رسانده‌ایم و گوی‌های آبی شروع به بخار شدن می‌کنند پس نقطه جوش این

گوی ها پائین تر از $-195^{\circ}C$ است. از آنجا که گاز نیتروژن دمای جوش $-196^{\circ}C$ دارد پس در نتیجه گوهای $N_2$ به همان نیتروژن است.

در حالت (۳) دما به $-185^{\circ}C$ رسیده و گوی های سفید شروع به خارج شدن از مخلوط هوای مایع می کنند بنابراین گوی های سفید نقطه جوش بالاتر از $-196^{\circ}C$ و پائین تر از $-185^{\circ}C$ است. در نتیجه گوی های سفید همان $Ar_2$ می باشد که نقطه جوش $-186^{\circ}C$ دارد.

با توجه به این نتایج می شود نتیجه گرفت که گوی های قرمز همان اکسیژن می باشد که دارای نقطه جوش $-183^{\circ}C$ می باشد که با وجود دمای $-185^{\circ}C$ همچنان به حالت مایع می باشد و اگر دما را ۲ یا ۳ درجه سلسیوس افزایش دهیم، اکسیژن هم از مخلوط جدا خواهد شد.

پ) در دمای $-80^{\circ}C$ اجزای سازنده هوای مایع به کدام شکل وجود دارند؟ چرا؟

پاسخ: دمای $-80^{\circ}C$ نسبت به دمای جوش این مخلوط هوای مایع بسیار بالاتر است، بنابراین در این دما همه مواد به حالت گاز درمی آیند و شاهد یک مخلوط گازی هستیم.

ت) توضیح دهید چرا تهیه اکسیژن صددرصد خالص در این فرایند دشوار است؟

پاسخ: نقطه جوش اجزای هوای مایع بسیار به هم نزدیک است. مثلا دمای جوش گازهای اکسیژن و آرگون فقط $3^{\circ}C$ با هم تفاوت دارند به همین دلیل تهیه یکی از این گازها به صورت خالص و بدون حضور سایر مواد دشوار است.

نکته: مقدار گازهای نجیب مانند هلیم، $Ar_2$، کریپتون و زنون در هوا که بسیار کم است. از این رو به گازها نمایاب نیز معروف اند.

▲ گاز آرگون ($_{18}Ar_2$) و کاربردهای آن:

۱) گازی بی رنگ، بی بو و غیر سمی که در تناوب سوم و گروه ۱۸ جدول تناوبی قرار دارد.

۲) مانند همه گازهای نجیب در طبیعت به صورت مولکول تک اتمی ($Ar$) یافت می شود.

۳) گاز $Ar_2$ پس از نیتروژن و اکسیژن، بیشترین درصد حجمی هوا که را در اختیار دارد (رتبه سوم).

۴) واژه آرگون به معنای تنبل است زیرا واکنش پذیری ناچیزی دارد و یکی از دلایلی که از این گاز در لامپ های رشته ای استفاده

نمین واکنش ناپذیری این گاز است.

۵) از گاز آرگون ($Ar$) به عنوان محیطی بی اثر در جوشکاری و ریختن ظرف‌ها استفاده می‌شود زیرا این گاز مانع از ترکیب اکسیژن با فلز در هنگام جوشکاری می‌شود و این استفاده از گاز آرگون باعث استحکام بیشتر و انتقال طول عمر فلز جوشکاری شده می‌شود.

۶) این گاز در تبدیل شیر مایع از تقطیر جزیره جز هوای مایع با خلوص بسیار زیاد تهیه می‌شود.

▲ گاز هلیم ($_2He$) و کاربردهای آن:

۱) هلیم گازی بی رنگ، بی بو و سبک ترین گاز نجیب که در گروه ۱۸ و دوره اول جدول تناوبی قرار دارد.

۲) کاربردهای گاز $_2He$ ⇐ الف) پر کردن بالن های هواشناسی، تفریحی، تبلیغاتی (دلیل بالا رفتن بالون هلیمی سبک بودن $_2He$ است.

ب) پر کردن کپسول غواصی ج) جوشکاری د) مهم ترین کاربرد ⇐ خنک کردن مقاومت الکترومغناطیس در دستگاه های تصویر برداری مانند MRI (به خاطر نقطه جوش پایین $_2He$ که برابر ۲۶۹- است)

۳) هلیم در پوسته زمین به مقدار خیلی کم یافت می‌شود؛ به طوری که مقدار ناچیزی از آن در هوا و مقدار بیشتری در لایه های زیرین پوسته زمین وجود دارد؛ از این رو منابع زمینی آن از هوا کره سرشارتر و برای تولید هلیم در مقیاس صنعتی مناسب ترند. هلیم از واکنش های هسته ای در لایه های زمین تولید می‌شود. این گاز پس از نفوذ به لایه های زمین، وارد میدان های گازی می‌شود. حدود ۷ درصد حجمی از مخلوط گاز طبیعی را هلیم تشکیل می دهد. (البته مقدار هلیم در میدان های گازی گوناگون متفاوت است!)

۴) با توجه به نقطه های جوش کم که گاز هلیم را از الف) تقطیر جزیره به جز هوای مایع و ب) تقطیر جزیره به جز گاز طبیعی می‌توان به دست آورد. ولی از آنجا که مقدار گاز هلیم در هوا خیلی کم است (در حدود ۰/۰۰۰۵٪) در نتیجه جداسازی گاز هلیم از گاز طبیعی مقرون به صرفه تر است. متاسفانه جداسازی هلیم از گاز طبیعی به دانش و فناوری پیشرفته ای نیاز دارد و دانشمندان کشورمان تاکنون موفق به جداسازی و تهیه آن نشده اند و ما همچنان هلیم را از کشورهای دیگر وارد می‌کنیم با سوزاندن گاز طبیعی به

دلیل نداشتن دانش کافی برای جداسازی هلیم از گاز طبیعی، به همراه سایر فرآورده‌های سوخت، بدون مصرف وارد هوا کره می‌شود.

صرفا جهت اطلاع:
در کپسول غواصی از به جای مخلوط هلیم و اکسیژن از هوای معمولی استفاده شود. چون هوای معمولی ۸۰٪ نیتروژن و ۲۰٪ اکسیژن دارد این مخلوط باعث می‌شود در فشار اعماق دریا میزان نیتروژن که در خون غواص حل می‌شود بیش از حد مجاز شود و وقتی غواص به سطح آب می‌آید نیتروژن حل شده در خون به صورت حباب درمی‌آید و باعث «بند» می‌شود. بند بسیار دردناک است و حتی می‌تواند منجر به مرگ شود. هلیم به سادگی در خون حل نمی‌شود و منجر به بند نمی‌شود.

صرفا جهت اطلاع:
مجموع ذخایر هلیم در جهان ۴۰ میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود. بیشترین ذخایر در امریکا، الجزایر، روسیه، ایران و قطر است. سالانه حدود ۱۷۵ میلیون متر مکعب هلیم در جهان تولید می‌شود. ایران پس از روسیه دومین ذخایر گاز طبیعی جهان را دارد. از امید که ما جز کشورهایی است از ذخیره هلیم زیادی برخوردار است.

## ۲. اکسیژن، گازی واکنش پذیر در هوا کره:

اکسیژن یکی از مهم‌ترین گازهای تشکیل دهنده هوا کره است که پس از نیتروژن، فراوان‌ترین گاز موجود در هوا کره است. زندگی روی زمین، به وجود گاز اکسیژن گره خورده است. اکسیژن در آب کره در ساختار مولکول‌های آب، درشت کره به صورت ترکیب شده با عنصرهای دیگر و در هوا کره به طور عمده به شکل مولکول‌های دو اتمی ($O_2$) وجود دارد. هر چند مقدار این گاز در لایه‌های گوناگون هوا کره با هم تفاوت دارد. اکسیژن در ساختار همه مولکول‌های زیستی مانند کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها نیز یافت می‌شود.

نکته: با توجه به جدول زیر می‌توان نتیجه گرفت که:

با افزایش ارتفاع، فشار (و غلظت) گاز اکسیژن پیوسته کاهش می یابد. البته در جدول زیر هم نمود با توجه به اطلاعات قبلی هم می توانستیم به این نتیجه برسیم زیرا یاد گرفتیم که: «هر چه از سطح زمین بالاتر برویم هوا کره رقیق تر می شود و غلظت همه ذرات موجود در هوا کره کاهش می یابد.»

**! توجه:** البته با وجود اینکه با افزایش ارتفاع، غلظت یا فشار گاز $O_2$ و بقیه گازها، کاهش می یابد اما درصد حجمی گاز $O_2$ و بقیه گازها همیشه ثابت است.

| ارتفاع از سطح زمین (km) | ۰ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۱/۸ | ۲/۴ | ۳ | ۳/۶ | ۴/۲ | ۴/۸ | ۶ | ۶/۷ | ۷/۳ | ۷/۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فشار گاز اکسیژن ($\times 10^{-2}$ atm) | ۲۰/۹ | ۲۰/۱ | ۱۹/۴ | ۱۶/۶ | ۱۵/۴ | ۱۴/۳ | ۱۳/۲ | ۱۲/۳ | ۱۱/۴ | ۹/۷ | ۹ | ۸/۴ | ۷/۶ |

**نکته:** کوهنوردان به هنگام صعود به ارتفاعات با خود کپسول اکسیژن حمل می کنند زیرا در ارتفاعات به دلیل رقیق بودن هوا، فشار و غلظت اکسیژن کاهش می یابد. در هواپیما هم اتاقک از گاز اکسیژن وجود دارد، زیرا در اینجا هم با افزایش ارتفاع فشار هوا کم شده و کاهش اکسیژن را به دنبال دارد و برای اینکه کمبود اکسیژن ناشی از کمبود ارتفاع نشود از این اتاقک اکسیژن استفاده می شود.

اکسیژن عنصری واکنش پذیر است و با اغلب عنصرها و مواد واکنش می دهد؛ از این رو بخش قابل توجهی از واکنش های شیمیایی که روزانه پیرامون ما رخ می دهد، به دلیل وجود گاز اکسیژن در هوا است؛ برای مثال فساد مواد غذایی، پوسیدن چوب، فرسایش سنگ و خاک، زنگ زدن وسایل آهنی و سوختن سوخت ها و ... از جمله این واکنش ها است.

آزاد سازی انرژی شیمیایی ذخیره شده در مواد غذایی مانند چربی ها و قندها در سوخت و ساز یاخته ای (تنفس سلولی) به کمک اکسیژن انجام می شود، تا به این ترتیب انرژی لازم برای فعالیت های بدن فراهم شود.

▲ واکنش سوختن

انرژی + آب + کربن دی اکسید ← اکسیژن + چربی یا قندها

به واکنش شیمیایی سریع مواد با اکسیژن که طی آن بخشی از انرژی شیمیایی آنها به صورت گرما و نور آزاد می شود، واکنش سوختن

گفته می‌شود؛ برای مثال زغال سنگ در حضور اکسیژن می‌سوزد و افزون بر تولید گازهای $CO_2$ و $SO_2$ و بخار آب مقدار زیادی انرژی آزاد می‌کند (زغال سنگ حاوی ترکیبات متنوعی مانند کربن، گوگرد و برخی هیدروکربن‌ها و ... است.)

زغال سنگ + اکسیژن ⟶ بخار آب + گوگرد دی اکسید + کربن دی اکسید + نور و گرما

علاوه بر واکنش بالا در موتور خودروها هم سوخت (بنزین و گازوئیل) می‌سوزد و انرژی لازم برای حرکت خودرو فراهم می‌شود در اجاق گاز و بخاری و موتورخانه‌های آپارتمان‌ها هم گاز سوختی می‌سوزد. مهم‌ترین واکنش‌ها سوختن عبارت‌اند از:

**الف)** سوختن ترکیب‌های آلی:

در اثر سوختن این ترکیب‌ها مخصوصاً هیدروکربن‌ها، اغلب گاز کربن دی اکسید ($CO_2$) و بخار آب ($H_2O$) گرما و نور آزاد می‌شود مانند سوختن متان (گاز سوختی) و سوختن پروپان (گاز پیک‌نیک)

سوختن متان ⟸ $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) + Q$

سوختن پروپان ⟸ $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + Q$

**نکته:** در واکنش سوختن چربی در چراغ پیه سوز، انرژی شیمیایی به انرژی نورانی و گرمایی تبدیل می‌شود.

**ب)** سوختن فلزهای گروه ۱ و ۲ و برخی فلزهای بلوک d:

سوختن سدیم: $4Na(s) + O_2(g) \rightarrow 2Na_2O(s) +$ گرما و نور

سوختن منیزیم: $2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s) +$ گرما و نور

سوختن گرد آهن: $4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) +$ گرما و نور

**توجه!** حال چرا برای آهن نوشتیم آهن و نوشتیم گرد آهن؟! به این دلیل که همانطور که در حاشیه صفحه ۵۵ کتاب درسی اشاره کرده، اغلب فلزها مانند آهن در شرایط مناسب با گاز اکسیژن می‌سوزند منظور از شرایط مناسب این است که آهن

به صورت گرد $Fe$ باشد و غلظت $O_2$ خیلی زیاد باشد تا $Fe$ بتواند سطح مماس مناسب با مولکول های $O_2$ داشته باشد.

در غیر این صورت واکنش $Fe$ با $O_2$ از نوع اکسایش خواهد بود و نه سوختن (در آینده در مورد اکسایش بیشتر خواهیم گفت!)

**توجه!** منیزیم در شرایط مناسب با شعله سفید رنگی می سوزد. این عنصر علاوه بر سوختن می تواند اکسید هم بشود (اکسایش) که با تولید شعله همراه نیست. خلز $Fe$ رنگ شعله را نارنجی، منیزیم سفید رنگ، خلز سدیم زرد رنگ می کند.

**پ)** سوختن برخی نافلزها (کربن، هیدروژن، گوگرد و ...)

سوختن کربن: $C_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)}$

سوختن گوگرد: $S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$ سوختن هیدروژن: $2H_{2\,(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$

▲ **انواع سوختن**

فراورده های سوختن در واکنش سوختن به مقدار $O_2$ در دسترس بستگی دارد و به دو صورت سوختن کامل و سوختن ناقص تقسیم می شود.

* **سوختن کامل:** اگر در هنگام سوختن $O_2$ به مقدار کافی وجود داشته باشد، سوختن کامل است و گاز کربن دی اکسید ($CO_2$) و بخار آب ($H_2O$) تولید می شود. برای مثال در سوختن متان (گاز شهری) اگر $O_2$ کافی وجود داشته باشد و سوختن کامل انجام شود گاز کربن دی اکسید ($CO_2$) و بخار آب ($H_2O$) تولید می شود و رنگ آبی شعله‌ی آن هنگام سوختن نشان از وجود $O_2$ کافی و سوختن کامل است.

سوختن کامل متان: $CH_{4\,(g)} + 2O_{2\,(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + 2H_2O_{(g)} + Q$

* **سوختن ناقص:** اگر در هنگام سوختن، مقدار $O_2$ کم باشد، سوختن ناقص است و گاز کربن منواکسید به همراه دیگر فراورده ها (مثل بخار آب) تولید خواهد شد. برای مثال در سوختن متان، اگر $O_2$ کافی وجود نداشته باشد، سوختن ناقص انجام گرفته و گاز کربن منواکسید ($CO$) و بخار آب ($H_2O$) تولید می شود و رنگ شعله آن هنگام سوختن، نشان از عدم وجود $O_2$ کافی و سوختن ناقص است.

سوختن ناقص متان: $2CH_{4\,(g)} + 3O_{2\,(g)} \rightarrow 2CO_{(g)} + 4H_2O_{(g)} + Q$

صرفا جهت اطلاع: اگر در هنگام سوختن اکسیژن در حجم‌ها بسیار کم باشد به آن سوختن خیلی ناقص می‌گویند که در این نوع سوختن، دوده (کربن) نیز به عنوان یک محصول، در حین سوختن تولید می‌شود.

**نکته:** به هنگام سوختن متان یا بنزین، همزمان سوختن کامل و ناقص با درصدهای متفاوت اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال ۹۰٪ بنزین کامل و ۱۰٪ آن ناقص می‌سوزد؛ در نتیجه از گازوز خودرو همزمان $CO_2$، $CO$ و بخار آب خارج می‌شود.

▲ گاز کربن منوکسید ($CO$) و ویژگی‌های آن:

گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بسیار سمی است که از سوختن ناقص سوخت‌ها تولید می‌شود.

چگالی گاز $CO$ از هوا کمتر است (به عبارتی سبک‌تر از هواست) و قابلیت انتشار آن در حجم‌ها بسیار زیاد است؛ به همین دلیل به سرعت در همه فضای اتاق پخش می‌شود.

کربن منوکسید ($CO$) از کربن دی‌اکسید ($CO_2$) ناپایدارتر است به طوری که $CO$ تولید شده در سوختن ناقص در حضور اکسیژن و در شرایط مناسب دوباره می‌سوزد و به $CO_2$ تبدیل می‌شود.

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)}$$

از آنجا که ترکیب هموگلوبین خون با این گاز بسیار زیاد است و بیش از ۲۰۰ برابر اکسیژن است مولکول‌های آن پس از اتصال به هموگلبین از رسیدن اکسیژن به بافت‌های بدن جلوگیری می‌کند و این ویژگی باعث مسمومیت می‌شود و سامانه عصبی را فلج و قدرت هدایت تنفسی را از فرد مسموم گرفته می‌شود و در نهایت منجر به مرگ فرد می‌شود (استنشاق گاز $CO$ ← مسمومیت ← فلج سامانه عصبی ← مرگ)

امروزه در برخی خانه‌ها از دستگاهی به نام «دستگاه حسگر کربن منوکسید» برای اعلام نشت گاز $CO$ استفاده می‌شود

این دستگاه سنسوری دارد که اگر گاز $CO$ را تشخیص دهد با دادن دو سیگنال هشدار، افراد را از وجود گاز $CO$ آگاه می‌سازد.

## واکنش‌های شیمیایی و قانون پایستگی جرم

شما در دوران راهنمایی انواع تغییرها را که شامل تغییر فیزیکی و شیمیایی بود را یاد گرفتید.

**تغییر فیزیکی:** به تغییری گفته می‌شود که در آن تنها حالت ظاهری و فیزیکی ماده تغییر می‌کند و به عبارتی ماده‌ای به ماده دیگر تبدیل نمی‌شود. مانند تغییر حالت‌های آب (ذوب، انجماد، تبخیر، تقطیر)

**تغییر شیمیایی:** تغییری است که در آن ساختار و ماهیت مواد تغییر می‌کند و از یک یا چند ماده، شیمیایی، ماده یا مواد تازه‌ای تولید می‌شود. مانند سوختن مواد، فساد مواد غذایی، زنگ زدن آهن و ...

**توجه:** هنگامی که به شکر گرما داده می‌شود، دچار تغییر شیمیایی می‌شود و رنگ آن تغییر می‌کند.

**نکته:** نشانه‌های وقوع یک واکنش شیمیایی عبارتند از: ۱) تغییر رنگ ۲) تغییر مزه ۳) بو یا آزاد شدن گاز ۴) تشکیل رسوب ۵) ایجاد نور و صدا. در اغلب واکنش‌های شیمیایی یک یا چند مورد از تغییرات بالا مشاهده می‌شود؛ ولی واکنش‌های شیمیایی وجود دارند که نشانه ظاهری خاصی ندارند و یا واکنش‌های فیزیکی وجود دارند که در آنها گاز یا رسوب یا گرما تولید می‌شود.

هر تغییر شیمیایی می‌تواند شامل یک یا چند واکنش شیمیایی باشد که هریک از آنها را با یک معادله نشان می‌دهند. در این معادله واکنش دهنده‌ها در سمت چپ و فرآورده‌ها در سمت راست نوشته می‌شوند.

معادله یک واکنش شیمیایی را به دو صورت می‌توان نمایش داد:

۱) **معادله نوشتاری:** در این نوع معادله که خیلی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد تنها نام واکنش دهنده‌ها در سمت چپ و نام فرآورده‌ها در سمت راست یک پیکان (→) نوشته می‌شود و اطلاعات بیشتری در اختیار ما قرار نمی‌دهد. برای مثال واکنش سوختن کربن با معادله نوشتاری به صورت زیر به نمایش در می‌آید.

کربن + اکسیژن → کربن دی اکسید

! توجه: معادله نوشتاری حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فراورده ها را مشخص نمی کند.

۲) معادله نمادی: معادله‌ای است که واکنش دهنده ها و فراورده ها را با نمادها و فرمول های شیمیایی نمایش می دهند و حالت فیزیکی و اطلاعاتی درباره شرایط واکنش نیز ارائه می شود برای مثال معادله نمادی سوختن کربن به صورت زیر است:

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

اطلاعات موجود در یک معادله نمادی عبارتند از:

الف) فرمول شیمیایی و نماد واکنش دهنده ها و فراورده ها ب) حالت فیزیکی مواد ← جامد (s)، مایع (l)، گاز (g)، محلول در آب (aq) ج) شرایط مختصر انجام واکنش: شرایطی مانند دما، فشار، یا کاتالیزگر مورد استفاده را بر روی پیکان (→) نمایش می دهند.

کاتالیزگر: کاتالیزگر ماده‌ای است که موجب افزایش سرعت واکنش می شود و در پایان واکنش بدون تغییر می ماند.

برای مثال واکنش زیر در حضور کاتالیزگر پلاتین انجام می شود

$$2H_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt} 2H_2O(l)$$

برخی از نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی به قرار زیر می باشند:

| نماد | معنا |
|---|---|
| → | می دهد یا تولید می کند. |
| ⇌ | واکنش برگشت پذیر است. |
| $\xrightarrow{\Delta}$ | واکنش دهنده ها برای گرم شدن واکنش می دهند. |
| $\xrightarrow{20\,atm}$ | واکنش در فشار ۲۰ اتمسفر انجام می شود. |
| $\xrightarrow{Pt}$ | برای انجام شدن واکنش از فلز پلاتین به عنوان کاتالیزگر استفاده می شود |
| $\xrightarrow{1000^\circ C}$ | واکنش در دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس انجام می شود. |

! توجه: اگر محلول غیر آبی باشد عینی ماده حل شونده به جای آب در حلال دیگری حل شود، دیگر از نماد aq استفاده نخواهد شد و به جای آن از نماد sol که مخفف solution می باشد استفاده می شود. ولی در حوزه شیمی دبیرستان اکثرا از محلول های با حلال آب استفاده می شود.

! توجه: نماد $\xrightarrow{\Delta}$ فقط به این معناست که واکنش دهنده ها برای انجام شدن نیاز به گرما دارند (که به آن انرژی

فعالسازی هم می گویند) در بقیه به گرماده یا گرماگیر بودن کل واکنش ندارد.

## ▲ قانون پایستگی جرم

در واکنش های شیمیایی نه اتم (نه مولکول) به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه اتم های موجود در واکنش دهنده ها پس از انجام واکنش، به شیوه های دیگری به هم وصل می شوند و فراورده ها را به وجود می آورند.

یکی از ویژگی های مهم واکنش های شیمیایی این است که همه آنها از قانون پایستگی جرم پیروی می کنند.

**نکته:** در فصل اول در واکنش های هسته ای مشاهده کردیم که مقداری از جرم مواد به انرژی تبدیل می شوند ($E=mc^2$) در نتیجه در واکنش های هسته ای قانون پایستگی جرم صادق نیست و به جای آن از قانون پایستگی جرم و انرژی استفاده می شود.

برای رعایت قانون پایستگی جرم باید واکنش شیمیایی را موازنه کرد (در آینده راجع به موازنه واکنش ها صحبت خواهیم کرد) با توجه به قانون پایستگی جرم در یک معادله موازنه شده:

الف) لزوماً تعداد اتم های هر عنصر در دو سمت معادله موازنه شده، با هم برابر است.

ب) جرم کل مواد موجود در ظرف واکنش برابر است به عبارت دیگر مجموع جرم واکنش دهنده ها با مجموع جرم فراورده ها برابر است.

ج) معادله ای که موازنه است لزوماً تعداد کل اتم های چپ و راست آن برابر است.

د) لزوماً معادله ای که تعداد کل اتم های چپ و راست آن یکسان است، موازنه نیست!

$Fe_2O_3 + 2AL \rightarrow 2Fe + AL_2O_3$ ✓ موازنه است — ۶ اتم — ۷ اتم

$Fe_2O_3 + AL \rightarrow Fe + AL_2O_3$ ✗ موازنه نیست — ۱۶ اتم — ۱۶ اتم

هـ) لزوماً تعداد مولکول ها در دو سمت معادله موازنه شده، برابر نیست.

و) لزوماً تعداد مول در دو سمت معادله موازنه شده، برابر نیست.

$$2Ag_{(s)} + S_{(s)} \rightarrow Ag_2S_{(s)}$$

مثال

با توجه به واکنش زیر و اعداد ترازو، جاهای خالی را پر کنید.

ظرف نقره + گوگرد → نقره سولفید

اعداد ترازو: ۲۱g/۱g ... ۳۲ ... g ۲۴۷/۱g

مثال

میخ آهنی در هوای مرطوب زنگ می‌زند. با توجه به جرم‌هایی که ترازوها نشان می‌دهند، قانون پایستگی جرم را در این واکنش توضیح دهید.

در ظاهر جرم میخ پس از واکنش افزایش یافته است که

میخ آهنی ← میخ زنگ زده

اعداد ترازو: ۲/۲۱g ۲/۲۷g

اگر معادله واکنش اکسایش آهن نوشته شود، جرم افزایش یافته پس از واکنش به دلیل جذب اکسیژن و سهم اکسیژن می‌باشد. (جرم کل مواد موجود در ظرف واکنش ثابت است.)

$$\underline{4Fe_{(s)}} + \underline{3O_{2\,(g)}} \rightarrow \underline{2Fe_2O_{3\,(s)}}$$

اعداد ترازو: ۲/۲۱g ۰/۰۶g ۲/۲۷g

توجه: البته در واکنش بالا، میخ کاملا اکسید نشده و می‌توان با محاسبات استوکیومتری، اعداد دقیق‌تری برای این واکنش نوشت (عملا مقدار ۲/۰۷ گرم آهن واکنش نداده است)

$$\underline{4Fe_{(s)}} + \underline{3O_{2\,(g)}} \rightarrow \underline{2Fe_2O_{3\,(s)}}$$

اعداد ترازو: ۰/۱۴g ۰/۰۶g ۰/۲g

## موازنه کردن در معادله واکنش‌های شیمیایی

همانطور که گفتیم در یک معادله شیمیایی، با توجه به قانون پایستگی جرم، باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو طرف معادله (پیکان →) یکسان باشد که در این صورت به آن معادله موازنه شده می‌گویند. برای موازنه کردن هر معادله شیمیایی، باید به هریک از واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت داد تا تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله برابر شود. موازنه با روش‌های متفاوتی انجام می‌شود مانند: روش حدس، روش جبری و ... آنچه در این بروش‌ها وارسی اقدام به موازنه واکنش‌ها کرده است و متاسفانه جایی خلاصه به مطالب اشاره کرد، و در برخی واکنش‌های پیشرفته احتمال دارد که در موازنه به روش وارسی

به مشکل برخوریم. برای همین موضوع ابتدا روش وارسی را توضیح می دهیم و در آخر روش « وارسی پیشرفته » که در واقع همان روش آ-آی و یلدام هارجادی است را به تفصیل توضیح خواهیم داد که همه واکنش ها را خیلی راحت با این روش می شود موازنه کرد.

## ▲ موازنه به روش وارسی

در این روش اغلب به ترکیبی که دارای بیشترین تعداد اتم است (ترکیب پیچیده) ضریب ۱ می دهند؛ پس با توجه به تعداد اتم های این ترکیب، ضرایبی را به مواد دیگر می دهند تا تعداد اتم های هر عنصر در دو سوی معادله برابر شود. برای مثال می خواهیم واکنش سوختن پروپان ($C_3H_8$) را به روش وارسی موازنه کنیم:

$$1C_3H_8(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$$

برای موازنه به ترکیب پیچیده یعنی $C_3H_8$ ضریب ۱ می دهیم. حال تعداد اتم های C و H در سمت چپ مشخص شده است.

اگر به $H_2O$ ضریب ۴ و به $CO_2$ ضریب ۳ بدهیم، تعداد اتم های C و H در دو طرف برابر می شود.

$$1C_3H_8 + O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

حال تعداد اتم های O در سمت راست مشخص شده اگر به $O_2$ در سمت چپ ضریب ۵ بدهیم تعداد اتم های O در دو طرف برابر ۱۰ خواهد شد و واکنش موازنه شده است.

**نکته:** ① هنگام موازنه کردن معادله شیمیایی، نباید به زیروندها را در فرمول شیمیایی واکنش دهنده ها و فراورده ها تغییر داد.

② هریک از ضریب های معادله موازنه شده باید کوچکترین عدد طبیعی ممکن باشد. یعنی اگر در حین موازنه، ضریب کسری به وجود آمد با ضرب کردن تمام ضرایب معلوم تا به آن جای واکنش در مخرج آن کسر ضریب کسری را از بین می بریم ③ در معادله های شیمیایی موازنه شده نیازی به نوشتن ضریب ۱ نیست.

**مثال** واکنش سوختن هیدروژن را به روش وارسی موازنه کنید.

$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 1H_2O(g)$ پاسخ: برای شروع به ترکیب پیچیده‌ای دارای بیشترین تعداد اتم ضریب ۱ می‌دهیم.

حال تعداد اتم‌های H و O در سمت راست معادله مشخص شده است. اگر به $H_2$ ضریب ۱ و به $O_2$ ضریب $\frac{1}{2}$ بدهیم، تعداد اتم‌های هر دو عنصر در دو سوی معادله برابر می‌شود.

$$1H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 1H_2O(s)$$

در پایان برای از بین بردن ضریب کسری اکسیژن، همه ضریب‌ها (چون همگی معلوم هستند) را در عدد ۲ ضرب می‌کنیم؛ در نتیجه معادله موازنه شده می‌شود:

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O$$

**نکته:** معادله شیمیایی موازنه شده، به دو صورت خوانده می‌شود. برای نمونه در همین واکنش سوختن گاز هیدروژن:

۱) دو مول گاز هیدروژن با یک مول گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مول بخار آب تولید می‌شود. ۲) دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب تولید می‌شود.

**مثال:** معادله سوختن اتانول $[C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O]$ را موازنه کنید.

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

**نکته:** معادله کلی سوختن یک الکل یک عاملی (دارای یک گروه OH)

n: تعداد اتم‌های کربن

$$C_nH_{2n+1}OH + \left(\frac{3n}{2}\right)O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$$

برای مثال هپتیل سوختن اتانول:

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

**مثال:** واکنش تجزیه نیترو گلیسرین $[C_3H_5N_3O_9 \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + O_2]$ را موازنه کنید.

$$4C_3H_5N_3O_9 \rightarrow 12CO_2 + 10H_2O + 6N_2 + O_2$$

**۴ تمرین**

واکنش‌های زیر را به روش وارسی موازنه کنید:

الف) $kBrO_{3(s)} + kBr + HCl \rightarrow Br_2 + H_2O + KCl$

ب) $Ca(OH)_2 + H_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + H_2O$

## موازنه به روش وارسی پیشرفته (روش هارجادی)

این روش در واقع همان روش وارسی کتاب است منتهی با کمی تغییرات در بعضی کارهای که عمل موازنه را تسهیل می کند. این روش از ۴ مرحله تشکیل شده است که هرچ مرحله را روی یک واکنش به طور کامل توضیح داده و اجرا می کنیم.

* **مرحله اول:** [نوشتن معادله واکنش و گذاشتن یک خط چین یا یک مربع پشت هر ماده!]

$$\ldots\ldots C_2H_5OH + \ldots O_2 \rightarrow \ldots CO_2 + \ldots H_2O$$

! **توجه:** گذاشتن خط چین یا مربع الزامی است زیرا تا زمانی که عددی در داخل نقطه چین قرار گرفته، به ما یادآوری می کند که ضریب آن ماده هنوز معلوم نیست. حتی عدد ۱ هم باید در پشت ماده نوشته شود و حذف عدد ۱، در آخر و پس از موازنه کامل واکنش انجام خواهد شد.

* **مرحله دوم:** [شناسایی عنصر شروع کننده موازنه!]

شناسایی عنصر شروع کننده می توان گفت مهم ترین مرحله موازنه کردن می باشد و باید از سه فیلتر رد شود تا به عنوان عنصر موازنه کننده، موازنه را با آن شروع کنیم. این سه فیلتر عبارتند از:

① این عنصر در هر سمت معادله تنها در یک ماده وجود داشته باشد (مثل C و H در واکنش بالا)

② اگر دو یا چند عنصر شرط اول را داشتند، از بین آنها با عنصری آغاز می کنیم که در یک ماده تک عنصری (مثل $O_2$) نباشد (یا هم C و H شرایط دارند)

③ اگر باز هم دو یا چند عنصر شرایط اول و دوم را داشتند، موازنه را با عنصری آغاز می کنیم که در پیچیده ترین ترکیب (ترکیبی که تعداد و نوع اتم های بیشتری داشته باشد) بوده و دارای زیروند (اندیس) بزرگتری باشد (زیروند H از C بیشتر است در نتیجه H می شود عنصر شروع کننده موازنه!)

✔ **نکته مهم:** برای داشتن سرعت عمل بیشتر، ابتدا شرط سوم را اعمال کنید. چون در پیچیده‌ترین ترکیب عناصری که بزرگوند بزرگترین دارند راشناسایی و در بین آنها عنصری که شرایط اول و دوم را هم دارد به عنوان عنصر شروع کننده موازنه برگزینید.

* مرحله سوم: [موازنه کردن عنصر شروع کننده موازنه در دو سمت معادله!]

$$__C_2H_5OH + __O_2 \rightarrow __CO_2 + __H_2O$$

$$_1_C_2H_5OH + __O_2 \rightarrow __CO_2 + _3_H_2O$$

* مرحله چهارم: [موازنه کردن بقیه عنصرها]

پس از موازنه عنصر شروع کننده، موازنه اتم عنصرهایی را انجام می‌دهیم که تعداد آنها در یک سمت معلوم و در سمت دیگر مجهول است.

$$_1_C_2H_5OH + _3_O_2 \rightarrow _2_CO_2 + _3_H_2O$$

مثال: واکنش تجزیه نیتروگلیسرین را به روش سریع، وارسی پیشرفته، موازنه کنید.

$$__C_3H_5N_3O_9 \rightarrow __CO_2 + __H_2O + __N_2 + __O_2$$

پاسخ: مرحله اول: واکنش را نوشته و پیشت هر ماده یک خط چین راگذاشتیم! مرحله دوم: همانطور که گفتیم برای بالا بردن سرعت عمل، در ترکیب پیچیده، عناصری که بزرگوند بزرگتری دارند ($H_2O$) را مشخص کرده و از بین آنها عنصری که دو شرط اول و دوم را هم دارد را به عنوان عنصر موازنه کننده برگزینید (H دو شرط اول و دوم را دارد چون تنها در یک ماده بوده و در ضمن فقط در یک ماده تک عنصری هم نیست!) مرحله سوم: موازنه عنصر شروع کننده در دو سمت معادله:

$$_2_C_3H_5N_3O_9 \rightarrow __CO_2 + _5_H_2O + __N_2 __O_2$$

$$_2_C_3H_5N_3O_9 \rightarrow _6_CO_2 + _5_H_2O + _3_N_2 + _\frac{1}{2}_O_2$$

مرحله چهارم: موازنه بقیه عنصرها: برای از بین بردن ضریب کسری، همه ضرایب معلوم را در مخرج عدد کسری (عدد ۲) ضرب می‌کنیم، تا ضرایب کوچکترین عدد طبیعی ممکن باشد.

$$_4_C_3H_5N_3O_9 \rightarrow _12_CO_2 + _10_H_2O + _6_N_2 + _1_O_2$$

ودر آخر عدد ۱ را حذف می کنیم ← $4C_3H_5N_3O_9 \rightarrow 12CO_2 + 10H_2O + 6N_2 + O_2$

**تمرین**

واکنش های زیر را با روش سریع (روش های جادویی) موازنه کنید:

الف) $Al_2(SO_4)_3 \rightarrow Al_2O_3 + SO_3$

ب) $NH_3 + O_2 \rightarrow NO + H_2O$

ج) $C_6H_{22}O_6 \rightarrow C_2H_5OH + CO_2$

د) $P_2O_5 + H_2O \rightarrow H_3PO_4$

هـ) $MnO_2 + HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + H_2O$

و) $HNO_3 + H_2S \rightarrow NO + S + H_2O$

ز) $S_2F_2 + H_2O \rightarrow S_8 + H_2S_4O_6 + HF$ (المپیاد شیمی ۹۳)

**تست کنکور**

در کدام گزینه، مجموع ضریب های مولی مواد به طور صحیح مشخص شده است؟ (سراسری تجربی ۹۰ - با تغییر اتمک)

۱) $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ ، ۵

۲) $H_2S + O_2 \rightarrow H_2O + SO_2$ ، ۸

۳) $C_3H_5(NO_3)_3 \rightarrow CO_2 + H_2O + O_2 + N_2$ ، ۳۳

۴) $O_2 + HCl \rightarrow Cl_2 + Cl_2 + H_2O$ ، ۱۰

**تست کنکور**

شمار اتم های شرکت کننده در معادله موازنه شده واکنش سوختن اتان ($C_2H_6$) از معادله موازنه شده واکنش آمونیوم با هیدروکلریک اسید ... و در ... واکنش، فراورده گازی تولید ... (سراسری ریاضی ۹۲)

۱) کمتر - یکی از این دو - می شود

۲) بیشتر - هردو - می شود

۳) کمتر - هیچ یک از این دو - نمی شود

۴) بیشتر - یکی از این دو - می شود

(سراسری خارج کشور ۹۳ - با تغییر)

تست کنکور

در کدام واکنش، پس از موازنه کردن معادله آن، مجموع ضریب های استوکیومتری مواد در آن برابر ۱۲ می باشد؟

۱) $Na_3PO_4 + CaCl_2 \rightarrow NaCl + Ca_3(PO_4)_2$

۲) $K_2S + MnBr_2 \rightarrow MnS + KBr$

۳) $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$

۴) $H_2SO_4 + AgNO_3 \rightarrow Ag_2SO_4 + HNO_3$

تست کنکور

در واکنش $a\,HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + bA + 4H_2O$ ، a و b به ترتیب از راست به چپ برابر ... و ... و گاز A ... است. (سراسری ریاضی خارج کشور ۹۳)

۱) ۸، ۳، NO

۲) ۸، ۲، $NO_2$

۳) ۱۰، ۴، NO

۴) ۱۰، ۴، $NO_2$

تست کنکور

در واکنش $CH_{4(g)} + NH_{3(g)} + O_{2(g)} \rightarrow HCN_{(g)} + H_2O_{(g)}$ پس از موازنه، ضریب استوکیومتری چند گونه با بقیه برابر است؟ (خارج کشور تجربی - ۹۶)

۱) ۵ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست کنکور

نسبت شمار مول های آب به شمار مول های $O_2$ در معادله واکنش سوختن:

$PH_{3(g)} + O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{10(s)} + H_2O_{(g)}$ ، پس از موازنه کدام است؟ (سراسری تجربی ۹۷)

۱) $\frac{3}{4}$ ۲) $\frac{3}{5}$ ۳) $\frac{1}{2}$ ۴) $\frac{2}{5}$

تست کنکور

مجموع ضریب های استوکیومتری فراورده ها در معادله واکنش زیر، پس از موازنه کدام است؟ (سراسری ریاضی ۹۷)

$C_2H_5NH_2 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2$

۱) ۲۳ ۲) ۲۴ ۳) ۱۵ ۴) ۱۲

## ترکیب اکسیژن با فلزها و نافلزها

اغلب فلزها در طبیعت، به شکل ترکیب یافت می‌شوند که بخش قابل توجهی از آن‌ها به صورت اکسید ($M_nO_m$) هستند؛ برای مثال، فلز آلومینیوم به صورت ترکیب بوکسیت ($Al_2O_3$ به همراه ناخالصی) و فلز آهن به صورت هماتیت ($Fe_2O_3$ به همراه ناخالصی) در طبیعت وجود دارد.

فلزها کاربردهای بسیار گسترده‌ای در زندگی روزمره دارند. برای استفاده از فلزها، نخست آن‌ها با مصرف انرژی زیاد و طی فرایندهای مولانی از سنگ معدن استخراج می‌کنند؛ سپس آن‌ها را برای تولید مواد، ابزار، وسایل و دستگاه‌های گوناگون به کار می‌برند (فراوری). نکته مهم این است که وقتی این وسایل و دستگاه‌های فلزی در معرض هوا قرار می‌گیرند دچار تغییر شیمیایی شده و دوباره با اکسیژن هوا ترکیب می‌شوند که به آن اکسایش، می‌گویند. به واکنش آرام مواد با اکسیژن که با تولید انرژی همراه است (البته نه به اندازه سوختن) واکنش اکسایش می‌گویند. به طور مثال زنگ زدن آهن، نمونه‌ای از واکنش‌های اکسایش است که در آن، آهن با اکسیژن در هوای مرطوب واکنش می‌دهد.

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \longrightarrow 2Fe_2O_{3(s)}$$

### آهن (III) اکسید یا زنگ آهن

در این واکنش ابتدا Fe در حضور اکسیژن و رطوبت، به FeO ($Fe^{2+}$ یون) تبدیل می‌شود سپس دوباره با اکسیژن موجود واکنش داده و به $Fe_2O_3$ ($Fe^{3+}$ یون) تبدیل می‌شود.

نکته: ان شاءالله در پیش دوازدهم خواهیم خواند که برای زنگ زدن آهن، حضور رطوبت ($H_2O$) در کنار اکسیژن ($O_2$) الزامی است.

به تر شدن و خیس شدن، فرو رفتن فلزها در اثر اکسایش، خوردگی می‌گویند. فرایند زنگ زدن آهن نمونه‌ای از فرایند خوردگی فلزهاست. در فرایند خوردگی آهن، فلز با اکسیژن هوا (در حضور رطوبت) ترکیب شده و زنگ می‌زند و زنگ آهن قهوه‌ای رنگ را تشکیل می‌دهد ($Fe_2O_3$). این زنگار، متخلخل است (نفوذ پذیر و دارای فضاهای خالی کوچک) و سبب می‌شود تا بخار آب و اکسیژن

به لایه های زیرین نفوذ کند و با فرسایش فلز را مورد حمله قرار دهد. این فرایند (اکسایش آهن) تا آنجا پیش می رود که همه

فلز به زنگار تبدیل می شود؛ ماده ای که استحکام و قدرت حالت قبل (آهن) را ندارد و در اثر ضربه خرد می شود و فرو می ریزد.

زنگ زدن وسایل آهنی و فولادی، سالیانه هزینه های هنگفتی را به اقتصاد کشورها تحمیل می کند.

**جهت اطلاع:**

وجود یون های $Fe^{2+}$ در آب و تبدیل آن به یون های $Fe^{3+}$ (اکسایش $Fe^{2+}$)، سبب می شود هنگام چکه کردن شیرهای منزل

پس از مدتی رسوب قهوه ای که همان زنگ آهن است ($Fe_2O_3$) بوجود آید. برای خلاص شدن از این پدیده که چهره زشتی ایجاد

می کند، می توان پنبه آغشته به آبلیمو یا سرکه را چند بار روی آن کشید (چون در سرکه و آبلیمو به دلیل اسیدی بودن، یون

$H^+$ وجود دارد) یون های $Fe^{3+}$ موجود در رسوب زنگ آهن به صورت محلول در آمده و از حالت $Fe_2O_3$ خارج می شود.

▲ تفاوت ها و شباهت های سوختن و اکسایش

مشاهده کردیم که برخی فلزات (مثل آهن) در شرایط مناسب هم می توانند طی فرایند سوختن بسوزند و هم طی فرایند اکسایش

اکسید شوند. حال تفاوت ها و شباهت های سوختن و اکسایش فلزی مانند آهن را بازگو می کنیم.

* شباهت ها: ① در هر دو واکنش گرما آزاد می شود، و در شرایط یکسان در هر دو واکنش، مقدار گرمای آزاد شده برابر است! ولی در

سوختن این گرما خیلی سریع آزاد می شود و در واکنش اکسایش در طول زمان زیاد هوا که گرمای آزاد شده به چشم نمی آید.

② فرآورده حاصل از هر دو واکنش یکسان است (در هر دو واکنش سوختن و اکسایش، $Fe_2O_3$، مهمده ای زنگ تولید می شود)

* تفاوت ها: ① در واکنش سوختن برخلاف واکنش اکسایش، طی سوختن گرد آهن، نور نارنجی رنگ ایجاد می شود.

② واکنش سوختن بسیار سریع تر از واکنش اکسایش است؛ هوا که در فرایند سوختن، گرد آهن با سرعت با اکسیژن واکنش می دهد

در حالیکه طی فرایند اکسایش، فلز آهن به آرامی با اکسیژن واکنش می دهد.

## ▲ واکنش فلزها با اسیدها

اغلب فلزها با اسیدها واکنش می‌دهند و گاز هیدروژن آزاد می‌کنند. با توجه به فعالیت شیمیایی فلزها، سرعت واکنش آن‌ها با اسید متفاوت است. به عنوان مثال اگر به شکل پایین صفحه کتاب درسی توجه فرمایید و مقایسه واکنش ۳ فلز Al، Zn و Fe با محلول اسید و همچنین توجه به میزان رشد گاز $H_2$ تولید شده (حباب‌ها) به نتایج زیر دست خواهیم یافت.

هر چه واکنش‌پذیری فلز بیشتر باشد، سرعت واکنش آن با اسید بیشتر است، در نتیجه در یک بازه زمانی یکسان، گاز $H_2$ بیشتری تولید می‌شود.

$$2Al_{(s)} + 6HCl_{(aq)} \rightarrow 2AlCl_{3(aq)} + 3H_{2(g)}$$

$$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

$$Fe_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow FeCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

Al > Zn > Fe

⇓

سرعت واکنش با اسید

و به راحتی می‌توان فهمید که از بین این سه فلز، واکنش‌پذیری Al از همه بیشتر و واکنش‌پذیری Fe از همه کمتر است.

**صرفاً جهت اطلاع:**

برخی عنصرهای بلوک d مانند آهن که چند نوع کاتیون با بارهای متفاوت تشکیل می‌دهند، در واکنش با اسیدها از قرارگیری مکان خود استفاده می‌کنند برای مثال Fe که دو نوع کاتیون $Fe^{2+}$ و $Fe^{3+}$ تشکیل می‌دهد در واکنش با HCl از قرارگیری $Fe^{2+}$ استفاده می‌کند و $FeCl_2$ به دست می‌آید نه $FeCl_3$!

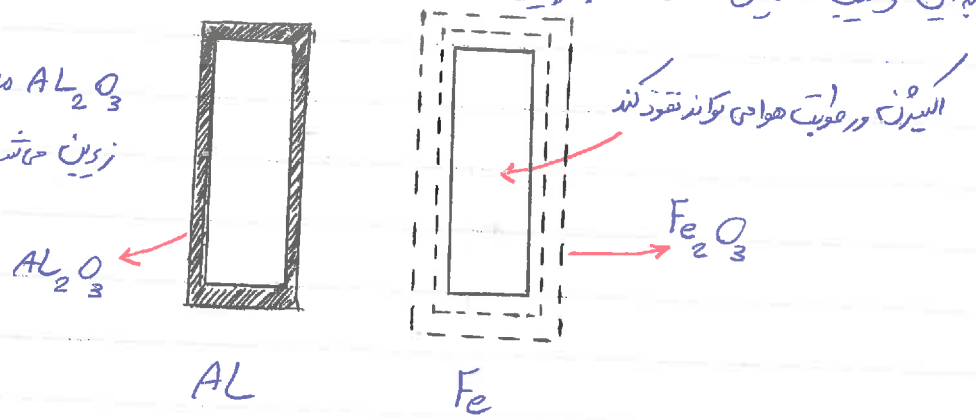
**نکته:** اگر دو تیغه Al و Fe را در محلول اسید قرار دهیم، تیغه Al به دلیل واکنش‌پذیری بیشتر زودتر از تیغه Fe اکسایش می‌یابد.

## ▲ مقایسه اکسید آلومینیوم و آهن [$Al_2O_3$ و $Fe_2O_3$] در برابر خوردگی

هر دو فلز آهن و آلومینیوم در معرض هوا اکسید می‌شوند. سرعت اکسایش آلومینیوم به دلیل واکنش‌پذیری زیاد آن از آهن بیشتر است؛ اما وسایل آهنی طول عمر کمتری نسبت به آلومینیومی دارند! دلیل این واقعیت این است که آلومینیوم به سرعت اکسید شده و لایه اکسید $Al_2O_3$ بر روی آن ایجاد می‌شود. لایه $Al_2O_3$ جامدی با ساختار متراکم و یکپارچه بوده که فاقد فضای خالی است و

محکم به سطح فلز می چسبد و مانع نفوذ گاز اکسیژن در رطوبت به اعماق فلز می شود. بنابراین ممکن است یک لایه نازک از سطح فلز اکسید شود اما بقیه آن از اکسایش در امان می ماند.

اما اکسید آهن متخلخل بوده و سبب می شود تا اکسیژن و بخار آب به لایه های زیرین نفوذ کرده و با فلز آهن نیز مورد حمله قرار گیرد و به این ترتیب اکسایش آهن تا آخر پیش می رود که همه فلز به زنگار تبدیل می شود.




▲ استفاده از آلومینیوم در سیم های انتقال برق

سیم های انتقال برق با ولتاژ بالا (فشار قوی) افزون بر داشتن رسانایی الکتریکی زیاد باید ضخیم و مقاوم باشند (چرا؟)

یادآوری: در درس علوم آموختید که هر چه ضخامت سیم کمتر باشد، مقاومت آن در برابر جریان الکتریکی بیشتر است.

در برخی کشورها این سیم های انتقال برق را از فولاد و آلومینوم درست می کنند به طوری که رشته درونی آنها از فولاد و روکش آنها از آلومینوم است.

! توجه: فولاد، آلیاژی است از کربن، آهن و فلزات دیگر که در برابر خوردگی مقاوم تر از آهن است.

؟ سوال: آ) چرا روکش این سیم ها را از آلومینوم می سازند؟

آلومینوم در اثر واکنش با اکسیژن موجود در هوا به $Al_2O_3$ تبدیل می شود که ساختاری پایدار و متراکم دارد و محکم به سطح فلز می چسبد و مانند یک پوشش سیمانی مانع از رسیدن اکسیژن به فولاد می شود و به این صورت از زنگ زدن فولاد جلوگیری می کند (در حقیقت آلومینوم نقش حفاظتی در برابر اکسایش فولاد را ایفا می کند)

ب) با توجه به فاصله زیاد میان دکل های برق، چرا هادی سیم ها را از فولاد نمی سازند؟ (راهنمایی: چگالی آهن و آلومینیم به ترتیب برابر ۷٫۸ و ۲٫۷ گرم بر سانتی متر مکعب است.)

با توجه به رابطه چگالی ($\rho = \frac{m}{V}$) هرچه چگالی فلز یا آلیاژ استفاده شده کمتر باشد، جرم سیم هم کمتر شده و سبک تر می شود. در نتیجه استفاده همزمان از آلومینیم و فولاد سبب می شود که در کل سیم سبک تر شود در حالیکه اگر همه سیم از فولاد ساخته شود به دلیل جرم زیاد سیم مجبور می شویم تعداد دکل ها را افزایش دهیم که هم مشکلات زیست محیطی به دلیل میدان های مغناطیسی به وجود می آورد و هم بار مالی زیادی دارد. و اگر تعداد دکل ها را زیاد نمی کردیم سیم به دلیل سنگینی به سمت پایین انحنا پیدا می کرد که به مرور باعث فرسایش سیم های خطوط برق می شد.

## ▲ اکسید فلزها

اکسیژن می تواند باعث اکسید شدن اغلب فلزها و نافلزها شود. در کل اکسید ماده ای است که در ساختار آن حداقل یک اتم اکسیژن وجود داشته باشد. اغلب فلزها با اکسیژن واکنش می دهند و اکسید فلزی تولید می کنند.

$$M + O_2 \rightarrow M_x O_y$$

برای مثال: $4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)}$ و $4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)}$

$4Na_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Na_2O_{(s)}$ و $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$

**!توجه:** برخی فلزها هستند که به طور خود به خود با اکسیژن واکنش نمی دهند، در واقع اکسید نمی شوند که به آنها فلزات نجیب هم گفته می شود مانند طلا ($Au$)، پلاتین ($Pt$)، پالادیوم ($Pd$).

ترکیب های حاصل از واکنش های اکسیژن با عنصرهای متفاوت، اغلب به شکل ترکیب های دوتایی است. برای نام گذاری این ترکیب ها می توان به دو دسته طبقه بندی کرد:

ترکیب های دوتایی
- ① فلز با نافلز (ترکیبات یونی)
- ② نافلز با نافلز (ترکیبات کووالانسی)

▲ نام گذاری ترکیب های فلز با نافلز

همانطور که در فصل اول اشاره شد، برای نام گذاری این نوع ترکیب ها ابتدا نام کاتیون و سپس نام آنیون را می نویسیم

[نام کاتیون + نام آنیون]

کاتیون ها را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

۱) کاتیون های تک ظرفیتی: کاتیون های هستند که همواره با ثابت دارند مانند [کاتیون های گروه ۱ و ۲، $Al^{3+}$، $Cd^{2+}$]

[$Sc^{3+}$، $Zn^{2+}$، $Ag^{+}$] نام این کاتیون ها همان نام فلزی آنهاست.

$Mg^{2+}$ ← یون منیزیم، $Sc^{3+}$ ← یون اسکاندیم، $Al^{3+}$ ← یون آلومینیوم و ...

۲) کاتیون های چند ظرفیتی: برخی فلزها (فلز های بلوک d) دو یا چند نوع کاتیون ایجاد می کنند که به آنها کاتیون های چند ظرفیتی گفته می شود. در نام گذاری این کاتیون ها باید ظرفیت آنها با عدد رومی داخل پرانتز ذکر شود.

| | | |
|---|---|---|
| $Cr^{2+}$ (II) یون کرومِ | $Fe^{2+}$ (II) یون آهن | $Cu^{+}$ (I) یون مس |
| $Cr^{3+}$ (III) یون کرومِ | $Fe^{3+}$ (III) یون آهن | $Cu^{2+}$ (II) یون مس |

**توجه:** در نام گذاری کاتیون های تک ظرفیتی نیازی به نوشتن بار یا ظرفیت آنها به صورت عدد رومی نیست. برای مثال:

$Ca^{2+}$: (II) یون کلسیم

درست ✓ یون کلسیم: $Ca^{2+}$ نادرست ✗ یون کلسیم (II)

| عدد | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عدد رومی | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |

**نکته:** اغلب فلز های بلوک d چند ظرفیتی هستند. از بین این یون ها در کتاب سال دهم فقط یون فلزهای Cu، Fe، Cr هم ترهستند. تعداد دیگری از این ها را می توانید در جدول زیر ملاحظه کنید:

| ظرفیت | عنصر |
|---|---|
| $\{^{1+}_{2+}$ | Cu |
| $\{^{2+}_{3+}$ | Cr، Fe، Mg، Ni، V، Co |
| $\{^{2+}_{4+}$ | Pb، Sn |

برای نامگذاری آنیون های تک اتمی به انتهای نام عنصر ریشه عنصر باید پسوند ید اضافه شود. برای مثال:

| $F^-$ | $Cl^-$ | $Br^-$ | $I^-$ | $O^{2-}$ | $S^{2-}$ | $Se^{2-}$ | $N^{3-}$ | $P^{3-}$ | $As^{3-}$ | $H^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فلوئورید | کلرید | برمید | یدید | اکسید | سولفید | سلنید | نیترید | فسفید | آرسنید | هیدرید |

مثال نام اکسیدهای زیر را بنویسید:

| $Na_2O$ | $Fe_2O_3$ | $Cu_2O$ | $CuO$ | $Rb_2O$ | $Mg$ | $FeO$ | $CaO$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سدیم اکسید | آهن(III) اکسید | مس(I) اکسید | مس(II) اکسید | روبیدیم اکسید | منیزیم اکسید | آهن(II) اکسید | کلسیم اکسید |

مثال نام ترکیب های زیر را بنویسید:

۱) $CuCl$ ۲) $BaS$ ۳) $Cr_2O_3$ ۴) $LiI$

۱) مس(I) کلرید ۲) باریم سولفید ۳) کروم(III) اکسید ۴) لیتیم یدید

مثال فرمول اکسید ها و کلرید های حاصل از فلز کروم ($Cr^{3+}$ و $Cr^{2+}$) را بنویسید:

کلرید: $CrCl_2$ , $CrCl_3$

اکسید: $CrO$ , $Cr_2O_3$

**تمرین ۱**

فرمول ترکیب های زیر را بنویسید:

الف) ۲ لیتیم سولفید ب) منیزیم نیترید ج) پتاسیم کلرید د) مس(II) کلرید

**تمرین ۲**

جدول زیر را کامل کنید:

| نام ترکیب | ۲ لیتیم فلوئورید | | پتاسیم سولفید | | آهن(III) یدید | | تنگستن(III) اکسید |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فرمول شیمیایی | | $CaO$ | | $MgBr_2$ | | $Cu_2S$ | |

صرفا جهت اطلاع:
اغلب عنصرهای دسته d می‌توانند با بیش از یک نوع کاتیون، نمک های دریایی با رنگ های گوناگون تشکیل می دهند.

آهن(III)کلرید $[FeCl_3]$: زرد رنگ — آهن(II)کلرید $[FeCl_2]$: سبز روشن

مس(II)کلرید $[CuCl_2]$: آبی رنگ — مس(I) کلرید $[CuCl]$: سبز تیره

## اکسید نافلزات

واکنش عنصرها با اکسیژن، تنها به فلزها محدود نمی شود بلکه نافلزها نیز با آن واکنش می دهند و به اکسید نافلز ها تبدیل می شوند.

در واقع اکسید های نافلزی، دسته ای دیگر از ترکیبات شیمیایی هستند که از واکنش نافلزها با اکسیژن تولید می شوند. مانند: $CO_2$، $SO_2$

الگوی واکنش نافلزات با اکسیژن به صورت روبرو می باشد: $NO_2$، $SO_3$ ...

$$A + O_2 \rightarrow A_xO_y$$

برای مثال:

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \qquad S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$$

$$N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$$

صرفا جهت اطلاع:
همچنان که در واکنش کربن با اکسیژن با توجه به نسبت مقدار اکسیژن به کربن دو نوع اکسید $CO$، $CO_2$ تولید می شود، در واکنش گوگرد با اکسیژن نیز با توجه به نسبت مقدار اکسیژن به گوگرد، دو نوع اکسید $SO_2$ و $SO_3$ می تواند تولید شود.

## نامگذاری ترکیب های نافلز با نافلز:

علاوه بر اکسیژن، بسیاری از نافلزها می توانند با یکدیگر واکنش داده و ترکیب های دوتایی نافلز-نافلز (کووالانسی) ایجاد کنند.

برای نامگذاری ترکیب دو نافلز از روش زیر استفاده می شود:

[(پیشوند یونانی تعداد + نام عنصر اول) + (پیشوند یونانی تعداد + ریشه عنصر دوم + ید)]

در این نامگذاری از پیشوندهای تری (پیشوند یونانی) برای بیان تعداد اتم ها استفاده می شود:

| تعداد | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیشوند | مونو | دی | تری | تترا | پنتا | هگزا | هپتا | اکتا | نونا | دکا |

**توجه:** اگر در فرمول مولکولی یک ترکیب، تنها یک اتم از عنصر سمت چپ وجود داشته باشد، از به کار بردن پیشوند مونو پیش از نام این عنصر چشم پوشی می شود.

**مثال:** نام ترکیب های داده شده را بنویسید.

الف) $NO_2$ ب) $CO$ ج) $SO_2$ د) $PCl_3$ ه) $SiBr_4$ و) $N_2O_4$

الف) نیتروژن دی اکسید ب) کربن مونوکسید ج) گوگرد دی اکسید د) فسفر تری کلرید ه) سیلیسیم تترا برومید و) دی نیتروژن تترا اکسید

**مثال:** فرمول ترکیب های زیر را بنویسید:

الف) دی نیتروژن تری اکسید ب) کربن دی سولفید ج) گوگرد تری اکسید د) کربن تترا کلرید ه) نیتروژن تری فلوئورید و) نیتروژن مونوکسید

الف) $N_2O_3$ ب) $CS_2$ ج) $SO_3$ د) $CCl_4$ ه) $NF_3$ و) $NO$

**تمرین** جدول زیر را کامل کنید.

| نام | فرمول | نام | فرمول | نام | فرمول |
|---|---|---|---|---|---|
| | $XeF_6$ | دی نیتروژن پنتا اکسید | | | $IF_5$ |
| | $Cl_2O_7$ | سلنیم هگزا برمید | | | $Cl_2O_3$ |
| | $BrCl_3$ | اکسیژن دی فلوئورید | | | $BF_3$ |

## ۲ آرایش الکترون - نقطه ای (ساختار لوویس)

در فصل اول با آرایش الکترون نقطه ای (ساختار لوویس) برای اتم و مولکول ها آشنا شدیم. در آرایش الکترون نقطه ای (ساختار لوویس)، الکترون های لایه ظرفیت اتم ها همواره کنار آنها چیده می شوند. همه اتم های ترکیب از قاعده هشتایی

پیروی کند (البته به جز هیدروژن که دوتایی می شود) قبل از یادگیری روش رسم ساختار لوویس به نکات زیر توجه کنید:

۱) ساختار لوویس یک فرم دوبعدی از مولکول هاست که الزاماً زوایای موجود در آن با مقدار واقعی یکسان نیست.

۲) برای رسم ساختار لوویس یون ها، از علامت کروشه استفاده کرده و بار یون را در بالا و سمت راست آن قرار می دهیم. برای مثال ساختار لوویس $SO_4^{2-}$ می شود.



۳) جفت الکترون پیوندی: جفت الکترون هایی هستند که در یک پیوند بین دو اتم به اشتراک گذاشته می شوند.

جفت الکترون ناپیوندی: جفت الکترون هایی هستند که در تشکیل پیوند کووالانسی شرکت نمی کنند و فقط به یکی از اتم ها در پیوند تعلق دارد.

۴) قاعده هشتایی در رسم ساختار لوویس رعایت می شود (به جز هیدروژن که دوتایی می شود. مولکول هایی که از قاعده هشتایی پیروی نمی کنند جزو اهداف آموزش کتاب دهم نیستند.)

۵) در ساختار لوویس یک مولکول یا یون، می بایستی تمام الکترون های ظرفیت اتم ها به صورت جفت الکترون های پیوندی یا ناپیوندی نمایش داده شوند.

حال می رسیم به روش رسم ساختار لوویس. برای رسم ساختار لوویس روش های متفاوتی مثل: ۱) روش کتاب درسی ۲) روش پیشرفته (کتاب های عمومی دانشگاهی) ۳) رسم به کمک بار قراردادی.

که در اینجا ما روش کتاب درسی و روش پیشرفته را تدریس خواهیم کرد.

▲ رسم ساختار لوویس به روش کتاب درسی:

برای رسم ساختار لوویس باید مراحل زیر را طی کنیم:

۱) شمار کل الکترون های لایه ظرفیت اتم های سازنده را جمع کنید (عدد یکان گروه عناصر برابر تعداد الکترون های لایه ظرفیت اتم می باشد)

۲) تعیین اتم مرکزی

**نکته:** اتم مرکزی به صورت زیر مشخص می‌شود: الف) معمولاً اتمی که در فرمول مولکولی در سمت چپ نوشته می‌شود (به جز هیدروژن) و تعداد آن از همه کمتر است اتم مرکزی است ب) اگر تعداد چند اتم برابر بود، آن عنصری اتم مرکزی است که گروه کمتری (الکترون آلیاژی کمتری) داشته باشد. (البته باز هم به غیر هیدروژن)

۳) ساختارهای ممکن برای ترکیباتی که در آن اتم‌های سازنده با یک، دو یا سه پیوند به هم وصل می‌شوند را رسم می‌کنیم.

۴) الکترون‌های ناپیوندی روی اتم‌ها را با جفت نقطه نشان دهید، به طوری که پیرامون هر اتم (به جز هیدروژن) در مجموع هشت الکترون (پیوندی + ناپیوندی) وجود داشته باشد.

۵) از میان ۳ ساختار لوویس که رسم کرده‌اید، آنهایی که ویژگی‌های زیر را دارد، ۳ ساختار لوویس درست را نشان می‌دهد:

الف) مجموع الکترون‌های پیوندی و ناپیوندی در مولکول، برابر با مجموع الکترون‌های لایه ظرفیت اتم‌های سازنده آن باشد.

ب) همه اتم‌ها به ۳ ساختار هشتایی رسیده باشند (به جز هیدروژن)، یعنی دو بار که به ترتیب یاد دهیم، چهار دوتایی الکترون به پایداری برسند)

۶) در رسم ساختار لوویس، تشکیل پیوند دوگانه بر پیوند سه‌گانه مقدم است

**صرفاً جهت اطلاع:**
البته موارد استثنایی مثل: $N_2O$ هم وجود دارد که پیوند سه‌گانه بر دوگانه مقدم است.

**توجه:** هرگاه عناصر گروه (هالوژن‌ها) به عنوان اتم مرکزی باشند، تنها یک پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند.

**مثال:**
۳ ساختار الکترون نقطه‌ای (ساختار لوویس) مولکول‌های $CO_2$، $SO_2$، $CO$، $PCl_3$، $HCN$، $CH_2O$ را بنویسید

کتاب درسی را نگاه کنید.

$CO_2$ تعداد e های لایه ظرفیت اتم‌ها $= 4 + (2\times6) = 16$

در گزینه (۱) و (۲) مجموع الکترون های لایه ظرفیت مولکول برابر مجموع الکترون های ظرفیت اتم های سازنده آن نیست و این گزینه (۳) و (۴) در گزینه (۳) نیز نمایش پیوند دوگانه برسه گانه صحیح است، گزینه (۳) نمایش درست است.

**$SO_2$** تعداد $e^-$ های ظرفیت اتم‌ها $= 6 + (2 \times 6) = 18$

(۱) $:\ddot{O}-\ddot{S}-\ddot{O}:$ $(16e^-)$ ✗

(۲) $\ddot{O}=\ddot{S}-\ddot{O}:$ $(18e^-)$ ✓

(۳) $\ddot{O}=S=\ddot{O}$ $(16e^-)$ ✗

(۴) $:O\equiv S-\ddot{O}:$ $(14e^-)$ ✗

فقط در گزینه (۲) هست که تعداد الکترون های لایه ظرفیت مولکول برابر تعداد الکترون های ظرفیت اتم های سازنده می باشد.

**$CO$** تعداد $e^-$ های ظرفیت اتم‌ها $= 4 + 6 = 10$

(۱) $:\ddot{C}-\ddot{O}:$ $(14e^-)$ ✗

(۲) $\ddot{C}=\ddot{O}$ $(12e^-)$ ✗

(۳) $:C\equiv O:$ $(10e^-)$ ✓

**$PCl_3$** تعداد $e^-$ های لایه ظرفیت اتم‌ها $= 5 + (3 \times 7) = 26$

(۱) $:\ddot{C}L-\underset{:\ddot{C}L:}{\ddot{P}}-\ddot{C}L:$ $(26e^-)$ ✓

(۲) $\ddot{C}L=\underset{:\ddot{C}L:}{P}-\ddot{C}L:$ $(24e^-)$ ✗

**$HCN$** تعداد $e^-$ های لایه ظرفیت اتم‌ها $= 1 + 4 + 5 = 10$

(۱) $H-\ddot{C}-\ddot{N}:$ $(14e^-)$ ✗

(۲) $H-\ddot{C}=\ddot{N}$ $(12e^-)$ ✗

(۳) $H-C\equiv N:$ $(10e^-)$ ✓

توجه: شاید برای ترکیب $HCN$، حالت $H=C=\ddot{N}$ را هم رسم کرده باشید ولی باید بدانید که هیدروژن فقط دو تای می شود و ۴ تای هیچ گاه نخواهد شد. در ضمن تعداد الکترون های مولکول در این حالت با تعداد الکترون های لایه ظرفیت اتم های سازنده همخوانی ندارد.

$CH_2O$

تعداد $e$های لایه ظرفیت اتم‌ها $= 4 + (2\times1) + 6 = 12$

① $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-\ddot{O}:$ $(14e^-)$ ✗

② $H-\underset{H}{C}=\ddot{O}$ $(12e^-)$ ✓

**تمرین**

ساختار لوویس ترکیب های زیر را به روش کتاب درسی رسم کنید.

$POCl_3 - H_2S - NF_3 - O_3 - OF_2 - CH_3I - NH_3 - CoCl_2 - SO_3$

▲ رسم ساختار لوویس به روش پیشرفته

قبل از توضیح مراحل رسم ساختار لوویس با روش پیشرفته، چند مورد هست که آنها را باید بدانید:

الف) برای عناصر گروه اول و ۱۳ تا ۱۸، تعداد الکترون های لایه ظرفیت همان یکان شماره گروه عناصر است.

ب) شعاع اتمی مرکزی [ اتمی که معمولا در وسط چپ است. تعداد آن از همه کمتر است و گروه کمتر (الکترونگاتیوی کمتر) دارد! ]

ج) پس از رسم ساختار لوویس تا حد امکان (به غیر از موارد استثنا) اتم ها باید به آرایش هشتایی برسند البته به جز هیدروژن و هلیم که باید دوتایی بشوند.

حال می خواهیم مراحل رسم ساختار لوویس مولکول $CO_2$ به روش پیشرفته را مرحله به مرحله توضیح دهیم:

مرحله اول: شعاع اتمی مرکزی و رسم پیوند های ساده یا یگانه

در این مولکول، C اتم مرکزی است زیرا هم تعداد آن از O کمتر است و هم گروهش کمتر است. به این ترتیب C را با دو پیوند ساده (یگانه) به اتم های کناری یعنی O وصل می کنیم.

$O-C-O$

مرحله دوم: تعداد کل جفت الکترون های لایه ظرفیت اتم های موجود در مولکول (هم پیوندی و هم ناپیوندی) را با استفاده از

فرمول اوربیتو محاسبه می‌کنیم.

$$\text{تعداد کل جفت الکترون‌ها} = \frac{(\text{بار یون}) - (\text{مجموع تعداد الکترون‌های لایه ظرفیت اتم‌ها})}{۲}$$

با توجه به اینکه C و O متعلق به گروه‌های ۴ و ۱۶ هستند بنابراین تعداد الکترون‌های لایه ظرفیت هریک از اتم‌ها به ترتیب ۴ و ۶ می‌باشد.

$$\text{تعداد کل جفت الکترون‌های لایه ظرفیت مولکول } CO_2 = \frac{\overset{\text{بار یون}}{۰} - \overset{۲\text{ اتم O}}{(۲\times ۶)} + \overset{۱\text{ اتم C}}{(۱\times ۴)}}{۲} = ۸$$

**توجه:** در مولکول‌های خنثی بار یون ۰ منفرد است

**مرحله سوم:** محاسبه جفت الکترون‌های باقیمانده

در این مرحله، عدد محاسبه شده در مرحله دوم را از تعداد پیوند های ساده به دست آمده در مرحله اول، کسر می‌کنیم

(تعداد پیوندهای ساده) − (تعداد کل جفت الکترون‌ها لایه ظرفیت) = تعداد جفت الکترون‌های باقیمانده

۸ − ۲ = ۶ = تعداد جفت الکترون‌های باقیمانده

**مرحله چهارم:** جفت الکترون‌های باقیمانده (محاسبه شده در مرحله سوم) را بین اتم‌های اطراف اتم مرکزی (به غیر از اتم‌ها هیدروژن) تقسیم می‌کنیم و آن‌ها را به آرایش هشتایی می‌رسانیم. اگر الکترونی باقیمانده به اتم مرکزی اختصاص می‌دهیم.

**نکته مهم:** اگر اتم مرکزی به آرایش هشتایی نرسید با تبدیل جفت الکترون ناپیوندی روی اتم‌های اطراف به جفت پیوندی، اتم مرکزی را به آرایش هشتایی می‌رسانیم.

جفت الکترون‌های باقیمانده را به اتم‌های اطراف اختصاص می‌دهیم:

ولی اتم‌های اکسیژن به آرایش هشتایی رسیدند ولی اتم مرکزی هنوز به آرایش هشتایی نرسیده، در نتیجه با توجه به «نکته مهم» جفت‌های ناپیوندی روی اتم‌های O را به جفت پیوندی تبدیل می‌کنیم:

! توجه: این روش برای همه انواع مولکول ها و یون ها در سریع‌ترین زمان ممکن جواب را به دست می دهد!

مثال:

ساختار لوویس مولکول $SO_2$ را به روش پیشرفته رسم نمایید.

مرحله اول: $O-S-O$ مرحله دوم: $\frac{(1\times6)+(2\times6)-(0)}{2}=9$ ← تعداد کل جفت الکترون ها لایه ظرفیت

مرحله سوم: $9-2=7$ = تعداد جفت الکترون های باقیمانده

مرحله چهارم: $:\ddot{O}-\ddot{S}-\ddot{O}: \Rightarrow :\ddot{O}-\ddot{S}=\ddot{O}$

مثال ۱

ساختار لوویس مولکول HCN را با روش پیشرفته رسم کنید.

(۱) $H-C-N$

(۲) تعداد کل جفت الکترون ها ← لایه ظرفیت $= \frac{1+4+5+(0)}{2}=5$

(۳) جفت باقیمانده $= 5-2=3$

(۴) $H-C\leftarrow\ddot{N}: \Rightarrow H-C\equiv N:$

مثال ۲

ساختار لوویس متانول $(CH_3OH)$ را با روش سریع رسم کنید.

! توجه: الکل ها دارای گروه عاملی هیدروکسیل $(-OH)$ هستند که در این گروه عاملی اتم H به یک اتم O متصل است.

(۱) $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-O-H$

(۲) $\frac{(4\times1)+4+6}{2}=7 \Rightarrow$ (۳) $7-5=2 \Rightarrow H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-\ddot{O}-H$

مثال ۳

ساختار لوویس یون های $NH_4^+$، $SO_4^{2-}$، $NO_3^-$ را به روش سریع رسم کنید.

$NH_4^+$

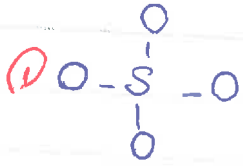
(۱) $H-\underset{H}{\overset{H}{N}}-H$

(۲) $\frac{(4\times1)+5-(1)}{2}=4$ ← یک بار مثبت

(۳) $4-4=0$

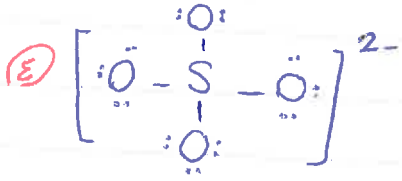
(۴) $\left[H-\underset{H}{\overset{H}{N}}-H\right]^+$

$SO_4^{2-}$

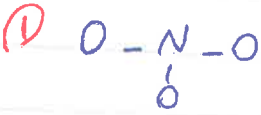
۱) 

۲) $\frac{(۴\times۶)+۶+(۲)}{۲}=۱۶$ (۲ بار یون)

۳) $۱۶-۴=۱۲$

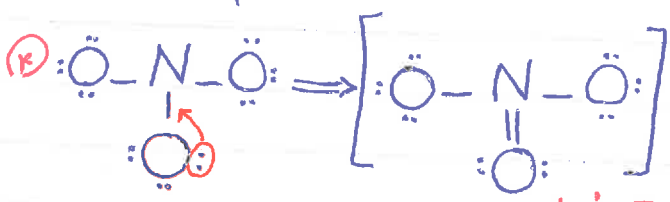
۴) 

$NO_3^-$

۱) 

۲) $\frac{۵+(۳\times۶)+(۱)}{۲}=۱۲$ (۱ بار یون)

۳) $۱۲-۳=۹$

۴) 

**تمرین ۱**

ساختار لوویس ترکیبات زیر را رسم کنید (به روش سریع و پیشرفته)

$CH_3I - OF_2 - CH_3 - NO_2Cl - O_3 - CS_2 - SO_2Cl_2 - PCl_3 - CH_2O - CO - SO_3$

**تمرین ۲**

ساختار لوویس یون های زیر را رسم کنید. (به روش سریع و پیشرفته)

$CH_3^- - NO_2^+ - PO_4^{3-} - N_3^- - PH_4^+ - ClO_3^- - SO_3^{2-} - NO_2^-$

## ▲ تعیین بار یون های چند اتمی به کمک ساختار لوویس

برای تعیین بار یک یون چند اتمی می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

(مجموع تعداد الکترون ها به کار رفته در ساختار لوویس) − (مجموع تعداد الکترون ها لایه ظرفیت اتم ها) = بار یون

یا

(مجموع تعداد الکترون ها به کار رفته در ساختار لوویس) − (مجموع عددهای شماره گروه اتم ها) = بار یون

**مثال**

در ساختار لوویس یون زیر همه اتم ها از قاعده هشتایی پیروی می کنند، بار الکتریکی این یون (۹) را مشخص کنید.

$$\left[ CL - \underset{CL}{\overset{CL}{\underset{|}{\overset{|}{P}}}} - CL \right]^{9}$$

پاسخ ⇐

$$\left[ :\ddot{C}L: - \underset{:CL:}{\overset{:CL:}{\underset{|}{\overset{|}{P}}}} - \ddot{C}L: \right]^{9} \Rightarrow 9 = (5+(7\times4)) - (16\times2) = 33-32 = +1$$

$$\Rightarrow 9 = +1$$

**تمرین**

با توجه به اینکه در یون $\left[ N \equiv N - N \equiv N - N \right]^{9}$ همه اتم ها از قاعده هشتایی پیروی می کنند، بار الکتریکی این یون (۹) کدام است؟ (سراسری ریاضی ۸۸)

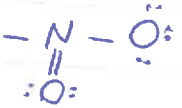
۱) ۲−  ۲) ۱+  ۳) ۱−  ۴) ۲+

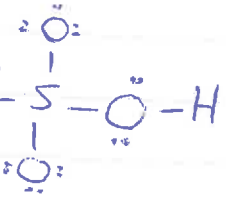
**نکته:** برای رسم ساختار لوویس اسیدهایی مانند: $H_3PO_4$، $H_2CO_3$، $H_2SO_3$، $HClO_4$ و ... ابتدا ساختار لوویس بنیان آنیون آنها ($PO_4^{3-}$، $SO_4^{2-}$، $NO_3^-$ و ...) را رسم کرده و سپس H های اسید را به اکسیژن متصل می کنیم.

ساختار لوویس $H_3PO_4$، $HNO_3$، $H_2SO_4$ را رسم کنید:

$H_3PO_4$ → بنیان: $PO_4^{3-}$ →

$$\left[ :\ddot{O}: - \underset{:O:}{\overset{:O:}{\underset{|}{\overset{|}{P}}}} - \ddot{O}: \right]^{3-} \xrightarrow[\text{اضافه می کنیم}]{\text{۳ عدد H را به اکسیژن ها}} H - \ddot{O} - \underset{:O:}{\overset{:O:H}{\underset{|}{\overset{|}{P}}}} - \ddot{O} - H$$

$HNO_3$ بنابراین: $NO_3^-$ → [ساختار لوویس] $\xrightarrow[\text{متصل می‌کنیم}]{\text{۱ عدد H را به اکسیژن}}$ 

$H_2SO_4$ بنابراین: $SO_4^{2-}$ → [ساختار لوویس] $\xrightarrow[\text{اضافه کنیم}]{\text{۲ عدد H را به اکسیژن‌ها}}$ 

**نکته مهم کنکوری:**

پس از سوالاتی که معمولا در کنکور های سراسری و آزمایشی بیشتر دیده می‌شود و از سوالات وقت‌گیر هم به حساب می‌آید این است که طراح سوال می‌پرسد که آرایش ساختار لوویس ترکیب داده شده، با کدام یک از ترکیب های زیر مشابه است و یا می‌پرسد در کدام گزینه آرایش ساختار لوویس دو گونه مشابه است؟! برای پاسخ به این سوالات در کمترین وقت کافی است فقط:

① آرایش گونه های مشابه و پرکاربرد مثل $H_2O$، $CH_4$، $NH_3$، $CO_2$ و ... را بشناسیم.

② عنصرهای هم گروه آرایش لایه ظرفیت مشابهی دارند. در نتیجه با جانشین اتم مرکزی با اتم هم گروه یا جانشین اتم پیرامون با اتم هم گروه و یا هردو، می‌توان به ساختارهای لوویس مشابه دست یافت.

**مثال**

آرایش ساختار لوویس چند مورد از گزینه‌های زیر مشابه است؟ چرا؟

الف) $[H_2O, H_2S]$ ب) $[CO_2, CS_2]$ ج) $[SO_2, O_3]$

د) $[SiH_4, CH_4]$ هـ) $[PH_3, NH_3]$ و) $[NF_3, PCl_3]$

ز) $[H_2O, OF_2]$ ح) $[CF_4, SiBr_4]$

پاسخ: در گزینه الف چون O و S هم گروه هستند در نتیجه آرایش $H_2S$ و $H_2O$ مشابه خواهد بود؛ در گزینه ب چون O و S هم گروه هستند در نتیجه آرایش $CS_2$ و $CO_2$ مشابه خواهد بود؛ در گزینه ج اگر به جای یکی از اتم های $O_3$، یک اتم S هم گروه آن را

قرار دهیم آرایش $SO_2$ به دست می آید که مشابه ساختار لوویس $O_3$ می باشد. ؛ درگزینه د چون Si و C هم گروه هستند، آرایش ساختار لوویس $CH_4$ و $SiH_4$ مشابه خواهند بود؛ درگزینه هـ چون N و P هم گروه هستند، آرایش ساختار لوویس $NH_3$ و $PH_3$ مشابه خواهند بود؛ درگزینه و در این گزینه هم اتم مرکزی با اتم هم گروه جانشین شده و هم اتم پیرامونی با اتم هم گروه جانشین شده است در نتیجه آرایش ساختار لوویس دو گونه $PCl_3$ و $NF_3$ مشابه خواهند بود

؛ درگزینه ب در این گونه اتم پیرامونی F با H جانشین شده است که هم گروه نیستند در نتیجه ساختار لوویس $OF_2$ با $H_2O$ مشابه نخواهند بود؛ درگزینه ج اتم مرکزی C یا Si که هم گروه هست جانشین نشده و هم اتم پیرامونی F با Br که آنها هم هم گروه هستند جانشین شده در نتیجه آرایش ساختار لوویس $CF_4$ و $SiBr_4$ مشابه خواهند بود.

**نکته مهم کنکوری:**

در مورد یون ها به مانند مولکول ها نیز توانیم با جایگزینی عناصر هم گروه، به آرایش های مشابه دست پیدا کنیم در نتیجه از ۲ نکته زیر استفاده خواهیم کرد.

۱) اگر ترکیب مورد نظر یون با بار مثبت $(+n)$ باشد: جانشین اتم مرکزی، اتمی خواهد بود که شماره گروه آن n واحد کمتر از شماره گروه اتم مرکزی باشد بدا مثال: ساختار لوویس $CH_4$ مشابه $NH_4^+$ است:

$$NH_4^+ : \left[H-\overset{H}{\underset{H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-H\right]^+ \Rightarrow NH_4^+ \sim CH_4$$

۲) اگر ترکیب مورد نظر یون با بار منفی $(-n)$ باشد: جانشین اتم مرکزی، اتمی خواهد بود که شماره گروه آن n واحد بیشتر از شماره گروه اتم مرکزی باشد: برای مثال ساختار لوویس $H_2O$ مشابه $NH_2^-$ خواهد بود چون:

$$NH_2^- : \left[H-\ddot{\underset{H}{N}}\right]^- \Rightarrow NH_2^- \sim H_2O$$

**مثال**

آرایش گونه های دوگانه زیر مشابه هستند و چرا؟

$$[NH_3 , CH_3^-] - [CO_2 , NO_2^+]$$

در دو گونه $NO_2^+$ و $CO_2$ چون بار یون، مثبت (کاتیون) است اگر از عدد بهمان شماره گروه اتم مرکزی آن یک عدد کم کنیم به شماره گروه C خواهیم رسید در نتیجه: آرایش ساختار لوویس یون $NO_2^+$ با مولکول $CO_2$ مشابه خواهند بود.

$NO_2^+ \Rightarrow [\ddot{O}=N=\ddot{O}]^+ \sim CO_2 \Rightarrow \ddot{O}=C=\ddot{O}$

در دو گونه $CH_3^-$ و $NH_3$ چون باریون، منفی (آنیون) است اگر به عدد یکان شماره گروه اتم مرکزی آن یک عدد اضافه کنیم به شماره گروه N خواهیم رسید. در نتیجه می‌توان گفت آرایش ساختار لوویس $CH_3^-$ و $NH_3$ شبیه خواهند بود:

$CH_3^- \Rightarrow \left[H-\underset{H}{\overset{H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-H\right]^-$ و $NH_3 \Rightarrow H-\underset{H}{\overset{H}{\underset{|}{\overset{|}{N}}}}-H$

**تمرین ۱**

در ناگذاری چه تعداد از ترکیب‌های زیر از پیشوند عددی استفاده نمی‌شود؟

$CaBr_2 - MgCl_2 - SO_3 - CS_2 - NO - CrF_3 - BrCl_3$

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۵

**تمرین ۲**

نام چه تعداد از ترکیب‌های زیر نادرست است؟

- $SO_3$: گوگرد (III) اکسید
- $N_2O_5$: دی نیتروژن پنتا اکسید
- $ZnO$: روی مونو اکسید
- $BeCl_2$: بریلیم کلرید
- $Fe_3N_2$: تری آهن دی نیترید
- $CO$: کربن مونو اکسید

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

**تمرین ۳**

$:\ddot{O}-\ddot{X}=\ddot{O}$

در ساختار لوویس روبرو، عنصر X کدام یک می‌تواند باشد؟

۱) ${}_{6}C$ ۲) ${}_{14}Si$ ۳) ${}_{16}S$ ۴) ${}_{7}N$

**تمرین ۴**

چند مورد از گونه‌های زیر در ساختار لوویس خود، دارای دو پیوند دوگانه‌اند؟

$NO_2^+ - CO_2 - O_3 - CSO - SeO_2$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

**تست کنکور**

در ساختار مولکول ... مانند مولکول ... یک پیوند ... وجود دارد در هردو مولکول در لایه ظرفیت اتم های خود ... ...

جفت الکترون ناپیوندی دارند. (سراسری ریاضی ۸۷)

۱) $CO - N_2$ ـ سه گانه ـ دو ۲) $CO - HCN$ ـ سه گانه ـ دو ۳) $SO_2 - CH_3OH$ ـ دوگانه ـ چهار ۴) $SO_2 - CO_2$ ـ دوگانه ـ چهار

**تست کنکور**

در کدام دو مولکول، شمار جفت الکترون های ناپیوندی، دو برابر شمار جفت الکترون های پیوندی است؟ (سراسری ریاضی ۸۹)

۱) $CH_2O$ ، $PCl_3$ ۲) $NO_2Cl$ ، $COCl_2$ ۳) $SO_2Cl_2$ ، $COCl_2$ ۴) $SO_2Cl_2$ ، $NO_2Cl$

**تست المپیاد**

در کدام گونه شیمیایی زیر با ۱۶ الکترون ظرفیت اتم مرکزی (X) عنصری از گروه ۱۵ جدول تناوبی است؟ (المپیاد ۹۲)

۱) $NXN^-$ ۲) $SXN^-$ ۳) $OXN^-$ ۴) $NXN^{2-}$

**تست کنکور**

در مولکول کدام ترکیب، نسبت شمار جفت الکترون ها ناپیوندی لایه ظرفیت اتم ها به شمار جفت الکترون های پیوندی، از سه ترکیب دیگر بیشتر است؟ (سراسری ریاضی ۹۳ ـ با تغییر اندک)

۱) سیلیسیم تترا برمید ۲) نیتروژن تری فلوئورید ۳) گوگرد تری اکسید ۴) کربن دی سولفید

**تست کنکور**

کدام یک از ترکیب های داده شده، به ترتیب از راست به چپ، دارای بیشترین و کمترین نسبت مجموع جفت الکترون ها ناپیوندی به مجموع جفت الکترون های پیوندی اند؟ (سراسری تجربی ۹۳ ـ با تغییر اندک)

a) $CN_2^{2-}$ b) $COBr_2$ c) $ICl_2^+$ d) $PO_4^{3-}$

۱) b و a ۲) a و c ۳) d و b ۴) d و c

**تست کنکور**

در مولکول $SO_2Cl_2$، اتم ... اتم مرکزی بوده، شمار جفت های الکترونی آن برابر شمار قله های الکترونی اتم مرکزی

در مولکول ... است و مجموع شمار جفت الکترون های ناپیوندی لایه ظرفیت اتم هادر $OCl_2$ ، ... از مجموع شمار الکترون ها

ناپیوندی لایه ظرفیت اتم هادر مولکول $SO_2Cl_2$ است. (خارج کشور ریاضی ۹۴)

راهنمایی: به یک جفت الکترون ناپیوندی، یا یک پیوند یگانه یا دوگانه یا سه‌گانه یک تلکترو الکترونی گفته می‌شود.

۱) $S-POCl_3$ کمتر ۲) $S-NCl_3$ بیشتر ۳) $O-POCl_3$ کمتر ۴) $O-NCl_3$ بیشتر

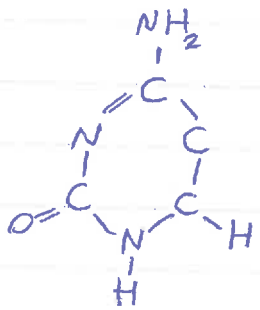
**تست کنکور**

شمار تعداد الکترون های ناپیوندی در کدام دو گونه شیمیایی، برابر است؟ (سراسری ریاضی ۹۴)

۱) مولکول اکسیژن - کربن منو اکسید
۲) دی نیتروژن مونو اکسید - کربن دی سولفید
۳) گوگرد دی اکسید - اکسیژن دی فلوئورید
۴) نیتروژن تری فلوئورید - گوگرد تری اکسید

**تست کنکور**

در ترکیب روبه‌رو به جز هیدروژن بقیه اتم‌ها به آرایش هشتایی رسیدند. نسبت تعداد جفت الکترون پیوندی به ناپیوندی کدام است؟



۳ $\frac{16}{5}$ $\frac{13}{3}$ ۴

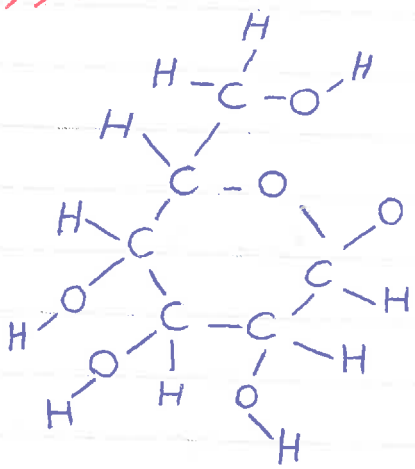
(خارج کشور ریاضی ۹۵ با تغییر اندک)

**تست کنکور**

نسبت شمار الکترون های پیوندی به شمار الکترون های ناپیوندی در مولکول گلوکز، کدام است؟

(به جز هیدروژن همه اتم‌ها از قاعده اکتت پیروی می‌کنند)

(سراسری ریاضی ۹۵ با تغییر اندک)



۱) ۴
۲) ۳
۳) ۲/۵
۴) ۲

تست کنکور

در ساختار لوویس یون $Al(OH)_4^-$، نسبت شمار جفت الکترون‌های ناپیوندی به شمار جفت الکترون‌های (پیوندی و ناپیوندی) اتم مرکزی کدام است؟ (خارج کشور تجربی ـ ۹۶)

۱) ۱ ۲) ۱٫۵ ۳) ۲ ۴) ۲٫۵

تست کنکور

ساختار لوویس کدام گونه شیمیایی به آب شبیه‌تر است؟ (سراسری ریاضی ۹۶ ـ با تغییر اندک)

۱) $CO_3^{2-}$ ۲) $NH_2^-$ ۳) $NO_2^+$ ۴) $H_3O^+$

تست کنکور

ساختار لوویس یون سولفیت ($SO_3^{2-}$) به ساختار کدام گونه شبیه است؟ (خارج کشور ریاضی ۹۶ با تغییر اندک)

۱) هوینگ ۲) یون کربنات ($CO_3^{2-}$) ۳) $BF_4^-$ ۴) $NO_2$

تست کنکور

شمار الکترون‌های پیوندی در مولکول نیتروژن تری فلوراید ... شمار الکترون‌ها پیوندی در یون سیانید و شمار الکترون‌های ناپیوندی لایه بیرونی اتم هادر آن ... برابر شمار الکترون‌های ناپیوندی لایه بیرونی اتم‌ها در یون سیانید است. (سراسری تجربی ۹۷)

۱) نصف ـ دو ۲) نصف ـ پنج ۳) برابر ـ دو ۴) برابر ـ پنج

تست کنکور

چند مورد از مطالب زیر درست می‌باشد؟ (سراسری تجربی ۹۷)

الف) در ساختار لوویس یون آمونیوم ($NH_4^+$) ۸ الکترون پیوندی وجود دارد

ب) در ساختار لوویس یون کربنات اتم مرکزی دارای دو جفت الکترون ناپیوندی است.

ج) در ساختار لوویس یون نیترات ($NO_3^-$) تعداد ۸ جفت الکترون ناپیوندی وجود دارد

۲) در ساختار لوویس یون اگزالات ($C_2O_4^{2-}$) نسبت شمار جفت الکترون ناپیوندی به پیوندی برابر ۰/۸ است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تست کنکور

شمار جفت الکترون های پیوندی در مولکول کدام دو گونه، با هم برابر است؟ (سراسری ریاضی ۹۷)

۱) HCN ، $SO_3$ ۲) $HNO_3$ ، $PF_5$ ۳) $CH_3OH$ ، HCOOH ۴) $N_2O_4$ ، $H_2CO_3$

تست کنکور

شمار جفت الکترون های ناپیوندی اتم مرکزی در کدام گونه با شمار آن ها در اتم مرکزی یون $BrO_3^-$ برابر است؟ (سراسری ریاضی ۹۷)

۱) $NCS^-$ ۲) $NO_3^-$ ۳) $PCl_3$ ۴) $BF_3$

تست کنکور

اتم کدام عنصر در ترکیب های خود (به عنوان اتم مرکزی) می تواند بیش از ۱۰ الکترون در لایه ظرفیت داشته باشد؟ (خارج کشور ریاضی ۹۷)

۱) $_{37}Rb$ ۲) $_{15}P$ ۳) $_{12}Mg$ ۴) $_{9}F$

## خواص اکسیدها: ظرفی و ناظرفی

اکسیدهای ظرفی و ناظرفی، کاربردهای فراوانی در زندگی دارند؛ به طور مثال برخی کشاورزان با آمیختن کلسیم اکسید CaO (آهک) به عنوان یک اکسید ظرفی به خاک، مقدار و نوع مواد معدنی در دسترس گیاه تغییر می کند که این خود باعث افزایش بهره وری در کشاورزی می شود. از کلسیم اکسید CaO (آهک) همچنین برای کنترل میزان اسیدی بودن آب دریاچه ها استفاده می شود. با افزایش مقدار کربن دی اکسید $CO_2$ به عنوان یک اکسید ناظرفی در هوا کره، بخش زیادی از آن در آب دریاها و اقیانوس ها حل می شود و به این ترتیب خاصیت اسیدی آب افزایش می یابد (به دلیل تولید اسید ضعیف $H_2CO_3$) و این موضوع (اسیدی شدن آب) باعث حل شدن اسکلت آهکی گروهی از کیسه تنان به نام مرجان ها می شود و باعث از بین رفتن این

موجودات می‌شود.

✓ نکته مهم ۱:

اکسید های فلزی را اکسیدهای بازی می نامند زیرا از واکنش آنها با آب باز تولید می‌شود و PH محلول حاصل بالاتر از ۷ خواهد شد.

$$MgO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Mg(OH)_2(aq) \qquad Na_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow 2NaOH_{(aq)}$$

$$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$$

همانطور که گفتیم به $CaO$ آهک می گوییم. جالب است بدانید که به $Ca(OH)_2$ هم «آب آهک» گفته می‌شود که خاصیت بازی داشته و اگر کاغذ PH به «آب آهک» آغشته کنیم، کاغذ PH به رنگ آبی درمی‌آید.

! توجه: گچ و سیمان هردو از اکسید های فلزی مانند $CaO$ (البته اکسید های فلزی دیگری هم مانند $Fe_2O_3$ و $Al_2O_3$ وجود دارند) تشکیل شده‌اند؛ درنتیجه خاصیت بازی دارند و اگر در محل تهیه بتن هنگام ساختمان سازی مقداری از سیمان و یا گچ برجای بماند، به دلیل PH بالا و خاصیت بازی آنها، تا مدتها در آن مکان گیاهی رشد نمی‌کند.

✓ نکته مهم ۲:

اکسید های نافلزی را اکسیدهای اسیدی می نامند زیرا از واکنش آنها با آب اسید تولید می‌شود و PH محلول حاصل کمتر از ۷ است.

$$CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2CO_3(aq) \qquad SO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_3(aq)$$

$$SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

! توجه: آب گازدار حاوی $CO_2$ است که در آن براثر واکنش $CO_2$ با آب اسید ضعیف $H_2CO_3$ موسوم به کربنیک اسید تولید می‌شود و اگر کاغذ PH را به محلول گازدار آب دار آغشته کنیم، کاغذ PH به رنگ سرخ درمی‌آید.

! توجه: لزوماً هر اکسید فلزی خاصیت بازی ندارد و لزوماً هر اکسید نافلزی خاصیت اسیدی ندارد به عنوان مثال برخی اکسیدهای فلزی مانند $Al_2O_3$ (موسوم به اکسید آمفوتر) هم خاصیت اسیدی و هم بازی دارند و برخی اکسید های نافلزی مانند $CO, NO$

$N_2O$ در آب به صورت مولکولی حل شده و با آب واکنش نمی‌دهد؛ بنابراین اکسید اسیدی نیست.

**نکته:** اثر اسیدها بر روی برگ گیاهان و پوست بدن مانند اثر سوختگی است.

▲ گستره PH برخی محلول های آبی:

۱) در دمای اتاق (۲۵°C) بازه تغییرات PH از ۰ تا ۱۴ است. PH کوچکتر از ۷ نشان دهنده محیط اسیدی و PH بزرگتر از ۷ معرف محیط بازی است. PH=۷ نیز معرف محیط خنثی است

۲) موادی مانند محلول تمیز کننده اجاق گاز، محلول لوله بازکن، محلول آمونیاک و شربت معده دارای PH بیشتر از ۷ می باشند و خاصیت بازی دارند.

۳) موادی مانند آب باتری خودرو ($H_2SO_4$)، اسید معده ($HCl$)، آب گوجه فرنگی و قهوه دارای PH کمتر از ۷ می باشند و خاصیت اسیدی دارند.

▲ باران اسیدی و اثرات آن

با توجه به اینکه در هوا کره به طور طبیعی گاز $CO_2$ وجود دارد در نتیجه هنگام بارش باران به دلیل حل شدن گاز $CO_2$ هوا کره در آب باران (و تشکیل اسید ضعیف کربنیک اسید $H_2CO_3$)، ذاتا آب باران اندکی خصلت اسیدی داشته و دارای PH<۷ می باشد

**توجه:** آب باران طبیعی دارای ۵٫۷<PH<۷ و اندکی خصلت اسیدی دارد و باران اسیدی که در ادامه خواهیم خواند متفاوت است (باران اسیدی دارای ۵٫۶>PH>۱٫۶ می باشد.

در شیمی هوا کره اصطلاح راکب وجود دارد با عنوان دانخیه بالا می رود، باید پایین بیاید». این اصطلاح بیان می کند آلاینده هایی که از سوختن سوخت های فسیلی وارد هوا کره می شوند و بالا می روند (مانند $NO$، $NO_2$، $CO$، $CO_2$، $SO_2$ و برخی هیدروکربن $C_xH_x$)، سرانجام باید به زمین برگردند. برخی از آلاینده های هوا به طور عمده شامل اکسید ها اسید

$NO_2$ و $SO_2$ هستند که می‌توانند در آب باران حل شوند و در نهایت به اسیدهای قوی نیتریک اسید ($HNO_3$) و سولفیک اسید ($H_2SO_4$) تبدیل شده و باعث اسیدی بودن باران طبیعی افزوده و تحت عنوان «باران اسیدی» بر زمین می‌بارند.

**توجه:** $SO_2$ در اکسیژن موجود در هوا که حل شده و تبدیل به $SO_3$ می‌شود و در نهایت $SO_3$ در آب باران حل می‌شود و به $H_2SO_4$ تبدیل می‌شود.

$$SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

**نکته:** هم باران طبیعی و هم باران اسیدی خاصیت اسیدی دارند ولی باران طبیعی کمی خصلت اسیدی داشته ($5,7 < PH < 7$) ولی باران اسیدی خاصیت اسیدی زیادی داشته ($1,6 < PH < 5,6$) که اندازه PH آن به نوع و غلظت آلاینده‌ها موجود در هر منطقه بستگی دارد.

## اثرات باران اسیدی:

۱) باران اسیدی اثرات جبران ناپذیری بر جنگل‌ها، باغ‌های میوه، روی‌گل‌ها، بزرگان مخصوصاً بزرگان که در سراسر PH آب را تغییر می‌دهند مانند مرجان‌ها دارد.

۲) آبزیان بار باران اسیدی بر روی پوست، دستگاه تنفس و چشم‌ها به سرعت قابل تشخیص است و خاصیت اسیدی آن باعث خشک شدن و ترک خوردگی پوست بدن می‌شود.

صرفا جهت اطلاع: ۱) باران اسیدی بر روی قرنیه چشم اثرات سوزشی می‌گذارد ۲) بخارهای حاصل از باران اسیدی باعث انواع آلرژی (مثل آسم) در کودکان و بزرگسالان می‌شود و به خاطر به شدت آسیب می‌رساند ۳) باران اسیدی باعث افزایش تعرق و به تبع آن کمبود آب در گیاه می‌شود. باران اسیدی با نفوذ به ریشه‌های گیاه، جذب مواد غذایی را کاهش می‌دهد.

## چه بر سر هوا کره می‌آوریم

دانشمندان با استفاده از بالون های هواشناسی، ماهواره ها، کشتی های اقیانوس پیما و کپسول های شناور در دریاها که به حسگرهای دما مجهزند، پیوسته دمای کره زمین را در سرتاسر قاره ها آن رصد می کنند. شواهد نشان می دهد که در طول صد سال گذشته، میانگین دمای کره زمین افزایش یافته است.

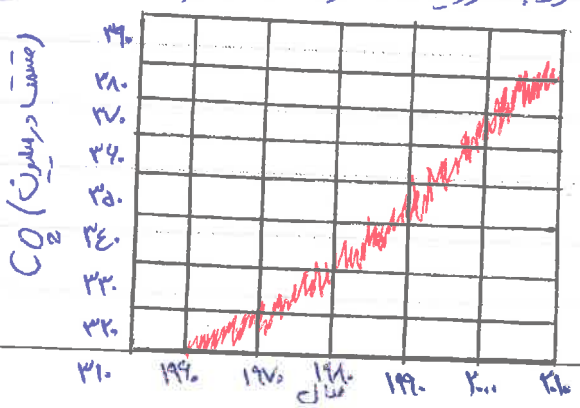
* یادآوری: در علوم نهم خواندیم که یکی از عوامل اصلی گرم شدن کره زمین، افزایش بی رویه گازکربن دی اکسید موجود در هوا کره است.

صرفا جهت اطلاع: بویه ها تجهیزات شناورند هستند که به منظور تکمیل مسیرهای ایمن دریایی، تعیین دمای آب سرعت و جهت وزش باد و ... در مسیرهای آبی قرار داده می شوند. آنها داده های ثبت شده را از طریق ارتباطات ماهواره ای به مراکز هواشناسی ارسال می کنند (شکل حاشیه صفحه ۶۸ کتاب درسی)

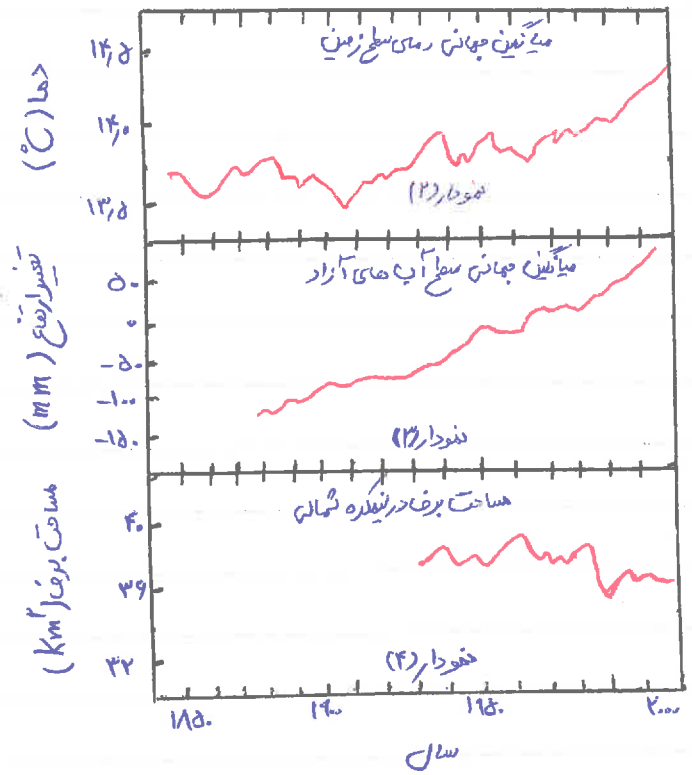
گرم شدن کره زمین سبب شده تا شرایط آب و هوایی در قاره ها گوناگون زمین تغییر کند که از جمله این تغییرات می توان به هم خوردن فصول و به وجود آمدن تابستان های طولانی و خشک و گرم و زمستان های کوتاه با سرمای شدید، ذوب شدن یخ ها و بالا آمدن آب ناشی از آن و ... اشاره کرد.

نکته: دانشمندان پیش بینی کرده اند که دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بین ۱/۸ تا ۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

آمارها نشان می دهند که سالانه نه میلیارد تن $CO_2$ به هوا کره وارد می شود به طوریکه همانطور که در نمودار (۱) مشاهده می کنیم میزان $CO_2$ از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته است.




نمودار (۱)




با توجه به نمودارهای زیر افزایش مقدار $CO_2$ عواقب زیر را در پی دارد:

۱) افزایش میانگین دمای کره زمین

۲) ذوب شدن یخ ها و برف ها در نیم کره شمالی

۳) بالا آمدن سطح آب دریاها

۴) تغییر فصول سال و به هم خوردن نظم وزیست آب و هوایی

نتیجه: با افزایش حجم گاز $CO_2$ تولیدی (نمودار ۱) میانگین دمای سطح زمین هم به طور کلی افزایش می یابد (نمودار ۲) این افزایش دما سبب ذوب شدن یخ در نیم کره شمالی و کاهش مساحت برف در کل دنیا می شود (نمودار ۴)، در این حالت میانگین جهانی سطح آب های آزاد افزایش می یابد (نمودار ۳) در واقع می توان گفت این ۴ نمودار به طور کلی با هم ارتباط مستقیم دارند.

نکته: به دلیل گرم شدن زمین در اثر افزایش $CO_2$ و کوتاه شدن فصل زمستان، شواهد نشان می دهد که فصل بهار در نیمکره شمالی کره زمین، نسبت به ۵۰ سال گذشته در حدود یک هفته زودتر آغاز می شود.

▲ دلایل افزایش $CO_2$ و ردپای $CO_2$

یادآوری: در علوم نهم آموختیم که $CO_2$ معمولی ترین گاز گلخانه ای است که نقش بسیار تعیین کننده ای در آب و هوای کره زمین دارد. هم چنین در علوم دوره متوسطه اول با چرخه کربن آشنا شدید که باعث می شد مقدار $CO_2$ موجود در هوا کره، ثابت بماند؛ در حالیکه امروزه با فعالیت های انسانی مقدار $CO_2$ به طور فزاینده ای افزایش یافته است.

• از دلایل افزایش $CO_2$ می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) تحول صنعتی: با پیشرفت صنایع مختلف و تولید انبوه فراورده‌ها در صنایعی صنعتی (فراورده‌های کشاورزی، دارویی، غذایی، نساجی، پتروشیمیایی و ...) باعث شده که مصرف بی‌حساب سوخت‌های فسیلی (بنزین، گاز طبیعی و زغال سنگ) افزایش یابد و حجم انبوهی از $CO_2$ وارد هوا کره شود (محصول اصلی سوختن سوخت‌های فسیلی، $CO_2$ می‌باشد!)

**!توجه:** در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی، علاوه بر $CO_2$، انواع آلاینده‌ها مانند: $CO$، $NO$، $NO_2$، $SO_2$ و انواع هیدروکربن‌ها $C_xH_x$ (در اثر سوختن ناخالصی‌های موجود در سوخت‌های فسیلی) وارد هوا کره می‌شوند.

۲) تغییر سبک زندگی: سبک زندگی یا انسان‌ها و نوع وسایلی که در زندگی استفاده می‌کنیم، همه روی درصد گازهای هوا کره و مخصوصاً میزان $CO_2$ تأثیر بسزایی دارد. برای مثال انتخاب نوع وسیله نقلیه جهت رفتن محل کار یا مدرسه و وسایل گرمایشی مورد استفاده و حتی مدت زمان استفاده از آن‌ها به دلیل مصرف انرژی الکتریکی، مقدار $CO_2$ وارد هوا کره کرده و در صد گازهای هوا کره را تغییر می‌دهد.

**نتیجه:** سبک زندگی می‌تواند بیانگر میزان اثرگذاری هریک از انسان‌ها روی کره زمین و هوا کره باشد - ردپا اصطلاحی است که به این اثر نسبت داده‌اند.

**!نکته:** یکی از ردپاها، ردپای کربن دی‌اکسید است، ردپای کربن دی‌اکسید یعنی اینکه در تولید یک محصول یا بر اثر انجام یک فرایند، چه مقدار گاز $CO_2$ تولید شده و وارد هوا کره می‌شود. هرچه مقدار $CO_2$ وارد شده به طبیعت زیادی باشد، ردپای ایجاد شده سنگین‌تر و اثر آن ماندگارتر خواهد بود و تا مدت‌ها زمان لازم برای تعدیل و کاهش این اثر بوسیله پدیده‌ها طبیعی (مثل فتوسنتز گیاهان) طولانی‌تر خواهد بود.

**!توجه:** $CO_2$ که وارد هوا کره شده در آن جا باقی می‌شود و می‌تواند هوای شهرهای دیگر را هم آلوده کند. بنابراین هر فعالیت ما بر زندگی همه مردمان جهان اثر خواهد گذاشت. هوای آلوده بوی بدی دارد و چهره شهر را زشت می‌کند و این هوا باعث

سوزش چشم، سردرد، تهوع و انواع بیماری های تنفسی مانند سرطان ریه می شود.

با توجه به جدول زیر می توان گفت که:

۱) استفاده از زغال سنگ برای تولید برق بیشترین مقدار $CO_2$ و استفاده از باد کمترین میزان $CO_2$ را وارد هوا می کند.

مقایسه روی های $CO_2$ ایجاد شده از منابع گوناگون:

باد < گرمای زمین < انرژی خورشید < گاز طبیعی < نفت خام < زغال سنگ

| ستون ۱ | ستون ۲ | ستون ۳ | ستون ۴ | ستون ۵ | ستون ۶ |
|---|---|---|---|---|---|
| برق مصرفی در یک ماه (کیلووات ساعت) | منبع تولید برق | مقدار کربن دی اکسید تولید شده در یک ماه (کیلوگرم) | مقدار کربن دی اکسید تولید شده در یک سال (کیلوگرم) | مقدار کربن دی اکسید مصرفی یک درخت تنومند با میانگین عمر ۲۹ تا ۳۴ سانتی متر | تعداد درخت لازم برای پاکسازی هوا کره |
| ل | زغال سنگ | ۰٫۹ × g = ..... | ..... | | |
| | نفت خام | ۰٫۷ × g = ..... | ..... | | |
| | گاز طبیعی | ۰٫۳۶ × g = ..... | ..... | | |
| | باد | ۰٫۰۱ × g = ..... | ..... | | |
| | گرمای زمین | ۰٫۰۳ × g = ..... | ..... | | |
| | انرژی خورشید | ۰٫۰۵ × g = ..... | ..... | | |

**توجه:** با توجه به اینکه میزان کربن موجود در هریک از این منابع بالا متفاوت است (درصد جرمی کربن متفاوت است) به همین دلیل میزان $CO_2$ حاصل از سوختن هریک از این منابع متفاوت است.

▲ راهکارهای کاهش میزان $CO_2$ تولید شده

از مهم ترین راه کارهای کاهش $CO_2$ وارد شده به هوا کره می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) کاشت و مراقبت از درختان و ایجاد کمربندهای سبز در شهرها و شهرک های صنعتی، زیرا در اثر پدیده فتوسنتز هر درخت قادر به جذب و مصرف مقدار قابل توجهی $CO_2$ در هر روز می باشد.

هرچه درخت تنومندتر باشد $CO_2$ بیشتری مصرف کرده و تاثیر بیشتری در کاهش روپای $CO_2$ دارد. (یک درخت تنومند سالانه در حدود ۵۰ کیلوگرم $CO_2$ مصرف می‌کند!)

تذکر: شکستن شاخه درخت مانند شکستن بال فرشتگان است (پیامبر اکرم (ص))

۲) جایگزین کردن سوخت های فسیلی با سایر سوخت ها مثل: باد، انرژی خورشیدی و زمین گرمایی

۳) تغییر سبک زندگی و روی آوردن به عادت های خوب مصرف انرژی مانند: استفاده از دوچرخه، وسایل عمومی و پیاده روی به جای ماشین های پر مصرف

**توجه:** این سه مورد از مهم‌ترین راهکارهای کاهش $CO_2$ هستند ولی در ادامه کتاب درسی با موارد آشنا خواهیم شد که آن‌ها هم می‌توانند در کاهش $CO_2$ و کاهش روپای آن اثرگذار باشند مثل: الف) استفاده از سوخت هیدروژنی به جای سوخت های فسیلی ب) اقدامات بازدارنده مصرف ماشین ها و وسایل برقی و ... ج) استفاده از راهکارهای پیشنهادی سبز

## ۳- انرژی خانه‌ای

**یادآوری:** در فصل یک خواندیم که انرژی خورشید به صورت امواج الکترومغناطیس با طول موج های مختلف به سطح زمین می‌رسد. نوری که از خورشید به سمت زمین تابیده می‌شود به قسمت های زیر تقسیم می‌شود (شکل ۲۱ ص ۷۳):

۱) بخشی از پرتوهای خورشیدی در همان فضا بازتابیده شده و به فضا برمی‌گردند (بوسیله ابر و دیگر مواد منعکس کننده نور)

۲) بخش کوچکی از پرتوهای خورشیدی بوسیله مولکول های هوا کره جذب می‌شود. (به طور مثال بخشی از پرتوهای فرابنفش توسط مولکول های اوزون ($O_3$) در لایه استراتوسفر جذب می‌شود و یا بخشی از پرتوهای فروسرخ توسط بخار آب و $CO_2$ موجود در هوا کره جذب می‌شود)

۳) بخش عمده‌ای از پرتوهای خورشیدی به زمین رسیده و جذب زمین می‌شود.

و اما آن بخش از پرتوهای خورشیدی که به زمین می رسد (بخش ۳) زمین را گرم می کند و زمین هم مانند هر جسم داغ دیگری این گرما را به صورت پرتوهای الکترومغناطیسی گسیل می دارد با این تفاوت که پرتوهای گسیل شده از سطح زمین (که بیشتر به صورت فرو سرخ هستند) در مقایسه با پرتوهای جذب شده انرژی کمتر و طول موج بلندتری دارند.

حال پرتوهای کم انرژی گسیل شده از سطح زمین که بیشتر به صورت فرو سرخ هستند ۲ اتفاق برایشان می افتد:

۱) بخش قابل توجهی از این پرتوهای فرو سرخ (در حدود ۷۰٪) به فضا می رود و از دسترس زمین خارج می شود.

۲) و اما بخش دیگر توسط مولکول های گازی موجود در هوا مثل: $CO_2$ ، $H_2O$ و ... که به گازهای گلخانه ای معروف هستند، جذب شده و دوباره به سطح زمین باز تابش می کند و باعث می شوند که زمین گرم تر و گرمتر شود (حدود ۳۰٪ پرتوهای فرو سرخ توسط گازهای گلخانه ای باز گردانده می شود)

صرفا جهت اطلاع: در کتاب درسی دهم فقط به گازهای $CO_2$ و $H_2O$ اشاره کرده در حالیکه جالب است بدانید گازهای $(CH_4)$، CFC ها، ازون $(O_3)$ و برخی اکسیدهای نیتروژن هم جزو گازهای گلخانه ای طبقه بندی می شوند.

! توجه: گازهای گلخانه ای مثل $CO_2$ و $H_2O$ در امواج پرانرژی رسیده به زمین را نمی توانند جذب کنند (چون پرانرژی اند) ولی در مقابل پرتوهای کم انرژی مثل فرو سرخ را می توانند جذب کرده و دوباره به سطح زمین گسیل کرده و باعث گرم شدن کره زمین شوند.

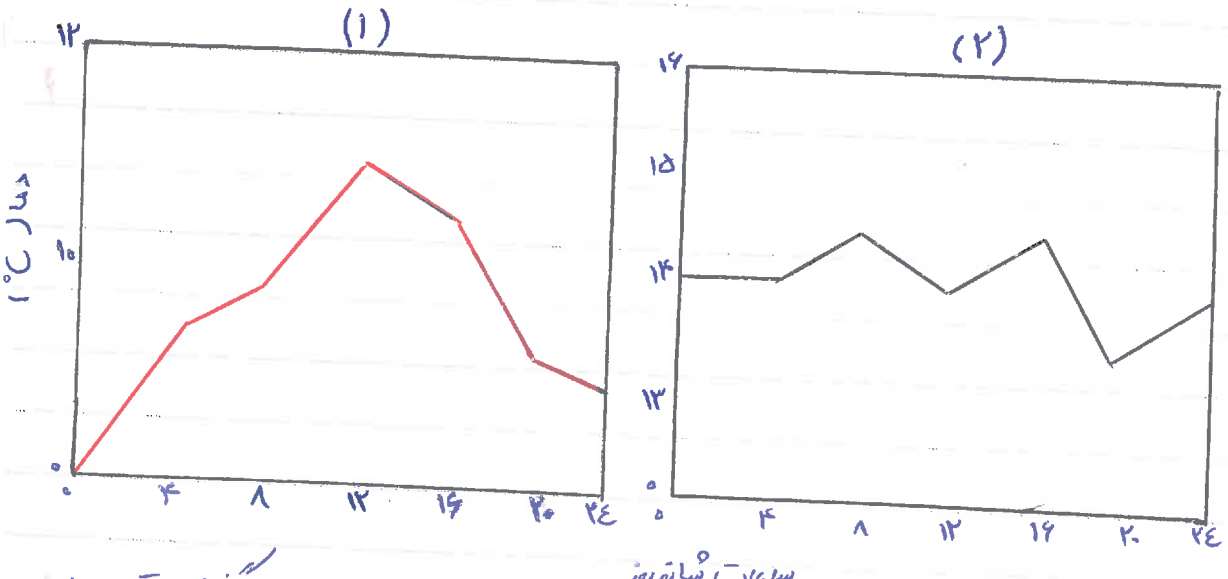
نتیجه: به پدیده جذب پرتوهای فرو سرخ و برگرداندن دوباره آنها به سطح زمین توسط گازهای $CO_2$، $H_2O$ و دیگر گازهای گلخانه ای، که باعث گرم شدن کره زمین می شود، اثر گلخانه ای و به این گازها، گازهای گلخانه ای گفته می شود.

آفتابه ①: نتیجه اثر گلخانه ای افزایش دمای کره زمین است. اگر این اثر وجود نداشت میانگین دمای کره زمین به $-18^{\circ}C$ کاهش می یافت. حال اگر همانطور ها با سبک زندگی ماشینی و صنعتی فعلی میزان گازهای گلخانه ای مثل $CO_2$ را بیش

از حد معمول افزایش دهیم باعث خواهد شد که دیاگرام دمای کره زمین برای افزایش بیش از حد گازهای گلخانه‌ای از حد معمول تجاوز کند (چیزی که به آن اثر گلخانه‌ای افزوده گویند) و باعث رویدادهایی مانند: بالا آمدن سطح آب دریا در اثر ذوب شدن برف‌ها و یخچال، به هم خوردن فصول آب و هوایی، خشکسالی و ... خواهد شد.

**نکته ۲:** شما به پدیده اثر گلخانه‌ای در داخل فضاهای بسته مانند گلخانه‌ها اتفاق می‌افتد. گلخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی ویژه‌ای هستند که در آن‌ها را با ارتفاع معینی با لایه‌ای از پلاستیک‌های شفاف می‌پوشانند و در آن‌ها گیاهان و میوه‌های گوناگون پرورش می‌دهند (در این فضاها لایه پلاستیکی نقش مشابه گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کند.) گلخانه گیاه یا میوه را از تغییر دما و افت حفظ می‌کند. (پرتوهای پر انرژی خورشید از لایه پلاستیکی عبور کرده و توسط خاک و گیاهان جذب می‌شود. حال پرتوها جذب شده توسط خاک و گیاهان کم انرژی شدن (مثل مزوسفر) و موقع خروج از گلخانه، از لایه پلاستیکی عبور نمی‌کنند و در گلخانه به دام می‌افتند و آن را گرم می‌کنند!)

**مثال:** نمودارهای ۱ و ۲ در یک روز زمستانی رسم شده‌اند. کدام نمودار مربوط به درون و کدام یک مربوط به بیرون گلخانه است؟ چرا؟




در نمودار ۱ تغییر محسوس دما در طول شبانه‌روز در آن دیده می‌شود در نتیجه نمودار ۱ مربوط به بیرون گلخانه است، ولی نمودار ۲ مربوط به درون گلخانه است که با وجود تغییرات دمای شدید بیرون از گلخانه، تغییرات درون آن زیاد نیست که علت آن

همان وجود لایه پلاستیکی درون گلخانه است.

## شیمی سبز راهی برای محافظت از هوا کره

شیمی سبز (Green chemistry) شاخه ای از شیمی است که در آن شیمی دان ها در جهت وجوی فرایندها و فراورده هایی هستند که به کمک آنها بتوان کیفیت زندگی را با بهره گیری از منابع طبیعی افزایش داد و هم زمان از طبیعت محافظت کرد. در این راستا باید تولید و مصرف موادشیمیایی را که رد پاهای سنگینی روی کره زمین برجای می گذارند، کاهش داد یا متوقف کرد.

به چند مثال از فعالیت هایی که در شیمی سبز در راستای کاهش آلودگی هوا کره و زمین انجام شده، توجه کنید:

۱) تولید سوخت سبز: سوخت سبز سوختی است که در ساختار خود علاوه بر کربن و هیدروژن، اکسیژن نیز دارد و از بسیاری گیاهی مانند شاخ و برگ گیاه سویا، نیشکر و دانه های روغنی به دست می آید. سوخت سبز زیست تخریب پذیر است؛ بنابراین برسیله جانداران ذره بینی به مواد ساده ی تجزیه می شوند. اتانول ($C_2H_5OH$) و روغن های گیاهی از این نوع سوخت ها هستند.

توجه: اگر به معادله سوختن اتانول توجه کنیم:

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

متوجه می شویم که در اثر سوختن اتانول برخلاف سوخت های فسیلی آلاینده هایی مانند: $SO_2$، $NO_2$، $NO$ و ... تولید نمی شوند (از اتانول در امریکای جنوبی (مثل برزیل) به عنوان سوخت و در امریکا به عنوان مکمل استفاده می شود)

۲) تبدیل $CO_2$ به مواد معدنی: برای از بین بردن گاز $CO_2$ تولید شده در نیروگاه ها و خودرو ها، دانشمندان می توان این گاز را با منیزیم اکسید ($MgO$) و یا کلسیم اکسید ($CaO$) یا همان آهک وارد واکنش کرد و مانع از ورود آن به جو شد. در این واکنش ها کلسیم کربنات و منیزیم کربنات جامد تولید می شود. (منیزیم کربنات) $CO_2 + MgO \rightarrow MgCO_3$ (کلسیم کربنات) $CO_2 + CaO \rightarrow CaCO_3$

۳) تولید پلاستیک های سبز: این ظرف ها بر پایه مواد گیاهی مانند نشاسته ساخته می شوند و به همین دلیل در ساختار آنها علاوه بر کربن و هیدروژن، اکسیژن هم وجود دارد. این نوع پلاستیک ها زیست تخریب پذیرند؛ بنابراین در مدت زمان بسیار

گوناهن تجزیه می شوند و به طبیعت باز می گردند.

۴) دفن کردن $CO_2$: $CO_2$ را می توان به جای رها کردن در هوا گاه در معدن های عمیق و اصل در زیر زمین ذخیره و نگهداری کرد. سنگ های متخلخل در زیر زمین، میدان های قدیمی گاز و چاه های قدیمی نفت که خالی از این مواد هستند، جاهای مناسبی برای دفن این گاز هستند.

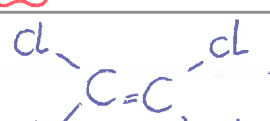
۵) تولید خودرو و سوخت با کیفیت بسیار خوب

صرفا جهت اطلاع: شرکت های بزرگ خودروسازی در دنیا با بهره گیری از دانش علوم پایه و مهندسی، $CO_2$ تولید شده از خودروها را به ازای هر یک کیلومتر از ۱۶۵ گرم به ۱۳۰ گرم کاهش داده اند. آنها در تلاش اند تا این مقدار را به ۱۰۵ گرم کاهش دهند.

## بیودیزل

صرفا جهت اطلاع: بیودیزل سوختی است که از اسیدهای چرب موجود در روغن نباتی ساخته می شود و عنوان آغازگر سوخت های تجدیدپذیر شناخته می شود. بیودیزل نسبت به گازوئیل دارای ۱۰٪ اکسیژن بیشتر است و در نتیجه احتراق بهتری دارد. بیودیزل آلایندگی کمتری تولید می کند، برای محیط زیست هم خیلی مفید است، از معایب بیودیزل می توان به الف) هزینه تولید آن بیشتر از گازوئیل است؛ ب) $NO_2$ بیودیزل از گازوئیل معمولی بیشتر است ج) رسوبی که در موتور باقی می ماند نیز از گازوئیل بیشتر است. بهترین راه حل خلوط کردن بیودیزل و گازوئیل می باشد. مخلوطی B20 نامیده می شود (۲۰٪ بیودیزل ۸۰٪ گازوئیل) یکی از مزایای B20 توانایی روان سازی بیشتر آن است که فرسودگی موتور را کاهش می دهد. به تقاضای ریسه سوخت ها و روان سازها نیاز با کاهش منابع نفتی و شدید تر شدن قوانین زیست محیطی، بازار خوبی پیدا کند.

صرفا جهت اطلاع: یکی از نمونه های خوب شیمی سبز استفاده از $CO_2$، یکی از محصولات جانبی سوخت ها



فسیلی است. یکی از کاربردهای آینده دار $CO_2$ جایگزینی حلالی به نام پرکلرواتیلن (PERC) است.

در آمریکا این حلال در ۸۰٪ خشکشویی ها به کار می رود. افرادی که مدت زیادی با این ماده سروکار داشته اند دچار آسیب های کبد و کلیه و سرطان می شوند. هرچند PERC خطر عمومی ندارد و PERC مانده در لباسهای خشکشویی بسیار اندک است، ولی مسلما متصدیان خشکشویی را تهدید می کند. $CO_2$ در فشار بالا به مایعی تبدیل می شود که با شوینده های مناسب می تواند چربی لباس را به خوبی حل کند. با کاهش فشار $CO_2$ به حالت گازی می رود و لباس خشک می شود، بدون اینکه نیازی به حرارت باشد. با این گاز می توان آن را دوباره مورد استفاده قرار داد.

خبر خوش اینکه شیمی سبز مقرون به صرفه است و اگر تمام هزینه ها در نظر گرفته شود، معمولا ارزان تر تمام می شود.

## ▲ هیدروژن و توسعه پایدار

گاز هیدروژن فراوان ترین عنصر در جهان است. با این وجود در لایه زمین، هیدروژن به شکل آزاد ($H_2$) بسیار ناچیز وجود دارد و اکثرا به صورت ترکیب هایی مانند آب $H_2O$ در زمین فراوان است. گاز هیدروژن مانند سوخت های فسیلی در حضور اکسیژن می سوزد و گرما و نور آزاد می کند. در جدول صفحه ۷۶ کتاب درسی، ویژگی های سوخت هیدروژن با سوخت های فسیلی مانند بنزین، زغال سنگ و گاز طبیعی مقایسه شده است.

| نام سوخت | بنزین | زغال سنگ | هیدروژن | گاز طبیعی |
|---|---|---|---|---|
| گرمای آزاد شده به ازای یک گرم یا یک کیلوگرم | ۴۸ | ۳۰ | ۱۴۳ | ۵۴ |
| فرآورده های سوختن | $CO, CO_2, H_2O$ | $CO, CO_2, H_2O$ $SO_2$ | $H_2O$ | $CO, CO_2, H_2O$ |
| قیمت (ریال به ازای یک گرم) | ۱۴ | ۴ | ۲۸۰۰ | ۵ |

با توجه به جدول:

① میزان تولید انرژی به ازای یک گرم: زغال سنگ < بنزین < گاز طبیعی < هیدروژن

② مقایسه میزان آلاینده های تولید شده: زغال سنگ > بنزین > گاز طبیعی > هیدروژن

سوخت‌های فسیلی (هیدروکربن)

③ قیمت:

④ برای سوختن هیدروژن فقط $H_2O$ تولید می‌شود و هیچ آلاینده‌ای ندارد

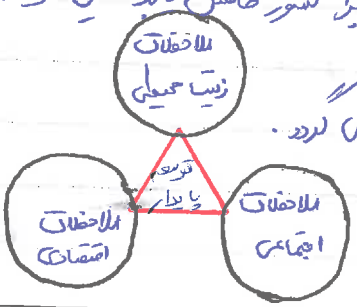
⑤ از فرآورده‌های سوختن همه سوخت‌های فسیلی، کربن منوکسید ($CO$) است که ناشی از سوختن ناقص این سوخت‌ها می‌باشد

⑥ فرآورده سوختن گاز طبیعی و بنزین یکسان است و تنها مزیت گاز طبیعی نسبت به بنزین، قیمت آن می‌باشد.

⑦ فرآورده سوختن زغال سنگ علاوه بر فرآورده‌های مشترک با بنزین و گاز طبیعی ($CO, CO_2, H_2O$) گاز $SO_2$ هم تولید می‌شود که ناشی از حضور گوگرد در زغال سنگ می‌باشد.

① مزیت گاز طبیعی به عنوان سوخت نسبت به گاز هیدروژن، ارزان بودن آن است. اما استفاده از گاز طبیعی یا حتی بنزین موجب تولید گاز $CO_2$ می‌شود که یک گاز گلخانه‌ای است و دارای اثرات سوء زیست محیطی می‌باشد.

در تولید هر کالایی، قیمت تمام شده برای آن کالا شامل: [کل هزینه‌ها تولید به علاوه سود آن شرکت] می‌باشد، در واقع فقط ملاحظات اقتصادی در نظر گرفته شده است. اما هر کالایی به اقتصاد کشور هزینه‌هایی را تحمیل می‌کند که به قیمت تمام شده اضافه نشده است. برای مثال فرض کنید شرکتی یک ماده خوراکی تولید کرده است اگر این شرکت در تولید این ماده، استانداردها لازم مثل موارد بهداشتی را رعایت نکند، مصرف این ماده خوراکی به سلامت شهروندان و محیط زیست آسیب خواهد زد. در این حالت قیمت تمام شده این کالا بسیار کمتر از قیمتی است که روی آن ثبت شده است؛ به همین خاطر به مفهومی می‌گویم «توسعه پایدار» توسعه پایدار: یعنی اینکه در تولید هر فرآورده، همه هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن در نظر گرفته شود. براین اساس هرگاه در مجموع شرکت‌ها و کارخانه‌ها، کالایی را تولید کنند که قیمت تمام شده تولید کالا برای کشور کاهش یابد، این توسعه سبب رشد واقعی کشور می‌شود و در دراز مدت سبب حفظ یا کاهش مصرف منابع طبیعی می‌گردد.



**نکته ۱:** مقدار گاز هیدروژن در هوا کره ناچیز بوده و برای تولید، حمل و نقل و نگهداری این گاز نیاز به سرمایه گذاری هنگفتی است. این موضوع هزینه تولید شده به این روش را افزایش می دهد. با وجود آنکه حجم تمام شده انرژی تولید شده از گاز هیدروژن بالاست ولی با توجه به اینکه تنها فرآورده این سوخت $H_2O$ است و از محافل زیست محیطی آسیبی به محیط زیست نمی رساند و با در نظر گرفتن همه ملاحظات توسعه پایدار، سرمایه گذاری هنگفت برخی کشورها روی گاز هیدروژن بی دلیل نیست چون می دانند در دراز مدت سود خواهند کرد.

**نکته ۲:** برخی کشورها در پی تولید پلاستیک هایی زیست تخریب پذیرند درحالیکه حجم تمام شده تولید پلاستیک ها با پایه نفتی در کارخانه بسیار کم است. دلیل این است که پلاستیک های زیست تخریب پذیر برخلاف سایر پلاستیک ها با پایه نفتی به سرعت تجزیه شده و ایجاد آلودگی زیست محیطی چندانی نمی کنند، به همین دلیل براساس توسعه پایدار، برخی کشورها ملاحظات زیست محیطی را بر ملاحظات اقتصادی مقدم دانسته و از این دسته پلاستیک ها تولید و استفاده می کنند.

**نکته ۳:** صاحبان و متخصصان در درشرکت های بزرگ تولید خودرو و هواپیما، هزینه های هنگفتی صرف می کنند تا موتورهایی با اتلاف کمترین مقدار $O_2$ را بسازند چون $O_2$ به عنوان یک گاز گلخانه ای، موجب گرمایش دهای کره زمین و در نتیجه جلوگیری از تابشات و پیامدهای مخرب اقتصادی دهای می شود. این موضوع با توجه به توسعه پایدار، علاوه بر ملاحظات زیست محیطی، ملاحظات اقتصادی را هم تا حدزیادی تامین می کند.

## ازون، دگرشکل از اکسیژن در هوا کره

برای اینکه با ازون ($O_3$) و دیگر ی های آن آشنا شویم بهتر است ابتدا با تعریف دگرشکل (آلوتروپ) آشنا شویم.

**دگرشکل (آلوتروپ):** به شکل های گوناگون مولکولی یا بلوری یک عنصر، دگرشکل (آلوتروپ) گفته می شود. برای مثال کربن (C) دارای ۳ آلوتروپ است به نام های الماس، گرافیت، و باکمینستر فولرین یا اکسیژن دارای ۲ آلوتروپ به نام ها

اکسیژن ($O_2$) و اوزون ($O_3$) می‌باشد که هر دو فرم آن نقش بسیار مهمی در طبیعت دارند. در این قسمت با ویژگی‌های اوزون ($O_3$) بیشتر آشنا خواهیم شد.

! توجه: آلوتروپ در مورد شکل‌های گوناگون یک عنصر که از یک نوع اتم تشکیل شده‌اند به کار می‌رود و در مورد ترکیباتی که از اتم‌های متفاوت تشکیل شده‌اند به کار نمی‌رود.

ویژگی‌های فیزیکی $O_3$ و $O_2$ در جدول زیر مشخص شده است.

| نام دیگر شکل | فرمول شیمیایی | جرم مولی | نقطه جوش (°C) |
|---|---|---|---|
| اکسیژن | $O_2$ | ۳۲ | -۱۸۳ |
| اوزون | $O_3$ | ۴۸ | -۱۱۲ |

با توجه به اینکه بار رسمی اتم‌ها در ساختار لوویس اشتباه است، آرایش الکترون نقطه‌ای $O_3$ و $O_2$ به صورت زیر است.

همانطور که در جدول بالا مشخص است، نقطه جوش گاز $O_3$ از گاز $O_2$ بیشتر است، پس می‌توان گفت که با سرد کردن این دو گاز اوزون راحت‌تر به مایع تبدیل می‌شود.

در فصل سوم خواهیم خواند که دلیل بالاتر بودن نقطه جوش $O_3$ نسبت به $O_2$، قطبی بودن و جرم مولکولی بیشتر $O_3$ می‌باشد.

هم‌چنین در فصل سوم خواهیم خواند که انحلال پذیری $O_3$ به دلیل قطبی بودن از $O_2$ بیشتر است. با توجه به شکل صفحه ۷۸ کتاب درسی متوجه می‌شویم که اوزون ($O_3$) و اکسیژن ($O_2$) در حالت مایع آبی و بنفش رنگ هستند ولی $O_3$ مایع کم‌رنگ‌تر از $O_2$ مایع می‌باشد.

($O_3$ در حالت گازی هم آبی رنگ است. :صدرخاجیت اطلاع)

واکنش پذیری گاز اوزون ($O_3$) از گاز اکسیژن ($O_2$) بیشتر است. در نتیجه در صنعت از گاز $O_3$ برای ضدعفونی میوه‌ها، سبزیجات و از بین بردن جانداران ذره بینی درون آب استفاده می‌شود. (شدت بیشتر واکنش $O_3$ باعث شده که این گاز با عوامل و جانداران نامطلوب موجود، واکنش داده و آن‌ها را از بین ببرد.)

**توجه:** چون واکنش پذیری با پایداری رابطه عکس دارد، در نتیجه پایداری $CO_2$ از $CO$ بیشتر است.

**نکته مهم:** با توجه به اختلاف رفتار این دو ماده می‌توان گفت که ساختار هر ماده، تعیین کننده خواص رفتار آن است.

به عنوان مثال، علت بیشتر بودن واکنش پذیری $CO$ در ساختار لوویس آن است؛ در ساختار لوویس $CO$ یک پیوند یگانه وجود دارد که راحت‌تر شکسته شده و به یک مولکول $CO_2$ و یک اتم بسیار فعال O تبدیل می‌شود.

**نتیجه:** نحوه اتصال اتم‌ها یا هم و آرایش و ساختار قرارگیری آن‌ها در یک ترکیب، خواص و رفتار ماده را تعیین می‌کند. در حقیقت اختلاف رفتار و تمایل و عدم تمایل مواد برای شرکت در واکنش‌ها، نتیجه و حاصل همین تفاوت در ساختار آن‌هاست.

▲ **نقش حفاظتی لایه اوزون:**

در فصل اول در مورد امواج الکترومغناطیسی خورشید صحبت کردیم. یکی از این امواج پرتوی فرابنفش (UV) است که بسیار پرانرژی و خطرناک می‌باشد؛ بطوری‌که اگر همه پرتوی فرابنفش به زمین برسد باعث آسیب‌های زیادی از جمله برای موجودات زنده و انسان‌ها می‌شود. (پرتو فرابنفش می‌تواند باعث سرطان پوست شود!)

خوشبختانه مولکول‌های اوزون مانع ورود بخش عمده‌ای از تابش فرابنفش به سطح زمین می‌شود. اوزون ($O_3$) گازی با مولکول‌های سه اتمی در لایه‌های بالایی هواکره (استراتوسفر) مانند پوششی کره زمین را احاطه کرده، هر چند که مقدار آن در هواکره ناچیز است. غلظت $O_3$ به قدری کم است که در حد ppm وجود دارد و مانند یک پوشش نازک دور تا دور کره زمین را احاطه کرده است.

**لایه اوزون:** لایه اوزون به منطقه مشخصی از استراتوسفر می‌گویند که بیشترین مقدار اوزون در آن محدوده قرار دارد. (لایه اوزون در فاصله ۱۵ تا ۳۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد.)

نحوه جذب اشعه فرابنفش توسط لایه اوزون: دیدیم که در مولکول $O_3$ سه پیوند اشتراکی (یک دوگانه و یک یگانه) وجود دارد. هنگامی که تابش پرانرژی فرابنفش (UV) به مولکول‌های $O_3$ موجود در لایه اوزون برخورد می‌کند، پیوند اشتراکی بین

دوتا از اتم های اکسیژن می شکند و مولکول $O_3$ به یک اتم اکسیژن ($O$) و یک مولکول اکسیژن ($O_2$) تبدیل می شود:

$$1) O_3 + UV \rightarrow O_2 + O$$

ذره های تولید شده دوباره می توانند در واکنش با یکدیگر، مولکول $O_3$ را تولید کنند در این واکنش مقداری انرژی به صورت تابش فروسرخ ($IR$) آزاد می شود.

$$2) O_2 + O \rightarrow O_3 + IR$$

با تکرار پیوسته این دو واکنش، لایه اوزون بخش قابل توجهی از تابش فرابنفش را جذب می کند و تابش های کم انرژی فروسرخ را به زمین گسیل می کند.

▲ انواع واکنش های شیمیایی:

۱) واکنش ها برگشت ناپذیر: واکنش هایی که فقط در جهت رفت انجام می شود و فقط واکنش دهنده ها به فراورده ها تبدیل می شوند و با نماد ($\rightarrow$) نمایش داده می شوند. مانند: واکنش ها سوختن، زنگ زدن آهن، پختن غذا و...

۲) واکنش های برگشت پذیر: واکنش هایی که هم در جهت رفت و هم در جهت برگشت انجام می شود یعنی علاوه بر اینکه واکنش دهنده ها به فراورده تبدیل می شوند، فراورده ها هم می توانند به واکنش دهنده ها تبدیل شوند. به این نوع واکنش ها واکنش های دوطرفه می گویند و با نماد دوطرفه ($\rightleftharpoons$) نشان می دهند مانند: چرخه اوزون، تغییر حالت فیزیکی مواد مثل ذوب و انجماد، یخ زدن شدن با تری های قابل شارژ و...

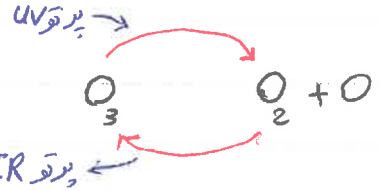
نکته: واکنش های انجام گرفته در لایه اوزون را می توان به صورت روبرو نشان داد: $2O_{3(g)} \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} 3O_{2(g)}$

همانطور که قبلا تقسیم و با توجه به وجود فلش دوطرفه، واکنش تبدیل $O_3$ به $O_2$ نمونه یک واکنش برگشت پذیر است.

! توجه: مولکول $O_2$ برخلاف $O_3$ توانایی مقابله با پرتوهای فرابنفش خورشید را ندارد. (بنابراین اگر در لایه اوزون فقط واکنش (۱) یا همان واکنش رفت انجام شود، با گذشت زمان همه مولکول های $O_3$ به $O_2$ تبدیل می شوند و دیگر اوزونی برای مقابله با

پرتوهای خطرناک فرابنفش وجود ندارد. هیچ‌وقت اگر واکنش فقط در جهت برگشت (واکنش (2)) انجام شود، رفته رفته همه مولکول‌های $O_2$ به $O_3$ تبدیل شده و مقدار $O_2$ به طور چشم‌گیری کاهش خواهد یافت و از طرفی به دلیل اینکه $O_3$ طول‌های لایه استراتوسفر به میزان زیادی افزایش خواهد یافت.

**نکته:** لایه اوزون و مولکول‌های اوزون تمام نمی‌شود؛ زیرا مکانیسم عمل اوزون چرخه‌ای است. با توجه به شکل زیر $O_3$ پس از برخورد با فرابنفش به $O_2$ و $O$ تجزیه می‌شود ولی این واکنش در جهت برگشت هم صورت می‌گیرد و $O_2$ و $O$ باهم واکنش داده و $O_3$ را تولید می‌کنند (به همراه پرتوهای مرئی و مادون قرمز)




▲ اوزون در تروپوسفر، آلاینده‌های خطرناک

اوزون علاوه بر لایه استراتوسفر در لایه تروپوسفر هم یافت می‌شود. دیدیم که وجود $O_3$ در لایه استراتوسفر موجودات زنده را از آثار زیان‌بار پرتو فرابنفش در امان نگه می‌دارد اما وجود همین $O_3$ در لایه تروپوسفر بسیار خطرناک خواهد بود.

قبلاً اشاره کردیم که $O_3$ نسبت به $O_2$ واکنش‌پذیرتر است؛ درواقع به همین دلیل وجود اوزون در لایه تروپوسفر (اوزون تروپوسفری) آن را تبدیل به آلاینده‌ای سمی و خطرناک می‌کند به طوری‌که وجود $O_3$ در هوایی که تنفس می‌کنیم باعث سوزش چشمان و آسیب دیدن به ریه‌ها می‌شود. به عبارت دیگر در تروپوسفر با نفس زیانبار و مضر اوزون مواجه هستیم درحالی‌که در استراتوسفر نفس مفید و حافظت اوزون آشکار است.

اوزون تروپوسفری از کجا می‌آید؟ اوزون در تروپوسفر به دلیل حضور $NO_2$ به وجود می‌آید که این $NO_2$ باز هم از کجا می‌آید؟

* روش اول: گاز نیتروژن به عنوان اصلی‌ترین جزء سازنده هوا که (با درصد حجمی ۷۸٪) واکنش‌پذیری بسیار کمی دارد (به دلیل پیوند سه‌گانه و محکم $N \equiv N$:) و به طور معمول با اکسیژن واکنش نمی‌دهد؛ اما هنگام رعد و برق به دلیل بالا رفتن شدید دما، گازهای نیتروژن و اکسیژن باهم واکنش داده و طی دو واکنش زیر به اکسیدهای نیتروژن ($NO_2$) تبدیل می‌شوند.

1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)}$

2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

واکنش کلی: $N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

روش دوم: در هوای آلوده شهرهای صنعتی و بزرگ، به مقدار قابل توجهی اکسیدهای نیتروژن ($NO_x$) وجود دارد. در واقع این گازها از واکنش گازهای نیتروژن و اکسیژن درون موتور خودرو در دمای بالا (حدود ۱۰۰۰°C) بوجود می‌آیند.

1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)}$ در واقع از واکنش $N_2$ یا $O_2$ در موتور، گاز NO بوجود آمده (مرحله اول)

2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ از اگزوز ماشین خارج می‌شود و هنگامی که از اگزوز ماشین گاز NO خارج شد، دوباره با اکسیژن هوا واکنش داده (مرحله ۲) و گاز $NO_2$ تولید می‌شود.

واکنش کلی: $N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

**توجه:** برای تولید اکسیدهای نیتروژن ($NO_x$)، نیاز به انرژی زیادی است که این انرژی می‌تواند با رعد و برق و یا دمای بالای موتور خودرو تأمین شود.

**توجه:** خواندیم که $NO_2$ با دو روش بالا بوجود می‌آید. برای واکنش زیر ۲ مولکول‌های $NO_2$ با اکسیژن هوا، در حضور نور خورشید واکنش داده و مقداری گاز ازون تولید می‌گردد. این ازون همان «ازون تروپوسفری» است.

$$NO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)} + O_{3(g)}$$

در واکنش بالا علاوه بر اینکه آلاینده‌ای سمی در تروپوسفر به نام ازون ($O_3$) بوجود می‌آید، مولکول‌های $O_2$ برای تنفس انسان‌ها هم از بین می‌روند.

**نکته:** گاز نیتروژن دی اکسید ($NO_2$) به رنگ قهوه‌ای است و در صورت وجود این گاز در هوای آلوده، کلا شهرها رنگ هوا به صورت قهوه‌ای روشن دیده می‌شود.

صدف جهت اطلاع: شیمی دان هوا کره، شخصی است که ترکیب شیمیایی هوا کره را می شناسد. هم چنین از جرم هم کنش گازها، مایع ها و جامدهای موجود در هوا کره با سطح زمین و موجودات زنده ای که روی آن زندگی می کنند، آگاه است.

صدف جهت اطلاع: تا همین اواخر نیتروژن مونوکسید (نام دیگر نیتریک اکسید) یک آلاینده هوا به حساب می آمد. ولی اخیراً معلوم شده که این ترکیب در بدن ایجاد می شود و حاکی تنظیم فشار خون با گشاد کردن مویرگ هاست. مطالعاتی در سال ۱۹۹۰ نشان دادند که تجویز NO به بیماران کم خون داسی شکل باعث تخفیف آلام این بیماری می شود. این تجویز برای بیمارانی که به خاطر بسته شدن مویرگ ها در قفسه سینه، تب و فشار خون پیدا می کنند بسیار مفید است.

## خواص و رفتار گازها

می دانیم که جامدات شکل مشخص و حجم معینی دارند و شکل آنها به شکل ظرف بستگی ندارد. مایعات شکل مشخصی ندارند و به شکل ظرف محتوی آن درمی آیند ولی حجم معینی دارند. گازها شکل معینی ندارند و به شکل ظرف درمی آیند، گازها هم حجم معینی ندارند و حجم یک گاز با حجم ظرف محتوی آن برابر است و همه فضای ظرف را اشغال می کند. ظرف ۷ = گاز ۷

توجه! پخش شدن بوی نان تازه، گلاب و دود اسفند در فضای خانه نشان می دهد که مولکول های یک ماده گازی در هوا منتشر شده و به سلول های (یا خانه های) بویایی ما می رسد. بوی گل رز و محمدی هم ناشی از انتشار مولکول های گازی آن است.

خلاصه:
۱) جامدات هم حجم معین دارند و هم شکل مشخص دارند
۲) مایعات حجم مشخص دارند ولی شکل مشخص ندارند.
۳) گازها نه حجم معین دارند و نه شکل مشخص دارند.

در علوم هفتم یاد گرفتید که گازهای خلاف جامدات و مایعات، تراکم پذیر هستند؛ به طوری که اگر به یک نمونه گاز موجود در سرنگی یا سیلندری با پیستون روان، فشار وارد کنیم، فاصله بین مولکول های گازی کمتر شده، گاز فشرده تر و حجم آن کمتر می شود.

(اگر فشار کاهش یابد یا حجم کم شود، فاصله بین مولکول های گاز افزایش می یابد!)

## ▲ قوانین گازها

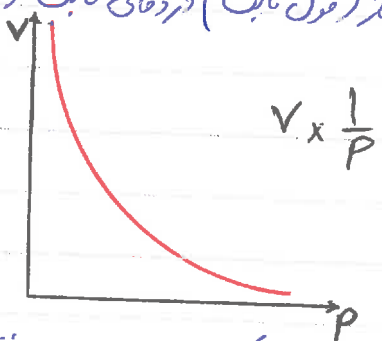
برای توصیف یک نمونه گاز باید: مقدار (مول)، حجم، فشار و دمای آن را بدانیم، زیرا رفتار گازها تابع سه عامل است:

فشار (P)، حجم (V)، دما (T) و با تغییر هرکدام از این سه مورد، دو مورد دیگر نیز تغییر می کنند.

در کتاب درسی بیشتر در قالب دو به هم پیوسته، به طور خیلی نامحسوس به هر سه قانون مهم در زمینه رفتار گازها (قانون بویل، قانون شارل و قانون آووگادرو) اشاره کرده ولی نامی از دانشمندان کاشف این قوانین به میان نیاورده است.

جالب است بدانید که در متن کتاب درسی اگر خیلی ریز بینانه نگاه کنیم به «قانون عمومی گازها» ($PV=nRT$) که از حاصل ضرب کردن سه قانون بالا به دست می آید، هم اشاره شده است. بنابراین بر شما واجب است که هر سه قانون نامبرده و قانون عمومی گازها را بلد باشید.

۱) رابطه فشار - حجم (قانون بویل): طبق این قانون، برای مقدار معینی گاز (مول ثابت) در دمای ثابت (T ثابت) حجم گاز با فشار گاز رابطه معکوس دارد.




برای مثال اگر حجم گاز ۲ برابر شود، فشار گاز $\frac{1}{2}$ برابر یا نصف می شود.

**توجه:** حاضر شدیم که گازها تراکم پذیر هستند یعنی می توان گازها را فشرده کرد تا حجم کمتری را اشغال کنند. پس می توان نتیجه گرفت که قانون بویل بر مبنای اصل «تراکم پذیری گازها» بنا شده است.

می دانیم که برای تبدیل تناسب به تساوی باید یک عدد ثابت (مثل $k$) ضرب کنیم تا تناسب به تساوی تبدیل شود.

$$V \propto \frac{1}{P} \Rightarrow V = k \times \frac{1}{P} \Rightarrow \boxed{PV=k}$$

نتیجه: برای مقدار معینی گاز در دمای ثابت (قانون بویل)، وقتی فشار گاز افزایش یابد ($\uparrow P$) باید حجم گاز کاهش یابد

**توجه:** در رابطه بالا دما باید بر حسب کلوین باشد. طبق قانون شارل اگر دما در مقیاس کلوین $n$ برابر باشد، حجم گاز هم $n$ برابر می‌شود ولی اگر دما بر حسب درجه سلسیوس باشد دیگر نمی‌توان اینگونه نتیجه گرفت.

**توجه:** اگر به نمودارهای بالا توجه کنید متوجه خواهید شد که در دماهای نزدیک به صفر کلوین، نمودار به صورت خط‌چین رسم شده است! دلیلش این است که اولاً رسیدن به دمای صفر کلوین تقریباً غیر ممکن است. دوماً در دماهای صفر کلوین، حجم گاز صفر می‌شود که از نقطه نظر فیزیک حجم صفر بی معنی است.

**نکته:** از هوا دادن بادکنک‌های پر شده از هوا در برف بیشتر از این منبع سبب می‌شود که حجم آنها به سرعت کاهش یابد.

**نکته:** طبق قوانین ریاضی:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2-V_1}{V_1}=\frac{T_2-T_1}{T_1} \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta V}{V_1}=\frac{\Delta T}{T_1}}$$

**مثال:** ظرفی حاوی گاز اکسیژن در دمای ۲۷ دارای ۳۰ لیتر حجم است. اگر دما به ۳۷ برسد، حجم ظرف چقدر می‌شود؟

$V_1 = 30L$

$T_1 = 27 + 273 = 300K$ $\quad T_2 = 37 + 273 = 310K$ $\quad V_2 = ?$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{30}{300}=\frac{V_2}{310} \Rightarrow V_2 = 31L$$

**تمرین ۱**

اگر دمای یک سیلندر با پیستون روان (فشار ثابت!) که حاوی ۲۰ لیتر گاز است را از صفر درجه سلسیوس تا ۱۳۶/۵ درجه سلسیوس افزایش دهیم، حجم سیلندر چند درصد افزایش می‌یابد؟

**تمرین ۲**

حجم گازی را ۲۰٪ در صد افزایش داده‌ایم، دمای آن از ۲۷ به چه دمایی بر حسب سلسیوس می‌رسد؟ (فشار ثابت است)

۳) رابطه مقدار گاز - حجم یا قانون آوگادرو: طبق این قانون در دما و فشار ثابت، حجم یک گاز با مقدار مول گاز رابطه مستقیم دارد به عبارت دیگر با افزایش شمار مول‌های هر گاز، حجم آن افزایش می‌یابد. به این قانون، قانون آوگادرو

$P_1V_1 = P_2V_2$

تا حاصلضرب آنها که برابر عددی ثابت (K) است ثابت بماند. در نتیجه:

**توجه:** در رابطه بویل باید هم فشار و هم حجم با واحدهای یکسان در فرمول قرار داده شوند.

**مثال:** اگر در دمای ثابت، مقدار فشار یک بادکنک حاوی ۱۰ لیتر گاز $CO_2$ را چهار برابر کنیم، حجم بادکنک چند لیتر خواهد شد؟

**پاسخ:** چون گفته دما ثابت است ← قانون بویل را به کار می‌بریم:

$$\begin{cases} P_2 = 4P_1 \\ V_1 = 10L \\ V_2 = ? \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_1V_1 = P_2V_2 \Rightarrow P_1 \times 10 = 4P_1 \times V_2 \Rightarrow \boxed{V_2 = 2/5L}$$

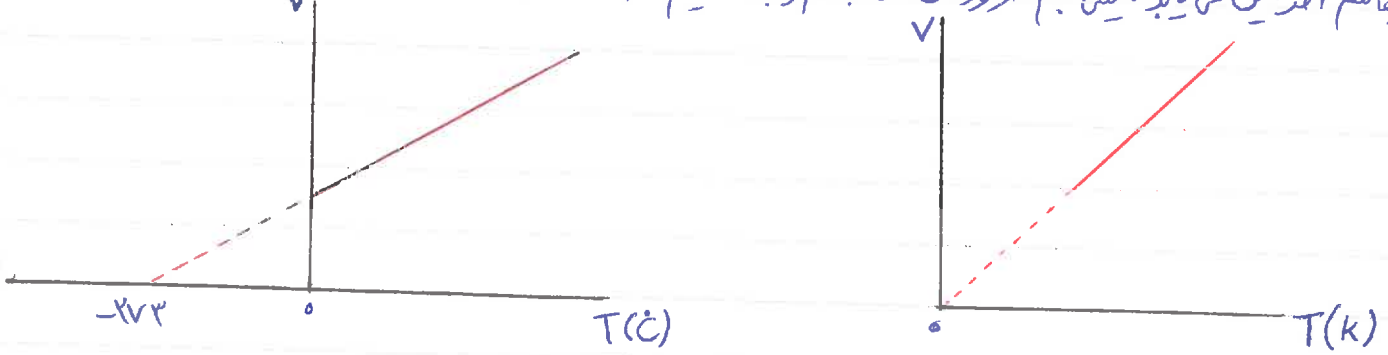
**تمرین ۱:** با یک کپسول ۲۰ لیتری گاز هلیم با فشار ۲۰ اتمسفر، چه تعداد بادکنک ۲/۵ لیتری با فشار ۷۶۰ mmHg را می‌توان در دما ثابت پر کرد؟ (راهنمایی: $1atm = 760\ mmHg$)

**تمرین ۲:**

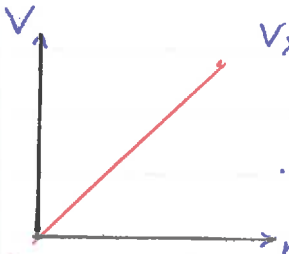
اگر در دمای ثابت بخواهیم حجم گازی را ۲۰ درصد کاهش دهیم، فشار آن را باید چند درصد افزایش دهیم؟ ($= \frac{\text{تغییرات فشار}}{\text{فشار اولیه}} \times 100 = \frac{\Delta P}{P_1} \times 100$)

= درصد افزایش فشار) ← راهنمایی

۲) رابطه دما ـ حجم (قانون شارل): طبق این قانون، برای مقدار معینی گاز (مول ثابت)، در فشار ثابت، با افزایش دما، حجم گازها هم افزایش می‌یابد. یعنی حجم گاز و دمای آن با هم رابطه مستقیم دارند. نمودار قانون شارل:




$V \times T \Rightarrow V = bT \Rightarrow \frac{V}{T} = b$ ← در P ثابت برای مقدار معینی گاز ← $\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$




$V \times n \rightarrow V = an \rightarrow \frac{V}{n} = a \rightarrow \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ هم می گویند.

**توجه:** در رابطه بالا مهم نیست که واحد $V_1$ یا $V_2$ چه واحدی باشد. مهم این است که واحد هردو یکی باشد.

شرایط استاندارد (STP): آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به این نتیجه رسید که: در دما و فشار یکسان حجم یک مول از گازهای گوناگون با هم برابر است. این اصل جدها به قانون آووگادرو مشهور شد. از آنجا که حجم گازها علاوه بر مقدار گاز به دما و فشار هم بستگی دارد، شیمی دان ها معمولا حجم را در دمای ۰°C (۲۷۳K) و فشار 1atm (۷۶cmHg یا ۷۶۰mmHg) بیان می کنند که به این شرایط، شرایط استاندارد (STP) گفته می شود. در شرایط STP، حجم یک مول از هر نوع گازی، ۲۲٫۴ لیتر یا ۲۲۴۰۰ میلی لیتر حجم دارد که به آن حجم مولی گازها در شرایط STP می گویند.

خلاصه ⟸ ۲) دمای ۰°C یا ۲۷۳K ۳) فشار 1atm یا ۷۶cmHg یا ۷۶۰mmHg ۱) حجم مولی گازها = ۲۲٫۴L یا ۲۲۴۰۰mL

**نکته:** طبق موازنه ریاضی:

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta n}{n_1}$$

**نکته:** ما در فصل اول خواندیم که: در یک مول از گازهای مختلف، تعداد مولکول های برابری دارند؛ به عبارت دیگر: تعداد مولکول ها برابر از گازهای مختلف در دما و فشار یکسان، حجم یکسانی را اشغال می کنند؛ برای مثال اگر ۱۰ مولکول از هرکدام از گازهای $N_2$، $H_2$ و $CO_2$ را داشته باشیم، در دما و فشار ثابت حجم هر ۳ گاز با وجود جرم مولکولی متفاوت، برابر است. این موضوع به عبارتی بیان دیگر از همان قانون نسبت های ترکیبی گی لوساک می باشد.

$$\frac{\text{حجم گاز } A}{\text{حجم گاز } B} = \frac{\text{مول گاز } A}{\text{مول گاز } B} = \frac{\text{تعداد مولکول گاز } A}{\text{تعداد مولکول گاز } B}$$

۴) ادغام موازنه گازها (قانون گاز ایده آل): ما تا اینجا سه قانون را یاد گرفتیم که رفتار گازها را توصیف می کردند و در هر یک از این قانون ها، دو مورد ثابت بودند.

$V \times \frac{nT}{P}$ ⟸ نتیجه ⟸
- ۱) قانون بویل: $PV = K \rightarrow V = \frac{K}{P}$ (در $n$ و $T$ ثابت)
- ۲) قانون شارل: $\frac{V}{T} = b \rightarrow V = bT$ (در $n$ و $P$ ثابت)
- ۳) قانون آووگادرو: $\frac{V}{n} = a \rightarrow V = an$ (در $T$ و $P$ ثابت)

از روابط بالا نتیجه گرفتیم که حجم گاز به مول ($n$)، دما ($T$) و فشار ($P$) گاز بستگی دارد و می توان این تناسب را در عدد ثابت

مثل R که ثابت جهانی گازها نامیده می‌شود، ضرب کرد و قانون عمومی گازها را که برابر $PV=nRT$ است به‌دست آورد. در این فرمول مقدار R (ثابت جهانی گازها) همیشه برابر $0/0821 \frac{Latm}{molk}$ می‌باشد.

توجه: شاید همه شما بگوید که رابطه بالا در کتاب درسی نیامده، من هم قبول دارم نیامده، ولی در خط اول صفحه ۸۳ کتاب درسی به این رابطه و قانون عمومی گازهای ایده‌آل اشاره کرده است.

نکته: برای اینکه بدانید عدد ۲۲/۴ در شرایط STP از کجا آمده، کافیست در رابطه $PV=nRT$ به جای n، عدد 1 و به جای T، عدد ۲۷۳K (یا همان ۰°C)، به جای P، عدد 1atm و به جای R همان عدد ثابت $0/0821 \frac{Latm}{molk}$ را قرار دهید تا عدد ۲۲/۴L که همان حجم مولی گازها در شرایط STP است به‌دست خواهد آمد.

مثال ۱ ۳ مول گاز $O_2$، یک بالون هوایی به حجم ۶۰ لیتر را کامل پر می‌کند. اگر بخواهیم یک بالون ۴۰ لیتری را با همان گاز $O_2$ پر کنیم به چند مول $O_2$ نیاز است؟

$$\begin{cases} n_1 = 3 & V_1 = 60\,L \\ n_2 = ? & V_2 = 40\,L \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \Rightarrow \frac{60}{3} = \frac{40}{n_2} \Rightarrow n_2 = 2\,mol$$

مثال ۲ ۲ مول گاز He در سیلندری با پیستون روان به حجم ۵ لیتر موجود است. چند مول گاز He باید به سیلندر اضافه شود تا حجم گاز ۱/۵ لیتر افزایش یابد؟

$$\begin{cases} n_1 = 2 & \Delta n = ? \\ V_1 = 5 & \Delta V = 1/5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta n}{n_1} \Rightarrow \frac{1/5}{5} = \frac{\Delta n}{2} \Rightarrow \Delta n = 0/6\,mol\,He$$

$$\Rightarrow ?g\,He = 0/6\,mol\,He \times \frac{4\,g\,He}{1\,mol\,He} = 2/4\,g\,He$$

مثال ۳ حجم ۰/۶ لیتر گاز کلر را با حجم ۶ لیتر گاز نیتروژن در شرایط STP مقایسه کنید. $\left(N=14\ \frac{g}{mol},\ Cl=35/5\ \frac{g}{mol}\right)$

$$?g\,Cl_2 = 0/6\,L\,Cl_2 \times \frac{1\,mol\,Cl_2}{22/4\,L\,Cl_2} \times \frac{71\,g\,Cl_2}{1\,mol\,Cl_2} = 1/775\,g\,Cl_2$$

$$?g\,N_2 = 6\,L\,N_2 \times \frac{1\,mol\,N_2}{22/4\,L\,N_2} \times \frac{28\,g\,N_2}{1\,mol\,N_2} = 7/5\,g\,N_2$$

مثال ۴ هر فرد بالغ به طور میانگین ۱۲ بار در دقیقه نفس می‌کشد و هر بار ۵ لیتر هوا به ریه‌هایش وارد می‌شود. در یک شبانه روز چند لیتر هوا و چند لیتر اکسیژن وارد شش‌ها می‌شود؟ (شرایط را STP فرض کنید)

$$\text{هر شبانه روز} = ۲۴ \times ۶۰ = ۱۴۴۰ \text{ min}$$

$$?L \text{ هوا} = ۱۴۴۰ \text{ min} \times \frac{۱۲ \text{ بار}}{۱ \text{ min}} \times \frac{۵ L \text{ هوا}}{۱ \text{ بار}} = ۸۶۴۰ L \text{ هوا}$$

$$?L\ O_2 = ۸۶۴۰ L \text{ هوا} \times \frac{۲۱ L\ O_2}{۱۰۰ L \text{ هوا}} = ۱۸۱۴/۴ L\ O_2$$

$$?mol\ O_2 = ۱۸۱۴/۴ L\ O_2 \times \frac{۱ mol\ O_2}{۲۲/۴ L\ O_2} = ۸۱ mol\ O_2$$

مثال ۵ چگالی گاز نیتروژن در شرایط STP را بر حسب $\frac{g}{L}$ به دست آورید؟ $\left(N = ۱۴ \frac{g}{mol}\right)$

می دانیم که در شرایط STP یک مول گاز $N_2$ حجمی برابر با ۲۲/۴ دارد و جرم یک مول آن (جرم مولی) برابر $۲۸ \frac{g}{mol}$ می باشد. در نتیجه:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{۲۸}{۲۲/۴} = ۱/۲۵ \frac{g}{L}$$

با توجه به قانون آووگادرو، چون در دما و فشار یکسان یک مول از گازها

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\frac{m_1}{V}}{\frac{m_2}{V}} = \frac{M_1}{M_2} \Rightarrow \boxed{\frac{d_{A_1}}{d_{A_2}} = \frac{M_{A_1}}{M_{A_2}}}$$

مختلف، حجم برابری دارند در نتیجه در دما و فشار یکسان خواهیم داشت:

M ← جرم مولی گاز مورد نظر

مثال ۶

اگر چگالی گاز $O_2$ در دما و فشار ثابت برابر $۱/۴ \frac{g}{L}$ باشد، چگالی گاز $CO_2$ را در همین دما و فشار بر حسب $\frac{g}{L}$ به دست آورید.

$$\frac{d_{O_2}}{d_{CO_2}} = \frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}} \Rightarrow \frac{۱/۴}{d_{CO_2}} = \frac{۳۲}{۴۴} \Rightarrow d_{CO_2} = ۱/۹۵ \frac{g}{L}$$

تمرین ۱ در دما و فشار معینی، تعداد مول گازی را ۲۰٪ از اول داریم حجم گاز چند برابر می شود؟

تمرین ۲ اگر هر فرد به طور میانگین ۱۲ بار در دقیقه نفس بکشد و هر بار ۵ لیتر هوا به ریه‌هایش وارد شود، برای آنکه یک غواص بتواند شش ساعت زیر آب غواصی کند، چند مول گاز اکسیژن باید در کپسول غواصی موجود باشد؟ (حجم مول گازها در شرایط STP

را ۲۲٫۴ در نظر بگیرید. ۲۱٪ حجم هوا $O_2$ تشکیل می‌دهد)

تمرین ۳ جرم ۳۱ گرمی گازی در شرایط STP برابر ۲٫۴ است. جرم مولی گاز مورد نظر را به دست آورید.

✓ تست تکمیلی

شمار اتم‌های کلر در ۵۶٫۰ لیتر گاز کلر در شرایط STP، برابر شمار اتم‌ها در چند گرم Ne است ($Ne = \frac{20g}{mol}$) (خارج کشور تجربی ۹۲)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۰٫۵ ۴) ۱٫۵

## ⇐ از هر گاز چقدر؟ ⇐

استوکیومتری به بخشی از دانش شیمی گفته می‌شود که به مطالعه ارتباط کمی میان مواد شرکت کننده (واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها) در هر واکنش می‌پردازد. دانش استوکیومتری به شیمی‌دان‌ها و مهندسان در آزمایشگاه و صنعت کمک می‌کند تا مشخص کنند که برای تولید مقدار معینی از یک فرآورده به چه مقدار از هر واکنش دهنده نیاز است.

همه ما جهت اطلاع: سالانه نزدیک به ۱۰ میلیارد قرص آسپرین برای کاهش تب، التهاب و تسکین ها مصرف می‌کنند. این قرص‌ها با بهره‌گیری از استوکیومتری واکنش در شرکت‌های دارویی تولید می‌شود.

نکته: در حساب‌های استوکیومتری فقط از معادله موازنه شده واکنش استفاده می‌کنیم زیرا استوکیومتری واکنش براساس مول تفسیر می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از معادله موازنه شده واکنش می‌توان نسبت‌های مولی بین مواد موجود در واکنش را با استفاده از کسرهای تبدیل (کسر عامل) فهمید.

! توجه: به هریک از ضرایب مواد شرکت کننده در یک معادله موازنه شده، ضریب استوکیومتری می‌گویند.

▲ مراحل محاسبات استوکیومتری در یک واکنش:

۱) ابتدا معادله واکنش را می‌نویسیم و آن را موازنه می‌کنیم.

۲) داده مسئله را (اگر مول بود که هیچ و اگر نبود با استفاده از جرم مولی (اگر جرم ماده داده شده بود) یا حجم مولی (اگر شرایط STP بود و حجم ماده داده شده بود) و یا تعداد مولی (همان عدد آووگادرو! اگر تعداد ماده داده شده بود) به مول آن تبدیل می‌کنیم.

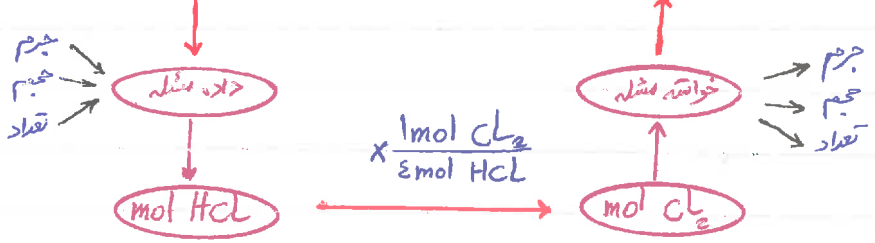
! توجه: اگر حجم در شرایط غیر STP داده شده بود، حتماً چگالی ماده را به ما می‌دهند تا با استفاده از آن به عنوان کسر تبدیل به جرم ماده (گرم ماده) برسید و سپس با استفاده از جرم مولی به مول داده شده مسئله برسید.

۳) در مرحله قبل ما مول داده شده را به دست آوردیم حال با استفاده از ضرایب استوکیومتری و استفاده از کسر تبدیل (کسر عامل) مناسب به مول ماده خواسته شده می‌رسیم. اگر خواسته مسئله بر اساس مول بود به مراد دل خود رسیده ایم ولی اگر جرم یا حجم یا تعداد ماده مورد نظر را بخواهند به ترتیب با استفاده از جرم مولی، حجم مولی و تعداد مولی (عدد آووگادرو) به خواسته مسئله می‌رسیم.

! توجه: اگر حجم ماده خواسته مسئله را از ما در شرایط غیر STP بخواهند، مول خواسته مسئله را ابتدا با استفاده از کسر تبدیل جرم مولی به گرم آن تبدیل کرده و در مرحله بعد با استفاده از چگالی ماده مورد نظر، به حجم خواسته مسئله خواهیم رسید.

واکنش زیر را در نظر بگیرید و فرض کنید داده مسئله $HCl$ و خواسته مسئله گاز $Cl_2$ است.

$$MnO_{2(s)} + 4HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$




با حل مثال‌های متنوع در مسائل استوکیومتری، در این زمینه مهارت لازم را کسب می‌کنید!

واکنش گازها در صنعت اهمیت و کاربردهای بسیاری دارد به طوری که هریک از فرآیندهای تهیه سولفوریک اسید ($H_2SO_4$)

I) $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)}$

II) $SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$

... متوالی است.

... تولید می‌شود:

... به سوال‌های زیر پاسخ دهید:

... $SO_3$ به چند مول $O_2$ نیاز است؟

$$mol\ SO_3 \xrightarrow{\text{ضریب } O_2 \times \frac{\text{ضریب } O_2}{\text{ضریب } SO_3}} mol\ O_2$$

$$?mol\ O_2 = 10\ mol\ SO_3 \times \frac{1\ mol\ O_2}{2\ mol\ SO_3} = 5\ mol\ O_2$$

... $H_2SO_4$ تولید می‌شود؟ ($H=1, O=16, S=32\ \frac{g}{mol}$)

$$mol\ SO_3 \xrightarrow{\times \frac{\text{ضریب } H_2SO_4}{\text{ضریب } SO_3}} mol\ H_2SO_4 \xrightarrow{\times \frac{\text{جرم مولی } H_2SO_4}{1\ mol\ H_2SO_4}} g\ H_2SO_4$$

$$?g\ H_2SO_4 = 10\ mol\ SO_3 \times \frac{1\ mol\ H_2SO_4}{1\ mol\ SO_3} \times \frac{98\ g\ H_2SO_4}{1\ mol\ H_2SO_4} = 980\ g\ H_2SO_4$$

... $H_2O$ با مقدار اضافی $SO_3$ ... $H_2SO_4$ تولید می‌شود؟ ($H=1, O=16, S=32\ \frac{g}{mol}$)

$$g\ H_2O \xrightarrow{\times \frac{1\ mol\ H_2O}{\text{جرم مولی } H_2O}} mol\ H_2O \xrightarrow{\times \frac{\text{ضریب } H_2SO_4}{\text{ضریب } H_2O}} mol\ H_2SO_4 \xrightarrow{\times \frac{\text{جرم مولی } H_2SO_4}{1\ mol\ H_2SO_4}} g\ H_2SO_4$$

$$?g\ H_2SO_4 = 40\ g\ H_2O \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18\ g\ H_2O} \times \frac{1\ mol\ H_2SO_4}{1\ mol\ H_2O} \times \frac{98\ g\ H_2SO_4}{1\ mol\ H_2SO_4} = 218\ g\ H_2SO_4$$

**مثال** معادله واکنش آلایش گلوکز برای تولید انرژی در بدن به صورت زیر است:

$$C_6H_{12}O_{6(aq)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} + \text{انرژی}$$

... به سوالات پاسخ دهید:

... در شرایط STP تولید می‌شود؟

▲ مراحل محاسبات استوکیومتری در یک واکنش:

۱) ابتدا معادله واکنش را می‌نویسیم و آن را موازنه می‌کنیم.

۲) داده مسئله را (اگر مول بود که هیچ و اگر نبود با استفاده از جرم مولی (اگر جرم ماده داده شده بود) یا حجم مولی (اگر شرایط STP بود و حجم ماده داده شده بود) و یا تعداد مولی (همان عدد آووگادرو! اگر تعداد ماده داده شده بود) به مول آن تبدیل می‌کنیم.

! توجه: اگر حجم در شرایط غیر STP داده شده بود، حتماً چگالی ماده را به ما می‌دهند تا با استفاده از آن به عنوان کسر تبدیل به جرم ماده (گرم ماده) برسید و سپس با استفاده از جرم مولی به مول داده شده مسئله برسید.

۳) در مرحله قبل ما مول داده شده را به دست آوردیم حال با استفاده از ضرایب استوکیومتری و استفاده از کسر تبدیل (کسر عامل) مناسب به مول ماده خواسته شده می‌رسیم. اگر خواسته مسئله براساس مول بود به مراد دل خود رسیده ایم ولی اگر جرم یا حجم یا تعداد ماده مورد نظر را بخواهند به ترتیب با استفاده از جرم مولی، حجم مولی و تعداد مولی (عدد آووگادرو) به خواسته مسئله می‌رسیم.

! توجه: اگر حجم ماده خواسته مسئله را از ما در شرایط غیر STP بخواهند، مول خواسته مسئله را ابتدا با استفاده از کسر تبدیل جرم مولی به گرم آن تبدیل کرده و در مرحله بعد با استفاده از چگالی ماده مورد نظر، به حجم خواسته مسئله خواهیم رسید.

واکنش زیر را در نظر بگیرید، فرض کنید داده مسئله $HCl$ و خواسته مسئله گاز $Cl_2$ است.

$$MnO_{2(s)} + 4HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

داده مسئله (جرم، حجم، تعداد) → mol $HCl$ → $\times \frac{1\,mol\,Cl_2}{4\,mol\,HCl}$ → mol $Cl_2$ → خواسته مسئله (جرم، حجم، تعداد)

با حل مثال‌های متنوع در مسائل استوکیومتری، در این زمینه مهارت لازم را کسب می‌کنید!

واکنش گازها در صنعت اهمیت و کاربردهای بسیاری دارد به طوری که هریک از فرآیندهای تهیه سولفوریک اسید ($H_2SO_4$)

و نیتریک اسید ($HNO_3$) شامل چندین واکنش هایی مشابه این است.

I) $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)}$

II) $SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$

سولفوریک اسید طی دو واکنش زیر تولید می شود:

**مثال** با توجه به دو واکنش بالا به سوال های زیر پاسخ دهید:

آ) برای تهیه ۱۰ مول گاز $SO_3$ به چند مول $O_2$ نیاز است؟

$$mol\ SO_3 \xrightarrow{\times \frac{\text{ضریب } O_2}{\text{ضریب } SO_3}} mol\ O_2$$

پاسخ نقشه راه به صورت روبرو است:

$$?mol\ O_2 = 10\ mol\ SO_3 \times \frac{1mol\ O_2}{2mol\ SO_3} = 5\ mol\ O_2$$

ب) از واکنش ۱۰ مول گاز $SO_3$ با مقدار کافی آب چند گرم $H_2SO_4$ تولید می شود؟ $(H=1, O=16, S=32\ \frac{g}{mol})$

پاسخ: نقشه راه:

$$mol\ SO_3 \xrightarrow{\times \frac{\text{ضریب } H_2SO_4}{\text{ضریب } SO_3}} mol\ H_2SO_4 \xrightarrow{\times \frac{\text{جرم مولی } H_2SO_4}{1mol\ H_2SO_4}} \text{جرم } H_2SO_4$$

$$?g\ H_2SO_4 = 10\ mol\ SO_3 \times \frac{1mol\ H_2SO_4}{1mol\ SO_3} \times \frac{98g\ H_2SO_4}{1mol\ H_2SO_4} = 980\ g\ H_2SO_4$$

ج) از واکنش ۴۰ گرم $H_2O$ با مقدار اضافی $SO_3$ چند گرم $H_2SO_3$ تولید می شود؟ $(H=1, O=16, S=32\ \frac{g}{mol})$

نقشه راه:

$$\text{جرم } H_2O \xrightarrow{\times \frac{1mol\ H_2O}{\text{جرم مولی } H_2O}} mol\ H_2O \xrightarrow{\times \frac{\text{ضریب } H_2SO_4}{\text{ضریب } H_2O}} mol\ H_2SO_4 \xrightarrow{\times \frac{\text{جرم مولی } H_2SO_4}{1mol\ H_2SO_4}} \text{جرم } H_2SO_4$$

$$?g\ H_2SO_4 = 40\ g\ H_2O \times \frac{1mol\ H_2O}{18g\ H_2O} \times \frac{1mol\ H_2SO_4}{1mol\ H_2O} \times \frac{98g\ H_2SO_4}{1mol\ H_2SO_4} = 212\ g\ H_2SO_4$$

**مثال**

معادله واکنش کلی گلوکز برای تولید انرژی در بدن به صورت زیر است:

$$C_6H_{12}O_{6(aq)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} + \text{انرژی}$$

با توجه به واکنش زیر به سوالات پاسخ دهید.

آ) از واکنش ۲٫۵ مول گلوکز چند لیتر گاز $CO_2$ در شرایط STP تولید می شود؟

نقشه راه: $mol\,G \xrightarrow{\text{ضریب } CO_2 \,/\, \text{ضریب } G} mol\,CO_2 \xrightarrow{22{,}4\,L\ CO_2 \,/\, 1\,mol} \text{حجم (L) } CO_2$

$$?L\,CO_2 = 2{,}5\,mol\,G \times \frac{6\,mol\,CO_2}{1\,mol\,G} \times \frac{22{,}4\,L\,CO_2}{1\,mol\,CO_2} = 336\,L\,CO_2$$

ب) از کاهش چند گرم گلوکز مقدار ۵ لیتر گاز $CO_2$ در شرایط STP تولید می‌شود؟ $(H=1, O=16, C=12\ g/mol)$

نقشه راه: $\text{حجم } CO_2 \xrightarrow{1\,mol\,CO_2 \,/\, 22{,}4\,L} mol\,CO_2 \xrightarrow{\text{ضریب } G \,/\, \text{ضریب } CO_2} mol\,G \xrightarrow{\text{جرم مولی } G \,/\, 1\,mol\,G} \text{جرم } G$

$$?g\,G = 5\,L\,CO_2 \times \frac{1\,mol\,CO_2}{22{,}4\,L\,CO_2} \times \frac{1\,mol\,G}{6\,mol\,CO_2} \times \frac{180\,g\,G}{1\,mol\,G} = 37{,}5\,g\,G$$

ج) از واکنش ۶۴ گرم $O_2$ با مقدار اضافی گلوکز، چند L گاز $CO_2$ در شرایط غیر STP تولید می‌شود؟ (چگالی گاز $CO_2$ را $1{,}1\ g/L$ است.) $(O=16, C=12\ g/mol)$

نقشه راه: $\text{جرم } O_2 \xrightarrow{1 / \text{جرم مولی } O_2} mol\,O_2 \xrightarrow{\text{ضریب } CO_2 \,/\, \text{ضریب } O_2} mol\,CO_2 \xrightarrow{\text{جرم مولی } CO_2 \,/\, 1\,mol} \text{جرم } CO_2 \xrightarrow{1 / \text{چگالی}} \text{حجم (L) } CO_2$

$$?L\,CO_2 = 64\,g\,O_2 \times \frac{1\,mol\,O_2}{32\,g\,O_2} \times \frac{6\,mol\,CO_2}{6\,mol\,O_2} \times \frac{44\,g\,CO_2}{1\,mol\,CO_2} \times \frac{1\,L\,CO_2}{1{,}1\,g\,CO_2} = 76{,}8\,L\,CO_2$$

**مثال** با توجه به واکنش روبرو $MnO_{2(s)} + 4HCl_{(aq)} \rightarrow MnCl_{2(aq)} + Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$ به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف) برای $1{,}32 \times 10^{22}$ مولکول $MnO_2$، چند گرم $H_2O$ تولید می‌شود؟

نقشه راه: تعداد $MnO_2 \xrightarrow{1\,mol\,MnO_2 \,/\, 6{,}02\times10^{23}\,MnO_2} mol\,MnO_2 \xrightarrow{\text{ضریب } H_2O \,/\, \text{ضریب } MnO_2} mol\,H_2O \xrightarrow{\text{جرم مولی } H_2O \,/\, 1\,mol\,H_2O} \text{جرم } H_2O$

$$?g\,H_2O = 1{,}32\times10^{22}\,MnO_2 \times \frac{1\,mol\,MnO_2}{6{,}02\times10^{23}\,MnO_2} \times \frac{2\,mol\,H_2O}{1\,mol\,MnO_2} \times \frac{18\,g\,H_2O}{1\,mol\,H_2O} = 1{,}58\,g\,H_2O$$

ب) برای $1{,}2\times10^{22}$ از مولکول هیدروکلریک اسید $(HCl)$، چند مولکول $Cl_2$ تولید می‌شود؟

نقشه راه: تعداد $HCl \xrightarrow{1\,mol\,HCl \,/\, 6{,}02\times10^{23}\,HCl} mol\,HCl \xrightarrow{\text{ضریب } Cl_2 \,/\, \text{ضریب } HCl} mol\,Cl_2 \xrightarrow{6{,}02\times10^{23}\,Cl_2 \,/\, 1\,mol\,Cl_2} \text{تعداد } Cl_2$

$$?\text{تا } Cl_2 = 1{,}2\times10^{22}\,HCl \times \frac{1\,mol\,HCl}{6{,}02\times10^{23}\,HCl} \times \frac{1\,mol\,Cl_2}{4\,mol\,HCl} \times \frac{6{,}02\times10^{23}\,Cl_2}{1\,mol\,Cl_2} = 3\times10^{21}\,Cl_2$$

تمرین ۱ در واکنش سوختن متان براثر واکنش ۳/۵ مول متان با $O_2$ اضافی، چند مول $CO_2$ و چند گرم $H_2O$ تولید می‌شود؟

تمرین ۲ شتر جانوری است که می‌تواند چندین روز بدون نوشیدن آب در هوای گرم بیابان سیر کند. در این شرایط چربی ذخیره شده در کوهان این جانور مطابق واکنش زیر اکسایش یافته و انرژی لازم برای تولید انرژی آب مورد نیاز جانور را تأمین می‌کند.

$$2C_{57}H_{110}O_{6(s)} + 163O_{2(g)} \longrightarrow 114CO_{2(g)} + 110H_2O_{(l)}$$

الف) جرم آب تولید شده از اکسایش ۱۰۰۰g چربی را حساب کنید ($\frac{g}{mol}$ ۸۹۰ = جرم مولی چربی)

براثر واکنش ۵۰۰g با اکسیژن اضافی، چند میلی‌لیتر $CO_2$ در شرایط STP تولید می‌شود؟

تمرین ۳ معادله موازنه شده واکنش تولید آمونیاک به صورت روبرو است:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \longrightarrow 2NH_{3(g)}$$

الف) برای تهیه ۴۲/۵ کیلوگرم آمونیاک، به چند مول گاز هیدروژن نیاز است؟

ب) برای تولید ۳۳۶۰ لیتر آمونیاک در STP به چند گرم گاز هیدروژن و چند گرم گاز نیتروژن نیاز است؟

تمرین ۴ گاز شهری به طور عمده از متان ($CH_4$) تشکیل شده است در محیطی که اکسیژن کم است به صورت ناقص می‌سوزد و بخار آب، کربن منوکسید و نوعی کربن تولید می‌کند.

الف) معادله‌ی واکنش سوختن ناقص متان را نوشته و موازنه کنید.

ب) حجم گاز CO حاصل از سوختن ناقص ۴٫۸ گرم متان در STP چند لیتر است؟

ج) در اثر واکنش $3/3\times10^{22}$ مولکول متان با $O_2$ اضافی، چند مولکول CO در اثر سوختن ناقص تولید می‌شود؟

**توجه:** بازهم تاکید می‌کنم که روش‌ها سریع حل مسائل استوکیومتری و سایر مسائل در جزوه‌ی شیمی یازدهم تدریس خواهد شد!

**تست المپیاد**

از اثر مقدار اضافی هیدروکلریک اسید بر ۰٫۲۴ مول از فلزی، کلرید فلز تولید شده و ۳۷۶ $cm^3$ گاز هیدروژن در شرایط STP آزاد می‌شود، فرمول کلرید فلز کدام است؟ (المپیاد ۸۳)

۱) $MCl_2$ ۲) $MCl$ ۳) $MCl_3$ ۴) $MCl_4$

**تست المپیاد)** لیتیم هیدروکسید ($LiOH$) در اثر واکنش با $CO_2$، لیتیم کربنات ($Li_2CO_3$) و آب تولید می‌کند و به همین دلیل برای جذب $CO_2$ در فضاپیماها و زیردریایی‌ها از آن استفاده می‌شود. یک کیلوگرم لیتیم هیدروکسید چند کیلوگرم از گاز $CO_2$ را جذب می‌کند؟ $(CO_2=44, LiOH=23/9\frac{g}{mol})$ (المپیاد ۹۳)

۱) ۰٫۸۲ ۲) ۱٫۱۴ ۳) ۰٫۴۶ ۴) ۰٫۹۲

**تست کنکور)** اگر مخلوطی از گازهای هیدروژن و متان (در شرایط STP) به طور کامل بسوزند و مقدار ۵٫۶ لیتر گاز $CO_2$ و ۱۱٫۲۵ گرم آب تولید کنند، چند درصد حجمی این مخلوط را گاز متان تشکیل می‌دهد؟ $(H=1, O=16, C=12\frac{g}{mol})$ (سراسری تجربی ۸۸)

۱) ۲۵٫۱۲ ۲) ۳۵٫۲۵ ۳) ۳۳٫۳۳ ۴) ۶۶٫۶۶

**تست کنکور)** اگر در اثر واکنش ۰٫۰۵ مول از یک فلز که در گروه ۱۲ جدول تناوبی جای دارد، با مقدار کافی محلول سولفوریک

۱۰,۴۲ گرم سولفات بدون آب آن فلز تشکیل شود، جرم اتمی این فلز کدام است $(O=16, S=32 \frac{g}{mol})$ اسید $(H_2SO_4)$

$M + H_2SO_4 \rightarrow MSO_4 + H_2$ (سراسری ریاضی ۹۰ - با تغییر اندک)

۱) ۶۹,۷ ۲) ۶۵,۴ ۳) ۱۱۲,۴ ۴) ۱۱۴,۸

تست کنکور) شمار مول هاد کدام نمونه ماده بیشتر است؟ $(H=1, C=12, O=16, Na=23, Cl=35,5 = \frac{g}{mol})$

۱) ۱,۲۸ گرم فلز سدیم ۲) ۲,۳۴ گرم سدیم کلرید ۳) ۲ لیتر گاز کلر با چگالی $2,84 \frac{g}{L}$ ۴) ۰,۵ لیتر گاز هیدروژن در شرایط STP

(سراسری ریاضی ۹۱)

تست کنکور) $(Ga=70, Ca=40, Al=27, Mg=24)$ چند مول از کدام فلز در واکنش با یون خلوکورید، ترکیبی به جرم ۴۶,۸ گرم تشکیل می‌دهد؟ $F=9$

۱) Al ۲) Mg ۳) Ca ۴) Ga

(سراسری ریاضی ۹۲)

تست کنکور) مخلوطی به جرم ۵ گرم از $CaO$ و $CaC_2$ در آب انداخته شده است. با توجه به واکنش‌ها، اگر حجم گاز جمع‌آوری شده در شرایط STP برابر ۱,۰۸ لیتر باشد، درصد جرمی کلسیم اکسید در این مخلوط کدام است؟ (خارج کشور تجربی ۹۲ - با تغییر اندک)

$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(aq)}$ $(C=12, O=16, Ca=40 \frac{g}{mol})$

$CaC_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(aq)} + C_2H_{2(g)}$

۱) ۴۰ ۲) ۵۰ ۳) ۵۵ ۴) ۶۰

تست کنکور) در واکنش فلز آلومینیوم با نیکل (II) سولفات، مجموع ضریب‌ها همه مواد در معادله موازنه شده آن، برابر ... است و به ازای مصرف ۱ مول آلومینیوم ... گرم نیکل در آن آزاد می‌شود؟ $(Ni=58 \frac{g}{mol})$

(خارج کشور تجربی ۹۲ - با تغییر اندک)

$Al_{(s)} + NiSO_{4(aq)} \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + Ni_{(s)}$

۱) ۹ - ۱,۷ ۲) ۹ - ۵,۱ ۳) ۸ - ۱,۷ ۴) ۸ - ۵,۸

تست کنکور) $4,33 \times 10^{22}$ اتم آهن است و در واکنش با مقدار کافی $H_2SO_4$، چند لیتر گاز هیدروژن

۲ آزاد می شود؟ (چگالی گاز هیدروژن در شرایط واکنش $0/8 \frac{g}{L}$ است. گزینه ها را از راست به چپ بخوانید) (سراسری داخل - ۹۳)

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2$$

۱) ۰/۱۸ - ۴/۵ ۲) ۰/۱۸ - ۳/۹ ۳) ۰/۱۵ - ۳/۲۵ ۴) ۰/۱۵ - ۳/۷۵

تست کنکور) بر اساس واکنش $2NH_3(g) + 3N_2O(g) \rightarrow 4N_2(g) + 3H_2O(g)$ اگر مخلوطی از گازهای $N_2O$ و $NH_3$ به جرم واکنش کامل دهند و ۲/۸ لیتر فراورده‌ها گازی در شرایط STP تشکیل شود، مخلوط دو گاز اولیه در همین شرایط، چند لیتر حجم داشته است و چند درصد حجمی آن‌ها آمونیاک تشکیل می‌دهد؟ (خارج کشور داخل ۹۳)

۱) ۲ - ۶۰ ۲) ۲ - ۴۰ ۳) ۳/۹۲ - ۶۰ ۴) ۳/۹۲ - ۴۰

! توجه: این تست کنکور از لحاظ علمی ایراد دارد چون آب در شرایط STP به حالت گاز نیست!

تست کنکور) چند گرم آلومینیوم باید در هیدروکلریک اسید واکنش دهد تا گاز به دست آمده با ۱۶ گرم اکسیژن واکنش کامل دهد؟

۱) ۲/۷ ۲) ۹ ۳) ۱۳/۵ ۴) ۱۸ (سراسری داخل ۹۴)

تست کنکور) یک مول آلومینیوم سولفات، باید به تقریباً چند درصد تجزیه شود تا جرم فراورده جامد طبق واکنش زیر با جرم واکنش دهنده باقی مانده برابر شود؟ ($O=16, S=32, Al=27 \frac{g}{mol}$) (سراسری تجربی ۹۴)

۱) ۴۰ ۲) ۵۰ ۳) ۶۶ ۴) ۷۷

تست کنکور) یک مول گاز متان ($CH_4$) با ده مول گاز شامل ۲۰٪ اکسیژن و ۸۰٪ نیتروژن وارد موتور خودرو شده و به طور کامل می‌سوزد. اگر همه فراورده‌ها گازی باشند، چند درصد حجم گازهای خارج شده از اگزوز را به تقریب $CO_2$ تشکیل می‌دهد؟ (خارج کشور داخل ۹۴)

۱) ۶۶/۶ ۲) ۳۳/۳ ۳) ۱۸/۲ ۴) ۹/۱

تست کنکور) برای سوختن کامل یک مول از ۱- بوتانول $C_4H_{10}O$ چند لیتر هوا لازم است؟ (۲۰٪ حجم هوا را اکسیژن تشکیل

(خارج کشور تجربی - ۹۴)

می دهد و حجم مولی گاز هادر شرایط آزمایش ۲۵L می باشد.)

۱) ۶۲۵ ۲) ۶۸۷٫۵ ۳) ۷۵۰ ۴) ۸۱۲٫۵

تست کنکور) در یک کیسه هوای خودرو ۱۳ گرم سدیم آزید ($NaN_3$) استفاده شده است. اگر پس از انفجار، دما درون کیسه هوا به ۱۲۷°C برسد، حجم گاز درون کیسه چند لیتر خواهد بود؟ (فشار گاز درون کیسه یک اتمسفر فرض شود.

$(Na=23, N=14 \frac{g}{mol})$ معادله واکنش: $2NaN_{3(s)} \rightarrow 2Na_{(s)} + 3N_{2(g)}$

(سراسری ریاضی - ۹۵)

۱) ۶٫۷۲ ۲) ۱۲٫۵ ۳) ۹۰۸ ۴) ۱۱٫۴۵

تست کنکور) اگر محلول کلرید یک فلز (M) که دارای ۲٫۷ گرم از این نمک است، با مقدار کافی محلول نقره نیترات، مطابق شکل جوانه نشده زیر، ۵٫۷۴ گرم نقره کلرید تشکیل دهد، نسبت جرم مولی این فلز به ظرفیت آن کدام است؟

$(Ag=108, Cl=35.5 \frac{g}{mol})$ $MCl_{n(aq)} + AgNO_{3(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)} + M(NO_3)_{n(aq)}$

(سراسری ریاضی ۹۵ با تغییر اندک)

۱) ۴۷٫۵ ۲) ۵۴ ۳) ۴۶ ۴) ۳۲

تست کنکور) مقدار اکسیژن آزاد شده از تجزیه گرمایی ۳ مول پتاسیم کلرات ($KClO_3$) طی تجزیه گرمایی چند گرم سدیم نیترات ($NaNO_3$) می توان به دست آورد؟ $(Na=23, N=14, O=16 \frac{g}{mol})$

(سراسری ریاضی ۹۸ - تغییر اندک)

$2KClO_{3(s)} \rightarrow 2KCl_{(s)} + 3O_{2(g)}$

$2NaNO_{3(s)} \rightarrow 2NaNO_{2(s)} + O_{2(g)}$

۱) ۳۴ ۲) ۴۱ ۳) ۶۸ ۴) ۷۴٫۵

تست کنکور) اگر در واکنش (جوانه نشده) $Li_3N_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow LiOH_{(aq)} + NH_{3(aq)}$ مقدار ۰٫۵ مول $Li_3N$ مصرف شود، در مجموع چند مول فراورده تشکیل می شود؟

(سراسری تجربی ۹۵)

۱) ۱ ۲) ۱٫۵ ۳) ۲ ۴) ۲٫۵

تست کنکور) مقداری پتاسیم پرمنگنات ناگرم می کنیم تا مطابق واکنش زیر، به طور کامل تجزیه شود. به تقریب چند

در صدای جرم نمونه جامد در این فرایند کاسته می شود؟ $(K=39, Mn=55, O=16 \frac{g}{mol})$ (سراسری تجربی ۹۵ - تغییر اندک)

$2KMnO_{4(s)} \rightarrow K_2MnO_{4(s)} + MnO_{2(s)} + O_{2(g)}$

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۳۱/۵ ۴) ۳۷/۷

تست کنکور) از سوختن کامل ۲۵ ml از یک آلکین (مطابق واکنش زیر) ۱۳/۵ گرم آب به دست آمده است. جرم مولی این آلکین کدام است؟ $(O=16, C=12, H=1 \frac{g}{mol})$

$C_nH_{2n-2} + \frac{3n-1}{2} O_2 \rightarrow n CO_2 + (n-1) H_2O$

(خارج کشور ریاضی ۹۵)

۱) ۵۸ ۲) ۵۶ ۳) ۵۴ ۴) ۵۲

تست کنکور) در واکنش $CaCN_{2(s)} + H_2O_{(L)} \rightarrow CaCO_{3(s)} + NH_{3(g)}$ مجموع ضرایب ها استوکیومتری مواد پس از موازنه معادله کدام است و اگر از مول $CaCN_2$ در این واکنش شرکت کند، چند گرم کلسیم کربنات $(CaCO_3)$ به دست می آید؟

(خارج کشور ریاضی ۹۵ - تغییر اندک)

$(Ca=40, O=16, C=12 \frac{g}{mol})$ ۱) ۸ - ۱۰ ۲) ۷ - ۲۰ ۳) ۸ - ۲۰ ۴) ۷ - ۱۰

تست کنکور) از بر هم کنش ۰/۲۵ مول فلز (II) کلرید طبق واکنش $SnCl_{2(aq)} \rightarrow Sn_{(s)} + Cl_{2(g)}$ ۲/۳۷۴ گرم فلز (Sn) جمع آوری شده است، در این فرایند چند گرم مول کلرید باقی مانده است؟ $(Sn=118/8, Cl=35/5 \frac{g}{mol})$

(خارج کشور ریاضی ۹۵ - تغییر اندک)

۱) ۰/۴۷۴ ۲) ۰/۳۵۸ ۳) ۰/۹۵ ۴) ۰/۷۱

تست کنکور) با توجه به واکنش های موازنه نشده زیر، مقدار آلومینیوم اکسید حاصل از تجزیه ۲ مول آلومینیوم سولفات $(Al_2(SO_4)_3)$ توسط واکنش کامل چند گرم آهن (III) اکسید با مقدار اضافی گرد آلومینیوم می توان تهیه کرد؟

(خارج کشور تجربی ۹۵ - تغییر اندک)

$Al_2(SO_4)_{3(s)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} + SO_{3(g)}$

$Fe_2O_{3(s)} + Al_{(s)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} + Fe_{(L)}$

$(Fe=56, Al=27, O=16 \frac{g}{mol})$

۱) ۱۵ ۲) ۱۶ ۳) ۳۰ ۴) ۳۲

تست کنکور) از سوختن کامل یک مول از هگزا نوئیک اسید $(C_6H_{12}O_2)$ به تمامی از راست به چپ، چند مول آب و چند مول کربن دی اکسید تولید می شود؟

(سراسری تجربی ۹۶)

۱) ۶ - ۶ ۲) ۷ - ۶ ۳) ۶ - ۶ ۴) ۷ - ۶

تست کنکور) در نمونه‌ای از آلیاژ برنز که دارای مس و روی است به ازای هر اتم روی، سه اتم مس وجود دارد. چند درصد جرمی این آلیاژ را فلز روی تشکیل می‌دهد؟ $(Cu=64, Zn=65 \frac{g}{mol})$ (سراسری تجربی ۹۶)

۱) ۱۹٫۷۵ ۲) ۲۰٫۲۵ ۳) ۲۱٫۲۰ ۴) ۲۵٫۱۹

تست کنکور) مخلوطی به جرم ۵۰ گرم از $CaCO_3$ و $KNO_3$، مطابق واکنش‌های موازنه نشده‌ی زیر تجزیه می‌شوند. در صورتی که ۸٫۴ لیتر گاز خروجی با ۰٫۵ مول متان به طور کامل واکنش دهد، درصد جرمی $CaCO_3$ در این مخلوط کدام است؟ $(Ca=40, K=39, O=16, N=14, C=12 \frac{g}{mol})$ (سراسری تجربی ۹۶ - تغییر اندک)

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$KNO_3 \rightarrow KNO_2 + O_2$$

۱) ۲۰ ۲) ۳۰ ۳) ۴۵ ۴) ۶۰

تست کنکور) مقدار $CO_2$ را که از سوختن ۰٫۵ مول ۱- بوتانول $(C_4H_{10}O)$ به دست می‌آید، از واکنش چند گرم کلسیم کربنات خالص $(CaCO_3)$ با هیدروکلریک اسید کافی در همان شرایط می‌توان به دست آورد؟ (خارج کشور ریاضی - ۹۶)

$$CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow CaCl_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$
$(Ca=40, O=16, H=1, C=12 \frac{g}{mol})$

۱) ۱۰۰ ۲) ۱۵۰ ۳) ۲۰۰ ۴) ۲۵۰

تست کنکور) ۲۰ گرم آلیاژ نقره و روی در مقدار کافی هیدروکلریک اسید انداخته شده است. اگر در پایان واکنش، دو لیتر گاز در شرایطی که حجم مولی گاز حاصل برابر ۸۰٫۰ گرم بر لیتر است آزاد شود، چند درصد جرم این آلیاژ را نقره تشکیل می‌دهد؟ (خارج کشور تجربی ۹۶)

(اضافی Ag با HCl واکنش نمی‌دهد) $[Ag=108, Zn=65 \frac{g}{mol}]$

۱) ۷۰ ۲) ۷۴ ۳) ۸۰ ۴) ۸۴

تست کنکور) مخلوطی از ۱۶٫۸ گرم سدیم هیدروژن کربنات $(NaHCO_3)$ با ۱۵٫۹ گرم سدیم کربنات $(Na_2CO_3)$ با چند مول هیدروکلریک اسید واکنش کامل می‌دهد و چند گرم نمک خوراکی تشکیل می‌شود؟ (عددها را از راست به چپ بخوانید) واکنش‌ها

موازنه نیستند. ( $H=1, C=12, O=16, Na=23 \frac{g}{mol}$ ) (خارج کشور تجربی ۹۶ ـ تغییر اندک)

$NaHCO_3 + HCL \rightarrow NaCL + H_2O + CO_2$

$Na_2CO_3 + HCL \rightarrow NaCL + H_2O$

۱) ۲۳٫۴ ـ ۰٫۴ ۲) ۲۹٫۲۵ ـ ۰٫۴ ۳) ۲۳٫۴ ـ ۰٫۵ ۴) ۲۹٫۲۵ ـ ۰٫۴

تست کنکور) برای تهیه یک کیلوگرم محلول شیمیایی ویژه که باید ۱۴ یون نیترات تشکیل دهد، به ترتیب از راست به چپ، چند گرم آمونیاک سولفات $((NH_4)_2SO_4)$ و چند گرم نیتراسیم کلرید را باید با یکدیگر مخلوط کرد؟ (سراسری تجربی ۹۷)

$(N=14, O=16, S=32, CL=35.5, K=39 \frac{g}{mol})$ ۱) ۳۴۰ ـ ۶۶٪ ۲) ۴۴۰ ـ ۵۶٪ ۳) ۴۴۰ ـ ۵۶٪ ۴) ۳۴۰ ـ ۶۶٪

تست کنکور) یک ماده شیمیایی سه اتمی کروم در فرمول شیمیایی خود دارد. اگر ۳۴٫۲٪ جرم این ماده را کروم تشکیل داده باشد، جرم مولی آن، چند گرم است؟ $(Cr=52 \frac{g}{mol})$ (سراسری ریاضی ۹۷)

۱) ۱۶۶٫۷ ۲) ۲۵۰ ۳) ۳۳۳٫۳ ۴) ۵۰۰

تست کنکور) اگر در واکنش کامل ۷٫۹۵ گرم هیدروکسید یک فلز چهار ظرفیتی با مقدار کافی از محلول سولفوریک اسید $(H_2SO_4)$، ۱۴٫۱۵ گرم نمک خشک (بدون آب تبلور) تشکیل شود، جرم اتمی این فلز کدام است؟ (خارج کشور تجربی ۹۷)

$(H=1, O=16, S=32 \frac{g}{mol})$ ۱) ۴۸ ۲) ۹۱ ۳) ۱۱۸ ۴) ۲۰۷

## تولید آمونیاک، کاربرد از واکنش‌ها در صنعت

### بررسی خواص نیتروژن

گفتیم که گاز نیتروژن فراوان‌ترین جزء سازنده هوا کره بوده که در مقایسه با اکسیژن از نظر شیمیایی غیرفعال بوده و واکنش‌ناپذیر است؛ برای نمونه مخلوطی از گازهای اکسیژن و هیدروژن در حضور کاتالیزگر (مثل Pt) یا جرقه در یک واکنش سریع و شدید منفجر شده و آب تولید می‌کند (واکنش سوختن هیدروژن)

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow{Pt \text{ یا جرقه}} 2H_2O_{(L)}$

این در حالی است که در مخلوطی از گاز های نیتروژن و هیدروژن در حضور کاتالیزگر یا جرقه، هیچ واکنشی رخ نمی دهد.

$$H_{2(g)} + N_{2(g)} \xrightarrow{\text{کاتالیزگر یا جرقه}} \text{واکنش رخ نمی دهد}$$

از این رو گاز نیتروژن ($N_2$) که در ساختار لوویس ($N \equiv N$) است، به جو بی‌ای شهرت یافته و در جعبه‌هایی که گاز اکسیژن عامل ایجاد تغییر شیمیایی است به جای آن از گاز نیتروژن استفاده می کنند.

**نکته:** قبلا هم اشاره کردیم که برای پر کردن و تعلیم باد تایر خودرو به جای هوا از گاز نیتروژن استفاده می کنند. از مهم ترین دلایل استفاده از گاز $N_2$ در پر کردن تایر خودرو می توان به:

۱) در هوا مقداری بخار آب وجود دارد که با سرد شدن هوا به مایع تبدیل می شود و حجم گاز درون تایر به طور نامحسوس کاهش می شود ($N_2$ در دماهای بسیار پایین تری به مایع تبدیل می شود $-196^\circ C$)

۲) وجود همین بخار آب و اکسیژن در هوا، باعث زنگ زدگی و خوردگی رینگ و سیم داخل تایر می شود، در حالیکه نیتروژن واکنش پذیری کم دارد و باعث طول عمر لاستیک می شود.

۳) مولکول های نیتروژن از اکسیژن بزرگتر بوده و نفوذ پذیری کمتری دارند و از تایر کمتر خارج می شوند و در نتیجه تایر مدت زمان طولانی تری پر باد خواهد بود و افت فشار کمتری خواهد داشت.

▲ تولید آمونیاک به روش های

هر چند گاز نیتروژن ($N_2$) واکنش پذیری ناچیزی دارد اما در صنعت مواد گوناگونی از آن تهیه می کنند که آمونیاک ($NH_3$) یکی از مهم ترین آنهاست.

**یادآوری:** در علوم نهم دیدید که کشاورزان کودهای شیمیایی نیتروژن دار را به خاک می افزایند. یکی از این کودها آمونیاک است که به طور مستقیم به خاک تزریق می شود.

برای اولین بار دانشمندی به نام فریتس هابر (در کنار همکارش کارل بوش) در سال ۱۹۱۸ میلادی مولکول های نیتروژن را تسلیم کرد و از واکنش گازهای $N_2$ و $H_2$ توانست گاز آمونیاک ($NH_3$) تولید کند و به واسطه همین کار بزرگ جایزه نوبل شیمی را از آن خود کرد. هابر واکنش زیر را مبنای کار خود قرار داد:

$$3H_{2(g)} + N_{2(g)} \xrightarrow{\text{شرایط بهینه}} 2NH_{3(g)}$$

بزرگترین چالش هابر، یافتن شرایط بهینه برای انجام این واکنش بود. او در این راستا با دو چالش عمده روبرو بود:

۱) واکنش در دما و فشار اتاق انجام نمی شود: هابر واکنش میان گازهای هیدروژن و نیتروژن را بارها در دماها و فشارهای گوناگون آزمایش کرد تا بتواند شرایط بهینه آن را پیدا کند. سرانجام دریافت که این واکنش در دمای $450^\circ C$ و فشار $200\ atm$ در حضور کاتالیزگر آهن انجام می شود.

**نکته:** واکنش تولید آمونیاک از گازهای هیدروژن و نیتروژن برگشت پذیر است؛ بنابراین اگر مخلوط گازهای نیتروژن و هیدروژن از روی ورقه های آهن (به عنوان کاتالیزگر) در این دما و فشار عبور داده شود، مقدار قابل توجهی آمونیاک تولید می شود اما همه واکنش دهنده ها ($N_2$ و $H_2$) به فرآورده ($NH_3$) تبدیل نمی شوند. یعنی در طرف واکنش هر سه گاز $H_2$، $N_2$ و $NH_3$ موجود خواهد بود.

**توجه:** در یک فرایند برگشت پذیر، فرآورده ها در شرایط مناسب می توانند به مواد اولیه تبدیل شوند. در حقیقت معادله این واکنش به صورت روبرو است:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

۲) چگونه می توان فرآورده واکنش ($NH_3$) را از مخلوط واکنش جدا کرد؟ هابر با بررسی نقطه جوش مخلوط سه ماده $H_2$، $N_2$ و $NH_3$ توانست راه حلی برای جداسازی $NH_3$ پیدا کند. دمای جوش آمونیاک ($-34^\circ C$) به دلیل داشتن نیروی بین مولکولی قوی (پیوند هیدروژنی) بالاتر از نیتروژن ($-196^\circ C$) و هیدروژن ($-253^\circ C$) است و در نتیجه راحت تر و در دماهای بالاتری به مایع تبدیل شده و از مخلوط واکنش جدا می شود. از این رو هابر مخلوط گازها را تا مایع شدن آمونیاک

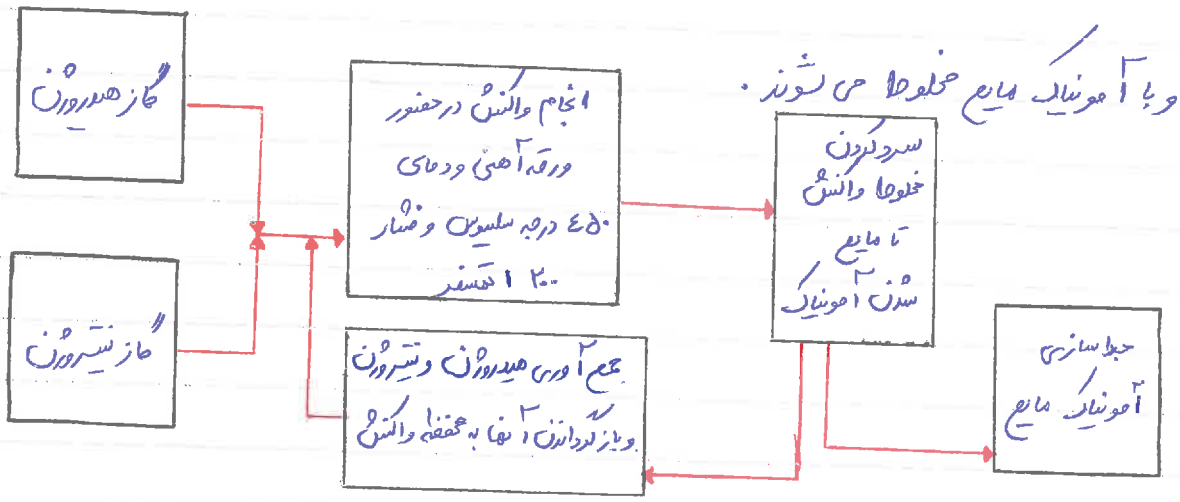
سرد می‌کند و پس از جدا شدن آمونیاک مایع، گاز نیتروژن و هیدروژن واکنش نداده را مطابق شکل زیر باز گردانی کرده،

وارد واکنش می‌کند تا در تشکیل $NH_3$ شرکت کند.

**توجه:** در فرایند هابر دما را باید کم باشد تا از نقطه جوش $NH_3$ (مثلاً $-33^\circ C$) آمونیاک مایع شده

و از مخلوط جدا شود. اگر دما از حد پایین آورده شود و به دمای جوش $N_2$ و $H_2$ نزدیک شود، در این صورت این دو گاز

هم مایع شده و با آمونیاک مایع مخلوط می‌شوند.




نمودار ۲- مراحل تولید آمونیاک در صنعت به روش هابر

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} \quad (450^\circ C, 200\ atm, Fe)$$

**مثال:**

برای تهیه ۸/۵ تن گاز آمونیاک به چند متر مکعب گاز هیدروژن با چگالی $0/1\ \frac{g}{L}$ نیاز است

تا با مقدار کافی گاز نیتروژن واکنش دهند؟ ($N=14, H=1\ \frac{g}{mol}$)

**پاسخ:** مرحل این سوال مجاز به استفاده از عدد ۲۲/۴ به ازای یک مول گاز نیستیم چرا که در صورت سوال به شرایط STP

اشاره نشده است. پس از حاصلضرب حجم گاز می‌توان از چگالی آن به عنوان کسر عامل مناسب استفاده کرد.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \longrightarrow 2NH_{3(g)}$$

$$?\,m^3 H_2 = 8/5\ ton\ NH_3 \times \frac{10^6\ g\ NH_3}{1\ ton\ NH_3} \times \frac{1\ mol\ NH_3}{17\ g\ NH_3} \times \frac{3\ mol\ H_2}{2\ mol\ NH_3} \times \frac{2\ g\ H_2}{1\ mol\ H_2} \times \frac{1\ L\ H_2}{0/1\ g\ H_2} \times \frac{1\ m^3\ H_2}{10^3\ L\ H_2} = 1000\ m^3 H_2$$