

## بخش ۲

### در پی هوایی پاکیزه!



هوا کره هم ارز واژه ی لاتین atmosphere است.

آیا قدر چیزهایی را که داریم، باید هنگامی بدانیم که یا آن ها را از دست داده باشیم یا برای به دست آوردن آن ها هزینه ای پرداخت کنیم!؟



شکل ۱ کره ی زمین. چشم اندازی که از کره ی ماه دیده می شود.

ما بر روی زمین و در کره ای از هوا زندگی می کنیم. همان گونه که آب، آبزیان را در بر می گیرد، هوا نیز ما را در بر گرفته است. ما هوا را نمی بینیم ولی در روزهایی که باد می وزد، آن را حس می کنیم. در واقع، همانند مسافران یک فضاپیما، ما در زیر پوشش نازکی از هوا زندگی می کنیم که **هوا کره** نامیده می شود. اندازه گیری دقیق ضخامت هوا کره دشوار است؛ زیرا هوا کره یک دفعه به پایان نمی رسد بلکه کم کم رقیق می شود و سرانجام ناپدید می گردد. با این حال می دانیم که ۹۹ درصد از هوا کره در فاصله ی ۳۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. اگرچه سیاره های دیگر منظومه ی خورشیدی نیز هوا کره دارند، اما هوا کره ی زمین تنها هوا کره ای است که از ادامه ی زندگی ما و دیگر موجودات زنده پشتیبانی می کند، شکل ۱.



هواکره نیز مانند دریاها و پوسته‌ی زمین، معدنی سرشار از مواد شیمیایی است و ظرفی برای دور ریختن مواد زاید نیز به شمار می‌آید. ما به هنگام تنفس، سوزاندن سوخت‌ها و اجرای فرایندهای صنعتی گوناگون از برخی گازهای موجود در هوا کره استفاده می‌کنیم. افزون بر انسان‌ها و موجودات زنده‌ی دیگر، پدیده‌های طبیعی نیز بر حجم گازها، قطره‌های مایع و ذره‌های جامد معلق درهوا کره می‌افزایند. به هر حال، این مواد افزوده شده ممکن است بر ترکیب شیمیایی هوا کره اثری نداشته باشند، اما دست کم محیط زیست محلی یا شرایط جهانی را تحت تأثیر قرار خواهند داد. در برخی نقاط زمین هوا آن چنان آلوده است که مردم از تنفس آن بیمار می‌شوند و ممکن است میزان آلودگی به اندازه‌ای برسد که بسیاری از مردم جان خود را از دست بدهند. امید است چنین حادثه‌ی تلخی هیچ‌گاه به وقوع نپیوندد، اما روبه‌رو شدن با چنین رویدادی، به کارهایی بسیار بیش‌تر از یک امید نیازمند است. از آن‌جا که گه‌گاه فعالیت‌های انسانی باعث کاهش کیفیت هوا می‌شود، پرسش‌های اساسی و مهم بسیاری به ذهن خطور می‌کند:

آیا هوا یک منبع رایگان است؟ هوا تا چه اندازه باید پاکیزه باشد؟ برای پاکیزه کردن هوا چه هزینه‌ای باید پرداخت؟ چه خسارت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی از هوای آلوده به وجود می‌آید؟ چه کسی مسئول کنترل آلودگی هوا است؟

سال‌هاست که شهروندان درمحل، شهر، کشور و جهان به طرح چنین پرسش‌های بحث‌انگیزی ادامه داده‌اند. یافتن پاسخ بخشی از این پرسش‌های دشوار، دست کم به داشتن درکی از شیمی گازهای سازنده‌ی هوا کره بستگی دارد. ما باید درباره‌ی ساختار و ترکیب شیمیایی هوا کره، خواص عمومی گازها، فرایندهای مؤثر بر آب و هوا و چگونگی تجدیدپذیری طبیعی هوا کره اطلاعاتی داشته باشیم.

این بخش، شما را با شیمی بحث‌های یاد شده آشنا می‌کند و به بررسی برخی تلاش‌های منطقه‌ای و جهانی برای کنترل آلودگی هوا می‌پردازد. افزون بر این، فرصت دیگری برای شما فراهم می‌کند تا دانسته‌های شیمیایی و مهارت‌های علمی و عملی خود را تقویت کنید.

نفس عمیقی بکشید و آن را به آهستگی بیرون بدهید. هوایی که به آسانی درون و بیرون شش‌های شما رفت و آمد می‌کند، موضوع مورد مطالعه‌ی ماست. اما پیش از این، با اجرای فعالیت زیر دانسته‌های خود را در این باره بیازمایید.

## خود را بیازمایید

درستی یا نادرستی هر یک از گفته‌های زیر را به ترتیب با گذاشتن علامت ✓ یا × مشخص کنید. در صورتی که مفهوم گفته‌ای برای شما ناآشنا باشد در برابر آن علامت «؟» بگذارید. در ضمن عبارت‌های نادرست را اصلاح کنید و از نو بنویسید. نگران نمره‌ی خود

ماده‌ای به حالت مایع یا  
گاز را سیال می‌گویند.

نباشید. در این تمرین نمره‌ای به شما داده نمی‌شود. با این کار تنها قصد داریم شما را به فکر کردن درباره‌ی سیال اعجاب‌انگیزی واداریم که همه‌ی ما درون آن زندگی می‌کنیم.

۱- بدون غذا حدود یک ماه و بدون آب حدود چند روز زنده می‌مانیم. اما، بدون هوا بیش از چند دقیقه دوام نمی‌آوریم.

۲- یک بطری خالی، واقعاً خالی نیست.

۳- حجم یک نمونه‌ی معین از هوا یا هر گاز دیگری به فشار و دمای آن بستگی دارد.

۴- همه‌ی گازهای بی‌رنگ، خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی دارند.

۵- هوا نیز مانند گازهای دیگر وزنی ندارد.

۶- هوا کره، نیرویی حدود یک کیلوگرم بر هر سانتی مترمربع از بدن شما وارد می‌کند.

۷- نوع و درصد اجزای تشکیل دهنده‌ی هوا کره در همه جا روی سطح کره‌ی زمین

ثابت است.

۸- هوا کره به عنوان یک صافی عمل می‌کند و از رسیدن تابش‌های زیان‌آور خورشید

به سطح زمین جلوگیری می‌کند.

۹- در بخش پایینی هوا کره، دمای هوا معمولاً با افزایش ارتفاع بالا می‌رود.

۱۰- اجزای جزئی هوا، مانند بخار آب و گاز کربن دی‌اکسید نیز نقش‌های مهمی در

هوا کره ایفا می‌کنند.

۱۱- در مناطق جنگلی مقدار رطوبت هوا زیاد است.

۱۲- اوزون گازی دو چهره است. در بخش پایینی هوا کره یک آلاینده، و در بخش‌های

بالایی آن یک پالاینده یا صافی به شمار می‌رود.

۱۳- هوای پاک و بدون آلودگی، یک ماده‌ی خالص است.

۱۴- هیچ یک از مرگ و میرهای انسانی را نمی‌توان به طور مستقیم به آلودگی هوا

نسبت داد.

۱۵- رویدادهای طبیعی هم چون فوران آتشفشان‌ها و آتش‌سوزی در جنگل‌ها سهم

قابل توجهی در آلودگی هوا دارند.

۱۶- تخریب ساختمان‌ها و گیاهان بر اثر آلودگی هوا یک خسارت اقتصادی قابل

توجه برای همه‌ی کشورها است.

۱۷- منبع عمده‌ی آلودگی هوا فعالیت‌های صنعتی است.

۱۸- برخی گازهای موجود در هوا کره اثر گلخانه‌ای را به وجود می‌آورند.

۱۹- میزان اسیدی بودن باران در کشورهای صنعتی، طی سال‌های اخیر کاهش

یافته است.

۲۰- انسان‌ها آلودگی هوا را بیش‌تر از راه سوزاندن سوخت‌ها به وجود می‌آورند.



در پایان این فعالیت، معلم همراه با همه‌ی دانش‌آموزان کلاس در یک گفت‌وگوی صمیمی به بحث و بررسی پاسخ‌ها می‌پردازند. شاید در آغاز، برخی پاسخ‌ها و تحلیل‌های مطرح‌شده، ابهام‌آمیز به نظر برسند، اما پس از آموختن این بخش و انجام دادن همه‌ی فعالیت‌های پیش‌بینی شده‌ی آن، به پاسخ‌های روشن و آموزنده‌ای خواهید رسید. به هر حال، درباره‌ی هریک از موضوع‌های مطرح‌شده در این فعالیت در جاهای معینی از این بخش گفت‌وگو خواهیم کرد. اگر مایل به یافتن پاسخ پرسش‌های خود هستید، تا پایان این بخش ما را همراهی کنید.

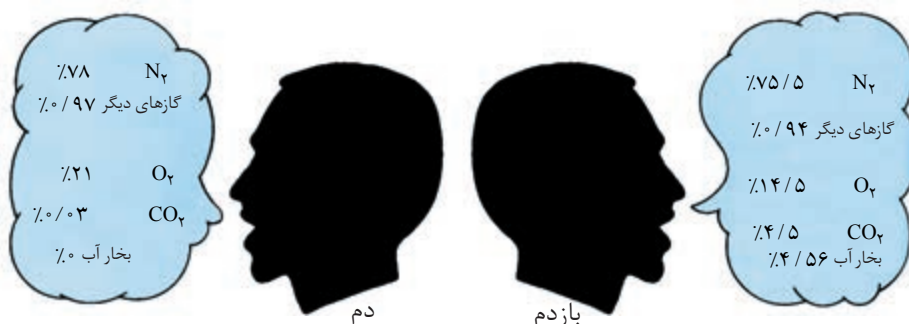
## هوا، تنفس و ادامه‌ی زندگی

ویژگی‌های موجودات زنده به گونه‌ای است که آن‌ها را به هوا نیازمند کرده است. اگرچه دانشمندان بر این باورند که هواکره‌ی فعلی، مدت‌ها پس از پیدایش آب روی زمین تشکیل شده است، با این حال هوا و آب هر دو، ادامه‌ی زندگی گیاهان و جانوران را در این کره‌ی خاکی ممکن کرده‌اند، شکل ۲.



شکل ۲ تنها جزیی از هواکره که از فضا دیده می‌شود، بخار آب فشرده به شکل ابر است.

یک نقش مهم هواکره، فراهم آوردن گاز اکسیژن موردنیاز برای تنفس است. اجرای فعالیت زیر اهمیت این ویژگی هواکره را برای شما آشکارتر می‌کند. نوع و درصد گازهای موجود در هوای دم و بازدم را در شکل ۳ می‌بینید.



شکل ۳ نوع و درصد حجمی گازهای موجود در هوای دم و بازدم (تنفس در هوای خشک). هوای

دم و بازدم چه تفاوت‌هایی با هم دارند؟ این تفاوت‌ها را چگونه توجیه می‌کنید؟

## چه قدر اکسیژن مصرف می کنید؟

فرض کنید که به طور میانگین در هر دقیقه ۱۴ بار نفس می کشید و در هر بار ۰/۵ لیتر هوا را به شش های خود وارد می کنید. با این حساب در هر دقیقه چند لیتر هوا تنفس می کنید؟ در این مدت چند لیتر گاز اکسیژن به شش های شما وارد می شود؟ میزان مصرف روزانه ی اکسیژن شما حدوداً چه قدر است؟ هر روز چه مقدار بخار آب از طریق تنفس شما به هوا وارد می شود؟

گیاهان برای ادامه ی زندگی خود به یک منبع همیشگی از کربن دی اکسید نیازمندند، تا از راه فوتوسنتز مواد غذایی مورد نیاز خود را بسازند. هواکره این نیاز ضروری آن ها را نیز تأمین می کند.

## فکر کنید

دانشمندان، فوتوسنتز و تنفس را مکمل یک دیگر می دانند. چرا؟

برای این که با نقش های دیگر هواکره آشنا شویم، باید بدانیم که هواکره چیست؟ و چه ویژگی های فیزیکی مهمی دارد؟

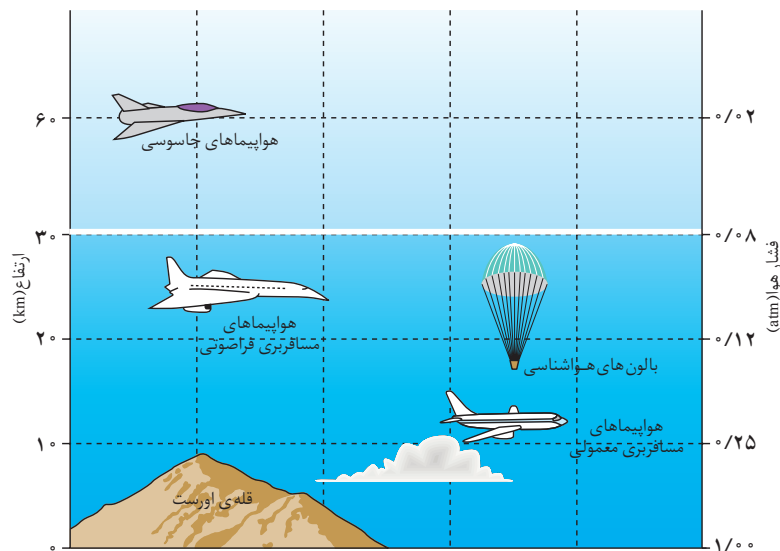
## هواکره را بهتر بشناسیم

آلوده شدن هوا بر اثر فعالیت های انسانی با کشف آتش آغاز شد. استفاده از آتش برای گرم کردن، پختن غذا و ذوب فلزها به گونه ای هوا در شهرهای باستانی را آلوده کرد که در سال ۶۱ میلادی سنکا فیلسوف معروف رومی از هوای سنگین و بوی تعفن دودکش های پر دود آن روزهای روم باستان سخن به میان آورده است. روند آلوده شدن هوا که از آن روزها شروع شده بود با انقلاب صنعتی اروپا که در سیصد سال پیش روی داد به اوج خود رسید و به این ترتیب هوای پیرامون شهرهای بزرگ اروپا را آلوده تر کرد. امروزه با رشد جمعیت و گسترش صنایع در بیش تر کشورهای جهان، آلودگی هوا شدیدتر شده است. به این علت شیمیدان ها و فیزیکدان ها تلاش می کنند تا با مطالعه و پژوهش روی رفتار و ویژگی های هواکره، آن را بیش تر بشناسند و راه های مقابله با آلودگی هوا را پیدا کنند.

اکنون می دانیم که بیش تر جرم هواکره تا فاصله ی ۱۲ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. این ناحیه را **تروپوسفر** می گویند. این بخش از هواکره همان بخشی است که ما در آن زندگی می کنیم، شکل ۴.

مخلوط شدن پیوسته ی گازها در تروپوسفر موجب پیدایش ترکیب درصد تقریباً یک نواختی می شود. تجزیه ی هوای به دام افتاده درون حباب های موجود در یخچال های طبیعی، نشان داده است که ترکیب تروپوسفر در سرتاسر تاریخ زندگی بشر، تقریباً ثابت بوده است.





شکل ۴ ترپوسفر بخشی از هوا کره است که همه‌ی موجودات زنده در آن زندگی می‌کنند. آیا می‌توانید این بخش را روی شکل مشخص کنید؟

افزون بر گازهای معرفی شده در جدول ۱، نمونه‌های واقعی هوا ممکن است تا بیش از ۰.۵٪ رطوبت داشته باشند. اگرچه در بیش تر مناطق، بخار آب از ۱ تا ۳ درصد متغیر است. غلظت گازهای دیگر در شرایط طبیعی، کم تر از ۰/۰۰۰۱ درصد یا ۱ ppm است. این مقدار شامل هیدروژن ( $H_2$ )، زنون ( $Xe$ )، اوزون ( $O_3$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO$  و  $NO_2$ )، کربن مونواکسید ( $CO$ ) و گوگرد دی اکسید ( $SO_2$ ) است.

فعالیت‌های گوناگون انسان غلظت  $CO_2$  و برخی دیگر از گازهای ناچیز موجود در هوا کره را تغییر می‌دهد. به علاوه این فعالیت‌ها می‌توانند مواد تازه‌ی دیگری را به هوا کره بیفزایند. این مواد اضافه شده هم به نوبه‌ی خود می‌توانند کیفیت هوا را تغییر دهند. به زودی با برخی از این مواد آشنا خواهید شد.

جدول ۱ اجزای سازنده‌ی هوا کره

نام	فرمول شیمیایی	درصد حجمی
<b>اجزای اصلی</b>		
نیتروژن	$N_2$	۷۸
اکسیژن	$O_2$	۲۱
<b>اجزای جزیبی</b>		
آرگون	Ar	۰/۹۶
کربن دی اکسید	$CO_2$	۰/۰۳
<b>اجزای ناچیز</b>		
نئون	Ne	در مجموع ۰/۰۰۴
آمونیاک	$NH_3$	
هلیوم	He	
متان	$CH_4$	
کریپتون	Kr	
<b>اجزای ناچیز دیگر</b>		
هریک ۰/۰۰۰۱ [ $CO$ , $NO_2$ , $NO$ , $SO_2$ , $Xe$ , $O_3$ , $H_2$ ]		

## فشار هوا و تغییر ارتفاع از سطح زمین

ما در کف اقیانوسی از هوا زندگی می‌کنیم. اگر به سمت بالا شنا کنیم و به ارتفاعات سری بزنیم، چه مشاهده خواهیم کرد؟

در اقیانوس‌ها (آب کره)، هرچه به عمق فرو می‌رویم، فشار آب افزایش و دمای آن کاهش می‌یابد. شرایط برای زندگی موجوداتی که در اعماق و در کف اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند، با شرایطی که موجودات مناطق نزدیک به سطح آب، در آن به سر می‌برند، کاملاً متفاوت است. همان‌گونه که می‌دانید هوا هم مانند آب یک سیال است. آیا می‌توان انتظار داشت که از این جهت هوا کره نیز رفتاری مانند آب کره داشته باشد؟ بررسی‌ها نشان داده است که شرایط هوا کره‌ای یا جوئی در سطح دریا با این شرایط در ارتفاعات بالا کاملاً تفاوت دارد. دانشمندان با فرستادن بالون‌های اکتشافی به ارتفاعات شرایط جوی را در همه‌ی بخش‌های هوا کره شناسایی کرده‌اند. فکر می‌کنید که آن‌ها چه مشاهده‌هایی داشته‌اند؟

### بر فراز زمین!



تصور کنید که در درون یک فضاپیما نشست‌اید و از سطح زمین به دورترین نقطه‌ی هوا کره سفر می‌کنید. دستگاه‌های موجود در فضاپیما شما برای اندازه‌گیری ارتفاع، دما و فشار هوا تنظیم شده است. این دستگاه‌ها در هر مقطع زمانی یک لیتر هوا را به عنوان نمونه می‌گیرد و به‌طور خودکار جرم هر نمونه، تعداد ذره‌های (مولکول یا اتم) موجود و ترکیب شیمیایی آن را اندازه‌گرفته، ثبت می‌کنند.

در این صعود تا ارتفاع ۱۲ کیلومتری، ترکیب شیمیایی هوا تقریباً ثابت باقی می‌ماند: ۷۸٪ نیتروژن، ۲۱٪ اکسیژن، ۰٫۹۶٪ آرگون و مقادیر ناچیزی از چند گاز دیگر). در ارتفاع ۱۲ کیلومتری خواهید دید که در بالای ابرها هستید و بلندترین کوه‌ها نیز در زیر پای شما قرار دارند. در این جا آسمان آبی به نظر می‌رسد و خورشید با درخشش بسیار می‌تابد. فضاپیما شما اکنون در بالای محلی است که بیش‌تر هواپیماهای مسافربری در آن ارتفاع پرواز می‌کنند، درست بالای جایی که هوا شروع به رقیق شدن می‌کند.

در نواحی بالاتر از ارتفاع ۱۲ کیلومتری، ترکیب هوا تقریباً بانواحی پایین‌تر یکسان است، اما دستگاه‌های فضاپیما، شما را از وجود مقدار اندکی اوزون آگاه می‌کنند. هم‌چنین شما در این ارتفاعات برخلاف نواحی کم‌ارتفاع‌تر، هوای کاملاً آرام و بی‌تلاطمی را حس خواهید کرد. در هر نمونه‌ی یک لیتری از هوا که در ارتفاع ۵۰ تا ۸۵ کیلومتری گرفته می‌شود، تعداد ذره‌ها به نسبت کم‌تر است. در ارتفاع ۲۰۰ کیلومتری، رادار فضاپیما خبر از وجود برخی ماهواره‌های مخابراتی می‌دهد که در مدار خود در حرکت هستند. در بالاتر از این ارتفاع تعداد ذره‌های موجود در هر نمونه آن‌چنان کم می‌شود که دستگاه‌های شما قادر به اندازه‌گیری آن‌ها نیستند. در این هنگام فضاپیما شما با انبوهی از یافته‌ها آماده است تا



دوباره به سطح زمین برگردد. اکنون زمان آن رسیده است تا داده‌های جمع‌آوری شده در این سفر خیالی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید. جدول ۲، داده‌های ثبت شده در این پرواز را به طور خلاصه نشان می‌دهد. در ستون آخر تعداد کل ذره‌های (مولکول یا اتم) موجود در یک نمونه‌ی یک لیتری نیز نشان داده شده است.

با کمک داده‌های این جدول دو نمودار زیر را رسم کنید.

۱- نمودار تغییر دما در برابر ارتفاع

۲- نمودار تغییر فشار در برابر ارتفاع

محورها را طوری مدرج کنید که هر نمودار یک صفحه‌ی کاغذ را کاملاً پر کند. مقیاس محورافقی (ارتفاع) برای هر نمودار باید برحسب کیلومتر و از صفر تا ۱۰۰ باشد. مقیاس محور عمودی (دما) در نخستین نمودار باید از  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $4^{\circ}\text{C}$  مدرج شود. در نمودار دوم محور عمودی (فشار) باید از صفر تا ۷۸۰ میلی‌متر جیوه درجه‌بندی شود. حال نقطه‌ها را یک به یک روی نمودار بیابید و سپس آن‌ها را به یک‌دیگر وصل کنید تا خط همواری به دست آید (توجه کنید که یک خط، ممکن است راست یا منحنی باشد). با استفاده از این نمودار و اطلاعاتی که تا به حال به دست آورده‌اید به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۱- مقایسه روند تغییر دما و فشار با افزایش ارتفاع:

آ) کدام یک الگوی منظم‌تری دارد؟

ب) آیا می‌توانید این روندها را توضیح دهید؟

۲- اگر فرصتی پیدا شود و شما بتوانید از سطح دریا تا هریک از مناطق زیر سفر کنید،

انتظار دارید که فشار هوا در این مناطق کم‌تر باشد یا بیش‌تر؟ چرا؟

آ) قله‌ی دماوند (۵۶۷۱ m بالاتر از سطح دریا)

ب) کنار دریای خزر (۲۸ m پایین‌تر از سطح دریا)

۳- دانشمندان اغلب هواکره را به چند لایه تقسیم می‌کنند. تروپوسفر (نزدیک‌ترین

لایه به زمین)، استراتوسفر، مزوسفر و ترموسفر (دورترین لایه از زمین).

آ) آیا داده‌های موجود در جدول ۲ به شما تصویری از لایه‌ای بودن هواکره می‌دهند؟

توضیح دهید.

جدول ۲ داده‌های به دست آمده از یک سفر خیالی بر فراز زمین

ارتفاع از سطح زمین (km)	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	فشار هوا (mmHg)	جرم یک نمونه یک لیتری (g)	تعداد کل ذره‌های (مولکول یا اتم) موجود در یک نمونه‌ی یک لیتر $10^{20}$
۰	۲۰	۷۶۰	۱/۲۰	۲۵۰
۵	-۱۲	۴۰۷	۰/۷۳	۱۵۰
۱۰	-۴۵	۲۱۸	۰/۴۱	۹۰
۱۲	-۶۰	۱۷۰	۰/۳۷	۷۷
۲۰	-۵۳	۶۲	۰/۱۳	۲۷
۳۰	-۳۸	۱۸	۰/۰۳۵	۷
۴۰	-۱۸	۵/۱	۰/۰۰۹	۲
۵۰	۲	۱/۵	۰/۰۰۳	۰/۵
۶۰	-۲۶	۰/۴۲	۰/۰۰۰۷	۰/۲
۸۰	-۸۷	۰/۰۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۲



ب) در این صورت روی هر نمودار با رسم خطوط عمودی مرز میان این لایه‌ها را مشخص کنید.

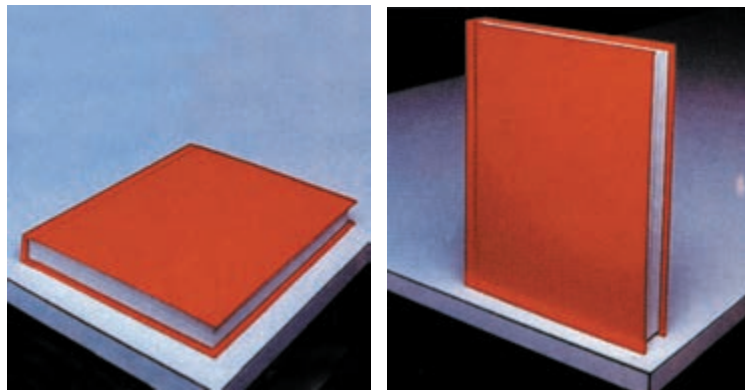
۴- آیا چگالی هوا با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند؟ تعداد ذره‌های موجود در هر نمونه‌ی یک لیتری چه رابطه‌ای با چگالی هوا دارد؟ شرح دهید.

۵- دستگاه‌های موجود در سفینه‌ی شما وجود گاز اوزون را در کدام لایه تشخیص داده‌اند؟

در فعالیت بالا بارها از عبارت فشار هوا استفاده شد. اما واقعاً منظور از فشار هوا چیست؟ در ادامه به معرفی این مفهوم می‌پردازیم. اما پیش از این باید با یکی از ویژگی‌های مهم گازها یعنی فشار آشنا شویم.

## فشار چیست؟

فشار مقدار نیرویی است که بر واحد سطح وارد می‌شود. شکل ۵ را نگاه کنید. این کتاب به دو شکل روی میز قرار گرفته است. در کدام حالت سطح بیش‌تری از میز را اشغال کرده است؟ نیرویی که این کتاب بر میز وارد می‌کند، وزن آن است. با توجه به این مطلب، در کدام حالت، کتاب فشار بیش‌تری را بر میز وارد می‌کند؟



شکل ۵ این کتاب نیرویی معادل وزن خود بر میز وارد می‌کند. در کدام حالت فشار بیش‌تری بر میز وارد می‌شود؟

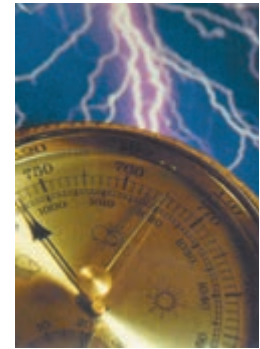
مایع موجود در یک ظرف نیز وزن دارد و به این دلیل بر بدنه‌ی ظرف دربردارنده‌ی آن فشار وارد می‌کند. این فشار با افزایش عمق مایع فزونی می‌یابد (چرا؟)، شکل ۶.



شکل ۶ در یک سیال (مایع یا گاز) با افزایش عمق، فشار افزایش می‌یابد.

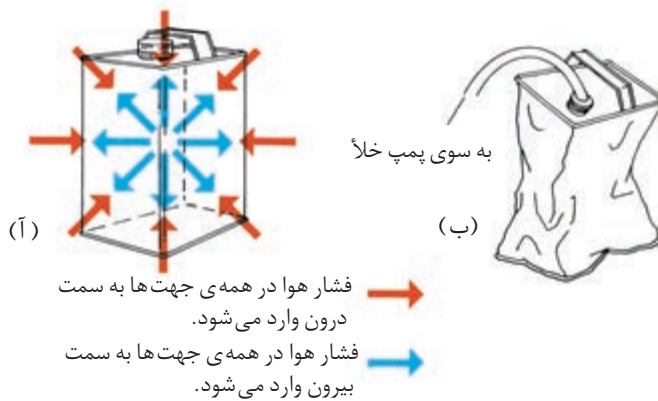


هواشناس‌ها از روی فشار هوا کره وضع هوا را پیش‌بینی می‌کنند.



فشار مایع نه تنها به ته ظرف بلکه به دیواره‌های آن نیز وارد می‌شود. در واقع، در هر عمقی از یک مایع، فشار به طور برابر به همه‌ی جهت‌ها وارد می‌شود. هرچه غواصان در عمق بیش‌تری شنا کنند، فشار آب بیش‌تری را احساس خواهند کرد.

هوا کره نیز که مخلوطی از گازهاست، به علت داشتن وزن در همه‌ی جهت‌ها فشار وارد می‌کند. مابه‌عنوان یک موجود زنده که در ته اقیانوسی از هوا زندگی می‌کنیم، معرض فشار این گازها قرار داریم. این فشار را **فشار هوا** می‌گویند. فشار هوا در سطح دریا تقریباً برابر با فشاری است که یک وزنه‌ی یک کیلوگرمی بر سطحی به مساحت یک سانتی‌متر مربع وارد می‌کند. ما فشار هوا را احساس نمی‌کنیم، زیرا این فشار در همه‌ی جهت‌ها بر درون و بیرون بدن ما وارد می‌شود. شکل ۷ این مطلب را بهتر نشان می‌دهد.



**شکل ۷** هوا در همه‌ی جهت‌ها فشار وارد می‌کند. (آ) فشار هوای درون و بیرون این قوطی حلبی برابر است. (ب) قوطی پس از تخلیه هوای درون آن. اگر قرار بود که این قوطی را با دست به این شکل در آورید چه نیرویی لازم داشتید؟

## هوا قوی‌تر است یا زمین؟!

درون یک لیوان، آن قدر آب بریزید تا لبریز شود. سپس یک تکه مقوا به ابعاد  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  روی دهانه‌ی لیوان قرار دهید و درحالی‌که با یک دست مقوا را نگاه داشته‌اید، لیوان را در ظرف شویی وارونه کنید. حال دست خود را بردارید. چه مشاهده می‌کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

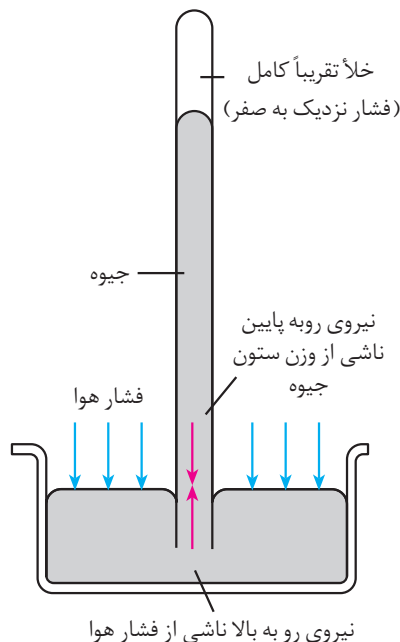


در خارج از هوا کره‌ی زمین، هوایی وجود ندارد و فضانوردان ناگزیرند لباس‌های ویژه‌ای بپوشند که درون فضای بسته‌ی آن‌ها، فشاری ساختگی وجود داشته باشد، شکل ۸. بدون این لباس ویژه، فضانوردان در فضا منفجر می‌شوند!

**شکل ۸** ساخته شدن لباس‌های ویژه‌ی فضانوردی، قدم زدن بر سطح ماه را برای انسان ممکن کرد.



برای اندازه گیری دقیق فشار هوا از دستگاهی به نام فشارسنج یا بارومتر جیوه ای استفاده می شود، شکل ۹. این دستگاه از یک لوله ی شیشه ای بلند ساخته شده که یک انتهای آن بسته است و درون آن را با جیوه پر کرده اند. انتهای دیگر لوله در ظرفی پر از جیوه قرار گرفته است. فضای خالی بالای ستون جیوه نزدیک به خلأ کامل است. در این فضا هیچ هوایی وجود ندارد و تنها مقدار بسیار ناچیزی بخار جیوه یافت می شود. در واقع این فضای خالی تقریباً هیچ فشاری بر ستون جیوه وارد نمی کند. اما، چرا جیوه از لوله پایین نمی آید تا درون ظرف پر از جیوه بریزد؟ با توجه به شکل ۹ به این پرسش پاسخ دهید.



شکل ۹ اصول کار یک فشارسنج جیوه ای. چون ارتفاع ستون جیوه به فشار هوا بستگی دارد، بنابراین ارتفاع این ستون معیار خوبی برای اندازه گیری فشار هوا خواهد بود.

شکل ۱۰ یک فشارسنج جیوه ای آزمایشگاهی

به میانگین فشار هوا در سطح دریا **فشار هوای معمولی** می گویند. در این فشار ارتفاع ستون جیوه ۷۶۰ میلی متر است، شکل ۱۰. این مقدار را به صورت کوتاه شده ی  $760 \text{ mmHg}$  (بخوانید: ۷۶۰ میلی متر جیوه) نمایش می دهند. نماد شیمیایی جیوه است. فشار هوا در سطح دریا به عنوان **فشار استاندارد** پذیرفته شده است. این فشار را  $1 \text{ atm}$  (بخوانید: یک اتمسفر) نیز می گویند.

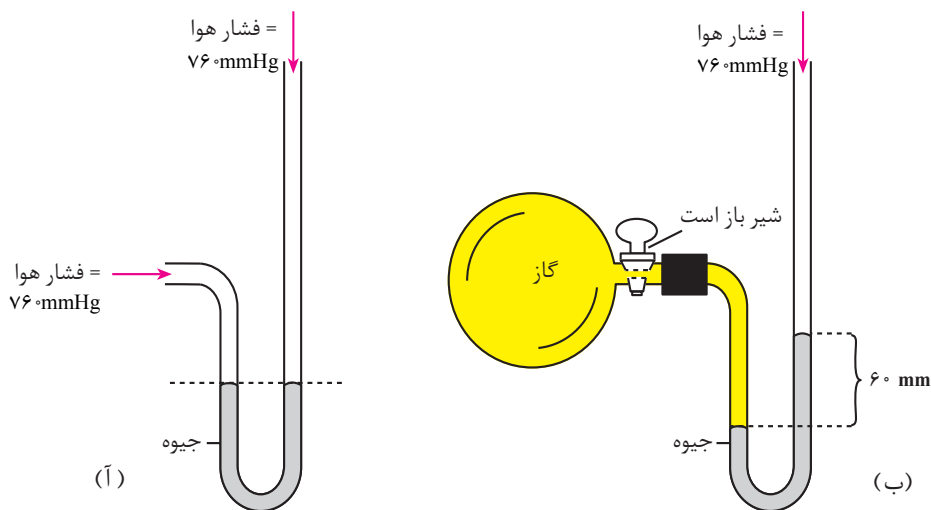
$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

هر گاز محبوس در یک ظرف نیز بر دیواره های آن ظرف فشار وارد می کند. این فشار را به کمک فشارسنجی به نام **مانومتر** اندازه می گیرند. شکل ۱۱ ساختار و اصول کار این دستگاه را نشان می دهد.

در ادامه اثر تغییر فشار و دما را بر حجم گازها مطالعه می کنیم. این مطالب ما را در درک رفتار گازها در هواکره یاری می دهند.

پاسکال ( $Pa$ ) یکای فشار در سیستم  $SI$  است. در حالی که اتمسفر ( $atm$ ) و میلی متر جیوه ( $mmHg$ ) دو یکای غیر  $SI$  فشار هستند.  
 $1 \text{ atm} = 101 \text{ kPa}$





شکل ۱۱ (آ) ساختار و اصول کار یک مانومتر ب (مانومتر فشار گاز درون حباب شیشه‌ای را چند میلی‌متر جیوه نشان می‌دهد؟

## قانون بویل

می‌دانید که گازها برخلاف مایع‌ها و جامدات تراکم‌پذیرند (چرا؟). به این علت می‌توان گازها را فشرود تا حجم کم‌تری اشغال کنند، شکل ۱۲.



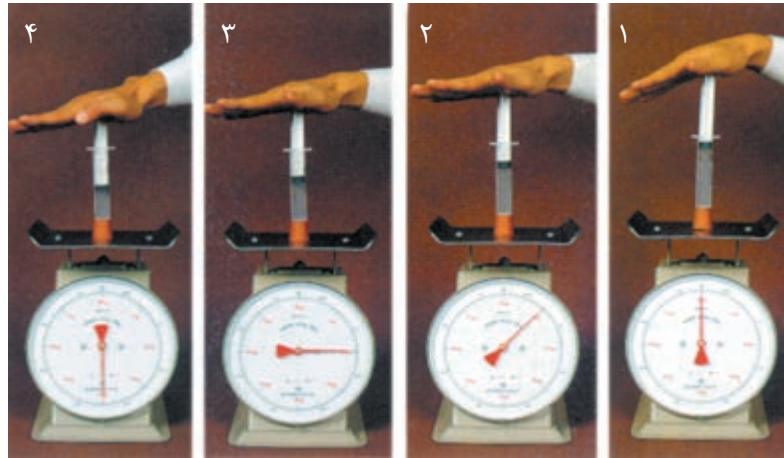
شکل ۱۲ یک گاز را می‌توان با فشردن در حجم کم‌تری جا داد. فاصله‌ی بین ذره‌های سازنده‌ی این گاز چه تغییری کرده است؟

## فکر کنید

یک معلم شیمی به هنگام خریدن سیلندر یک لیتری گاز اکسیژن خالص برای آزمایشگاه مدرسه با اختلاف قیمت چشم‌گیری روبه‌رو شد. شرکت (آ) هر سیلندر یک لیتری گاز اکسیژن با خلوص ۹۹/۹٪ را ۳۰۰۰۰۰ ریال و شرکت (ب) سیلندر یک لیتری گاز اکسیژن خود را با همین خلوص ۵۰۰۰۰۰ ریال قیمت گذاشته بود. این معلم شیمی با آزمایشی دریافت که شرکت (ب) گاز اکسیژن خود را با قیمت ارزان‌تری به فروش می‌رساند. آیا می‌توانید حدس بزنید که او چگونه توانست به این نکته پی ببرد؟



برای فشرده کردن یک گاز باید فشار زیادی بر آن وارد کرد، این پدیده را در آزمایش نشان داده شده در شکل ۱۳ از نزدیک تجربه می‌کنیم. با دقت به این شکل نگاه کنید. از تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از این آزمایش چه رابطه‌ای (مستقیم یا وارونه) میان فشار و حجم یک گاز، نتیجه می‌شود؟ از آنجا که تغییر دما بر حجم گازها مؤثر است، در همه‌ی این آزمایش‌ها دما ثابت بوده است.



۲/۲	۱/۶	۱/۳	۱	فشار (atm)
۱۱	۱۶	۱۹	۲۵	حجم (mL)
۲۴	۲۶	۲۵	۲۵	فشار × حجم

شکل ۱۳ تعیین تجربی رابطه‌ی فشار و حجم برای یک گاز (در همه‌ی این آزمایش‌ها دما ثابت بوده است).



رابرت بویل (۱۶۲۷-۱۶۹۱)



ژاک شارل (۱۷۴۶-۱۸۲۳)



رُرد کلوین (۱۸۲۴-۱۹۰۷)

نخستین بار رابرت بویل دانشمند انگلیسی به وجود این رابطه پی برد. آیا می‌توانید قانون بویل را در یک خط تعریف کنید؟

## قانون شارل

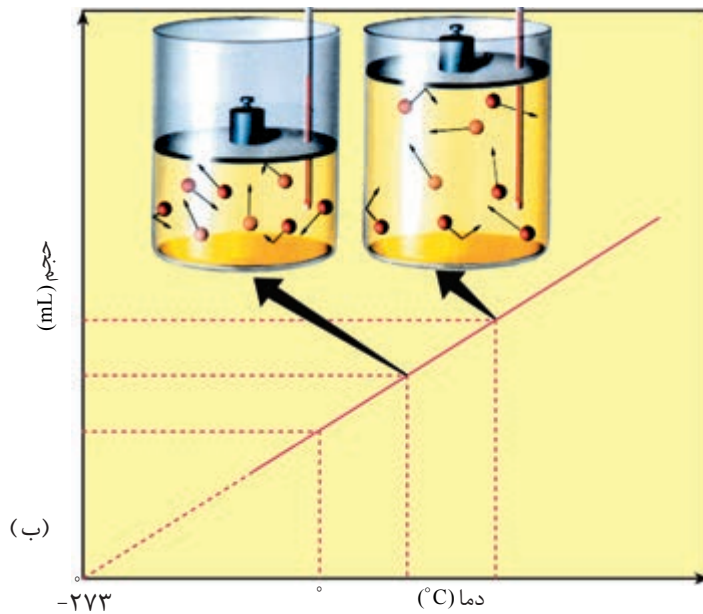
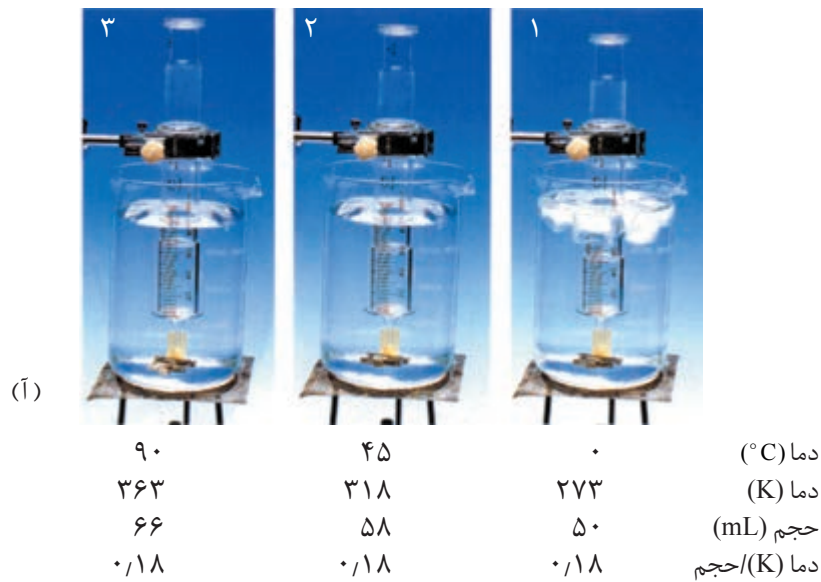
دما نیز مانند فشار بر حجم گازها مؤثر است. در دهه‌ی ۱۷۸۰ میلادی ژاک شارل شیمیدان فرانسوی، پس از آزمایش‌های بسیار به رابطه‌ی میان دما و حجم یک گاز پی برد. او در همه‌ی آزمایش‌های خود فشار را ثابت نگاه داشت (چرا؟). به شکل ۱۴ نگاه کنید. با دقت در داده‌های به دست آمده از این آزمایش و نمودار رسم شده به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۱- با افزایش دما، حجم چه تغییری کرده است؟

۲- با امتداد دادن خط به دست آمده، محور افقی (دما بر حسب °C) در چه نقطه‌ای قطع شده است؟ در این دما حجم گاز چه قدر است؟

۳- رُرد کلوین دانشمند معروف انگلیسی پنجاه سال پس از مرگ شارل، دمای °C ۲۷۳- را **صفر مطلق** نامید، زیرا رفتن به پایین‌تر از این دما را غیر ممکن می‌دانست (نظر شما چیست؟) اگر این دما (°C ۲۷۳-) را صفر در نظر بگیریم و دما را بر مبنای این نقطه





شکل ۱۴ (آ) تعیین تجربی رابطه‌ی دما و حجم برای یک گاز (در همه‌ی این آزمایش‌ها فشار ثابت بوده است). (ب) نمودار حجم در برابر دما برای یک گاز.

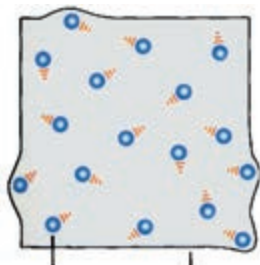
بسنجیم، مقیاس تازه‌ای برای دما به دست می‌آید. به احترام لرد کلوین این مقیاس جدید را **کلوین** نامیده‌اند و آن را با حرف K نشان می‌دهند. با توجه به این نکته  $6^{\circ}\text{C}$  چند کلوین است؟

۴- از تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از این آزمایش چه رابطه‌ای (مستقیم یا وارونه) میان دما و حجم یک گاز نتیجه می‌شود؟

۵- به این رابطه **قانون شارل** می‌گویند. آیا می‌توانید این قانون را در یک خط تعریف کنید؟

- ۱- چرا بالون‌های پر از هوای داغ در هوا کره بالا می‌روند؟
- ۲- چرا رانندگان دره‌های سرد بر باد تیره‌های خود می‌افزایند و با فرارسیدن تابستان از هوای درون آن‌ها می‌کاهند؟

قوانین علمی، پدیده‌های طبیعی را توضیح می‌دهند. در واقع به پرسش‌هایی پاسخ می‌دهند که با «چه» آغاز می‌شود. در حالی که نظریه‌ها و مدل‌های علمی، علت وقوع پدیده‌های طبیعی را شرح می‌دهند. در واقع به پرسش‌هایی پاسخ می‌دهند که با «چرا» آغاز می‌شوند.



شکل ۱۵ فشار گاز بر اثر برخورد میلیون‌ها ذره‌ی کوچک بر دیواره‌ی ظرف دارای آن ایجاد می‌شود.

میانگین سرعت حرکت مولکول‌های گاز نیترژن در دمای اتاق  $515 \text{ m/s}$  است. یعنی نزدیک به  $1154$  کیلومتر در ساعت است.

به انرژی یک جسم در حال حرکت، انرژی جنبشی می‌گویند. انرژی جنبشی به جرم جسم و سرعت حرکت آن بستگی دارد. از دو جسم که با سرعت یکسان حرکت می‌کنند، آن که سنگین‌تر است، انرژی جنبشی بیشتری دارد. از میان دو جسم با جرم‌های مساوی که با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند، جسمی که سرعت بیشتری دارد، انرژی جنبشی بیشتری نیز خواهد داشت.

همه‌ی گازهای سازنده‌ی هوا کره در شرایط عادی مطابق قانون‌های بویل و شارل رفتار می‌کنند. اما چرا این گونه رفتار می‌کنند؟ در ادامه به این پرسش و چراهای بسیار دیگری درباره‌ی گازها، پاسخ خواهیم داد.

## چرا گازها این گونه رفتار می‌کنند؟

تا اواخر سده‌ی هجدهم میلادی دانشمندان به بسیاری از قوانین گازها پی بردند. پرواز بالون‌ها نیز اطلاعات باارزشی از ساختار و ترکیب شیمیایی هوا کره فراهم کرد. با این حال، توضیح رفتار گازها، هنوز ناقص به نظر می‌رسید. دانشمندان این اطلاعات به دست آمده را در کنار هم قرار دادند و سرانجام به یک توضیح رضایت‌بخش و فراگیر برای توجیه رفتار گازها دست یافتند. **نظریه‌ی جنبش مولکولی گازها** ره‌آورد این چراجویی‌ها بود.

نظریه‌ی جنبش مولکولی گازها بر چند اصل زیر استوار است.

- ۱- همه‌ی گازها از ذره‌های بسیار کوچکی (اتم یا مولکول) تشکیل شده‌اند. ذره‌هایی که می‌توان حجم آن‌ها را در مقایسه با حجمی که گاز اشغال کرده است، نادیده گرفت.
- ۲- اتم‌ها یا مولکول‌های گاز پیوسته در حرکتند. آن‌ها، اغلب با یکدیگر و با دیواره‌ی ظرفی که در آن قرار دارند، برخورد می‌کنند. فشار یک گاز، نتیجه‌ی برخورد ذره‌های سازنده‌ی آن با دیواره‌ی ظرف است، شکل ۱۵.
- ۳- ذره‌های یک گاز به هنگام برخورد با یکدیگر می‌توانند بخشی از انرژی جنبشی خود را از دست بدهند یا بر آن بیفزایند، ولی در مجموع مقدار کل انرژی جنبشی آن‌ها تغییری نمی‌کند.

۴- در یک دمای معین، ذره‌های سازنده‌ی یک گاز سرعت‌ها و انرژی‌های جنبشی متفاوتی دارند. اما، میانگین انرژی جنبشی آن‌ها ثابت است و تنها به دمای گاز بستگی دارد. میانگین انرژی جنبشی ذره‌های سازنده‌ی همه‌ی گازها در یک دمای معین با هم برابر است و با افزایش دما، میانگین سرعت‌ها و انرژی‌های جنبشی آن‌ها افزایش می‌یابد. به گازهایی که رفتار آن‌ها با توجه به نظریه‌ی جنبش مولکولی گازها قابل پیش‌بینی باشد، **گازهای ایده‌آل** می‌گویند. بیش‌تر گازهای موجود در هوا کره رفتاری شبیه به گازهای ایده‌آل از خود نشان می‌دهند.



## فکر کنید

به کمک نظریه‌ی جنبش مولکولی گازها هریک از مشاهده‌های زیر را شرح دهید:

۱- با کاهش حجم یک نمونه گاز در دمای ثابت، فشار گاز افزایش می‌یابد.

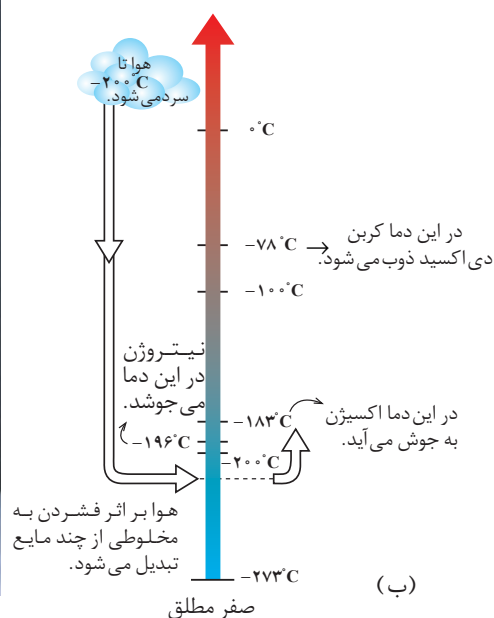
۲- در حجم ثابت، با کاهش دمای یک گاز، فشار آن کاهش می‌یابد.

اکنون که شما شیوه‌ی توجیه برخی خواص گازها توسط شیمیدان‌ها را آموختید، نوبت به آن رسیده است که دوباره به هواکره برگردیم و آن را از دو جنبه‌ای که در مقدمه‌ی این بخش معرفی شد، مورد بررسی قرار دهیم.

## هواکره معدنی سرشار از مواد شیمیایی

اگر به جدول ۱ از نو نگاهی بیندازید، فهرستی از گازهای سودمندی را خواهید دید که هواکره را می‌توان معدن آن‌ها نامید. نیتروژن، اکسیژن، آرگون و نئون از جمله گازهایی هستند که در مقیاس صنعتی از هواکره به دست می‌آیند.

اگر هوا را زیر فشار زیاد تا  $20^{\circ}\text{C}$  - سرد کنیم، مخلوط بسیار سردی از چند مایع به دست می‌آید که **هوای مایع** نامیده می‌شود، شکل ۱۶-آ. با تقطیر جزء به جزء این مایع می‌توان هریک از اجزای سازنده‌ی آن را جدا کرد. اگر دمای **هوای مایع** را به آرامی افزایش دهیم، هر مایع موجود در این مخلوط در نقطه‌ی جوش خود تبخیر می‌شود و می‌توان بخارهای آن را سرد و به طور جداگانه جمع‌آوری کرد، شکل ۱۶-ب.



شکل ۱۶ (آ) هوای مایع (ب) تقطیر جزء به جزء هوای مایع



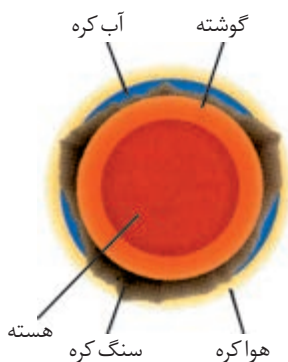
افزون بر تهیه‌ی نیتروژن و اکسیژن، گاز آرگون یکی از مهم‌ترین فراورده‌هایی است که از هوا به دست می‌آید، شکل ۱۷. هم‌چنین از نیتروژن هوا نیز به طور مستقیم برای تولید فراورده‌های مهمی چون آمونیاک و نیتریک اسید استفاده می‌شود.



شکل ۱۷ واحد تولید گاز آرگون در مجتمع پتروشیمی شیراز. این واحد که در سال ۱۳۷۳ به بهره‌برداری رسیده است، سالانه ۵۰۰۰ تن گاز آرگون تولید می‌کند. گاز آرگون برای جوشکاری، برشکاری و پرکردن لامپ‌های مهتابی به کار می‌رود.

### فکر کنید

از جدول ۱ مقادیر گازهای هلیوم (He)، نئون (Ne)، آرگون (Ar)، کریپتون (Kr) و زنون (Xe) موجود در هوا کره را استخراج کنید. با توجه به این که هوا کره مهم‌ترین منبع این گازها به شمار می‌آید، به نظر شما چرا این مواد را گازهای کمیاب یا نادر نامیده‌اند؟



شکل ۱۸ نمایش بخش‌های پنج‌گانه‌ی کره‌ی زمین (از درون به بیرون: هسته، گوشته، سنگ کره، هوا کره، آب کره و هوا کره)

## اکسیژن، فراوان‌ترین عنصر در کره‌ی زمین

اکسیژن بی‌تردید مهم‌ترین عنصر موجود در کره‌ی زمین و یکی از عنصرهای ضروری برای ادامه‌ی زندگی است. اکسیژن بسیار فراوان است و در هر سه بخش بیرونی کره‌ی زمین (هوا کره، آب کره و سنگ کره) یافت می‌شود، شکل ۱۸.

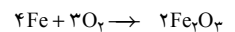
اکسیژن در هوا کره به صورت اکسیژن مولکولی ( $O_2$ ) وجود دارد. در آب کره (شامل اقیانوس‌ها، دریاها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها) در ساختار مولکول‌های آب ( $H_2O$ ) یافت می‌شود و در سنگ کره (پوسته‌ی جامد کره زمین) به صورت ترکیب شده با عنصرهای دیگر مشاهده می‌شود. اکسیژن را در بسیاری از ترکیب‌های سازنده‌ی بدن موجودات زنده می‌توان یافت. همه‌ی مواد غذایی- کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها- ترکیب‌های اکسیژن دار هستند. هنگام تنفس، با کشیدن هوا به درون شش‌ها اکسیژن مولکولی ( $O_2$ ) وارد جریان خون می‌شود و به کمک این جریان به نزدیکی بافت‌های بدن انتقال می‌یابد. در آن جا، اکسیژن با غذایی که خورده‌ایم ترکیب می‌شود و با آزاد کردن انرژی شیمیایی نهفته در آن



ماده‌ی غذایی، انرژی موردنیاز بدن را تأمین می‌کند. البته اکسیژن اثرهای نامطلوبی هم دارد. برای مثال، اکسیژن، آهن را به زنگ آهن تبدیل می‌کند، شکل ۱۹، باعث فساد مواد غذایی می‌شود و به پوسیده شدن چوب نیز کمک می‌کند.



**شکل ۱۹** اکسیژن سبب زنگ زدن بدنه‌ی آهنی خودروها می‌شود و به این ترتیب، به ما خسارت وارد می‌کند.

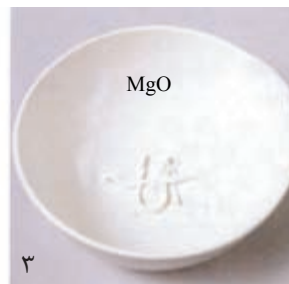
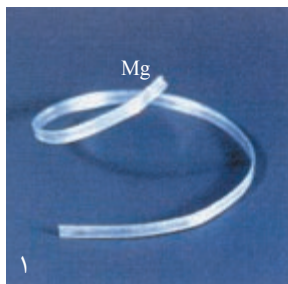
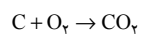


آهن                      زنگ آهن

هم‌چنین اکسیژن به آسانی با عنصرهای دیگر نیز واکنش می‌دهد و ترکیب‌های سودمندی را به وجود می‌آورد که **اکسید** نامیده می‌شوند. آب ( $\text{H}_2\text{O}$ ) یک اکسید است و از واکنش هیدروژن ( $\text{H}_2$ ) و اکسیژن ( $\text{O}_2$ ) به دست می‌آید. **اکسایش** نامی است که به چنین واکنشی داده‌اند. برخی از واکنش‌های اکسایش بسیار سریع روی می‌دهند و با ایجاد شعله و آزاد کردن مقدار زیادی گرما، صوت و نور همراه‌اند، شکل‌های ۲۰ و ۲۱. به این نوع واکنش **اکسایش، سوختن یا احتراق** می‌گویند. انرژی آزاد شده در هنگام سوختن به اندازه‌ای هست که ماده‌ی سوختنی را ابتدا به بخار تبدیل کند و سپس آن را با اکسیژن هوا واکنش دهد.



**شکل ۲۰** هنگامی که زغال سنگ می‌سوزد، انرژی شیمیایی خود را به صورت گرما و نور آزاد می‌کند. در این فرایند، اکسیژن هوا، کربن موجود در زغال سنگ را به کربن دی‌اکسید تبدیل می‌کند.

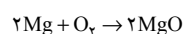


(آ)



(ب)

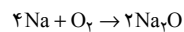
**شکل ۲۱** (آ) واکنش فلز منیزیم با اکسیژن هوا (ب) از گرد منیزیم در تولید فشفشه و مواد آتش‌بازی دیگر استفاده می‌شود.



برخی دیگر از واکنش‌های اکسایش نسبت به سوختن انرژی کم‌تری آزاد می‌کنند و به این علت با ایجاد شعله همراه نیستند. برای مثال فلز سدیم در تماس با هوا به آهستگی با اکسیژن واکنش می‌دهد و به سدیم اکسید تبدیل می‌شود، شکل ۲۲.

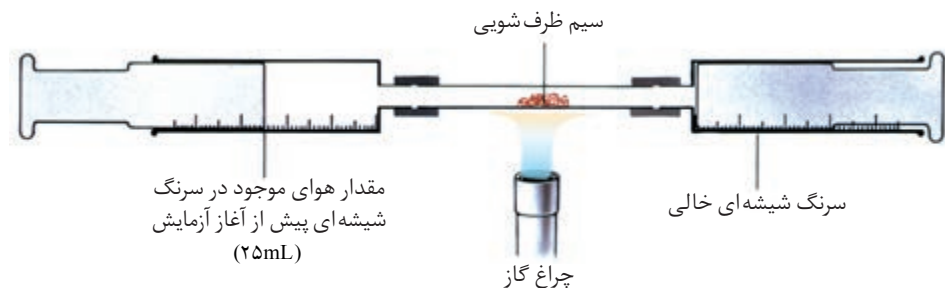


**شکل ۲۲** فلز سدیم بسیار نرم است، به طوری که می‌توان آن را با چاقو به آسانی برید. هنگامی که سطح تازه بریده شده‌ی این فلز در تماس با هوا قرار می‌گیرد، رفته‌رفته درخشش خود را از دست می‌دهد. زیرا، در حضور اکسیژن، سدیم به سدیم اکسید تبدیل می‌شود. برای جلوگیری از این واکنش فلز سدیم درون نفت نگاه‌داری می‌شود.



### فکر کنید

شکل زیر آزمایشی را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان درصد اکسیژن هوا را اندازه‌گیری کرد. به نظر شما با این آزمایش چگونه می‌توان درصد اکسیژن هوا را اندازه گرفت؟



در سراسر جهان سالانه مقدار بسیار زیادی گاز اکسیژن و اکسیژن مایع از تقطیر جزء به جزء هوا تولید می‌شود. گاز اکسیژن در صنایع فولاد و صنایع شیمیایی برای تولید نیتریک اسید و سولفوریک اسید کاربرد دارد. از اکسیژن مایع نیز به عنوان اکسیدکننده در سوخت موشک‌ها و فضاپیماها استفاده می‌شود، شکل ۲۳.





شکل ۲۳ فضا پیماها برای حرکت در فضا، اکسیژن مایع با خود حمل می کنند.

## هواکره ظرفی برای دور ریختن مواد زاید

از گذشته های دور، مردم آموخته اند که آتش را کنترل و دود سمی و کشنده ی حاصل از آن را از فضای خانه خویش دور کنند. اگر کره ی زمین را خانه بسیار بزرگ تری تصور کنیم که هواکره سقف آن است، در واقع آن ها گازهای سمی و مزاحم خود را به خانه ی بزرگ تر خویش می ریختند. طبیعت نیز سخاوت مندانه به کمک باران مقدار زیادی از این گازهای خطرناک را می شست و پس از فرو ریختن آن ها روی زمین، توسط باکتری ها آن ها را به فرآورده های بی خطری تجزیه می کرد. بخشی نیز توسط گیاهان جذب و به فرآورده های سودمندی تبدیل می شد. به این ترتیب، توازن میان فعالیت های انسانی و طبیعت برقرار می ماند و در نهایت این گازهای خطرناک مزاحمتی برای زندگی انسان و محیط زیست به وجود نمی آوردند. اما، در چند سده ی گذشته به ویژه پس از انقلاب صنعتی اروپا و گسترش روزافزون صنایع گوناگون، نیاز به انرژی چندین برابر شد و مصرف زغال سنگ روبه فزونی گذاشت، شکل ۲۴.

در سده ی نوزدهم با پیدایش نفت و گسترش فرآورده های نفتی در سراسر جهان، افزون بر ورود مقادیر زیادی گازهای حاصل از سوختن آن ها، گازهای خطرناک تر دیگری نیز که فرآورده ی اصلی یا فرعی بسیاری از صنایع بودند، به هواکره وارد شدند. رشد سرسام آور جمعیت، افزایش شمار صنایع آلوده کننده و ورود فناوری های تازه ای در سده ی بیستم این توازن یا برابری طبیعی را برهم زد و محیط زیست را با خسارت های جبران ناپذیری رو به رو



شکل ۲۴ دود ناشی از سوختن زغال سنگ در یک نیروگاه در لندن، انگلستان.

کرد. گسترش دانش بشری از یک سو و نیاز به داشتن محیطی سالم برای زندگی، از سوی دیگر، سبب شد که به آسیب‌های زیست‌محیطی برخاسته از آلودگی هوا توجه بیش‌تری شود و تلاش‌های فراوانی برای رفع آن‌ها به‌عمل‌آید. به این علت هواکره مورد توجه گروه‌های پژوهشی بسیاری در سراسر جهان قرار گرفت. امروزه یافته‌های این پژوهش‌ها تا اندازه‌ای پرده از اسرار هواکره برداشته است. یافته‌هایی که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهیم کرد.

## هواکره چه نقشی ایفا می‌کند؟

جایی را تصور کنید که در آن تابش آفتاب پوست بدن را در چند دقیقه می‌سوزاند و سنگ‌ها را آن‌چنان داغ می‌کند که می‌توان تخم‌مرغی را روی آن‌ها نیمرو کرد. شب‌ها نیز آن‌چنان سرد می‌شود که گاز کربن‌دی‌اکسید موجود در آن به یخ خشک تبدیل می‌شود. کره‌ی ماه چنین جایی است، شرایط بسیار سختی که به علت نبودن هواکره به‌وجود آمده است. اما، در کره‌ی زمین، هواکره هم‌چون پوشش محافظی، از ورود بیش‌از اندازه‌ی پرتوهای خورشیدی جلوگیری می‌کند و شرایط مناسبی را برای ادامه‌ی زندگی در این سیاره فراهم می‌آورد.

درک بهتر نقش هواکره در ایجاد چنین آب و هوای مطلوبی تنها با شناخت چگونگی برهم‌کنش تابش پرنرژی خورشید با هواکره امکان‌پذیر است. خورشید بر سطح زمین می‌تابد و آن را گرم می‌کند. سطح گرم‌شده‌ی زمین نیز هوای روی خود را گرم می‌کند. از آن‌جا که چگالی هوای گرم کم‌تر است، به سمت بالا حرکت می‌کند. هوای سردتر نیز که چگالی بیش‌تری دارد به پایین می‌آید. این جابه‌جایی‌های هوای سرد و گرم، جریان‌های هوایی پیوسته‌ای را به‌وجود می‌آورد که عامل تغییر وضعیت آب و هوا در جهان است.

میانگین دما در سطح کره‌ی زمین  $15^{\circ}\text{C}$  است. این دمای مناسب از برابری میان جریان ورودی انرژی از خورشید و جریان برگشتی انرژی به فضا ایجاد شده است، شکل ۲۵. گفتنی است که میزان این جریان برگشتی را ویژگی‌های سیاره‌ی ما معین می‌کند.



شکل ۲۵ سرنوشت انرژی خورشیدی به هنگام تابش بر کره‌ی زمین.



## فکر کنید

با توجه به شکل ۲۵ به پرسش های زیر پاسخ دهید:

- ۱- به نظر شما چه عواملی در کره ی زمین سبب می شود که حدود ۳۰ درصد از انرژی خورشید، پس از ورود به کره ی زمین، به فضا برگردانده شود؟
- ۲- چند درصد از انرژی جذب شده توسط زمین باعث گرم شدن هواکره، اقیانوس ها و قاره ها می شود؟
- ۳- کدام یک از این انرژی های جذب شده، شب هنگام نیز گرما بخش سیاره ی ماست؟ چرا؟

## بیش تر بدانید

حدود ۹۵٪ از انرژی رسیده به سطح زمین به وسیله ی اقیانوس ها جذب می شود. تعجب نکنید، زیرا، همان طوری که می دانید حدود ۷۵ درصد از سطح زمین را آب های تیره رنگ و نفوذپذیر اقیانوس ها پوشانده اند. این درحالی است که سطح خشکی ها رنگ روشن تری دارند و مقدار زیادی از تابش خورشیدی را منعکس می کنند. برای مثال، نواحی بیابانی زرد رنگ و نواحی قطبی و برف گیر سفید رنگند. بنابراین، تغییر میزان بازتابندگی سطح زمین نیز می تواند در تغییر دمای زمین مؤثر باشد. به نظر شما، اگر روی برف ها و یخ های موجود در قطب های جنوب و شمال لایه ای از غبار ریخته شود، دمای زمین چه تغییری خواهد کرد؟



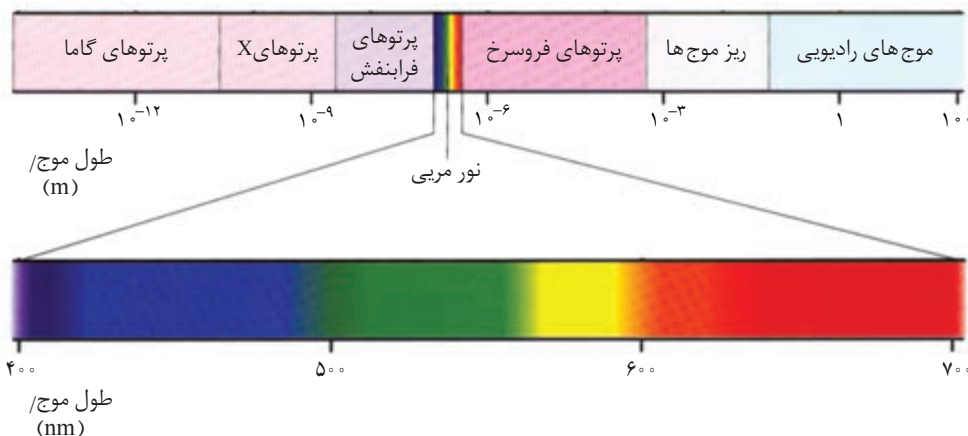
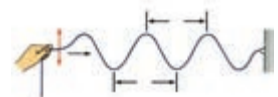
نمایی از یک منطقه ی بیابانی در شبه جزیره ی عربستان.

## اثر گلخانه ای

در علوم دوره ی راهنمایی با نور به عنوان یک موج الکترومغناطیس آشنا شده اید و می دانید که نور خورشید مجموعه موج هایی با طول موج های مختلف است، شکل ۲۶. از سوی دیگر، می دانید که موج های الکترومغناطیس با خود انرژی حمل می کنند و هرچه طول موج آن ها کوتاه تر باشد، انرژی آن ها بیش تر است.

طول موج ( ) یک

مشخصه ی مهم موج است.



شکل ۲۶ طیف موج های الکترومغناطیس. توجه کنید که نور مرئی (تابشی که چشم ما آن را تشخیص می دهد) بخش کوچکی از این طیف را تشکیل می دهد.

## فکر کنید

با توجه به شکل ۲۶ کدام پرتوها، انرژی کم‌تری دارند، فرابنفش یا فروسرخ؟ چرا؟

نور خورشید به هنگام گذشتن از هوا کره با مولکول‌ها و ذره‌های دیگر موجود در آن برخورد می‌کند. برخی از این پرتوها آن‌چنان پراثری هستند که هنگام رویارویی با مولکول‌ها، آن‌ها را درهم می‌شکنند. برخی نیز انرژی کم‌تری دارند و تنها انرژی جنبشی مولکول‌ها را افزایش می‌دهند و سبب بالارفتن دمای گازهای هوا کره می‌شوند.

هنگامی که نور خورشید بر زمین می‌تابد مقداری از پرتوهای پراثری خورشید جذب زمین می‌شود و آن را گرم می‌کند. زمین گرم شده، مانند آتو یا هر جسم داغ دیگری از خود انرژی می‌تاباند. این انرژی که به صورت پرتوهای الکترومغناطیس تابانده می‌شود، انرژی کم‌تری (طول موج بلندتری) نسبت به پرتوهای خورشیدی جذب شده، دارند. این پرتوهای بازتابیده از زمین، آسان‌تر از پرتوهای خورشیدی به وسیله‌ی مولکول‌های هوا جذب می‌شوند. این پدیده است که سبب گرم شدن هوا کره می‌شود.

کربن دی‌اکسید ( $\text{CO}_2$ )، بخار آب ( $\text{H}_2\text{O}$ ) و متان ( $\text{CH}_4$ ) مولکول‌های جذب‌کننده‌ی بسیار خوبی هستند. ابرها (قطره‌های فشرده‌شده‌ی آب یا یخ) نیز این پرتوها را به خوبی جذب می‌کنند. انرژی جذب شده به وسیله‌ی این مولکول‌ها، دوباره به صورت پرتوهایی با انرژی کم‌تر به زمین بازتابانده می‌شود. به هنگام روز این انرژی بین زمین و مولکول‌های هوا کره بارها دست به دست می‌شود و انرژی به دام افتاده کره‌ی ما را گرم نگاه می‌دارد. اما شب هنگام بخشی از این انرژی جذب شده به بیرون از هوا کره باز تابانده می‌شود.

در صورت نبودن مولکول‌های آب و کربن دی‌اکسید در هوا کره - مولکول‌هایی که انرژی گرمایی را پیوسته از زمین می‌گیرند و باز به آن پس می‌دهند - میانگین دمای سیاره‌ی ما از  $15^\circ\text{C}$  به  $25^\circ\text{C}$  - می‌رسید. دمایی که بسیار نزدیک به دمای کره‌ی بهرام (مریخ) است.

این پدیده، یعنی به دام انداختن و برگرداندن انرژی تابشی به وسیله‌ی مولکول‌های کربن دی‌اکسید و گازهای دیگر موجود در هوا کره را **اثر گلخانه‌ای** نامیده‌اند، شکل ۲۷. در ضمن گازهایی که به این روش باعث گرم شدن زمین می‌شوند **گازهای گلخانه‌ای** نامیده می‌شوند.



**شکل ۲۷** نور خورشید از راه شیشه وارد گلخانه می‌شود. گیاهان و خاک این انرژی را جذب می‌کنند و پرتوهای کم‌انرژی فروسرخ را باز می‌تابانند. این پرتوهای کم‌انرژی، نمی‌تواند از شیشه بگذرد. بنابراین، در گلخانه به دام می‌افتند و درون آن را گرم می‌کنند.



## فکر کنید

- ۱- چرا رانندگان خودرو از صاف شدن هوا در شب یک روز برفی، نگران می شوند؟
- ۲- اگر مقدار گازهای گلخانه‌ای در تروپوسفر بر اثر فعالیت‌های صنعتی افزایش یابد دمای زمین چه تغییری می کند؟

## بیش تر بدانید

چنان که می دانید، گاز متان یک گاز گلخانه‌ای است و افزایش مقدار آن سبب افزایش دمای زمین می شود. یکی از تولیدکنندگان عمده‌ی گاز متان موربانه‌ها هستند. هنگامی که موربانه‌ها چوب را می خورند، متان، کربن دی اکسید و ترکیب‌های شیمیایی دیگری تولید می کنند. تخمین زده شده است که موربانه‌ها سالانه ۱۶۵ میلیون تُن متان و ۵۵ میلیون تُن کربن دی اکسید تولید می کنند. آشکار است که میزان متان و کربن دی اکسید تولید شده به وسیله‌ی موربانه‌ها بسیار قابل توجه است و بنابراین بعید نیست که با ایجاد شرایط محیطی مناسب، جمعیت آن‌ها افزایش یابد و به این ترتیب، مقدار بسیار بیش تری متان به هوا کره وارد شود. آیا می توان افزایش دمای زمین را به گردن موربانه‌ها انداخت؟!



موربانه‌ها از جمله حشره‌هایی هستند که به صورت جمعی زندگی می کنند.



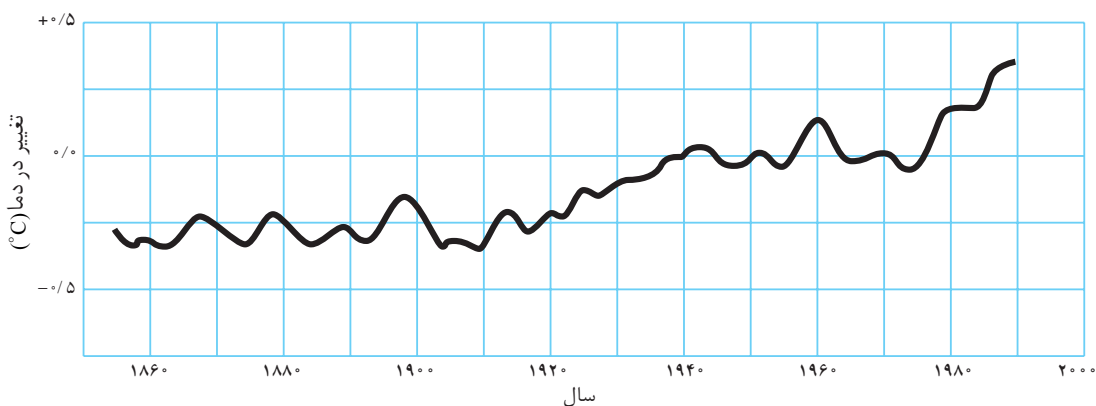
## برخی بر این باورند که

آینده‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای در هوا کره، به روند رشد جمعیت و مسایل اقتصادی، اجتماعی و فناورانه در همه‌ی کشورهای جهان بستگی دارد. این دیدگاه را در کلاس نقد کنید.

## چه آینده‌ای در انتظار ماست؟!

فعالیت‌های انسانی سبب شده است که نسبت به سده‌ی گذشته میزان کربن دی اکسید در هوا کره، حدود ۱۵ درصد افزایش یابد. از بین بردن جنگل‌ها و پوشش‌های گیاهی، سوزاندن زباله‌ها و از همه مهم‌تر سوزاندن نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ از جمله‌ی فعالیت‌هایی هستند که باعث افزایش مقدار  $CO_2$  در هوا شده اند. شواهد نشان می دهد که میانگین دمای سطح زمین تا کنون بین  $3^{\circ}C$  /  $^{\circ}C$  تا  $6^{\circ}C$  /  $^{\circ}C$  افزایش یافته است، شکل ۲۸.





شکل ۲۸ روند گرم شدن جهان در چند دهه ی گذشته

پیش بینی شده است

که در صورت ادامه ی روند کنونی گرم شدن زمین، سطح آب دریاها تا سال ۲۱۰۰ حدود ۵۰cm بالا خواهد آمد.

اگر روند کنونی ادامه یابد، پیش بینی می شود که هر ده سال  $3^{\circ}\text{C}$  بر میانگین دمای زمین افزوده شود. جدول ۳ میزان تولید  $\text{CO}_2$  ناشی از مصرف فراورده های نفتی در سال های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۷ در ایران و جهان را نشان می دهد.

جدول ۳ میزان سالانه ی تولید  $\text{CO}_2$  از فراورده های نفتی در ایران و جهان در سال های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۷

سال	۱۹۸۹	۱۹۹۰	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	مقدار $\text{CO}_2$ تولید شده (میلیون تن)
ایران	۱۴۵	۱۵۸	۱۶۰	۱۶۸	۱۶۶	۱۶۵	۱۵۵	۱۷۳		
جهان	۸۸۸۷	۸۹۰۷	۸۹۳۲	۸۹۴۸	۹۱۱۱	۹۱۷۳	۹۲۴۹	۹۴۸۳	۹۶۶۷	

۱- با توجه به داده های جدول ۳ نمودار میزان تولید سالانه ی کربن دی اکسید جهان را در سال های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۷ رسم کنید. مقدار  $\text{CO}_2$  تولیدی جهان را روی محور عمودی و از مقدار ۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ میلیون تن نشان دهید. سال ها را روی محور افقی ببرید و از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۰ مدرج کنید. یک یک نقطه ها را روی نمودار پیدا کنید و از اتصال آن ها به یک دیگر یک منحنی هموار رسم کنید. (سعی نکنید یک خط راست بکشید یا همه ی نقطه ها را به هم وصل کنید. یک منحنی هموار، روند تغییرات را نشان می دهد).

۲- فرض کنید همین روند در منحنی شما از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۲۰ نیز ادامه پیدا کند با نقطه چین منحنی را تا سال ۲۰۲۰ ادامه دهید (به این کار برون یابی می گویند). این کار پیش بینی آینده را بر اساس روند فعلی ممکن می سازد. اکنون با کمک این نمودار می توانید درباره ی آینده پیش بینی کنید.

ا) مقدار  $\text{CO}_2$  را در امسال و در سال ۲۰۲۰ پیش بینی کنید.

ب) چه عواملی سبب خواهد شد تا برون یابی شما نادرست از کار درآید؟

۳- به نظر شما در صورت افزایش دمای کره ی زمین، چه حوادثی ممکن است در جهان رخ دهد؟

۴- در یک فعالیت گروهی راه هایی برای کاهش میزان کربن دی اکسید هوا کره پیشنهاد

کنید.



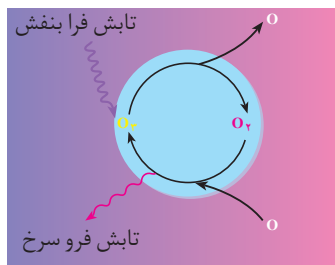
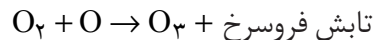
## در پناه اوزون

اگرچه برای سلامتی به مقدار کمی تابش فرابنفش نیازمندیم، اما مقدار زیاد آن بسیار خطرناک خواهد بود. در حقیقت، اگر همه‌ی تابش فرابنفش موجود در نور خورشید به سطح زمین برسد، موجودات زنده آسیبی جدی خواهند دید. انرژی تابش فرابنفش به اندازه‌ای است که می‌تواند پیوندهای کووالانسی را بشکند و مولکول‌ها را تخریب کند. تغییر شیمیایی ایجاد شده بر اثر تابش فرابنفش، سبب آفتاب سوختگی و سرطان در انسان‌ها می‌شود و بسیاری از فرایندهای زیستی را متوقف می‌کند. خوشبختانه، زمین در برابر این تابش خطرناک از یک پوشش محافظ به نام **لایه‌ی اوزون** برخوردار است. این لایه نام خود را از نام مولکول‌های سازنده‌اش گرفته است. اوزون مولکولی سه‌اتمی است که از اتصال سه اتم اکسیژن تشکیل شده است و آن را با فرمول شیمیایی  $O_3$  نشان می‌دهند. اگرچه در هر ارتفاعی از هواکره می‌توان مقدار بسیار ناچیزی اوزون یافت، با این حال بیش از ۹۰٪ از همه‌ی اوزون موجود، در فاصله ۱۵ تا ۵۰ کیلومتری سطح زمین یعنی در لایه‌ی استراتوسفر جمع شده است. در واقع لایه‌ی اوزون ناحیه‌ای از استراتوسفر است که اوزون در آنجا بیش‌ترین غلظت را داراست. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که غلظت اوزون در این لایه بین ۱ ppm تا ۳ ppm متغیر است. غلظتی آن قدر ناچیز که اگر در فشار ۱ atm همه‌ی مولکول‌های اوزون را روی سطح زمین جمع کنیم، لایه‌ای به ضخامت ۳ mm تشکیل می‌دهد. لایه‌ای به ضخامت سی برگ از کتاب شیمی شما! لایه اوزون با این غلظت اندک مانند یک صافی قوی عمل می‌کند و حدود ۹۹٪ از تابش فرابنفش خورشید را که به استراتوسفر می‌رسد به دام می‌اندازد. اما چگونه؟

هر مولکول اوزون موجود در استراتوسفر بر اثر رویارویی با تابش فرابنفش می‌شکند و به یک مولکول اکسیژن ( $O_2$ ) و یک اتم اکسیژن (O) تبدیل می‌شود:



ذره‌های به وجودآمده از شکسته شدن هر مولکول اوزون، می‌توانند به هم متصل شوند و دوباره مولکول اوزون را به وجود آورند:



این فرایند دو مرحله‌ای بارها تکرار می‌شود و به این ترتیب تابش فرابنفش خورشیدی را پیوسته جذب می‌کند، شکل ۲۹.

شکل ۲۹ چرخه‌ی اوزون در استراتوسفر. با اجرای این فرایند چرخه‌ای، غلظت اوزون در استراتوسفر تقریباً ثابت می‌ماند.

اوزون ( $O_3$ ) و اکسیژن ( $O_2$ ) دو شکل متفاوت از یک عنصرند. به موادی که چنین رابطه‌ای با یک دیگر دارند، دیگر شکل یا آلوتروپ می‌گویند.

CFCها ترکیب‌هایی هستند که مولکول‌های آن‌ها از اتصال اتم‌های کلر (Cl)، فلوئور (F) و کربن (C) ساخته شده است. فرمول شیمیایی CFC ۱۱ و CFC ۱۲ که از جمله معروف‌ترین CFCها هستند و با نام تجاری فریون به فروش می‌رسند، به ترتیب CFC<sub>۱</sub> و CFC<sub>۱۲</sub> است.

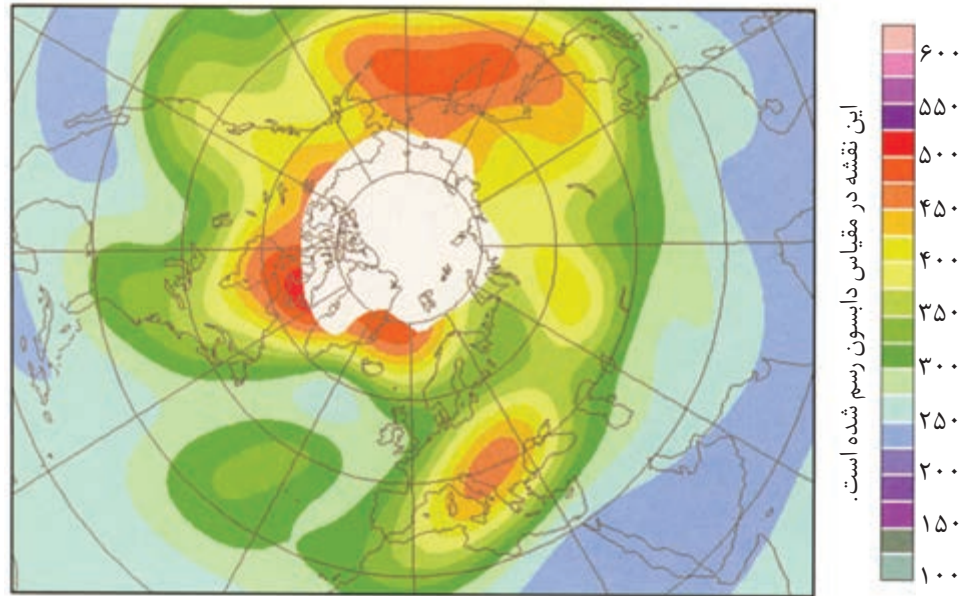


سال‌هاست که از کلرو فلوئوروکربن‌ها به عنوان گاز یخچال استفاده می‌شود. اما اکنون در پی جایگزینی برای آن هستند.

یکای دابسون (DU) که معیاری از فراوانی اوزون استراتوسفری است، ضخامت لایه‌ای فرضی از گاز اوزون برحسب  $\frac{1}{1000}$  سانتی‌متر است که بر اثر متراکم کردن گاز اوزون موجود در لایه‌ی استراتوسفر تا فشار و دمای اتاق، به دست می‌آید. از آن جا که میانگین فراوانی اوزون استراتوسفر در حالت طبیعی حدود  $300 \text{ DU}$  است، این لایه‌ی فرضی بایستی حدود  $\frac{2}{3}$  ضخامت داشته باشد.

$$1 \text{ DU} = \frac{1}{1000} \text{ cm}$$

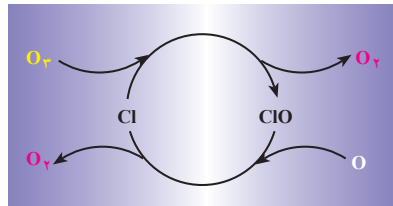
همان گونه که در شکل ۲۹ مشاهده می‌شود، هر مولکول اوزون با جذب پرتوهای پرنرژی فرابنفش، می‌شکند و با تشکیل دوباره ی آن، پرتوهای کم انرژی تر فروسرخ را گسیل می‌کند. هر عاملی که در این چرخه اختلال ایجاد کند، تولید دوباره ی اوزون را به مخاطره می‌اندازد. فعالیت‌های انسانی مدت‌هاست که این اختلال را ایجاد کرده است. امروزه ثابت شده است که دسته‌ای از ترکیب‌های شیمیایی به نام کلروفلوئوروکربن‌ها یا CFCها باعث نابودی اوزون شده‌اند. از این مواد به عنوان پیشران در افشانه‌ها یا گاز سرمازا در یخچال‌ها و کولرهای گازی استفاده می‌شود. نابودی اوزون به صورت نازک شدن و در نهایت سوراخ شدن لایه‌ی اوزون بروز می‌کند. در سال ۱۹۸۵ با کشف حفره‌ای در لایه‌ی اوزون موجود بر فراز قطب جنوب، گروه‌های پژوهشی بسیاری در سراسر جهان مطالعه روی عوامل نابودکننده ی اوزون و اثرهای زیستی ناشی از افزایش تابش فرابنفش بر سطح زمین را آغاز کردند. امروزه حفره ی مشابهی نیز بر فراز قطب شمال شناخته شده است، شکل ۳۰.



شکل ۳۰ این نقشه‌ی ماهواره‌ای که در ۱۳ فوریه سال ۱۹۹۸ گرفته شده است، حفره‌ی بزرگی (ناحیه‌ی سفید رنگ) در لایه‌ی اوزون موجود در بالای قطب شمال را نشان می‌دهد.

این مطالعات نشان داده است که بر اثر تابش فرابنفش در استراتوسفر مولکول‌های CFC می‌شکند و اتم‌های کلر ایجاد می‌شود. هر اتم کلر ایجاد شده، می‌تواند بیش از  $100000$  مولکول اوزون را نابود کند، شکل ۳۱. به این علت در سال ۱۹۸۷ سازمان ملل متحد، توافق نامه‌ای جهانی برای متوقف کردن تولید، فروش و توزیع مواد شیمیایی تخریب‌کننده ی لایه‌ی اوزون به ویژه CFCها تهیه کرد. این توافق نامه که به توافق نامه‌ی مونترآل معروف است، تا به حال به امضای بسیاری از کشورهای جهان رسیده است. رعایت این توافق نامه تا سال ۲۰۰۰ میزان تولید جهانی CFCها را تا ۵۰٪ کاهش داده است.





شکل ۳۱ چرخه ی نابودی اوزون به وسیله ی اتم کلر (Cl) حاصل از شکسته شدن مولکول های CFC

### فکر کنید

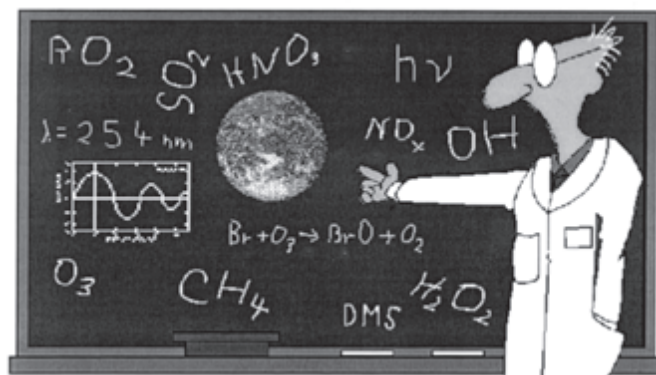
با دقت به شکل ۳۱ نگاه کنید. به نظر شما مولکول های اوزون در حضور اتم کلر به چه ذره هایی (اتم یا مولکول) تبدیل می شوند؟

همان گونه که می دانید، فعالیت های انسانی می تواند میانگین دمای جهان و میزان ورود تابش فرابنفش به سطح زمین را تغییر دهد. همه ی این ها، از ایجاد تغییراتی ناخواسته در غلظت معمولی موادی مانند اوزون و کربن دی اکسید در هوا کره برخاسته است. شیمی هوا کره بسیار پیچیده و مطالعه ی آن بسیار دشوار است، حتی اگر شواهدی دال بر دخالت انسان در ایجاد تغییر در هوا کره در دسترس باشد.

در ادامه به اثرهای دیگری می پردازیم که بازهم انسان خواسته یا ناخواسته به کمک آن ها زمینه ی ایجاد تغییر و دگرگونی در هوا کره را فراهم آورده است.

### بیش تر بدانید

شیمیدان هوا کره فردی است که ترکیب شیمیایی طبیعی هوا کره را بشناسد و از شیوه های برهم کنش گازها، مایع ها و جامدهای موجود در هوا کره با سطح زمین و با موجودات زنده ای که روی زمین زندگی می کنند، آگاه و به چگونگی تأثیر فعالیت های انسانی بر ویژگی های شیمیایی و فیزیکی هوا کره علاقه مند باشد. او کسی است که با پژوهش روی آثار زیان بار برخی از بحران های محیط زیستی که ناشی از تغییر در هوا کره است، در جهت درک و حل امیدوارانه ی این بحران ها تلاش می کند. اهمیت این رشته ی تحصیلی در جهان از آن جا آشکار می شود که در سال ۱۹۹۵ دو شیمیدان هوا کره موفق به دریافت جایزه ی نوبل در شیمی شدند.



چون تخریب لایه ی اوزون یک مسأله ی جهانی است، باید برای جلوگیری از ادامه ی آن به یک راه حل جهانی نیز دست یافت. به این منظور باید همه ی جهانیان دست به دست هم دهند و با هم فکری و هم کاری در صدد پاسداری از این حفاظ طبیعی برآیند. به این منظور، در سال ۱۹۹۵ سازمان ملل متحد روز ۱۶ سپتامبر (۲۵ شهریور) را که در آن توافق نامه ی مونترآل به امضای شماری از کشورها رسید، روز جهانی حفاظت از لایه ی اوزون نام نهاد.



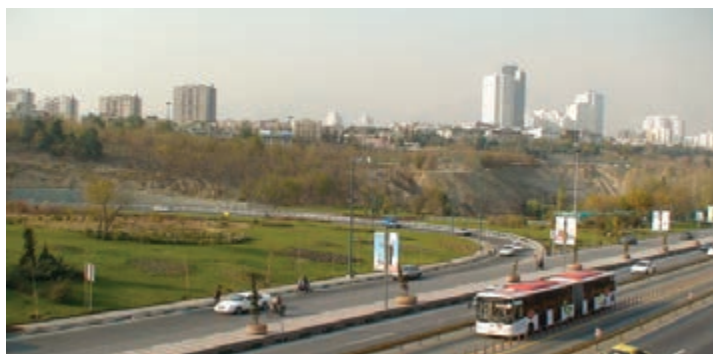
به تازگی انجمن شیمی و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا با همکاری یک دیگر درس تازه ای را برای دانشجویان دوره های کارشناسی و کارشناسی ارشد تدوین کرده اند. این درس که شیمی سبز نامیده شده است در پی طراحی فرایندها و فرآورده های شیمیایی تازه ای است که به کمک آن ها بتوان مصرف و تولید مواد شیمیایی خطرناک را کاهش داد یا متوقف کرد. در این طراحی ها باید تأثیر فرایندها و فرآورده های شیمیایی بر سلامت انسان و محیط زیست نیز همواره مدنظر باشد.

## آلودگی هوا

هوای آلوده در شهرهای بزرگ کشور به ویژه تهران آن چنان عادی شده است که در گزارش‌های هواشناسی به غلظت برخی از آلاینده‌های معروف نیز اشاره می‌شود. بسته به این که در کجا زندگی می‌کنید، ممکن است خودروها، نیروگاه‌ها یا صنایع مختلف عوامل اصلی آلودگی هوا باشند. به هر حال، آلودگی هوا فقط مشکل فضاهای آزاد نیست، بلکه درون فضاهای بسته نیز با دود سیگار یا فراورده‌ها و بخارهای ایجاد شده از سوختن برخی مواد شیمیایی مانند شمع یا دسته‌ی قابل‌لمه آلوده می‌شود.

هوای آلوده بوی بدی دارد، چهره‌ی شهر را زشت می‌کند و مانعی برای دیدن منظره‌ی شهر در روز و ستاره‌ها در شب است. اما، فراتر از نامطبوع بودن، سالانه میلیاردها تومان خسارت به کشور وارد می‌کند. ساختمان‌ها و خودروها را دچار پوسیدگی می‌کند، از رشد فراورده‌های کشاورزی می‌کاهد و باعث کم شدن برخی گونه‌های جانوری می‌شود. هوای آلوده، بیماری‌های گوناگونی مانند برونشیت، آسم و سرطان ریه را به وجود می‌آورد یا بر شدت آن‌ها می‌افزاید. به این ترتیب، هزینه‌های بیمارستانی شهروندان را نیز افزایش می‌دهد، شکل ۳۲.

آلاینده به ماده‌ای گفته می‌شود که تولید و پراکنده شدن مقدار بیش از اندازه‌ی آن در محیط زیست به سلامتی انسان و دیگر جانداران آسیب برساند.



(آ)



(ب)

شکل ۳۲ خودروها عامل اصلی آلودگی هوای تهران هستند. (آ) تهران با هوایی آلوده (ب) همان نقطه با هوایی پاکیزه

امروزه داشتن هوای پاک دغدغه‌ی شمار روزافزونی از مردم و مسئولان شده است و تلاش‌های بسیاری برای آگاهی همگان و تشویق آن‌ها به کم کردن سهم خود در آلودگی هوا، به عمل می‌آید.

یک موتورسیکلت با پیمودن مسافت  $1000\text{ km}$ ، اکسیژن مورد نیاز برای یک سال زندگی یک انسان را نابود می‌کند.



## آلودگی های طبیعی

بسیاری از فرایندهای طبیعی هم چون فوران های آتشفشانی باعث وارد شدن مقادیر زیادی خاکستر و گازهای سمی به هوا کره می شود، شکل ۳۳.

طوفان های صحرایی، مقدار زیادی غبار در هوا کره پراکنده می کنند و مرداب ها و باتلاق ها نیز گازهای زیان آوری در هوا پخش می کنند. اما، در بیش تر موارد، محیط زیست، خود این مواد را پیش از آن که غلظت آن ها به سطح خطرناکی برسد، رقیق می کند یا از جایی به جای دیگر انتقال می دهد.



شکل ۳۳ فوران کوه سنت هلنز در ۱۹۸۰ حداقل  $1 \text{ km}^3$  خاکستر به بیرون پراکنده کرد.

## انسان و آلودگی هوا

انسان ها همواره محیط زیست خود را تغییر داده اند. پیدایش ابزار و استفاده از آتش برای همیشه توازن میان ما و محیط زیست را برهم زد. آتشی که مردم در گذشته می افروختند هوا را پر از دود می کرد و رفت و روب خانه هایشان غباری به مراتب بیش تر از طوفان های شن بر پا می نمود! در شهرهایشان دوده ی پدید آمده از اجاق آشپزخانه و بوی بد زباله ها هوا را پر کرده بود. با گسترش صنایع استفاده از زغال سنگ برای گرم کردن خانه ها و تولید برق در نیروگاه ها گسترش یافت و از این طریق افزون بر دوده و دود، گاز گوگرد دی اکسید نیز به اندازه ی زیادی به هوا راه یافت. امروزه هم هوا آلوده است، اما این آلودگی بسیار پیچیده تر از زمانی است که پدران ما نگران آن بوده اند.



## برخی بر این باورند که

هنگامی که یک جامعه فعالیت های خود را تغییر می دهد، نوع و ماهیت مواد زایدی که به ویژه در هوا کره رها می شود، تغییر می کند. جهان همواره در حال تغییر بوده است و تغییر پدیده ی تازه ای نیست. آن چه مهم است، سرعت تغییر است. سرعت تغییر در جهان امروز به اندازه ای رسیده است که محیط زیست ما نمی تواند آن را هضم و جذب کند. این دیدگاه را در کلاس نقد کنید.

## با آلاینده ها بیش تر آشنا شویم!

به طور کلی آلاینده های هوا را به دو دسته ی نوع اول و نوع دوم تقسیم می کنند. در جدول ۴ فهرستی از مهم ترین آلاینده های هوا و مقادیر آن ها در جهان ارائه شده است. آلاینده های معرفی شده در جدول ۴ همگی نوع اول هستند. در واقع آلاینده هایی که به همین شکل به هوا کره وارد می شوند. اما، آلاینده های نوع دوم، آن دسته از آلاینده ها هستند که در هوا کره بر اثر واکنش های شیمیایی میان آلاینده های نوع اول و اجزای طبیعی هوا کره پدید می آیند.

جدول ۴ نوع و میزان تولید جهانی برخی از آلاینده‌های هوا  
(عددهای درون جدول بر حسب میلیون تن در سال داده شده‌اند.)

آلاینده	منبع طبیعی	مقدار	منبع انسانی	مقدار
CO <sub>2</sub> (کربن دی‌اکسید)	آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تنفس و فساد بافت‌های گیاهی و جانوری	۱۰۰۰۰۰۰	سوختن چوب و سوخت‌های فسیلی	۲۲۰۰۰
CO (کربن مونواکسید)	آتش‌سوزی در جنگل‌ها	۲۱۰۰	سوختن ناقص سوخت‌ها*	۷۰۰
SO <sub>2</sub> (گوگرد دی‌اکسید)	آتشفشان‌ها و فساد بافت‌های گیاهی و جانوری	۲۰	سوختن زغال سنگ و نفت، برشته کردن سنگ‌های معدنی گوگرددار	۲۱۲
CH <sub>4</sub> (متان)	فساد بافت‌های گیاهی و جانوری، موریانه‌ها	۱۰۵۰	نشت گازهای طبیعی	۱۶۰
NO <sub>x</sub> (اکسیدهای نیتروژن)	صاعقه، اثر باکتری‌ها بر خاک	۱۸۰	سوختن در دمای بالا	۷۵
ذره‌های معلق	آتشفشان‌ها، گردبادها و موج‌های دریا(!)	—	صنایع، معادن، نیروگاه‌ها و کشتزارها	—

\* با این نوع سوختن دربخش ۴ آشنا خواهید شد.

اکسید نافلزهایی  
مانند کربن، گوگرد و نیتروژن  
در صورت حل شدن در آب  
اسید تولید می‌کنند. به این  
علت آن‌ها را اکسیدهای  
اسیدی می‌نامند.

برای مثال، گوگرد دی‌اکسید (SO<sub>2</sub>) - یک آلاینده‌ی نوع اول - در هوا با اکسیژن -  
یک جزء طبیعی هوا - واکنش می‌دهد و گاز گوگرد تری‌اکسید را به وجود می‌آورد. همیشه این  
دو آلاینده همراه با هم دیده می‌شوند. واکنش گوگرد تری‌اکسید با آب آن را به سولفوریک اسید  
تبدیل می‌کند. سولفوریک اسید که یک آلاینده‌ی نوع دوم است، یکی از عوامل مهم ایجاد  
باران اسیدی شناخته می‌شود. در ادامه، این موضوع را دقیق‌تر مورد بررسی قرار خواهیم داد.

## برداشت شما چیست؟

با استفاده از جدول ۴ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.  
۱- برای همه‌ی آلاینده‌های هوا بجز یکی از آن‌ها، سهم منابع طبیعی بسیار بیش‌تر  
از منابع انسانی است.  
آیا این گفته به این معناست که می‌توان از سهم منابع انسانی چشم‌پوشی کرد؟ چرا؟

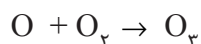
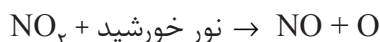


ب) برای کدام آلاینده‌ی هوا، سهم منابع انسانی بیش تر از سهم منابع طبیعی است؟  
 ۲) به جدول ۱ مراجعه کنید و ببینید که کدام آلاینده‌ی معرفی شده در جدول ۴، به‌طور طبیعی با غلظت‌هایی در حدود ۱/۰۰۰۰٪ یافت می‌شوند؟  
 ۳- در میان منابع انسانی کدام یک سهم بیش تری در تولید آلاینده‌های هوا دارد؟  
 ۴- با این که حجم زیادی از آلاینده‌های هوا از منابع طبیعی به آن وارد می‌شود، چرا وارد شدن مقادیر اندکی از مواد ساختنی یا مصنوعی (موادی که در طبیعت یافت نمی‌شوند و شیمی‌دان‌ها، آن‌ها را در آزمایشگاه می‌سازند)، مانند ترکیب‌های کلروفلوئوروکربن در هوا کره، مشکل‌آفرین است؟

## اوزون مولکولی با دو چهره

می‌دانید که اوزون موجود در لایه‌ی استراتوسفر، سطح زمین را از تابش خطرناک فرابنفش در امان نگاه می‌دارد. اما، وجود اوزون در لایه‌ی تروپوسفر- بخشی از هوا کره که ما در آن تنفس می‌کنیم- بسیار زیان‌آور است. اوزون تروپوسفری آلاینده‌ای سمی و خطرناک به‌شمار می‌آید. پراکنده شدن مقادیر کمی اوزون در این لایه، باعث سوزش چشمان می‌شود. ولی مقادیر زیاد آن می‌تواند تورم ریوی، خون‌ریزی و حتی مرگ را در پی داشته باشد. افزون بر آثار زیان‌باری که اوزون بر سلامتی می‌گذارد، خسارت‌های اقتصادی بسیاری را نیز به‌وجود می‌آورد. سخت شدن و ترک برداشتن تایر خودروها و قطعات لاستیکی دیگر، هم‌چنین کاهش میزان فراورده‌های کشاورزی به‌ویژه گوجه‌فرنگی از دیگر ویژگی‌های بد اوزون موجود در تروپوسفر است.

در برخی روزهای خشک و آفتابی که مقدار اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) خروجی از آگزوز خودروها زیاد است، هوای شهر به رنگ قهوه‌ای روشن دیده می‌شود. در این هنگام بر اثر تابش نور خورشید بر اکسیدهای نیتروژن نوعی آلودگی ایجاد می‌شود که **مه‌دود فوتوشیمیایی** گفته می‌شود. اوزون تروپوسفری بر اثر تابش پرتوهای خورشیدی بر مولکول‌های  $\text{NO}_2$  به‌وجود می‌آید.



همان‌طوری که دیده می‌شود، در این فرایند مولکول‌های سودمند اکسیژن ( $\text{O}_2$ ) به مولکول‌های زیان‌آور اوزون ( $\text{O}_3$ ) تبدیل می‌شوند.

دلیل افزایش دما در لایه‌ی استراتوسفر، جذب تابش پرتوهای فرابنفش به‌وسیله‌ی مولکول‌های اوزون و آزاد شدن دوباره‌ی انرژی به‌صورت تابش کم‌انرژی فرسوخ (انرژی گرمایی) است. البته میانگین این دما از  $46^\circ\text{C}$  بالاتر نمی‌رود! با توجه به این نکته، آیا می‌توان اوزون را یک گاز گلخانه‌ای به حساب آورد؟

هر واکنشی که به کمک نور آغاز شود یک واکنش فوتوشیمیایی یا نور شیمیایی است.

**فکر کنید**  
 اوزون تروپوسفری آلاینده‌ی نوع اول یا نوع دوم است؟ چرا؟



در یک فعالیت گروهی، فهرستی از نوع و منبع آلاینده‌های هوا در محل زندگی خود، تهیه کنید. هم‌چنین سهم خود و سهم هر یک از این منابع را در آلودگی هوا تخمین بزنید.

### باران اسیدی

چون گازهای گوگرد دی‌اکسید ( $SO_2$ ) و اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) گازهایی سنگین‌تر از هوا هستند، می‌توانند در نزدیکی محلی که تولید می‌شوند به زمین فرونشینند و بر حیوانات و گیاهان مناطق مجاور لطمه‌های جدی وارد کنند. کارخانه‌های تولیدکننده این گازها معمولاً دودکش‌های بلندی برای کشاندن این گازها به سمت بالا و هدایت آن‌ها به درون هوا کره می‌سازند. متأسفانه این گازها در ارتفاعات، در قطره‌های آب موجود در هوا کره حل می‌شوند و به صورت **باران اسیدی** به زمین باز می‌گردند. البته به علت حل شدن گاز کربن دی‌اکسید هوا در آب باران و تشکیل کربنیک اسید، آب باران تا حدودی اسیدی است ( $pH \sim 6$ ). حل شدن مقادیر اندکی از گازهای  $SO_2$  و  $NO_x$  در آب باران هم سودمند است و بخش مهمی از چرخه‌ی فرسایش و رسوب گذاری سنگ‌ها و دیگر مواد معدنی را تشکیل می‌دهد. اما، در سال‌های گذشته با گسترش روز افزون صنایع و وارد شدن میلیون‌ها تن گازهای اسیدی به هوا کره، مقدار نیتریک اسید و سولفوریک اسید در باران افزایش یافته است. افزایش بیش از اندازه‌ی این گازهای اسیدی که به‌طور عمده از آگزوز خودروها و دودکش نیروگاه‌ها به هوا کره وارد می‌شوند، سبب ایجاد باران‌هایی بسیار اسیدی شده است. این باران‌های اسیدی هم به ساختمان‌ها و هم به موجودات زنده آسیب می‌رسانند. برای مثال بسیاری از مجسمه‌های مرمری یا ساختمان‌هایی که نمای مرمری دارند، در اسید موجود در باران حل می‌شوند و به این ترتیب کم‌کم از بین می‌روند، شکل ۳۴.



(آ)



(ب)

شکل ۳۴ تأثیر باران‌های اسیدی بر مجسمه‌های ساخته شده از سنگ مرمر (آ) سال‌ها پیش (ب) اکنون



باران های اسیدی هم چنین با اسیدی کردن آب رودخانه ها و دریاچه ها شرایط را برای زندگی آبزیان دشوار و گاهی مرگ آور کرده اند، شکل ۳۵. با بارش این باران ها روی خاک های حاصل خیز، مواد معدنی آن ها به ویژه یون های  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  در آب باران حل می شوند و به اعماق زمین می روند. به این ترتیب، امکان رشد گیاه در آن جا از میان می رود.



شکل ۳۵ بیش تر دریاچه ها در منطقه ی اسکندیناوی بر اثر ریزش باران های اسیدی به شدت اسیدی شده اند. آب اسیدی چنین دریاچه هایی را با پاشیدن گرد آهک خنثی می کنند تا pH آن برای زندگی آبزیان مناسب شود.

### فکر کنید

میزان تولید جهانی گاز  $SO_2$  در دو دهه ی گذشته تغییرات چشم گیری داشته است. جدول ۵ تغییر میزان تولید این گاز در سه قاره ی جهان را نشان می دهد. به نظر شما، این داده ها چه هشدارهایی برای کشور ما دارد؟ در ضمن با توجه به مقدار پیش بینی شده برای سال ۲۰۱۰ چه راه هایی برای کاهش میزان تولید این گاز پیشنهاد می کنید؟

جدول ۵ میزان تولید  $SO_2$  در سه قاره ی جهان برحسب میلیون تن

سال	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۱۰	قاره
اروپا	۵۹	۴۹	۳۱	۲۶	۱۸	
آمریکا	۲۴	۲۰	۱۶	۱۵	۱۴	
آسیا	۱۵	۳۴	۴۰	۵۳	۷۹	

### بیش تر بدانید

مهم ترین پیامد زیست محیطی ناشی از جنگ خلیج فارس فاجعه ی آتش سوزی چاه های نفت کویت در ۲۲ فوریه ۱۹۹۱ بود. در این روز هواپیماهای عراقی ۹۰۰ حلقه چاه نفت کویت را بمباران کردند و به این ترتیب آتش سوزی مهیبی را در سطح منطقه به وجود آوردند. در این حادثه ی عظیم نفتی، حدود یک میلیارد بشکه نفت طعمه ی آتش شد و نزدیک به ۱۰ میلیون بشکه نفت از طریق پایانه ها و مخازن نفتی بندر احمدی به خلیج فارس راه یافت. در این رویداد بر اثر سوختن روزانه حدود ۵ میلیون بشکه نفت خام، حدود ۴۰۰۰ تن



آتش سوزی در چاه های نفت کویت، زمستان ۱۹۹۱.

خاکستر، ۲۰۰۰ تن نیتروژن دی‌اکسید، ۴۰۰۰۰ تن گوگرد دی‌اکسید و هزارها تن گازهای سمی دیگر، وارد محیط زیست شد. افزون بر این، تخمین زده می‌شود که در مجموع ۲۰۰ میلیون تن گاز CO<sub>2</sub> در جریان این حادثه به هوا کره افزوده شده است.

## کنترل آلودگی

راه‌های گوناگونی برای کنترل آلودگی هوا وجود دارد:

\* یافتن و جایگزین کردن راه‌های تازه‌ای به جای سوزاندن برای تولید انرژی، مانند

انرژی خورشیدی، هسته‌ای و...

\* افزایش بازده تولید انرژی از طریق سوختن

\* کاهش دادن یا حذف کردن برخی مواد موجود در سوخت‌ها که بر اثر سوختن،

مواد آلاینده ایجاد می‌کنند، مانند گوگرد موجود در گازوییل.

\* به دام انداختن آلاینده‌ها پس از سوختن و پیش از ورود آن‌ها به هوا.

همه‌ی راه‌های کنترل آلودگی هوا هزینه‌بر است، هنگامی که یکی از این راهبردها را

برای کنترل هوا برمی‌گزینیم، باید به دو پرسش کلیدی پاسخ دهیم:

۱- هزینه‌ی کنترل آلودگی هوا چقدر خواهد بود؟

۲- کنترل آلودگی هوا چه مزایایی برای ما خواهد داشت؟

## شما چه برنامه‌هایی دارید؟

اگر مسئولیت کنترل آلودگی هوای شهر یا روستایی را که در آن زندگی می‌کنید به

گروه شما واگذار کنند، چه برنامه‌هایی را برای کاهش آلودگی هوا پیاده می‌کنید؟ گزارش

این فعالیت را به صورت یک مقاله تهیه کرده، در کلاس ارایه دهید.

## فکر کنید

فرض کنید که برای کنترل آلودگی هوا روش زیر پیشنهاد شده است:

«پاک کردن هوا کره پس از پراکنده شدن آلاینده‌ها در آن»

۱- آیا این کار عاقلانه و عملی است؟ پاسخ خود را شرح دهید.

۲- آیا بارور کردن ابرها برای تولید باران یا استفاده از ماسک برای پوشاندن دهان،

راه‌های معقولی برای این کار هستند؟ توضیح دهید.

## به کجا پناه می‌برید؟!

فرض کنید که به دلایلی ناگزیر شده‌اید که کره‌ی زمین را ترک کنید. با توجه به اطلاعاتی



که در جدول زیر داده شده است:

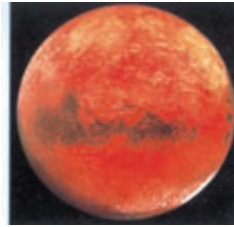
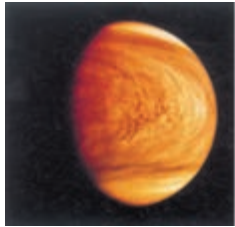
آ) کدام سیاره‌ی منظومه خورشیدی را برای سکونت خود انتخاب می‌کنید؟

ب) به نظر شما برای این که این سیاره برای زندگی مناسب‌تر شود چه تغییراتی باید در

آن به وجود بیاید؟

پ) شما چه تغییراتی را باید در زندگی خود بدهید تا در آن جا با آرامش زندگی کنید؟

نظریه‌های خود را یادداشت و برای گفت‌وگو در کلاس آماده کنید.



نام سیاره	بهرام (مریخ)	زمین	ناهید (زهره)
ویژگی‌ها			
میانگین فاصله از خورشید ( $\times 10^8 \text{ km}$ )	۲,۲۷۹	۱,۴۹۶	۱,۰۸۲
مدت زمانی که طول می‌کشد تا به دور خورشید بچرخد (سال)	۱,۸۸	۱,۰	۰,۶۱۵
مدت زمانی که طول می‌کشد تا به دور خود بچرخد (ساعت)	۲۴,۶۲	۲۳,۹۳	۵۸,۳۲
جرم ( $\times 10^{۲۶} \text{ g}$ )	۵۹,۸	۴۸,۷	۶,۴۲
چگالی میانگین ( $\text{g/cm}^3$ )	۳,۹۴	۵,۵۲	۵,۲۵
گرانش نسبی سطح (زمین = ۱)	۰,۳۸	۱	۰,۸۸
فشار نسبی هوا (زمین = ۱)	۰,۰۰۷	۱	۹
نسبت میانگین دمای روز به میانگین دمای شب در سطح منطقه‌ی استوای (K)	$\frac{۲۵۰}{۱۸۵}$	$\frac{۲۹۸}{۲۸۰}$	$\frac{۷۵۰}{۷۴۹}$
ترکیب شیمیایی هوا کره	اجزای فراوان (%): O <sub>۲</sub> (۱۳۰۰), CO(۷۰۰), H <sub>۲</sub> O(۳۰۰) Ne(۲/۵)	اجزای فراوان (%): N <sub>۲</sub> (۷۸), O <sub>۲</sub> (۲۱), Ar(۰/۹) CO <sub>۲</sub> (۳۳۰), He(۷۰), Ne(۱۸) H <sub>۲</sub> (۵), CH <sub>۴</sub> (۱/۵), Kr(۱/۱), O <sub>۳</sub> (۰/۴)	اجزای فراوان (%): CO <sub>۲</sub> (۹۶), N <sub>۲</sub> (۳/۵) SO <sub>۲</sub> (۱۵۰), H <sub>۲</sub> O(۱۰۰), Ar(۷۰) CO(۴۰), Ne(۵)



### بیش تر بخوانید

۱- هوا (مجموعه‌ی علم و عمل)، حسین دانشفر، چاپ اول، ۱۲۷۱، انتشارات مدرسه.

۲- هوا، فروزان صلواتیان، چاپ سوم، ۱۲۷۷، انتشارات فاطمی.

۳- اثرات گلخانه‌ای، رضوان دزفولی، چاپ اول، ۱۲۷۸، نشر پیدایش.

۴- شکاف در لایه‌ی اوزون، رضوان دزفولی، چاپ اول، ۱۲۷۸، نشر پیدایش.

۵- شیمی هوا، رقیه عابدی کرجیبان، زهرا ایمانی پور واصف، چاپ اول، ۱۲۸۱، انتشارات محراب قلم.