

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



## دانش فنی تخصصی

رشته صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب:** دانش فنی تخصصی (رشته صنایع شیمیایی) - ۲۱۲۵۲۰
- پدیدآورنده:** سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:** طیبه کنشلو، اعظم صفاری، بهرام قنبری، رابعه شیخ‌زاده، اعظم یوسفی و قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری:** اعظم یوسفی، رابعه شیخ‌زاده، اعظم صفاری و طیبه کنشلو (اعضای گروه تألیف) - علی پورجوادی (ویراستار علمی) - حسین داودی (ویراستار ادبی)
- شناسه افزوده آماده‌سازی:** اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- نشانی سازمان:** جواد صفری (مدیر هنری) - مریم کیوان (طراح جلد) - زهرا راست‌نسب (صفحه‌آرا) - فاطمه رئیس‌یان (فیروزآباد (رسام)
- ناشر:** تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
- چاپخانه:** تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- سال انتشار و نوبت چاپ:** وب‌گاه: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)
- ناشر:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)
- چاپخانه:** تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- سال انتشار و نوبت چاپ:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»  
چاپ پنجم ۱۴۰۱

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان شاء الله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادتتان این است که کار بکنید. این عبادت است.  
امام خمینی (قَدِّسَ سِرُّهُ)

۱.....	پودمان اول: تحلیل گرما و تعادل در واکنش‌ها
۳۵.....	پودمان دوم: بررسی تعادل در محلول‌های آبی
۶۷.....	پودمان سوم: به‌کارگیری هیدروکربن‌های آلیفاتیک
۱۰۳.....	پودمان چهارم: به‌کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن‌دار
۱۳۹.....	پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی
۱۷۳.....	منابع

## سخنی با هنر آموزان

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی باطراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی تألیف شد. کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سید درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است و مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای پنج پودمان است. کتاب دانش فنی تخصصی پیش‌نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای - تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان در راستای محتوای دانش نظری است. پودمان پنجم این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی» با هدف یادگیری همیشگی و توسعه شایستگی‌های هنرجویان پس از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی از متون فنی غیرفارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

مانند سایر دروس، هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی، استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی است.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: تحلیل گرما و تعادل در واکنش‌ها

پودمان دوم: بررسی تعادل در محلول‌های آبی

پودمان سوم: به‌کارگیری هیدروکربن‌های آلیفاتیک

پودمان چهارم: به‌کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی

هنرآموزان گرامی توجه داشته باشند که هنرجویان می‌توانند کتاب «همراه هنرجو» را در هنگام یادگیری و ارزشیابی همراه داشته باشند.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های پیشین براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌های درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام دادن کار در محیط واقعی بر اساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

- ۱ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند کار با ابزارها و دستگاه‌های مختلف صنایع شیمیایی
- ۲ شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی
- ۳ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها
- ۴ شایستگی‌های مربوط به یادگیری همیشگی مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار، مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.

درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشته صنایع شیمیایی برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن بر اساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی کنید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

این کتاب شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی - یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب اطلاعات فنی» هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما، بعد از پایان دوره تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید با درک مطالب از منابع غیرفارسی در راستای یادگیری در تمام طول عمر گام بردارید و در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما نیز این درس شامل ۵ پودمان است که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است در همان پودمان مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ است و در معدل کل شما تأثیر می‌گذارد.

همچنین در کتاب **همراه هنرجو** واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما آورده شده است. کتاب **همراه هنرجوی خود را هنگام یادگیری، آزمون و ارزشیابی حتماً همراه داشته باشید**. در این درس نیز مانند سایر دروس، اجزایی دیگر از بسته آموزشی در نظر گرفته شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وبگاه رشته خود به نشانی [www.tvoccd.oerp.ir](http://www.tvoccd.oerp.ir) از عناوین آنها مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری همیشگی و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی، طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش کنید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام دادن فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

## پودمان اوّل

# تحلیل گرما و تعادل در واکنش‌ها



واکنشی که هنگام سوختن گاز طبیعی در هوا صورت می‌گیرد، گرمای لازم برای واکنش‌های دیگر را فراهم می‌کند. گرمایشیمی، گرمای واکنش‌ها را اندازه‌گیری و محاسبه می‌کند. در عمل، بسیاری از واکنش‌ها تا مرز کامل شدن پیش نمی‌روند و پیشرفت آنها تا جایی است که به یک موقعیت تعادلی برسند.



خداوند در سوره سبأ، آیه ۱۰ می‌فرماید: «وَلَقَدْ آتَيْنَا دَاوُدَ مِنَّا مِثْلًا يَأْتِي جِبَالَ أَوْبَىٰ مَعَهُ وَالطَّيْرَ وَآتَيْنَاهُ الْحَدِيدَ» ما به داوود از سوی خود فضیلتی بزرگ بخشیدیم؛ ای کوه‌ها و پرندگان با او هم‌آواز شوید و همراه او تسبیح خدا گویید و آهن را برای او نرم کردیم.

### گرماشیمی

به‌طور معمول انجام شدن هر واکنشی با تغییر انرژی همراه است. گرماشیمی یا ترموشیمی<sup>۱</sup> بخشی از علم شیمی است که در آن گرمای آزادشده یا جذب‌شده به وسیله فرایندی شیمیایی، اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود. واکنشی که هنگام سوختن گاز طبیعی در هوا صورت می‌گیرد، گرمای لازم برای پختن غذا یا جوشیدن آب را فراهم می‌کند. در مقابل، تشکیل گلوکوز در فرایند فوتوسنتز<sup>۲</sup> نیاز به جذب انرژی نورانی خورشید دارد. به‌طور کلی واکنش‌ها یا گرماده یا گرماگیر هستند ولی بیشتر واکنش‌های شیمیایی گرما تولید می‌کنند. در واکنش‌های گرماده، گرما از مخلوط واکنش به محیط اطراف جریان می‌یابد و اثر این پدیده، افزایش دمای محیط است. برعکس در واکنش‌های گرماگیر، به دلیل مصرف انرژی، دمای محیط کاهش می‌یابد.

به نظر شما، واکنش‌های انجام شده در شکل‌های زیر چه تفاوت‌ها و شباهت‌هایی با یکدیگر دارند؟



(ب)



(الف)

نمونه‌هایی از واکنش‌های گرماده و گرماگیر

پرسش ۱



۱- Thermochemistry

۲- Photosynthesis



جدول ۱، مقایسه بین واکنش‌های گرماده و گرماگیر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه بین واکنش گرماده و گرماگیر

واکنش گرماده	واکنش گرماگیر
در اثر انجام شدن آن گرما آزاد می‌شود و به محیط منتقل می‌شود.	در اثر انجام شدن آن گرما از محیط جذب می‌شود.
دمای محیط افزایش می‌یابد.	دمای محیط کاهش می‌یابد.
مانند: سوختن مواد سوختنی (نفت، گاز طبیعی و بنزین)، واکنش بین اسید و باز، افزودن آب به اسید غلیظ، واکنش بین فلزات فعال و آب	مانند: فوتوسنتز، حل شدن نمک‌های آمونیم در آب
نمودار سطح انرژی	
<p>واکنش دهنده‌ها</p> <p>محصولات</p> <p>انرژی یا H</p> <p>زمان</p> <p>گرماگیر</p> <p>سطح انرژی افزایش می‌یابد.</p> <p><math>\Delta H</math> مثبت است (انرژی کسب می‌کند)</p>	<p>واکنش دهنده‌ها</p> <p>محصولات</p> <p>انرژی یا H</p> <p>زمان</p> <p>گرماگیر</p> <p>سطح انرژی کاهش می‌یابد.</p> <p><math>\Delta H</math> منفی است (انرژی از دست می‌دهد)</p>

مثال ۱: هنگامی که آمونیوم‌نیترات در آب حل می‌شود، احساس می‌کنید که بشر محتوی آن سرد شده است؟ علت را بیان کنید.

پاسخ: احساس سردی بشر به معنی این است که حل شدن آمونیوم‌نیترات در آب فرایندی گرماگیر است و این انرژی را از مولکول‌های آب، ظرف و کف دست شما می‌گیرد.

درباره فرایند فوتوسنتز تحقیق کنید و گزارش آن را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۱

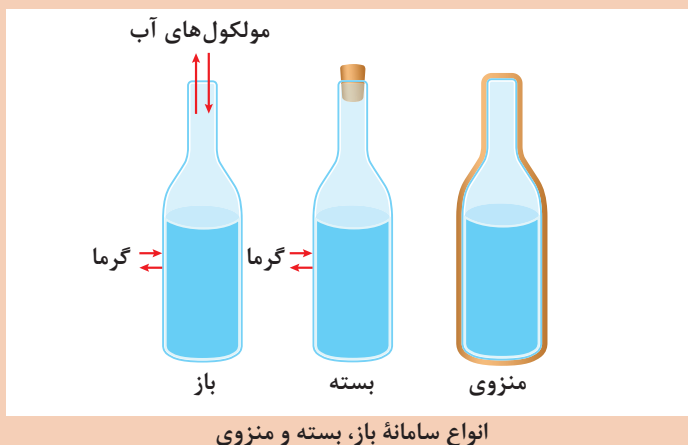




گرمایشیمی، مطالعه تغییر گرما در اثر انجام شدن واکنش‌ها است. در این مطالعات منظور از سامانه، قسمتی از جهان است که مطالعه بر روی آن انجام می‌گیرد و توسط مرزهایی از محیط اطراف خود جدا می‌شود. مطابق شکل، انواع سامانه به سه صورت باز<sup>۱</sup>، بسته<sup>۲</sup> و منزوی<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شود.



آیا می‌توانید با توجه به شکل زیر، تفاوت سامانه‌های باز، بسته و منزوی را بیان کنید؟



به نظر شما دما، گرما و انرژی گرمایی چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟

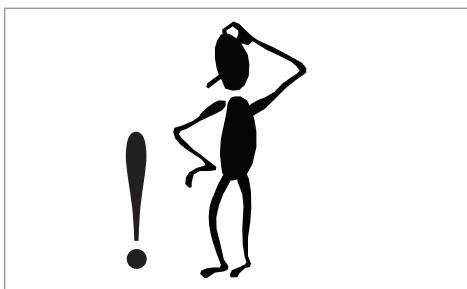
گرما و دما دو واژه‌ای هستند که اغلب در فیزیک و شیمی استفاده می‌شوند. مفهوم این دو واژه به حالت فیزیکی مشابهی اشاره می‌کند، اما از نظر علمی با یکدیگر متفاوت‌اند. ولی بیشتر مردم این دو واژه را به جای هم به کار می‌برند، که اشتباه است. البته وقتی دمای جسم بالا برود، محتوای گرمای آن افزایش می‌یابد، اما برای درک تفاوت بین این دو، به درک واضحی از انرژی جسم نیاز است.

۱- Open  
۲- Closed  
۳- Isolated

گرما، انرژی موجود در جسم است و واحد آن ژول (J) است. دما، اندازه‌گیری انرژی مولکول‌های یک جسم است. این عدد مربوط به انرژی است، اما خود انرژی نیست. عددی است که با واحدهایی مانند کلوین، فارنهایت، رانکین و سلسیوس اندازه‌گیری می‌شود.



هنگامی که یک جسم گرم می‌شود، مولکول‌های آن سریع‌تر حرکت می‌کنند. مولکول‌ها به یکدیگر برخورد کرده و موجب تولید گرمای بیشتری می‌شود و دمای جسم بالا می‌رود. تغییرات دما با استفاده از گرما به جسم اعمال می‌شود. گرما دادن می‌تواند موجب تغییر فاز یک جسم شود مانند ذوب شدن، منجمد شدن و تبدیل شدن به مایع بدون هیچ‌گونه تغییر در دما.



بنابراین گرما، انرژی داده‌شده به جسم است، در حالی که دما، معیاری توافقی برای اندازه‌گیری انرژی جسم است. می‌دانید که دمای جوش آب ۱۰۰ درجه سلسیوس است، خواه ۱ لیتر آب بجوشد، خواه ۵۰ لیتر. اما مقدار گرمای لازم برای یک لیتر آب جوش در مقایسه با گرمای مصرفی ۵۰ لیتر آب جوشیده تا ۱۰۰ درجه سلسیوس، کمتر است.



مثال دیگر آتش‌بازی است. هنگامی که یک فشفسه (جرقه‌زن) روشن می‌کنید، جرقه‌هایی را مشاهده می‌کنید که به اطراف پخش می‌شوند. اینها ذرات خارج شده از فلز هستند که دمای آن ممکن است تا ۳۰۰۰ درجه سلسیوس برسد. اگر برخی از این جرقه‌ها با بدن شما تماس پیدا کند، شما را نمی‌سوزاند (شکل ۱)، زیرا آنها جرم بسیار کمی دارند و از این رو گرما را در خود نگه نمی‌دارند. اگر چه این جرقه دمای بالایی دارد، ولی مقدار گرمای آن بسیار کم است.

شکل ۱- جرقه‌های فشفسه، دست شما را نمی‌سوزاند.

دما به‌طور مستقیم با گرمای جسم متناسب است و معادله دما و گرما به صورت  $Q = CM\Delta T$  است که در آن Q گرما، C ظرفیت گرمایی ویژه، M جرم جسم و  $\Delta T$  تغییر دما است. از آنجایی که گرما شکلی از انرژی است، به آن، انرژی گرمایی هم می‌گویند.

در خصوص ظرفیت گرمایی مواد تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۲



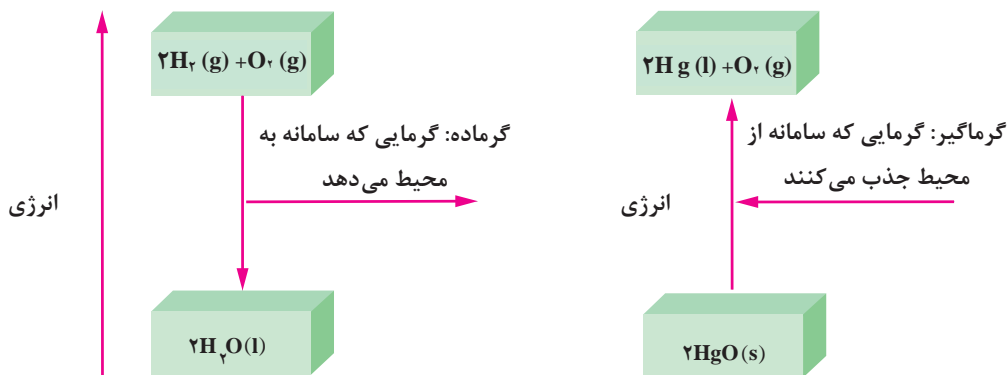
## گرمای واکنش‌ها

همانند جدول ۲، انجام یافتن هر واکنش و فرایندی با تغییر انرژی همراه است.

جدول ۲- تعدادی از واکنش‌ها و فرایندهای گرماده و گرماگیر

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ + انرژی	واکنش (فرایند) گرماده	۱
$\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ + انرژی		۲
$2\text{HgO}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Hg}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$ + انرژی	واکنش (فرایند) گرماگیر	۳
$\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ + انرژی		۴

نمودار تغییر انرژی در واکنش‌های شماره ۱ و ۳ جدول ۲، در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- تغییر انرژی در واکنش‌ها

نمودار تغییر انرژی در واکنش‌های شماره ۲ و ۴ جدول ۲، را رسم کنید.

پرسش ۳



مطالعه گرما و انرژی در فرایندهای شیمیایی از جنبه‌های گوناگون حائز اهمیت است. فرایندها معمولاً در حجم ثابت یا در فشار ثابت مطالعه می‌شوند. از این رو مطالعه گرمای مبادله شده ( $q$ ) در فرایندها نیز در این شرایط صورت می‌گیرد. به مقدار گرمایی که در اثر یک واکنش، تولید یا مصرف می‌شود، گرمای واکنش می‌گویند و آن را در فرایندهای فشار ثابت، با علامت  $\Delta H$  (تغییر آنتالپی) نشان می‌دهند. ولی برای یک فرایند در حجم ثابت تغییر انرژی سامانه ( $\Delta E$ )، برابر گرمای مبادله شده است. می‌توان ثابت بودن حجم را به صورت

یک زیروند در نماد کمیت‌ها نمایش داد و نوشت:

$$\Delta E = q_v$$

$$\Delta E = E \text{ (محصولات)} - E \text{ (واکنش دهنده‌ها)}$$

برای یک فرایند در فشار ثابت می‌توان نوشت:

$$\Delta H = q_p$$

$$\Delta H = H \text{ (محصولات)} - H \text{ (واکنش دهنده‌ها)}$$

بنابراین برای یک فرایند در فشار ثابت، تغییر آنتالپی سامانه برابر گرمای مبادله شده است و علامت آن دو نیز با هم یکی است. منفی بودن  $\Delta E$  و  $\Delta H$  به معنای گرماده بودن فرایند و مثبت بودن  $\Delta E$  و  $\Delta H$  به معنای گرماگیر بودن فرایند است.

تحقیق کنید  
۳



درباره انرژی درونی و آنتالپی تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

**مثال ۲:** واکنش  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g}) + 186 \text{ kJ}$  را در نظر بگیرید، آیا این واکنش در حجم ثابت انجام می‌شود؟ گرمای واکنش چقدر است؟

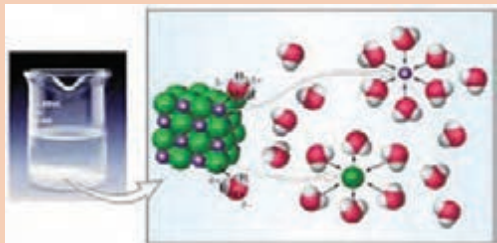
**پاسخ:** از آنجایی که در این واکنش گازی، تعداد مول‌های مواد اولیه و محصول، یکسان (دو مول) است، و هر مول گاز، حجمی معادل ۲۲/۴ لیتر را اشغال می‌کند، بنابراین این واکنش در حجم ثابت انجام می‌شود یعنی:

$$\Delta E = q_v = -186 \text{ kJ}$$

پرسش ۴



آیا حل شدن نمک طعام در آب، یک فرایند حجم ثابت است؟



فرایند حل شدن نمک طعام در آب

پرسش ۵



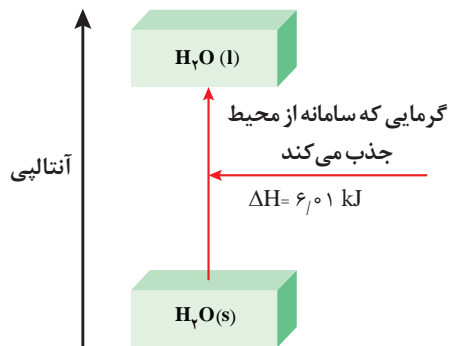
آیا جوشیدن آب یک فرایند حجم ثابت است؟



جوشیدن آب



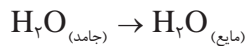
آیا جوشیدن آب در هوای آزاد یک فرایند فشار ثابت است؟



**مثال ۳:** مطابق شکل ۳، در تبدیل ۱ مول یخ  $0^{\circ}\text{C}$  به یک مول آب  $0^{\circ}\text{C}$  در حدود  $۶,۰۱$  کیلو ژول گرما در فشار ثابت جذب می شود، تغییر آنتالپی این فرایند چقدر است؟

شکل ۳- تغییر آنتالپی آب از حالت جامد به مایع

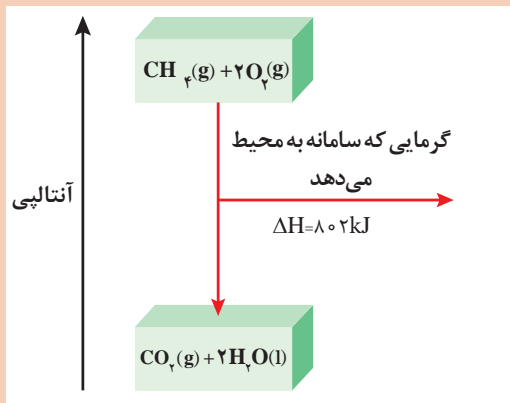
**پاسخ:** مطابق شکل، فرایند ذوب یخ، گرماگیر و تغییر آنتالپی آن، مقداری مثبت است.



$$\Delta H = H_{(\text{آب مایع})} - H_{(\text{یخ})} = ۶,۰۱ \text{ kJ}$$

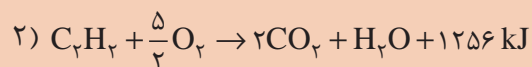
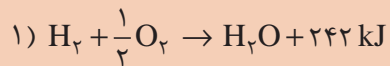


مطابق شکل، تغییر آنتالپی سوختن گاز متان در فشار ثابت چقدر است؟



تغییر آنتالپی سوختن گاز متان

مطابق واکنش های زیر،  $\Delta H$  سوختن گازهای هیدروژن و استیلن را بیان کنید. فرض کنید این واکنش ها در فشار ثابت صورت می گیرند.



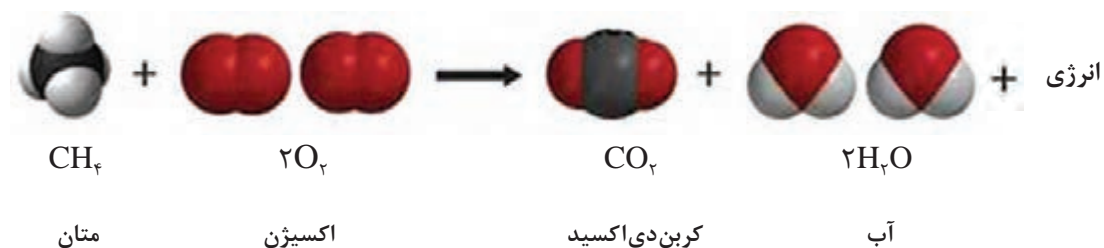
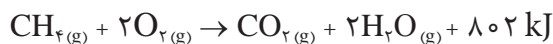


### گرمای سوختن

از سوختن مواد مختلف در اکسیژن مقدار قابل توجهی گرما آزاد می‌شود (شکل ۴). بنابر تعریف، گرمای سوختن یک ماده قابل سوختن برابر با گرمایی است که از سوختن کامل ۱ مول از آن ماده در اکسیژن حاصل می‌شود.

شکل ۴- آزاد شدن گرما در اثر سوختن

برای مثال، گاز متان در اکسیژن کافی به خوبی می‌سوزد و گرمای تولیدی آن زیاد است.



جدول ۳، گرمای سوختن چند ترکیب آلی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- گرمای مولی سوختن چند ترکیب آلی بر حسب  $\text{kJmol}^{-1}$

نام	فرمول	سوختن $\Delta H$
متانول	$\text{CH}_3\text{OH}$ (مایع)	-۶۳۸
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (مایع)	-۱۲۲۴
متان	$\text{CH}_4$ (گاز)	-۸۰۲
پروپان	$\text{C}_3\text{H}_8$ (گاز)	-۲۰۴۶
بوتان	$\text{C}_4\text{H}_{10}$ (گاز)	-۲۶۵۷



از نظر تجاری بهتر است، گرمای سوختن بر حسب واحد جرم بیان شود. گفتنی است سوختی که گرمای سوختن آن در واحد جرم بیشتر باشد، به‌طور معمول سوخت بهتری است.



گرمای سوختن یک گرم از هر یک از ترکیب‌های داده‌شده در جدول ۳ را محاسبه کنید. به نظر شما کدام سوخت بهتر است؟



### گرمای حل شدن

گرمای حل شدن، مقدار گرمایی است که در فشار ثابت از حل شدن یک مول از ماده حل‌شدنی در مقدار معینی از حلال (شکل ۵)، جذب یا آزاد شود. جدول ۴ گرمای مولی حل شدن چند ترکیب یونی در آب را نشان می‌دهد.

شکل ۵- حل شدن جامد در مایع

جدول ۴- گرمای مولی حل شدن چند ترکیب یونی در آب

$\Delta H_{\text{حل شدن}} \text{ (kJmol}^{-1}\text{)}$	ترکیب
$\left. \begin{array}{l} -37/1 \\ -82/8 \end{array} \right\}$ گرماده	LiCl
	CaCl <sub>۲</sub>
$\left. \begin{array}{l} +4/0 \\ +17/2 \\ +15/2 \\ +26/2 \end{array} \right\}$ گرماگیر	NaCl
	KCl
	NH <sub>۴</sub> Cl
	NH <sub>۴</sub> NO <sub>۳</sub>



بر اساس جدول ۴، گرمای مولی حل شدن کلسیم کلرید و آمونیوم کلرید در آب، چقدر است؟ این دو مقدار را با یکدیگر مقایسه کنید.

### گرمای استاندارد تشکیل

گرمای استاندارد تشکیل یک ماده، به تغییر آنتالپی واکنشی گفته می‌شود که طی آن یک مول ماده از عنصرهای سازنده خود در حالت استاندارد، تشکیل می‌شود. یکای گرمای تشکیل  $\Delta H_f^\circ$  بر حسب  $\text{kJmol}^{-1}$  گزارش می‌شود و یک مول از ماده خالص مد نظر است. جدول ۵ گرمای مولی تشکیل چند ترکیب را نشان می‌دهد.

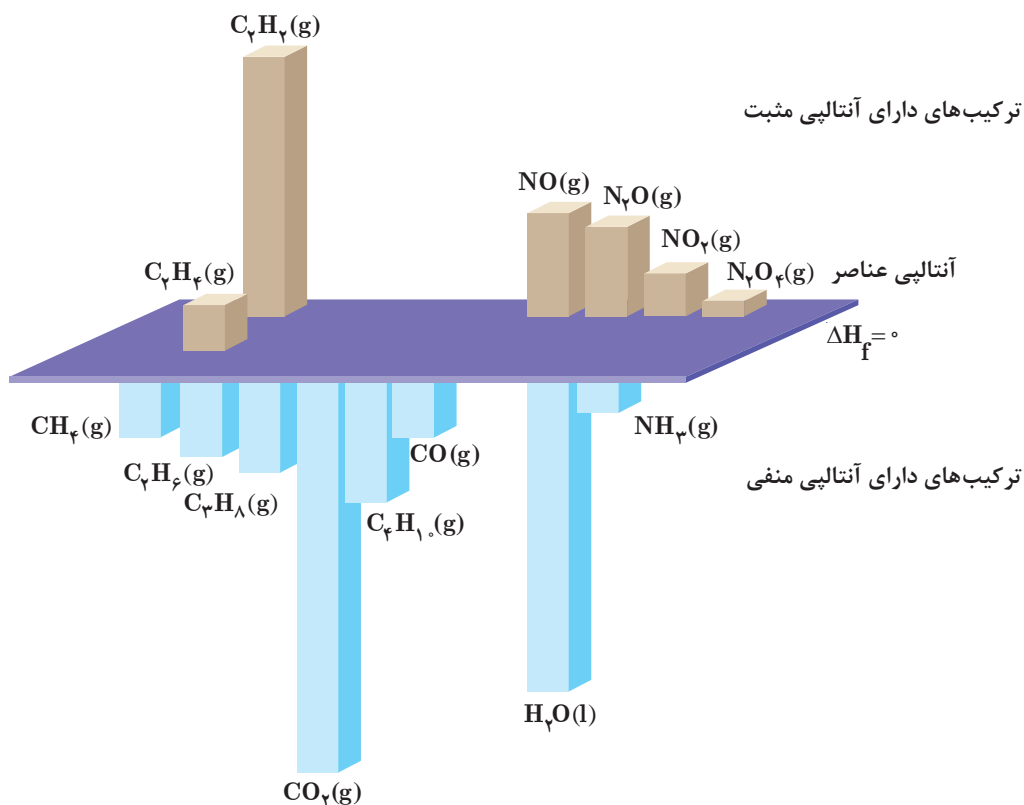


جدول ۵- گرمای مولی تشکیل چند ترکیب در دمای ۲۵ °C

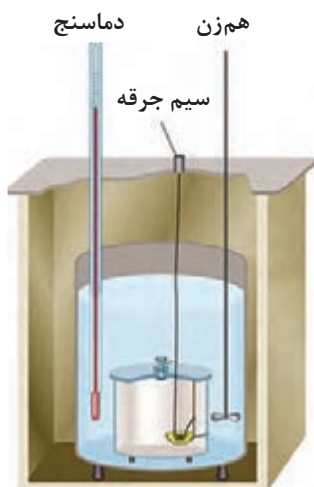
ماده	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	ماده	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
Ag (s)	۰	H <sub>۲</sub> O <sub>۲</sub> (l)	-۱۸۷/۶
AgCl (s)	-۱۲۷/۰۴	Hg (l)	۰
Al (s)	۰	I <sub>۲</sub> (s)	۰
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> (s)	-۱۶۶۹/۸	HI (g)	۲۵/۹۴
Br <sub>۲</sub> (l)	۰	Mg (s)	۰
HBr (g)	-۳۶/۲	MgO (s)	-۶۰۱/۸
C (گرافیت)	۰	MgCO <sub>۳</sub> (s)	-۱۱۱۲/۹
C (الماس)	۱/۹۰	N <sub>۲</sub> (g)	۰
CO (g)	-۱۱۰/۵	NH <sub>۳</sub> (g)	-۴۶/۳
CO <sub>۲</sub> (g)	-۳۹۳/۵	NO (g)	۹۰/۴
Ca (s)	۰	NO <sub>۲</sub> (g)	۳۳/۸۵
CaO (s)	-۶۳۵/۶	N <sub>۲</sub> O <sub>۴</sub> (g)	۹/۶۶
CaCO <sub>۳</sub> (s)	-۱۲۰۶/۹	N <sub>۲</sub> O (g)	۸۱/۵۶
Cl <sub>۲</sub> (g)	۰	O (g)	۲۴۹/۴
HCl (g)	-۹۲/۳	O <sub>۲</sub> (g)	۰
Cu (s)	۰	O <sub>۳</sub> (g)	۱۴۲/۲
CuO (s)	-۱۵۵/۲	CH <sub>۴</sub> (g)	-۷۴/۸
F <sub>۲</sub> (g)	۰	C <sub>۲</sub> H <sub>۶</sub> (g)	-۱۲۶/۲
H <sub>۲</sub> O (l)	-۲۸۵/۸	C <sub>۲</sub> H <sub>۲</sub> (g)	+۲۲۶/۷
HF (g)	-۲۶۸/۶۱	SO <sub>۲</sub> (g)	-۲۹۶/۱
H (g)	۲۱۸/۲	SO <sub>۳</sub> (g)	-۳۹۵/۲
H <sub>۲</sub> (g)	۰	H <sub>۲</sub> S (g)	-۲۰/۱۵
H <sub>۲</sub> O (g)	-۲۴۱/۸	ZnO (s)	-۳۴۷/۹۸

هر چه گرمای تشکیل ( $\Delta H_f$ ) یک ماده، منفی تر باشد، آن ماده نسبت به عنصرهای سازنده خود سطح انرژی پایین تر و پایداری بیشتری دارد.

شکل ۶ گرمای تشکیل چند ترکیب مختلف را، برای مقایسه نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمایش گرمای تشکیل چند ترکیب مختلف



شکل ۷- گرماسنج لیوانی

### تعیین گرمای واکنش‌ها

گرمای یک واکنش را می‌توان به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تعیین کرد. (الف) تعیین گرمای واکنش به روش مستقیم: در روش مستقیم، مقداری از واکنش‌دهنده‌ها را در شرایط مناسب بر هم اثر می‌دهند و گرمای واکنش به‌طور مستقیم توسط دستگاهی به نام گرماسنج (شکل ۷) اندازه‌گیری می‌شود. گرماسنج، دستگاهی است که برای اندازه‌گیری گرمای آزاد شده یا جذب شده در یک واکنش به کار برده می‌شود و با محیط بیرون مبادله گرمایی ندارد. گرماسنج، سامانه منزوی است. با اندازه‌گیری دما، پیش و پس از انجام شدن واکنش، و استفاده از معادله  $Q = MC(T_2 - T_1)$  می‌توان به میزان گرمای آزاد شده یا جذب شده پی برد.



در آزمایشی در اثر حل شدن ۰/۲ گرم سود در آب، دمای محلول از  $19^{\circ}\text{C}$  به  $30^{\circ}\text{C}$  افزایش یافته است. با فرض  $c=1\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ، گرمای آزاد شده را حساب کنید.

**مثال ۴:** از حل شدن ۰/۴۸ گرم فلز منیزیم در محلول هیدروکلریک اسید لازم، ۹/۲۴ کیلو ژول گرما در فشار ثابت آزاد می‌شود. گرمای مولی این واکنش چند کیلو ژول است؟ جرم مولی منیزیم  $24\text{ g/gmol}$  است.

**پاسخ:** با استفاده از داده‌های این مثال، می‌توان گرمای واکنش را محاسبه کرد. در ابتدا باید واکنش شیمیایی بین منیزیم و هیدروکلریک اسید نوشته شود:



در معادله نوشته شده، یک اتم گرم منیزیم (۲۴ گرم منیزیم) در اسید حل می‌شود. از این رو، گرمای واکنش داده شده، آن مقدار گرمایی است که با حل شدن یک اتم گرم منیزیم همراه است. به این ترتیب:

$$\Delta H_{(\text{واکنش})} = 24\text{ g} \times \frac{-9/24\text{ kJ}}{0/48\text{ g}} = -462\text{ kJ}$$

(علامت منفی بیان گر گرمادهی واکنش است.)



از حل شدن ۳/۲۷ گرم فلز روی در محلول هیدروکلریک اسید لازم، ۷/۷ کیلوژول گرما در فشار ثابت آزاد می‌شود. تغییر آنتالپی واکنش بین فلز روی و محلول اسید را حساب کنید.

**(ب) تعیین گرمای واکنش به روش غیرمستقیم:** گرمای بسیاری از واکنش‌های شیمیایی را نمی‌توان به‌طور مستقیم تعیین کرد، چون بسیاری از واکنش‌ها در شرایط بسیار سختی انجام می‌شوند. گاهی یک واکنش ممکن است بخشی از یک فرایند زیست‌شناختی پیچیده باشد و نتوان آن را به‌صورت یک واکنش جداگانه در آزمایشگاه انجام داد. گرمای چنین واکنش‌هایی به روش‌های غیرمستقیم تعیین می‌شود. یکی از روش‌های غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش، استفاده از گرمای تشکیل واکنش دهنده‌ها و محصولات حاصل شده از واکنش به‌صورت زیر است:

$$\Delta H_f = [\text{مجموع گرمای تشکیل واکنش دهنده‌ها}] - [\text{مجموع گرمای تشکیل محصولات}]$$

مثال ۵: گرمای واکنش  $\text{CO}(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g)$  را از روی گرمای تشکیل داده شده در جدول ۵ محاسبه کنید.

پاسخ: با استفاده از معادله

$$\Delta H_{\text{(واکنش)}} = \Delta H_{\text{f}}(\text{CO}_2) - \left[ \Delta H_{\text{f}}(\text{CO}) + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{f}}(\text{O}_2) \right]$$

$$= -393.5 - \left[ (-110.5) - \frac{1}{2} \times 0 \right] = -283 \text{ kJ}$$

گرمای تشکیل هر عنصر به حالت آزاد، طبق قرارداد برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

نکته



بیشتر بدانید



حمام شیخ بهایی در اصفهان، با راز نامکشوف خود یعنی گرم شدن منبع حمام با شمعی که همواره روشن بوده است، تبلور هنر معماری و ذهن خلاق ایرانیان در طراحی بناهاست؛ موضوعی که سال‌ها ذهن دانشمندان جهان را به خود مشغول کرد. منبع آب گرم این حمام از فلز طلا بوده است و...



درباره «راز گرم شدن حمام شیخ بهایی با یک شمع» تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۴



## واکنش‌های تعادلی

بحث‌گروهی



مطابق شکل زیر، دو ظرف مشابه حاوی مقداری آب، با و بدون درپوش را در نظر بگیرید. پس از یک هفته، چه تغییری در میزان آب موجود در آنها مشاهده می‌کنید.



فرایند تبخیر



بخار آب → آب مایع بخار آب ← آب مایع



فرایند تبخیر و میعان

فرایندهای فیزیکی و شیمیایی بسیاری در طبیعت اتفاق می‌افتند. در تعدادی از آنها با تمام شدن مواد واکنش‌دهنده، فرایند متوقف می‌شود و در تعدادی فرایند انجام شده در خلاف جهت پیشین انجام می‌شود و مواد واکنش‌دهنده را دوباره تولید می‌کند. در عمل، بسیاری از واکنش‌ها تا مرز کامل شدن پیش نمی‌روند. در واقع پیشرفت آنها تا جایی است که به یک موقعیت تعادلی برسند. در این حالت مقداری از مواد اولیه بدون مصرف همراه با محصول، به صورت مخلوط وجود دارند و در این شرایط تغییری در فرایندها دیده نمی‌شود. مثال ظرف آب در حالت در بسته و باز، این دو شرایط را به خوبی نشان می‌دهد.

### فرایند برگشت‌ناپذیر

به فرایندهایی مانند ظرف آب در حالت در باز که فقط جهت رفت تغییر (فرایند تبخیر) اتفاق می‌افتد و با تمام شدن مواد اولیه، فرایند متوقف می‌شود، فرایندهای (واکنش‌های) برگشت‌ناپذیر می‌گویند. این‌گونه واکنش‌ها تا مصرف شدن یکی از واکنش‌دهنده‌ها پیشرفت دارند و سپس متوقف می‌شوند. فرایندهایی مانند: زنگ زدن آهن، سفت شدن تدریجی سیمان، پختن غذا و واکنش‌های سوختن مانند، سوختن نوار منیزیم و سوختن گاز طبیعی (متان)، واکنش منیزیم با هیدروکلریک‌اسید، رسیدن میوه‌ها و فاسد شدن مواد غذایی جزو فرایندهای برگشت‌ناپذیر هستند (شکل ۸).



زنگ زدن دوچرخه



واکنش سدیم با آب



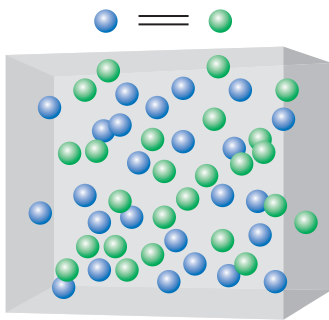
سوختن منیزیم

شکل ۸- چند نمونه فرایند برگشت‌ناپذیر

با اطلاعات درس دانش فنی پایه (سال دهم) معادله واکنش‌های انجام شده در شکل ۸ را بنویسید.

پرسش ۱۱





شکل ۹- تصویر ساده‌ای از فرایند برگشت پذیر

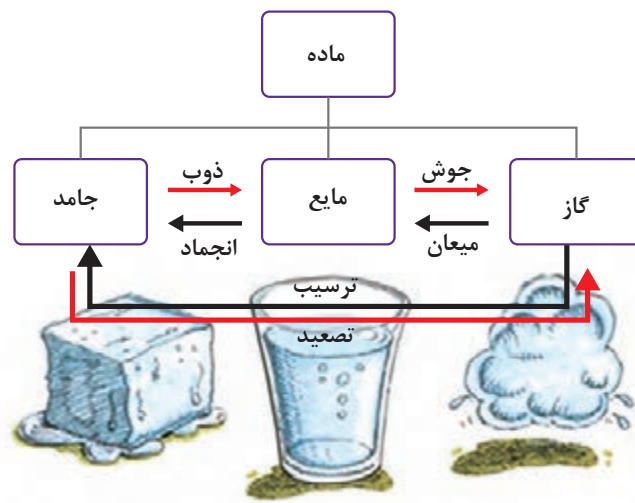
### فرایند برگشت پذیر

به فرایندی که به‌طور هم‌زمان در هر دو جهت رفت و برگشت انجام شود، فرایند یا واکنش برگشت پذیر می‌گویند. تعادل، فرایندی پویا است که در واکنش‌های (فرایندهای) برگشت پذیر اتفاق می‌افتد و همچنین زمانی برقرار می‌شود که دو فرایند مخالف با سرعت‌های یکسان روی دهند. شکل ۹، تصویری از یک فرایند برگشت پذیر را نشان می‌دهد.

پرسش ۱۲



با توجه به شکل، انواع فرایندهای برگشت پذیر و برگشت ناپذیر را بنویسید.



انواع فرایندهای تعادلی آب

پرسش ۱۳



مطابق شکل، فرایند حل شدن قند در آب چه زمانی برگشت ناپذیر و چه زمانی برگشت پذیر است؟



حل شدن قند در آب

## انواع تعادل

تعادل را می‌توان با استفاده از دو مفهوم زیر دسته‌بندی کرد:

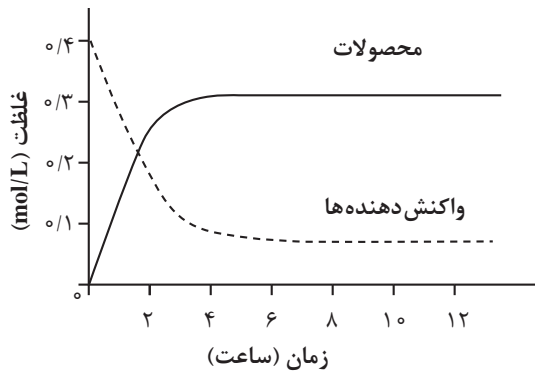
- ۱ از لحاظ نوع تغییر ایجاد شده در واکنش، یعنی فیزیکی یا شیمیایی بودن فرایند؛
- ۲ از لحاظ تعداد فازهای مواد شرکت کننده در تعادل.

### ۱- انواع تعادل از لحاظ نوع فرایند

**الف) تعادل فیزیکی:** به تعادلی که در یک فرایند فیزیکی برگشت پذیر اتفاق می‌افتد، تعادل فیزیکی گفته می‌شود. در تعادل آب مایع - بخار آب:

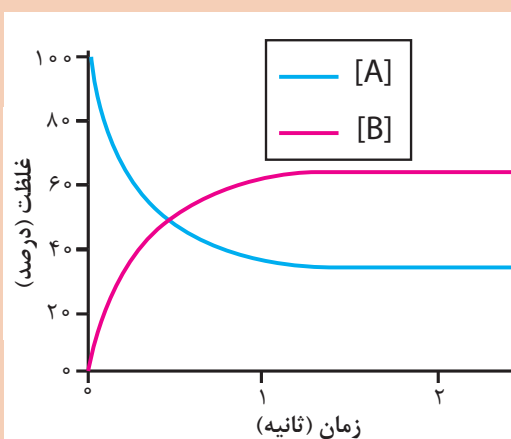
- ۱ وجود درپوش برای برقراری تعادل الزامی است.
- ۲ در ظرف بدون درپوش، فقط عمل تبخیر صورت می‌گیرد و سرعت میعان برابر صفر است.
- ۳ در ظرف با درپوش، سرعت تبخیر با سرعت میعان مولکول‌های آب یکی شده است و حالت تعادل وجود دارد.

**مثال ۶:** در شرایط خاص، حل شدن گازهایی که در آب جنبه شیمیایی ندارند، نیز فرایندی برگشت پذیر است؛ مانند حل شدن گاز اکسیژن در آب.



**ب) تعادل شیمیایی:** تعادل برقرار شده در یک تغییر یا فرایند شیمیایی را تعادل شیمیایی گویند. تهیه آمونیاک در صنعت از گازهای هیدروژن و نیتروژن نمونه‌ای از واکنش برگشت پذیر است. در تعادل شیمیایی، تغییرات غلظت مواد اولیه و محصول با زمان به صورت نمودار شکل ۱۰ است.

شکل ۱۰- تغییرات غلظت مواد اولیه و محصول با زمان در فرایندهای شیمیایی

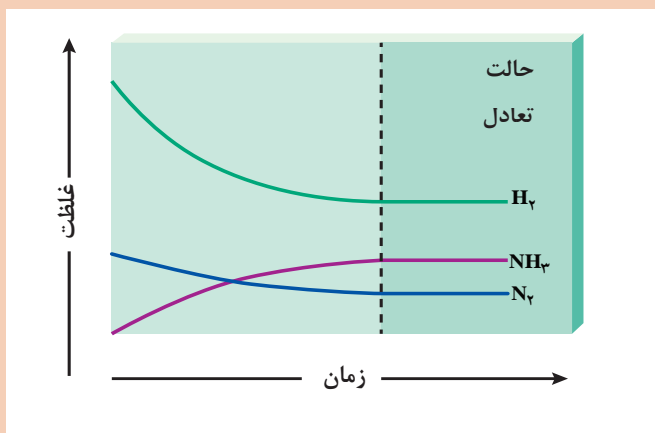
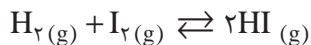
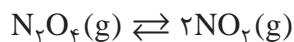
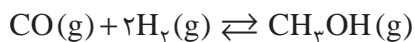
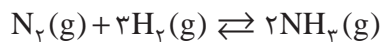


با بررسی نمودار تعادلی روبه‌رو ماده اولیه و محصول را مشخص کنید.

پرسش ۱۴



در ادامه، چند نمونه واکنش شیمیایی تعادلی آورده شده است:



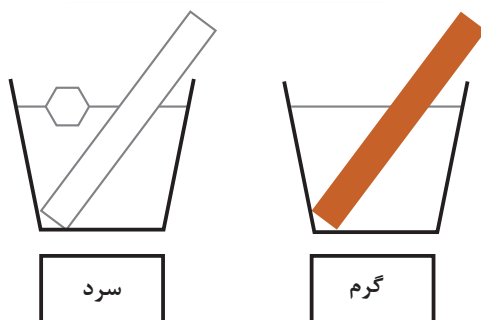
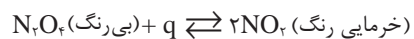
نمودار روبه‌رو را توضیح دهید.

پرسش ۱۵



همانند شکل زیر، گاز  $\text{N}_2\text{O}_4$  بی‌رنگ و گاز  $\text{NO}_2$  خرمایی رنگ است. همچنین فرایند تولید گاز  $\text{NO}_2$  گرماگیر است.

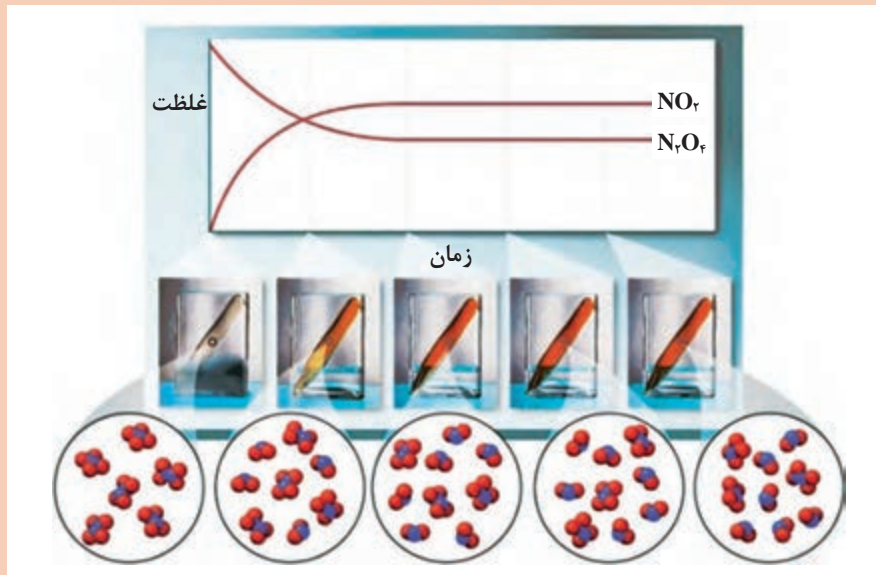
نکته





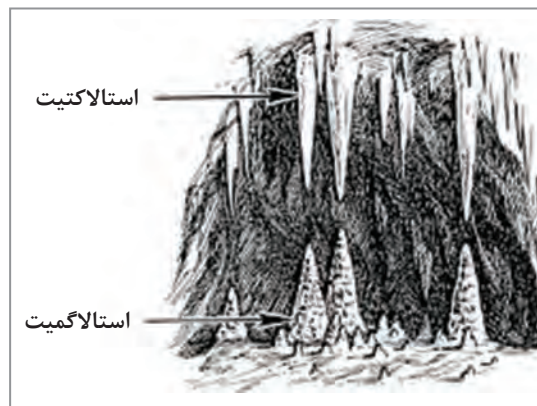
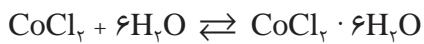


با توجه به شکل زیر، واکنش تعادلی را به طور کامل بنویسید.



روند انجام شدن یک نمونه واکنش شیمیایی

از جمله نمونه‌های عملی تعادل شیمیایی، واکنش بلورن (تبلور) نمک‌ها مانند بلورن نمک کبالت (II) کلرید شش آبه است و یا تشکیل بلورهای استالاگمیت<sup>۱</sup> (در کف) و استالاکتیت<sup>۲</sup> (در سقف) در غارها مطابق شکل ۱۱.



شکل ۱۱- رسوبات آهکی استالاگمیت و استالاکتیت

۱- Stalagmite

۲- Stalactite

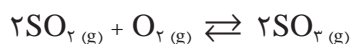
استلاکتیت‌ها رسوباتی آهکی هستند که از سقف غارها آویزان می‌شوند. استلاگمیت‌ها نیز رسوباتی آهکی هستند که به صورت ستون‌هایی مخروطی شکل در کف غارها به وجود می‌آیند.



دربارهٔ غار علیصدر و رسوبات کلسیم‌کربنات آن تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



واکنش گاز گوگرد دیوکسید با اکسیژن و تولید گاز گوگرد تریوکسید نیز یک واکنش تعادلی شیمیایی است.



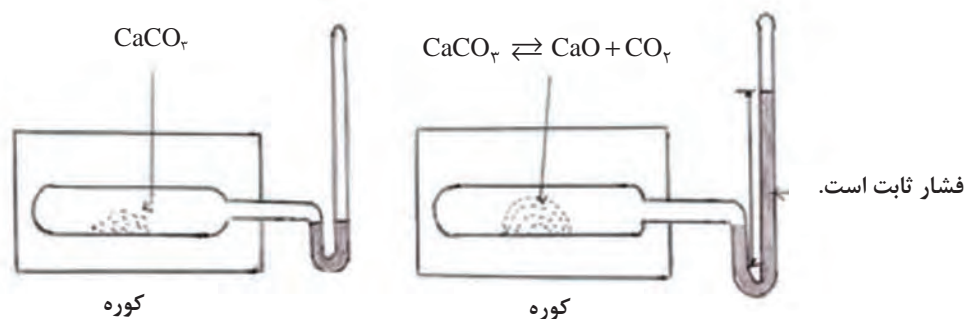
## ۲- انواع تعادل از لحاظ تعداد فازهای مواد شرکت‌کننده در تعادل

انواع تعادل از لحاظ فازي به دو دستهٔ همگن و ناهمگن تقسیم‌بندی می‌شوند.

**الف) تعادل همگن:** هرگاه در یک معادلهٔ واکنش در حال تعادل، همهٔ مواد شرکت‌کننده در تعادل، در یک فاز باشند، به این تعادل «همگن» گفته می‌شود. همهٔ مواد در تعادل زیر، در یک فاز یعنی فاز گازی هستند.



**ب) تعادل ناهمگن:** هرگاه در یک معادلهٔ واکنش در حال تعادل، مواد شرکت‌کننده در آن، در فازهای متفاوتی باشند، به این تعادل «ناهمگن» گفته می‌شود. به عبارت دیگر تعادل بین مواد موجود در دو یا چند فاز متفاوت را تعادل «ناهمگن» می‌گویند، مانند تجزیهٔ کلسیم‌کربنات در دمای  $1073^\circ\text{K}$  مطابق شکل ۱۲.



شکل ۱۲- فشار ایجادشده در اثر فرایند تجزیهٔ کلسیم‌کربنات در دمای  $1073^\circ\text{K}$

## نکاتی دربارهٔ تعادل‌های همگن و ناهمگن

- ۱ در تعادل همگن همیشه تمامی مواد موجود در تعادل، در یک فاز هستند.
- ۲ در تعادل ناهمگن دست کم یک فاز جامد وجود دارد؛ مانند تعادل موجود در بین شکر حل شده و شکر جامد در محلول سیرشدهٔ آن، یا تعادل بین آب و یخ.
- ۳ همگن یا ناهمگن بودن تعادل، هر دو تعادل فیزیکی و شیمیایی را شامل می‌شود.
- ۴ در یک تعادل همگن به دلیل مخلوط شدن یکنواخت اجزای آن فقط یک فاز وجود دارد. اما برای تعیین تعداد فاز در تعادل‌های ناهمگن، هر کدام از مواد خالص جامد موجود در تعادل را، یک فاز در نظر می‌گیرند.



شکل ۱۳- حل شدن نمک در آب

فرایندهای رفت و برگشت (حل شدن و بلورش) را در محلول سیرشدهٔ آب نمک مشخص کنید (شکل ۱۳).

پرسش ۱۷



نکته



در واکنش تعادلی:

- ۱ در حالت تعادل، غلظت مواد شرکت کننده در واکنش با یکدیگر برابر نیست، بلکه در دمای ثابت، غلظت مواد شرکت کننده در واکنش ثابت است؛ چون سرعت‌های دو واکنش رفت و برگشت با یکدیگر برابر است، هر ماده‌ای با هر سرعتی که مصرف می‌شود با همان سرعت نیز تولید می‌شود و برعکس.
- ۲ در لحظهٔ تعادل، واکنش‌های رفت و برگشت متوقف نمی‌شوند، بلکه همچنان با سرعتی برابر در حال انجام شدن هستند. به همین دلیل تعادل را تعادل دینامیک یا پویا می‌گویند، یعنی در سطح مولکولی همواره تبدیل مواد به یکدیگر در حال انجام شدن است. در واقع واکنش از لحاظ خواص ماکروسکوپی یا ظاهری متوقف شده است ولی از لحاظ خواص میکروسکوپی یا مولکولی فعال است.



با توجه به نمونه‌های تعادلی ارائه شده در شکل زیر، ابتدا فرایند رفت و برگشت تعادل‌های پویا را مشخص کنید و سپس خواص ماکروسکوپی ثابت آنها را تعیین کنید.

(الف) محلول سیرشده شکر  
بلورهای شکر

(ب) مخلوط بخار آب  
و گاز هیدروژن  
یک قوطی آهنی محکم در  
دمای ثابت  $50^{\circ}\text{C}$

(پ) محلول آبی  
رقیق آمونیاک  
برم مایع  
بخارات برم

(ت) محلول سیرشده شکر  
بلورهای شکر

(ج) محلول آب یُد  
محلول ید در  
کلروفرم  
بلورهای ید  
بخار ید

(د) محصول مخلوط کردن  
محلول‌های کلسیم کلرید  
و سدیم کربنات

(ه) مخلوط گازی  
شکل ید،  
هیدروژن  
و هیدروژن  
یدید

(و) محلول آب یُد  
محلول ید در  
کلروفرم  
بلورهای ید  
بخار ید

(ز) محصول مخلوط کردن  
محلول‌های کلسیم کلرید  
و سدیم کربنات

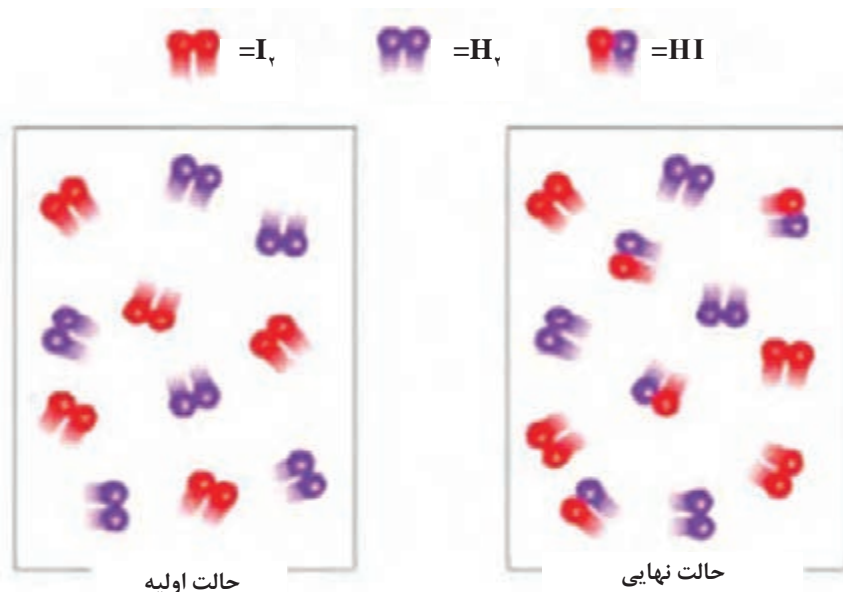
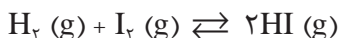
انواع فرایندهای تعادلی (تمامی ظرف‌ها، در بسته هستند).

## عوامل مؤثر بر وضعیت یک تعادل

وضعیت تعادل توسط شرایطی همچون دما، غلظت و فشار که بر آن تعادل حاکم است، مشخص می‌شود. حال اگر شرایط آزمایش در یک سامانه تعادلی تغییر کند، چه اتفاقی می‌افتد؟ تأثیر این تغییرات توسط هنری لوشاتلیه در سال ۱۸۸۴ میلادی بررسی شده است. اصل لوشاتلیه می‌گوید که سامانه در حال تعادل، نسبت به تغییرات ایجادشده، واکنش نشان می‌دهد، به گونه‌ای که با این تغییرات، مقابله می‌کند و حالت تعادلی جدیدی را به وجود می‌آورد.

### تغییرات غلظت

اگر غلظت ماده‌ای افزایش یابد، تعادل به گونه‌ای جابه‌جا می‌شود که غلظت ماده افزوده شده را کاهش دهد. به عنوان مثال، سامانه تعادلی شکل ۱۴ را در نظر بگیرید.

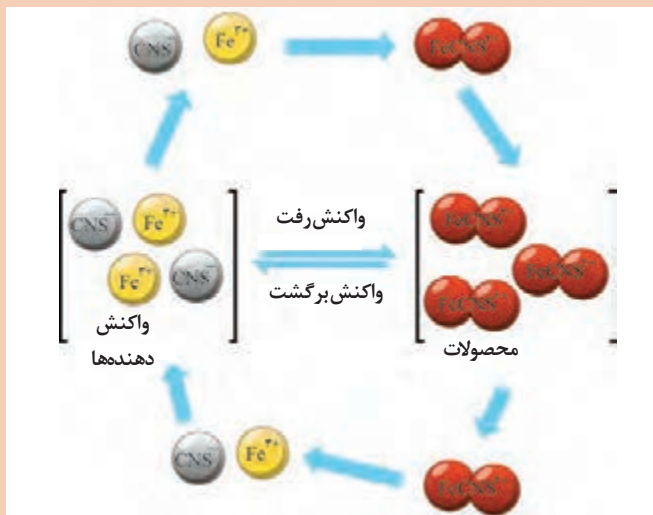


شکل ۱۴- حالت اولیه و پس از برقراری تعادل

در بررسی‌های کیفی به راحتی دیده می‌شود که با افزایش غلظت گاز  $\text{H}_2$  در سامانه تعادلی آن، تعادل به هم می‌خورد و سامانه به گونه‌ای عمل می‌کند که غلظت گاز  $\text{H}_2$  کاهش یابد. برای این منظور، مقداری  $\text{H}_2$  و  $\text{I}_2$  برای تولید  $\text{HI}$  به مصرف می‌رسد. وقتی که تعادل جدید برقرار شود، غلظت  $\text{HI}$  بیش از مقدار اولیه آن خواهد بود. در این صورت می‌گویند که وضع تعادل به سمت راست جابه‌جا شده است. با افزایش غلظت گاز  $\text{HI}$  به سامانه، وضع تعادل به طرف چپ جابه‌جا می‌شود و به این ترتیب مقداری  $\text{HI}$  به مصرف می‌رسد. وقتی که تعادل بار دیگر برقرار شود، غلظت  $\text{I}_2$  و  $\text{H}_2$  بیش از مقدار اولیه آنها خواهد بود. خارج کردن یکی از مواد نیز موجب تغییر وضع تعادل می‌شود؛ به عنوان مثال، خارج کردن گاز  $\text{HI}$  از سامانه، موجب می‌شود که وضع تعادل به طرف راست جابه‌جا شود. در این صورت،  $\text{HI}$  بیشتری تولید می‌شود و غلظت گازهای  $\text{I}_2$  و  $\text{H}_2$  کاهش می‌یابد. با خارج کردن پیوسته یک محصول می‌توان بعضی از واکنش‌های برگشت‌پذیر را در جهت تکمیل شدن سوق داد.

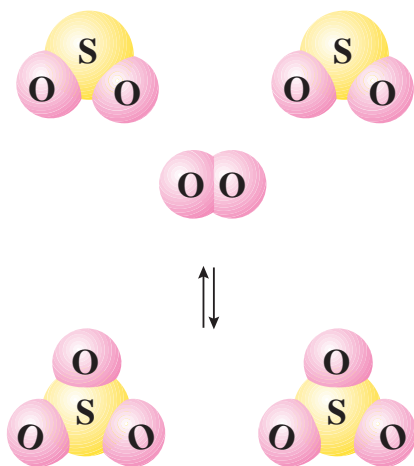


واکنش تعادلی بین یون‌های آهن (III) و تیوسیانات، باعث تشکیل آهن (III) تیوسیانات قرمز رنگ می‌شود. واکنش تعادلی (قرمز تیره)  $\text{FeSCN}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^-$  (بی‌رنگ) + (زرد کم‌رنگ)  $\text{Fe}^{3+}$  را در نظر بگیرید و به سؤالات زیر پاسخ دهید: الف) با افزایش غلظت آهن (III) کلرید، محلول تعادلی چه رنگی می‌شود؟ ب) با حل کردن آهن (III) تیوسیانات اضافی در محلول تعادلی، رنگ آن چه تغییری می‌کند؟



### تغییرات فشار

از اصل لوشاتلیه برای پیشگویی کیفی اثر تغییر فشار بر یک سامانه در حال تعادل نیز می‌توان استفاده کرد. به‌عنوان مثال، مطابق شکل ۱۵، اثر افزایش فشار را بر مخلوط  $\text{SO}_2$ ،  $\text{O}_2$  و  $\text{SO}_3$  در نظر بگیرید.



شکل ۱۵-  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$

در واکنش رفت، دو مولکول گاز  $\text{SO}_2$  در واکنش با یک مولکول گاز اکسیژن، دو مولکول گاز  $\text{SO}_3$  تولید می‌کند. دو مولکول گاز به اندازه سه مولکول گاز فشار اعمال نمی‌کند. از این رو وقتی فشار بر مخلوط تعادلی افزایش یابد (یا حجم سامانه کم شود)، وضع تعادل به طرف راست جابه‌جا می‌شود و به این ترتیب سامانه با تغییر ایجاد شده مقابله می‌کند. ولی کاهش فشار (یا افزایش حجم) موجب جابه‌جا شدن وضع تعادل به طرف چپ می‌شود. برای واکنش‌هایی که در آنها تغییر مول مواد اولیه و محصول، صفر ( $\Delta n = 0$ ) باشد، تغییر فشار در تعادل سامانه‌ها تأثیری ندارد، زیرا حجم کلی هیچ یک از این سامانه‌ها، نه در واکنش رفت و نه در واکنش برگشت، تغییر نکرده است.

نکته



برای سامانه‌ای که فقط مرکب از مواد جامد یا مایع باشد، اثر فشار بر وضع تعادل جزئی است و برای تغییر فشارهای عادی از آن صرف نظر می‌شود. ولی تغییرات فشار زیاد می‌تواند بر چنین تعادل‌هایی اثر داشته باشد. تأثیر فشار بر تعادل‌های گازی بسیار زیاد است. به طوری که افزایش فشار در واکنش تولید آمونیاک، موجب افزایش تولید آن می‌شود. بنابراین اصل لوشاتلیه در تعیین شرایط مناسب واکنش، برای تهیه ماده مطلوب حائز اهمیت عملی است.

پرسش ۲۰

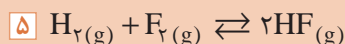
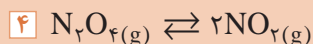
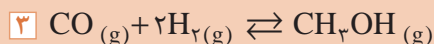
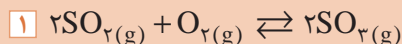


آیا تغییر فشار همیشه وضعیت تعادل گازها را تغییر می‌دهد؟

پرسش ۲۱

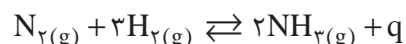


اثر تغییر فشار را بر روی واکنش‌های تعادلی زیر بررسی کنید:



### تغییرات دما

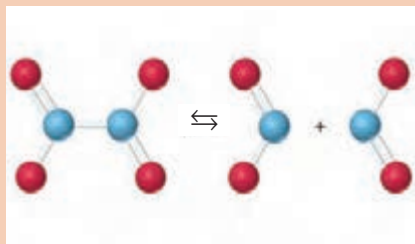
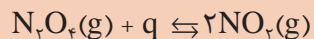
برای پیشگویی تأثیر تغییر دما بر یک سامانه در حال تعادل، لازم است ماهیت ترمودینامیکی واکنش معلوم شود. واکنش گرماده تولید آمونیاک را در نظر بگیرید:



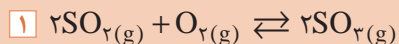
با در نظر گرفتن گرمای تولیدشده به عنوان محصول واکنش، طبق معادله شیمیایی بالا واکنش رفت، گرماده و واکنش برگشت، گرماگیر است. به عبارت دیگر، واکنش رفت گرما تولید می‌کند و واکنش برگشت آن را به مصرف می‌رساند. با افزایش گرما به این سامانه یعنی با بالا رفتن دمای سامانه، واکنش تعادل به طرف چپ (یعنی به جهتی که گرما جذب شود) جابه‌جا می‌شود و اگر مخلوط را سرد کنید، تعادل به طرف راست (یعنی در جهت تولید گرما) کشیده می‌شود. بنابراین، بیشترین محصول آمونیاک در پایین‌ترین دما به دست می‌آید. ولی متأسفانه در دمای خیلی پایین، سرعت واکنش بسیار کم است. از این رو فرایندهای صنعتی تولید آمونیاک در فشارهای بالا و در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود.



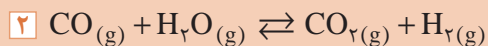
اثر دما را بر واکنش تعادلی زیر بررسی کنید.



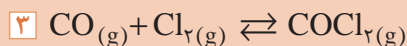
اثر دما را بر واکنش‌های تعادلی زیر بررسی کنید.



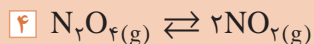
$$\Delta H = -180 \text{ kJ}$$



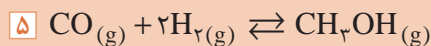
$$\Delta H = -46 \text{ kJ}$$



$$\Delta H = -108 \text{ kJ}$$



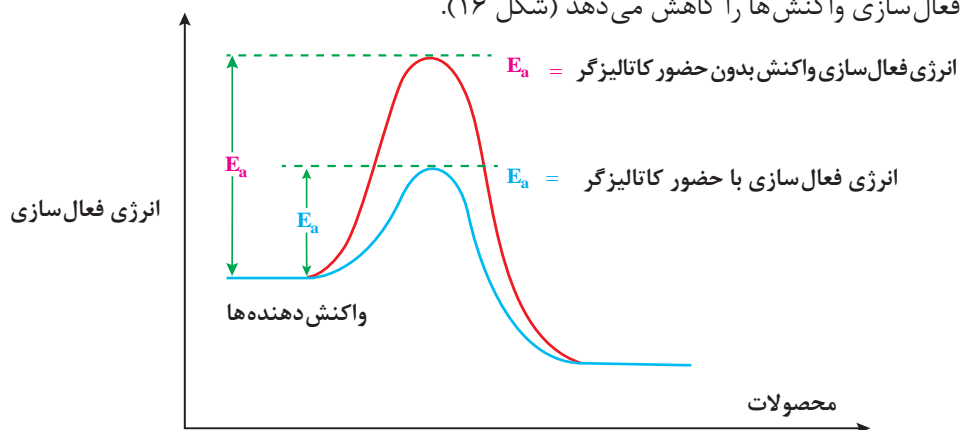
$$\Delta H = +57 \text{ kJ}$$



$$\Delta H = -270 \text{ kJ}$$

### افزایش کاتالیزگر

کاتالیزگر بر وضع تعادل تأثیر نمی‌گذارد، زیرا کاتالیزگر بر سرعت واکنش رفت و برگشت اثر یکسان دارد. ولی وارد کردن کاتالیزگر در یک سامانه، موجب می‌شود تا آن سامانه سریع‌تر به حالت تعادل برسد، زیرا کاتالیزگر انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها را کاهش می‌دهد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- اثر کاتالیزگر بر روی انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها

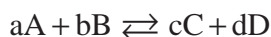




درباره انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

### بررسی کمی تعادل‌های شیمیایی

تمام فرایندهای برگشت‌پذیر، تمایل دارند به یک حالت تعادلی برسند. برای یک واکنش برگشت‌پذیر، حالت تعادل وقتی برقرار می‌شود که سرعت واکنش رفت برابر با سرعت واکنش برگشت باشد. در یک واکنش تعادلی، از تقسیم ثابت سرعت واکنش رفت  $K_f$  بر ثابت واکنش برگشت،  $K_r$ ، ثابت دیگری به دست می‌آید که ثابت تعادل شیمیایی،  $K$ ، نامیده می‌شود. تعادل زیر را در نظر بگیرید:

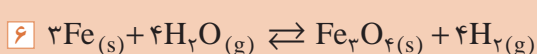
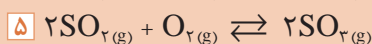
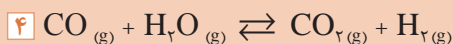
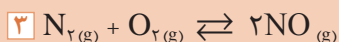
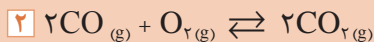
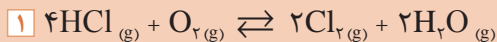


برای این تعادل، ثابت تعادل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$K = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}$$

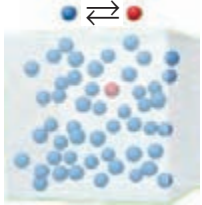
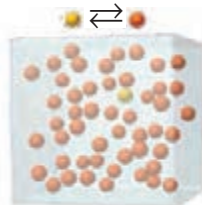
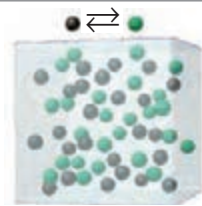


برای تعادل‌های زیر، ثابت تعادل را بنویسید.



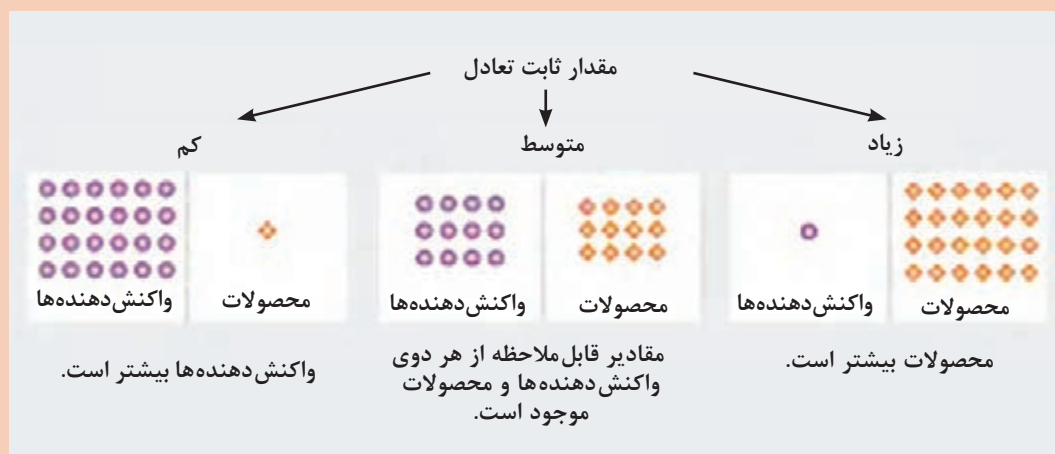
### مقدار عددی ثابت تعادل

مقدار عددی  $K$  برای هر واکنش شیمیایی تعادلی، به طور تجربی تعیین می‌شود و با تغییر دما، تغییر می‌کند. میزان عددی  $K$  نشان‌دهنده واکنش مطلوب‌تر در دمای خاص است، یعنی هر چقدر میزان ثابت تعادل کوچک‌تر باشد، میزان واکنش رفت کمتر و محصول کمتری تولید خواهد شد و برعکس هر چه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، واکنش رفت غالب است و محصول بیشتری تولید خواهد شد. در مقدار متوسط از ثابت تعادل، تولید محصول و مواد اولیه زیاد خواهد بود. این مفاهیم در مثال‌های صفحه بعد با ثابت‌های تعادل متفاوت نشان داده شده است.

مثال	مقدار ثابت تعادل	شکل	ردیف
$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$	$K = 1 \times 10^{-30}$		۱
$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$	$K = 2 \times 10^{22}$		۲
$2BrCl_{(g)} \rightleftharpoons Br_{2(g)} + Cl_{2(g)}$	$K = 5$		۳

شکل زیر را تفسیر کنید.

پرسش ۲۵





جدول زیر نسبت ترکیب یک مخلوط تعادلی گازی را در دمای  $485^{\circ}\text{C}$  نشان می‌دهد.  
 الف) معادله واکنش و معادله ثابت تعادل آن را بنویسید.  
 ب) مقدار ثابت تعادل را برای هر یک از دو مخلوط تعادلی بنویسید. فرض کنید حجم این مخلوط یک لیتر است.

مقدار $\text{H}_2$ (مول)	مقدار $\text{I}_2$ (مول)	مقدار $\text{HI}$ (مول)	
۰/۰۲۲۶	۰/۰۲۸۴	۰/۱۷۲۰	مخلوط اول
۰/۰۱۶۷	۰/۰۴۰۶	۰/۱۷۸۰	مخلوط دوم



مخلوطی از هیدروژن و ید تا  $490^{\circ}\text{C}$  گرما داده شده است. محاسبه نشان می‌دهد که مقدار  $K$  برای واکنش  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ ، برابر ۴۶ است. تعیین غلظت‌های  $\text{I}_2$  و  $\text{HI}$  با یک‌های میلی‌مولار ( $\text{mM}$ ) که برابر یک هزارم مولار است) نشان داد که  $[\text{I}_2] = 3.1 \text{ mM}$  و  $[\text{HI}] = 2.7 \text{ mM}$  است. غلظت  $\text{H}_2$  را در این مخلوط تعادلی حساب کنید.

مشخصات چند واکنش تعادلی را در جدول ۶ مشاهده می‌کنید.

جدول ۶- مشخصات چند واکنش تعادلی

ردیف	تعادل	معادله قانون تعادل	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	ثابت تعادل ( $K$ )
۱	$2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$	$\frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 [\text{O}_2]}$	۵۰۰	$4 \times 10^{20}$
۲	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\text{g})$	$\frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]}$	۲۵	$1.9 \times 10^{17}$
۳	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$	$\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$	۲۵	۷۹۴
۴	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$	$\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$	۴۲۷	۵۴

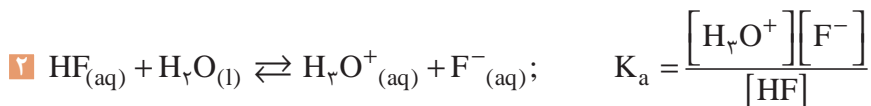
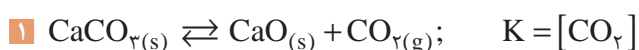
ردیف	تعداد	معادله قانون تعادل	دما (°C)	ثابت تعادل (K)
۵	$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$	$\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$	۵۵	۰٫۸۷
۶	$CH_3COOH(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$	$\frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$	۲۵	$1,8 \times 10^{-5}$
۷	$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$	$\frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$	۲۵	$1 \times 10^{-30}$

توجه شود، ثابت تعادل برای پیش‌بینی میزان پیشرفت واکنش مناسب است و نه سرعت آن. برای اطمینان از انجام شدن یک واکنش در زمان معقول، دو شرط ثابت تعادل بزرگ و سرعت واکنش زیاد لازم است و البته می‌دانید که در بیشتر فرایندها، افزایش دما، سرعت واکنش را زیاد می‌کند.

### ثابت تعادل برای واکنش‌های ناهمگن

غلظت مواد جامد (s) و مایع خالص (l) پس از برقراری تعادل، عددی ثابت است. بنابراین در معادله ثابت تعادل آنها از نوشتن غلظت مواد جامد و مایع خالص صرف‌نظر می‌شود و آنها را برابر یک فرض می‌کنند،

مانند:



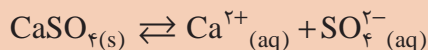
نکته

در معادله ثابت تعادل فقط غلظت مواد محلول (aq) و مواد گازی (g) نوشته می‌شود. با اینکه مواد جامد و مایع خالص در معادله ثابت تعادل نوشته نمی‌شوند، اما حضور آنها برای برقراری تعادل الزامی است، زیرا برای انجام شدن فرایندهای میکروسکوپی رفت و برگشت، وجود این مواد ضروری است.



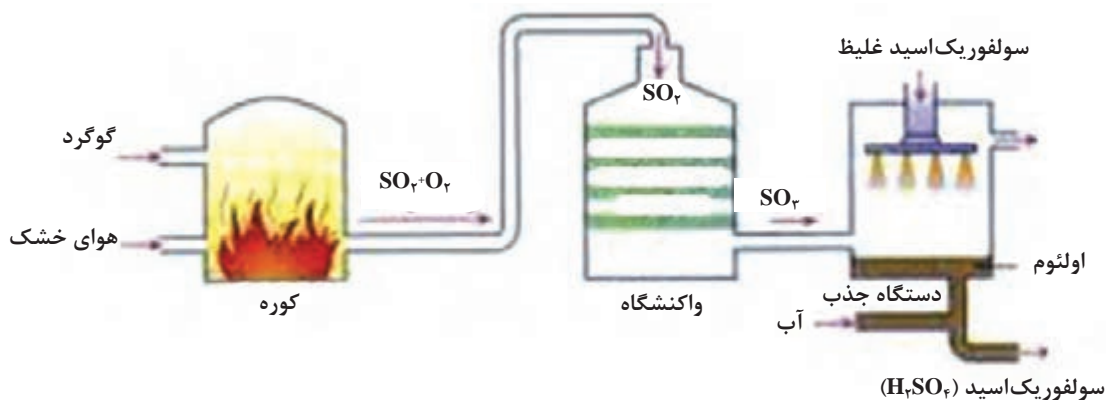


سنگ معدن گچ، مطابق معادله زیر اندکی در آب حل می‌شود و محلول سیرشده‌ای پدید می‌آید، ثابت تعادل این فرایند را بنویسید.

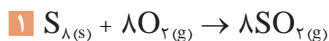


## تعادل‌های شیمیایی در صنعت

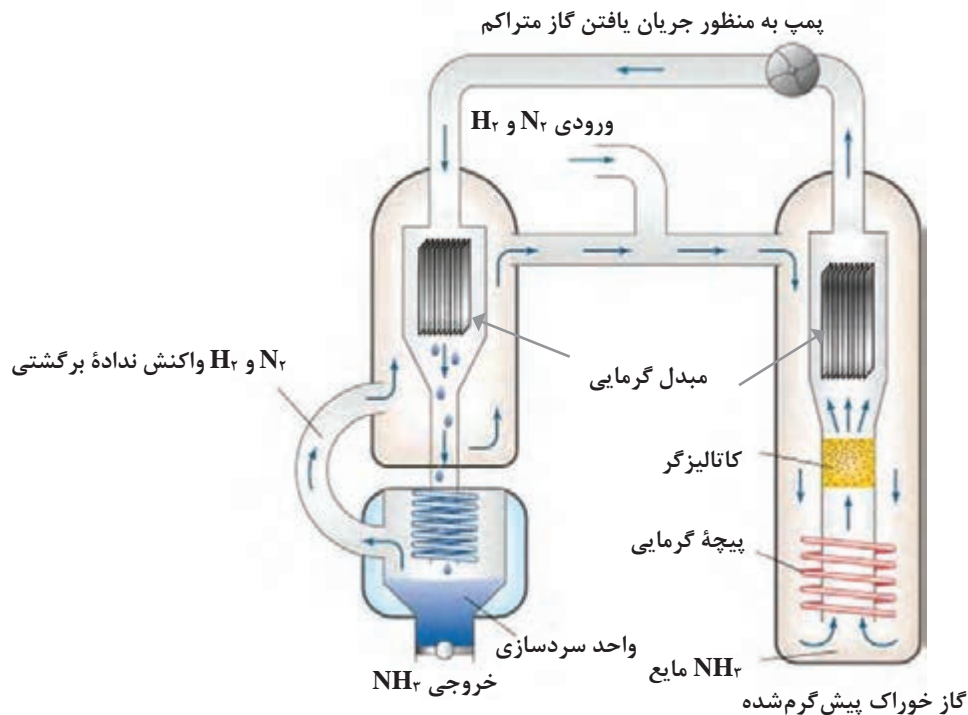
در صنعت، با استفاده از عوامل قابل کنترل واکنش‌های تعادلی، برای رسیدن به محصول مطلوب اقدام می‌شود. واکنش‌های تعادلی مربوط به تولید سولفوریک اسید و آمونیاک از جمله این موارد هستند. فرایندها و واکنش‌های تولید صنعتی سولفوریک اسید ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) در شکل ۱۷ آورده شده است:



شکل ۱۷- فرایند تولید صنعتی سولفوریک اسید



واکنش دوم، تعادلی و گرماده است. سرعت واکنش در دمای پایین ناچیز است. در صنعت، شرایط عملیاتی تولید سولفوریک اسید، شامل دمای متوسط، فشار بالا و استفاده از کاتالیزگر است. واکنش تولید صنعتی آمونیاک به روش هابر در شکل ۱۸ آورده شده است:



شکل ۱۸- فرایند تولید صنعتی آمونیاک

آمونیاک، مهم‌ترین ترکیب هیدروژن دار نیتروژن است و در طبیعت از تجزیه مواد آلی نیتروژن دار حاصل می‌شود. این ماده، گازی بی‌رنگ با مزه تند و زننده و اشک‌آور و خفه‌کننده است. گاز آمونیاک از هوا سبک‌تر است، به‌سهولت به مایع تبدیل می‌شود. آمونیاک در آب بسیار محلول است و در  $7^{\circ}C/77-$  منجمد و در  $5^{\circ}C/33$  به جوش می‌آید.

نکته



آمونیاک سامانه‌های تنفسی، پوست و چشم را تحریک می‌کند و با آسیب رساندن به ریه‌ها (در اثر مواجهه زیاد) باعث مرگ می‌شود. در صورت تماس با آمونیاک مایع، سوختگی شدید در محل تماس ایجاد می‌شود. به‌منظور کمک‌های اولیه، قسمت‌های آلوده سطح بدن را با آب و صابون بشویید و چشم‌ها را با آب فراوان شست‌وشو دهید و بی‌درنگ به پزشک مراجعه کنید.

نکته ایمنی



۱ در ارتباط با وضعیت موجود و چشم‌انداز بازار جهانی آمونیاک و سهم ایران تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.

۲ درباره کشف سولفوریک اسید تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.

۳ درباره کاربردهای سولفوریک اسید تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۷





آمونیاک مادهٔ اولیهٔ تولید نیتریک اسید و مواد منفجره است. تولید آمونیاک و مواد منفجره در دفاع از کشور لازم و ضروری است. یکی از صحنه‌های دردناک و درعین حال نمونهٔ بارز نقض حقوق بشر از سوی رژیم بعثی عراق، حمله‌های مکرر به مناطق مسکونی ایران در دوران دفاع مقدس است که «جنگ شهرها» نامیده شده است. در آن زمان، مسئولین ایران بارها هشدار دادند ولی علی‌رغم این هشدارها، مناطق مسکونی شهرهای مختلف از جمله دزفول، ایلام، اسلام‌آباد، گیلان غرب، آبادان، خرمشهر و حتی تهران بارها هدف حملهٔ موشکی قرار گرفتند و متأسفانه باعث ویرانی و آسیب دیدن منازل، بیمارستان‌ها و مدرسه‌ها و شهید و مجروح شدن صدها تن شد، که بسیاری از آنها کودک بودند.



در آن زمان به دلیل حملات شدید دشمن و بمباران‌های پی‌درپی، شهید حسن طهرانی مقدم پس از مطالعات و تحقیقات گسترده توانست نیاز کشور را برآورده کند و موشک‌هایی را طراحی و بسازد. به همین علت او را پدر موشکی ایران می‌نامند.

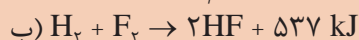
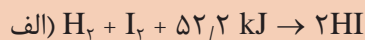


آماده‌سازی و پرتاب موشک در عملیات‌های مختلف

شهید حسن طهرانی مقدم

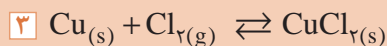
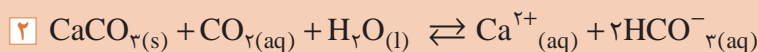
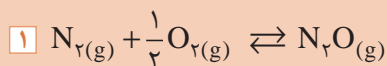


۱ نمودار تغییر انرژی برای واکنش‌های زیر را رسم کنید.



۲ از حل شدن ۵ گرم آمونیوم کلرید در آب، چه مقدار گرما در فشار ثابت نیاز است؟

۳ همگن یا ناهمگن بودن هر یک از تعادل‌های زیر را مشخص کنید و سپس ثابت تعادل هر کدام از آنها را بنویسید.



### جدول ارزشیابی پودمان تحلیل گرما و تعادل در واکنش‌ها

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، دآوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	عنوان پودمان
۳	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ گرمای واکنش در فرایند حجم ثابت و فشار ثابت را بررسی کند.</li> <li>■ آنتالپی (گرمای سوختن، گرمای حل شدن، گرمای تشکیل) را توضیح دهد.</li> <li>■ روش‌های مختلف تعیین گرمای واکنش را معرفی کند.</li> <li>■ مفهوم فرایند تعادلی و تفاوت آن با فرایند یک‌طرفه را بیان کند.</li> <li>■ مفهوم ثابت تعادل و بررسی‌های عددی را تفسیر کند.</li> </ul>	بالاتر از حد انتظار	توانایی محاسبه گرمای واکنش‌های شیمیایی و به‌کارگیری عوامل مؤثر بر واکنش‌های تعادلی	محاسبه گرمای واکنش‌ها	تحلیل گرما و تعادل در واکنش‌ها
۲	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ فرایندهای گرماده و گرماگیر را شناسایی کند.</li> <li>■ اصل لوشاتلیه را در جابه‌جایی تعادل‌ها به‌کار برد.</li> <li>■ مفهوم ثابت تعادل و بررسی‌های عددی را تفسیر کند.</li> </ul>	در حد انتظار		بررسی عوامل مؤثر بر واکنش‌های تعادلی	
۱	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ فرایندهای گرماده و گرماگیر را شناسایی کند.</li> <li>■ اصل لوشاتلیه را در جابه‌جایی تعادل‌ها به‌کار برد.</li> </ul>	پایین‌تر از حد انتظار			
				نمره مستمر از ۵	
				نمره شایستگی پودمان از ۳	
				نمره پودمان از ۲۰	



## پودمان دوم

# بررسی تعادل در محلول‌های آبی



اغلب واکنش‌های شیمیایی در محلول‌های آبی انجام می‌گیرد، بنابراین حل‌پذیری مواد مختلف پدیده بسیار مهمی است. برای مثال آبکافت یک فرایند تجزیه شیمیایی است که در آن از آب برای گسستن پیوندهای شیمیایی یک ماده استفاده می‌شود.



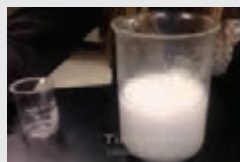
جوهر لیمو



جوش شیرین



واکنش بین جوش شیرین و جوهر لیمو



اگر گرد جوش شیرین<sup>۱</sup> و جوهر لیمو<sup>۲</sup> که هر دو جامد هستند، با هم مخلوط شوند واکنشی انجام نمی‌شود، اما اگر آنها را در آب حل کنید و سپس بر هم اثر دهید، واکنش بین آنها صورت می‌گیرد و گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود. به نظر شما علت چیست؟

بحث گروهی ۱



اگر گیاهان در خاک حاوی کود و مواد لازم گیاه قرار گیرند، ولی آب به آنها داده نشود، این کار چه نتیجه‌ای در پی خواهد داشت؟ علت چیست؟

پرسش ۱



مواد موجود در آب دریاها، رودخانه‌ها، چاه‌ها، چشمه‌ها و نیز هوایی را که تنفس می‌کنید، همه به صورت محلول‌اند. بشر در جهانی زندگی می‌کند که آب مهم‌ترین حلال است. قرآن کریم در چندجا اشاره دارد که ریشه زندگی، هم در منشأ و پیدایش و هم در صحنه هستی و ادامه حیات، همه از آب است و می‌فرماید: «وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيًّا (انبیا - ۳۰)، هر چیز زنده‌ای را از آب پدید آوردیم.»



۱- سدیم بی‌کربنات یا سدیم هیدروژن کربنات،  $\text{NaHCO}_3$

۲- سیتریک اسید  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$



شکل ۱- تهیهٔ یک محلول از اجزای آن (حلال و حل شونده)

همان‌طور که می‌دانید حل شدن ماده‌ای در مادهٔ دیگر، به‌عنوان محلول در نظر گرفته می‌شود مانند حل شدن شکر، نمک و یا سرکه در آب. محلول‌ها انواع مختلفی دارند. با حل شدن یک ماده (حل شونده<sup>۱</sup>)، در مادهٔ دیگر (حلال<sup>۲</sup>) در هر حالت فیزیکی، می‌توان یک محلول تشکیل داد (شکل ۱). به پدیدهٔ حل شدن حل شونده در حلال، انحلال یا حل پذیری<sup>۳</sup>، گفته می‌شود.

پرسش ۲



در جدول زیر انواع محلول‌ها آمده‌است. برای هر یک مثال مناسبی بیان کنید.

نوع محلول	مثال
جامد در مایع	محلول شکر در آب، نمک در آب
جامد در جامد	
جامد در گاز	
مایع در مایع	
مایع در جامد	
مایع در گاز	
گاز در جامد	
گاز در مایع	
گاز در گاز	

نوع خاصی از مخلوط دو یا چند ماده، که یک فاز یا یک مخلوط یکنواخت را تشکیل دهند و در آن مادهٔ حل‌شده به صورت ذراتی بسیار ریز به‌طور یکنواخت در حلال پراکنده شده باشد، محلول<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. برای مثال وقتی نمک یا شکر در آب حل شود، حتی به کمک میکروسکوپ هم نمی‌توان وجود ذرات نمک یا شکر را در آب تشخیص داد.

بحث‌گروهی ۲



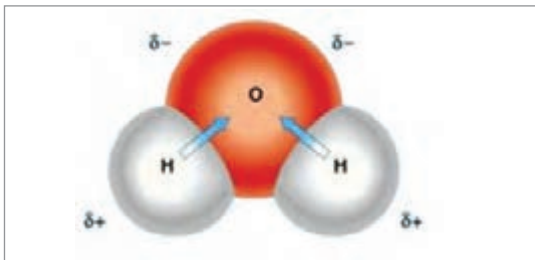
آیا حل شدن نمک طعام مانند حل شدن شکر در آب است؟

۱- Solute: ماده‌ای که معمولاً مقدار آن کمتر است.  
 ۲- Solvent: ماده‌ای که معمولاً مقدار آن بیشتر است.

## فرایند حل شدن



شکل ۲- نمونه‌ای از فرایند حل شدن



شکل ۳- مولکول قطبی آب

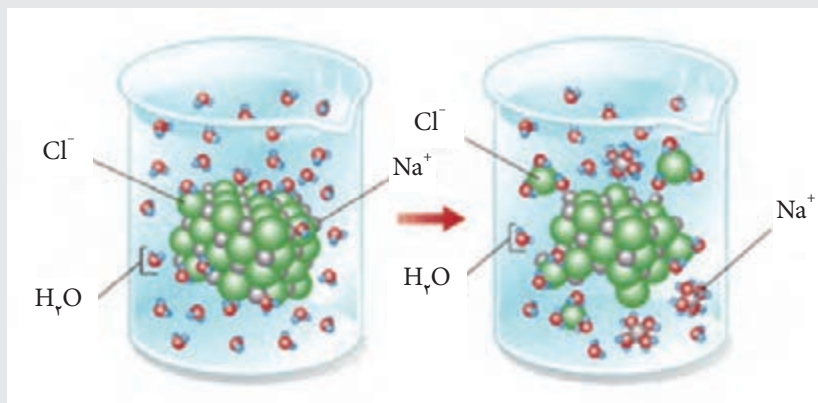
هزاران واکنشی که در محیط زیست و در موجودات زنده مختلف رخ می‌دهد، اغلب در آب صورت می‌پذیرد. (شکل ۲).

آب به چند دلیل در تهیه محلول‌ها نقش دارد: به فراوانی یافت می‌شود، همچنین به دلیل قطبی بودن (شکل ۳)، و توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آن، بسیاری از ترکیب‌های آلی و معدنی را در خود حل می‌کند، این امر انجام شدن تعداد زیادی از واکنش‌های شیمیایی را در محلول‌های آبی ممکن می‌سازد.

حل شدن ماده‌ای در ماده دیگر را می‌توان براساس نوع پیوندهای موجود در آن مواد و چگونگی برهم کنش آنها توضیح داد. برای توجیه فرایند حل شدن، حل‌پذیری ترکیب‌های یونی، کووالانسی ناقطبی، کووالانسی قطبی و ترکیب‌های با پیوند هیدروژنی بررسی می‌شود:

## ■ حل شدن ترکیب‌های یونی

با توجه به شکل، چگونگی حل شدن نمک سدیم کلرید در آب را بیان کنید.



حل شدن نمک سدیم کلرید در آب

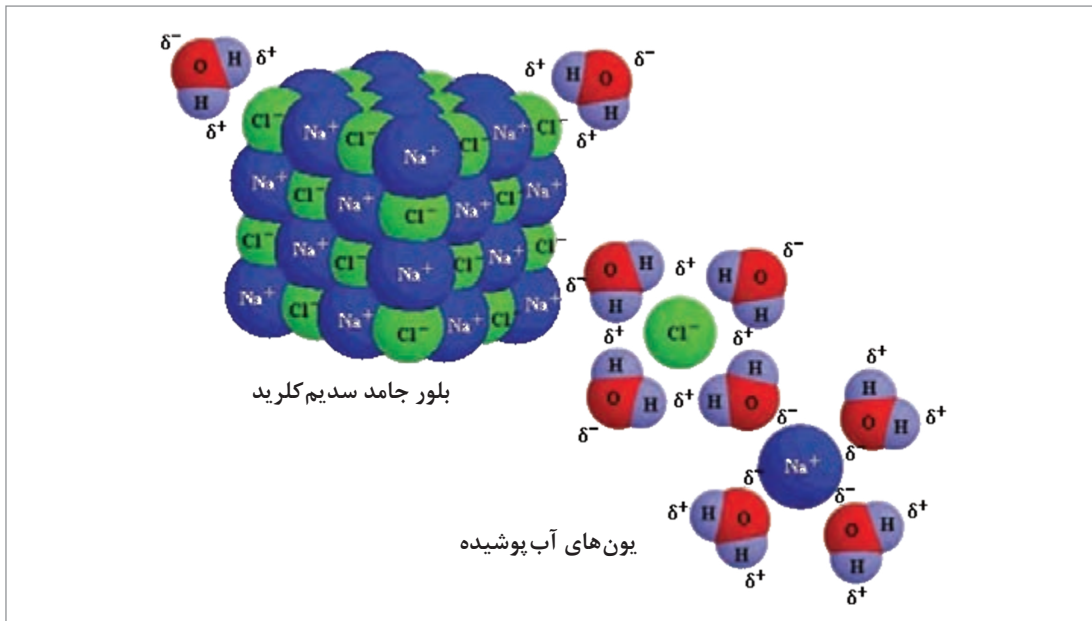
بحث‌گروهی ۳



یکی از عوامل اصلی حل‌شدن ترکیب‌های یونی در آب، نیروهای یون - دو قطبی است. عامل پایداری ترکیب‌های یونی در شبکه‌های بلوری آن، نیروهای جاذبه الکتروستاتیکی است که یون‌های با بار مخالف بر یکدیگر وارد می‌کنند.

وقتی قطعه بلوری از ترکیب یونی مانند سدیم کلرید با مولکول‌های قطبی آب تماس پیدا کند، یون‌های موجود در سطح بلور تحت تأثیر مولکول‌های قطبی آب قرار می‌گیرند و برخی از مولکول‌های آب از سر منفی خود به یون‌های  $\text{Na}^+$  و تعدادی دیگر از مولکول‌های آب از سر مثبت به یون‌های  $\text{Cl}^-$  نزدیک می‌شوند. مولکول‌های آب با یون‌های یاد شده تأثیر متقابل برقرار می‌کنند و بین آنها جاذبه شدیدی ایجاد می‌شود. این جاذبه از نظر انرژی در حدی است که بر جاذبه موجود میان یون‌های مثبت و منفی در شبکه یونی جامد غالب می‌شود. با این عمل شبکه بلوری سدیم کلرید در هم می‌ریزد و یون‌ها به صورت آب پوشیده در محلول پراکنده می‌شوند. شکل ۴ چگونگی حل‌شدن نمک سدیم کلرید را در آب نشان می‌دهد.

چنانکه در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، هر یون حل‌شده در آب، توسط تعدادی از مولکول‌های آب احاطه می‌شوند. به این عمل «آپوشی<sup>۱</sup> یون‌ها» و به هر یک از یون‌ها که توسط چند مولکول آب احاطه شود، «یون آب پوشیده<sup>۲</sup>» می‌گویند.



شکل ۴- حل‌شدن بلور سدیم کلرید در آب و ایجاد شدن یون‌های آب پوشیده

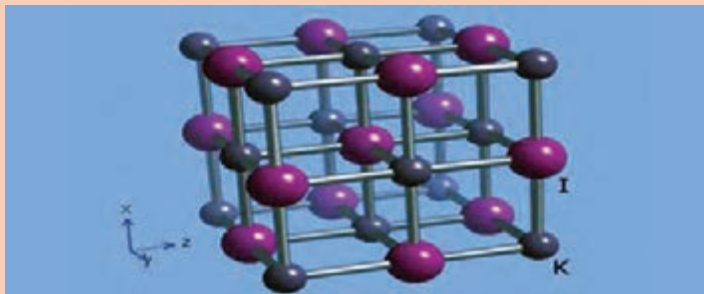
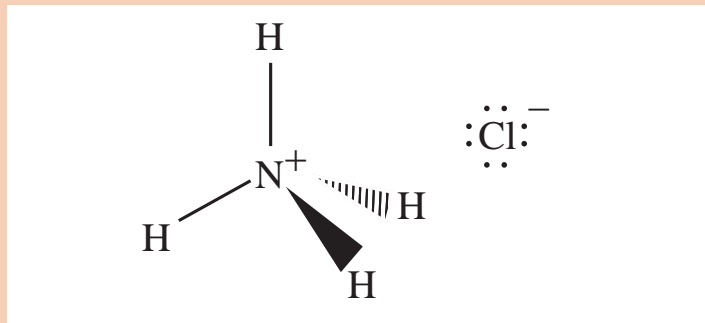
در هر یون آب پوشیده نیروهای الکتریکی قطبی - یونی بین آب و آن یون وجود دارد. این یون‌ها در محلول حرکت آزادانه و نامنظم دارند. این یون‌ها را در محلول آبی با نمادهای  $\text{Na}^+_{(aq)}$  یا  $\text{Na}^+_{(آبی)}$  و  $\text{Cl}^-_{(aq)}$  یا  $\text{Cl}^-_{(آبی)}$  نشان می‌دهند.

۱- Hydration

۲- Hydrated Ion



مولکول‌های پتاسیم‌یدید و آمونیوم کلرید در شکل نشان داده شده‌است. حل شدن آمونیوم کلرید ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) و پتاسیم‌یدید ( $\text{KI}$ ) در آب را بررسی کنید.



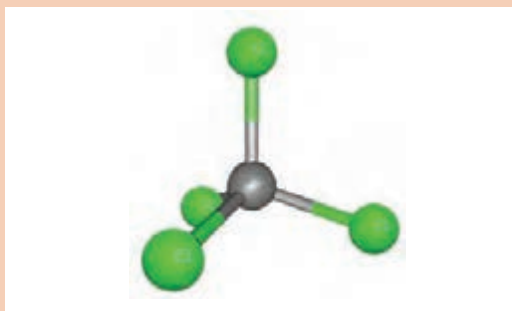
مولکول‌های پتاسیم‌یدید و آمونیوم کلرید

### ■ حل شدن ترکیبات کووالانسی ناقطبی

وقتی ماده حل‌شدنی، یک ترکیب کووالانسی باشد، در حلال به صورت ذره‌هایی به اندازه مولکولی درمی‌آید و نیروهای جاذبه بین آنها، به سبب حل شدن، ضعیف‌تر می‌شوند و ذره‌ها آزادانه در محلول حرکت می‌کنند.

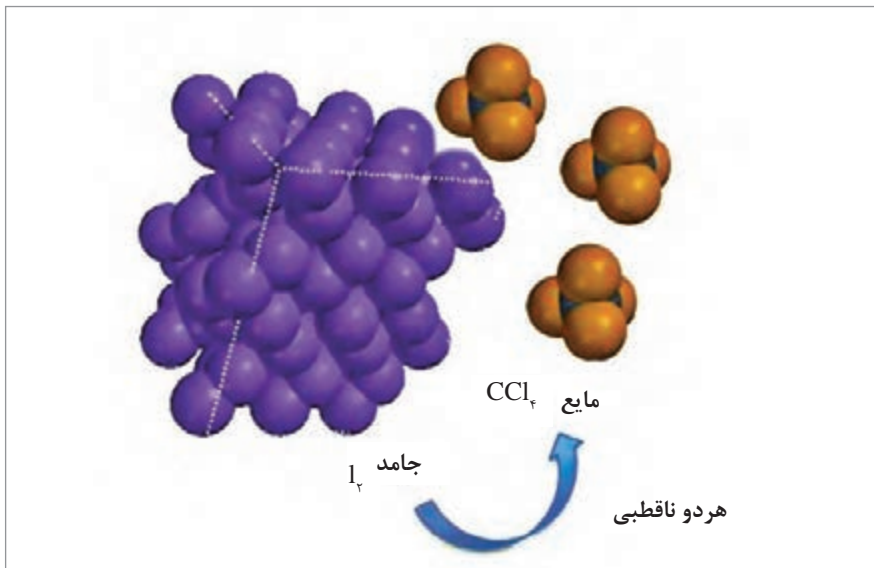


ساختار مولکول کربن تتراکلرید، ( $\text{CCl}_4$ )، در شکل نشان داده شده‌است. این ماده، حلالی ناقطبی است. چرا؟



مولکول کربن تتراکلرید

کربن تتراکلرید مایعی با مولکول‌های ناقطبی است و جاذبه میان مولکول‌های آن از نوع نیروهای لاندن است. ید نیز یک جامد مولکولی با مولکول‌های ناقطبی، و نیروهای جاذبه بین مولکول‌های آن در حالت جامد، از نوع نیروهای لاندن است (شکل ۵). از طرفی، گستره نیروهای جاذبه در مولکول‌های کربن تتراکلرید و ید در یک گستره است. این عامل همراه با افزایش بی‌نظمی<sup>۱</sup> ضمن حل شدن، باعث حل شدن ید در کربن تتراکلرید می‌شود. مولکول‌های ید در حالت آزاد، بنفش رنگ‌اند. محلول ید در کربن تتراکلرید نیز به رنگ بنفش است و از این رو می‌توان گفت که ید به صورت مولکول‌های مجزا در بین مولکول‌های کربن تتراکلرید پراکنده شده‌است.



شکل ۵- حل شدن ید در کربن تتراکلرید

مطابق شکل ید در اتانول که مایعی قطبی است، حل می‌شود و محلولی قهوه‌ای رنگ ایجاد می‌کند، همچنین در استون و کربن تتراکلرید، حل می‌شود و محلول رنگی تولید می‌کند. در مورد فرایند حل شدن ید در هر کدام تحقیقی انجام دهید و نتیجه را در کلاس گزارش کنید.



استون                      اتانول                      کربن تتراکلرید

محلول‌های حاصل از حل شدن ید در کربن تتراکلرید، اتانول و استون

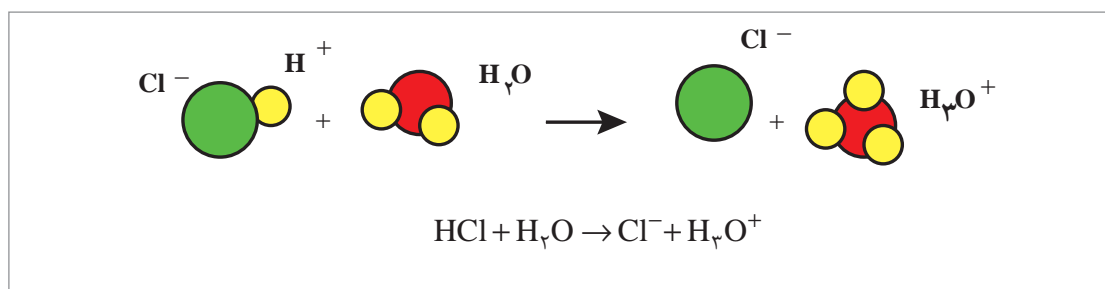
تحقیق کنید  
۱



۱- در حل پذیری مواد، «عامل بی‌نظمی» هم نقش دارد که توضیح آن خارج از بحث کتاب است.

## ■ حل شدن ترکیب‌های کووالانسی قطبی

ترکیب‌های قطبی در حلال‌های قطبی حل می‌شوند. علت این امر آن است که نیروهای جاذبه بین مولکولی در این ترکیب‌ها یکسان است. دو ترکیب قطبی قادرند یکدیگر را جذب کنند و به هم متصل شوند. سر مثبت ترکیب قطبی به سمت قطب منفی مولکول حلال، و سر منفی آن به سمت قطب مثبت حلال جذب می‌شود. به این ترتیب، بین آنها نیروهای دوقطبی - دوقطبی به وجود می‌آید که حاصل آن حل شدن ترکیب قطبی در حلال قطبی است. این عمل با آزاد شدن انرژی همراه است. افزایش بی‌نظمی نیز یک عامل مساعد قوی در پدیده حل شدن است. حل شدن هیدروژن کلرید (HCl) در آب نمونه‌ای از حل شدن ترکیب‌های کووالانسی قطبی است (شکل ۶)



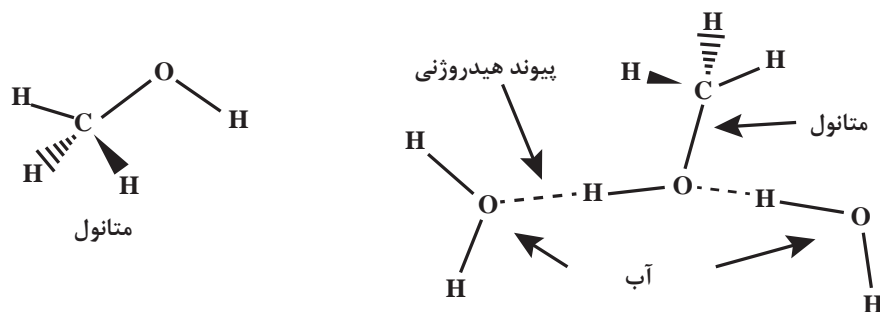
شکل ۶- حل شدن هیدروژن کلرید در آب

بحث‌گروهی ۴



آیا متانول در حلال‌های ناقطبی مانند کربن تتراکلرید، قابل حل است؟ چرا؟

حل شدن ترکیب‌هایی با پیوند هیدروژنی در آب، نمونه‌های خاصی از حل شدن ترکیب‌های کووالانسی قطبی است. متانول،  $\text{CH}_3\text{OH}$ ، مانند آب دارای مولکول‌های قطبی است. در هر دو مایع مولکول‌ها، دارای پیوندهای هیدروژنی هستند. متانول و آب را به هر نسبت می‌توان در هم حل کرد. مولکول‌های متانول و آب از طریق پیوندهای هیدروژنی به هم متصل می‌شوند (شکل ۷).

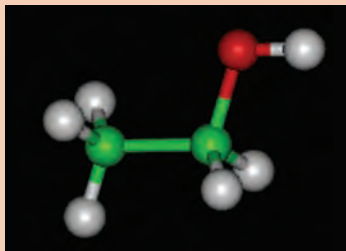


شکل ۷- حل شدن متانول در آب با تشکیل پیوند هیدروژنی

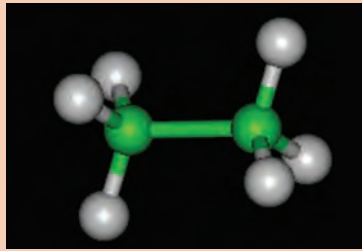




هیدروکربن اتان ( $C_2H_6$ )، در آب نامحلول است. در صورتی که اتانول  $C_2H_5 - OH$  در آب به خوبی حل می‌شود. چگونه می‌توان این اختلاف را توجیه کرد؟



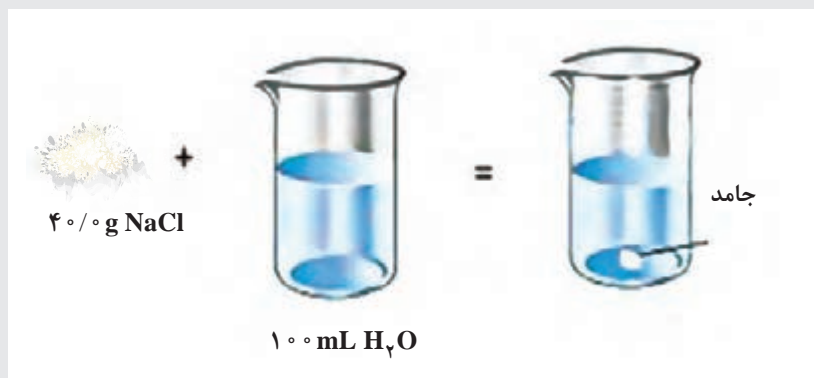
ب) مولکول اتانول



الف) مولکول اتان

## قابلیت حل‌پذیری

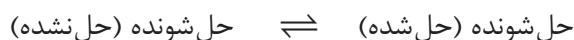
مطابق شکل اگر در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب  $25^\circ C$  بریزید و به آن ۴۰ گرم نمک سدیم کلرید اضافه کنید، پس از هم زدن مقداری از نمک به صورت جامد در محلول باقی می‌ماند. به چه دلیل تمام نمک حل نمی‌شود؟



حل شدن سدیم کلرید در آب

همان‌طور که گفته می‌شد، در اثر حل شدن یک جامد یونی، یون‌ها با جدا شدن از جامد در حلال پراکنده می‌شوند. برخی از یون‌های حل شده، در اثر برخورد تصادفی با ذرات حل نشده، دوباره بلور می‌شوند. تا زمانی که سرعت حل شدن از سرعت بلور شدن بیشتر باشد، غلظت یون‌های محلول افزایش می‌یابد.

زمانی سرعت حل شدن و بلور شدن یکسان خواهد شد که مقدار جامد حل نشده در محلول ثابت بماند. در این حالت اگر چه حل شدن و بلور شدن ادامه دارد، اما دیگر تغییری در غلظت محلول روی نمی دهد. به این ترتیب سامانه به حالت تعادل رسیده است، یعنی ماده حل شده با ماده حل نشده در تعادل است، و در این صورت به آن محلول اشباع یا سیر شده<sup>۱</sup> می گویند.



منظور از حل پذیری یک ماده، غلظت آن ماده بر حسب مول های حل شده در یک لیتر محلول (mol/L)، یا گرم های حل شده از ماده در ۱۰۰ گرم حلال، در محلول سیر شده آن است. برای مثال حل پذیری سدیم کلرید در آب، ۳۵/۹ g / ۱۰۰ mL در دمای ۲۵°C است.

پرسش ۶



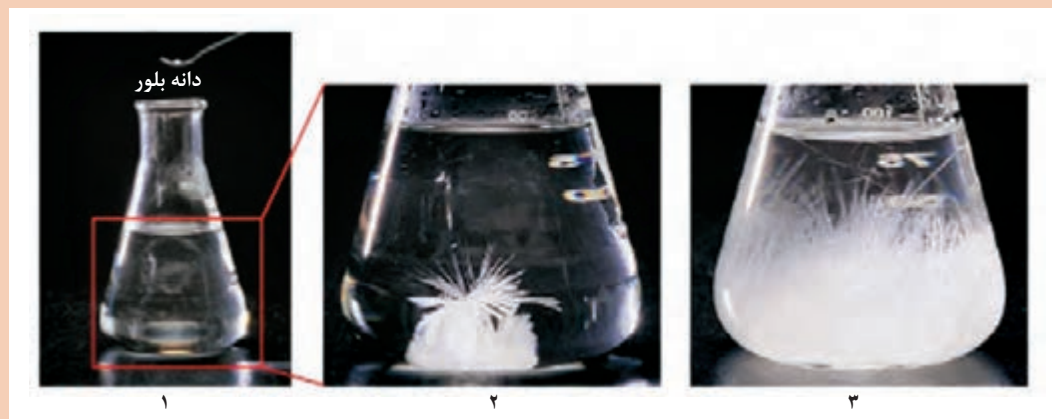
چگونه می توان یک محلول سیر شده را از محلول سیر نشده<sup>۲</sup> تشخیص داد؟ چگونه می توان در محلول سیر شده، ماده بیشتری حل کرد؟

محلول سیر شده شامل بیشترین مقدار ماده حل شده است که در حضور ماده حل نشده در دمای معینی در محلول وجود دارد. با صاف کردن محلول سیر شده و اضافه کردن ماده حل شونده بیشتر به آن، ماده حل شونده بیشتری حل نخواهد شد. به محلولی که غلظت حل شونده در آن کمتر از غلظت محلول سیر شده باشد، محلول غیر اشباع یا سیر نشده گفته می شود.

پرسش ۷



در یک بشر حاوی آب گرم، کم کم نمک سدیم استات اضافه کنید و مخلوط را هم بزنید تا ماده جامد به طور کامل حل شود. این کار را تا جایی ادامه دهید تا دیگر ماده جامد حل نشود. محلول را به آرامی سرد کنید. سپس یک دانه بلور کوچک از سدیم استات به محلول اضافه کنید. پس از مدتی مشاهده می کنید که سدیم استات عمل بلور شدن و خارج شدن از فاز محلول را شروع می کند و پس از مدتی عمل بلور شدن متوقف می شود. چگونه این پدیده را توجیه می کنید؟



حل شدن نمک سدیم استات در آب و تشکیل بلور در اثر سرد شدن محلول

۱- Saturated Solution

۲- Unsaturated Solution

در حالت‌هایی می‌توان محلولی تهیه کرد که غلظت ماده حل شونده در آن بیش از غلظت محلول سیر شده باشد. به چنین محلولی فوق اشباع یا ابرسیر شده<sup>۱</sup> گویند. محلول ابرسیر شده، در مقایسه با محلول سیر شده، ناپایدار است و با افزودن یک دانه بلور به آن، یا زدن ضربه کوچک به ظرف آن، حل شونده اضافی سریع بلور می‌شود و از محلول خارج می‌شود.

پرسش ۸



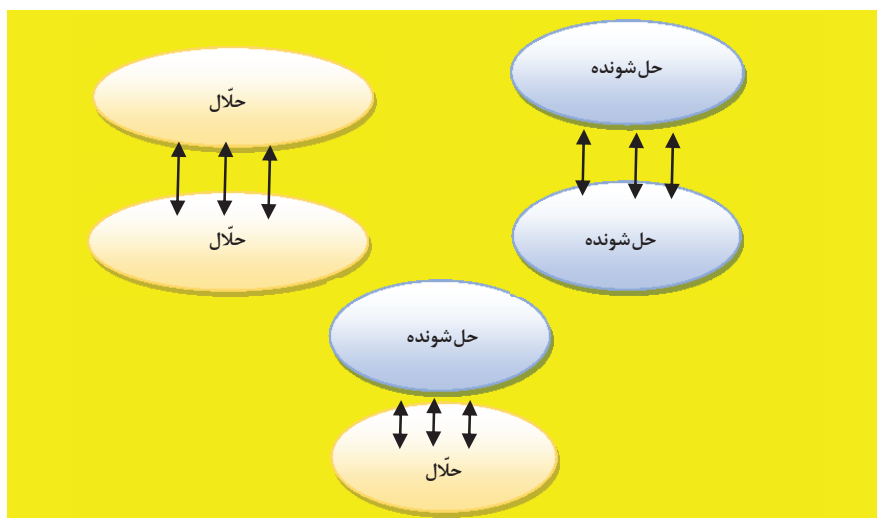
چگونه می‌توان محلول ابرسیر شده تهیه کرد؟ به چه دلیل محلول ابرسیر شده ناپایدار است؟

## عوامل مؤثر در حل پذیری

حل پذیری یک جسم در یک حلال، به ماهیت حلال و جسم حل شونده، دما، فشار، وجود یون مشترک و pH محلول بستگی دارد.

### ماهیت حلال و جسم حل شونده

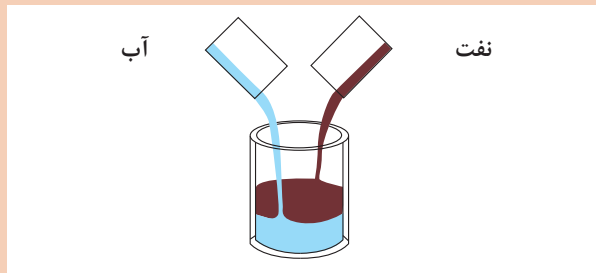
با توجه به نوع ماده حل شونده و حلال از نظر قطبی یا ناقطبی بودن، می‌توان چهار حالت را برای محلول‌های ساده در نظر گرفت: ۱- حلال قطبی - ماده حل شونده قطبی (حل شدن هیدروژن کلرید در آب)، ۲- حلال قطبی - ماده حل شونده ناقطبی (حل شدن جزئی ید در آب)، ۳- حلال ناقطبی - ماده حل شونده قطبی (حل شدن پنتانول در حلال هگزان) و ۴- حلال ناقطبی - ماده حل شونده ناقطبی (حل شدن برم در کربن تتراکلرید). با توجه به نیروهای بین ذرات ماده حل شونده و حلال می‌توان گفت زمانی فرایند حل شدن انجام می‌شود که نیروهای بین ذرات آنها مشابه باشند (شکل ۸). یعنی ترکیب‌های قطبی در حلال‌های قطبی و ترکیب‌های ناقطبی در حلال‌های ناقطبی بهتر حل می‌شوند. به عبارت دیگر «همجنس در همجنس حل می‌شود.»



شکل ۸- حل شدن با توجه به نیروهای بین مولکولی حلال و جسم حل شونده



به نظر شما چرا نفت در آب حل نمی‌شود؟



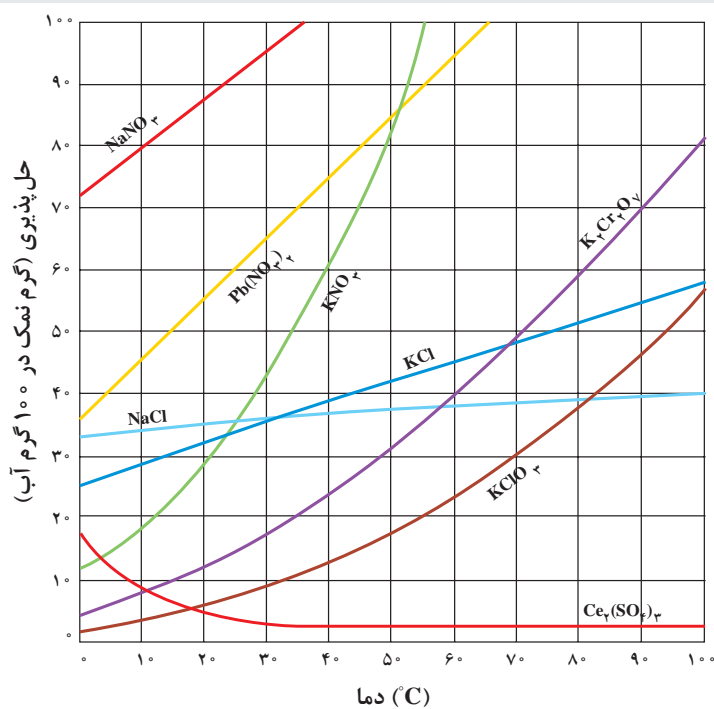
مخلوط شدن نفت و آب

### تأثیر دما در حل پذیری



با توجه به شکل به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱ آیا حل پذیری همه جامدات به دما بستگی دارد؟
- ۲ میزان وابستگی حل پذیری همه جامدات با دما یکسان است؟
- ۳ مقدار حل پذیری پتاسیم نیترات ( $KNO_3$ ) و پتاسیم کلرید ( $KCl$ ) را در دماهای  $20^\circ$  و  $50^\circ$  درجه سلسیوس مقایسه کنید.



- ۴ برای حل پذیری بیشتر نمک سریم سولفات ( $Ce_2(SO_4)_3$ ) چه پیشنهادی دارید؟
- ۵ هر گروه دانش آموزی، حل پذیری یکی از نمک‌ها، را توضیح دهد.

نمودار حل پذیری نمک‌های مختلف در آب

غلظت تعادلی یک ماده حل‌شده با افزایش یا کاهش دما تغییر می‌کند. حل‌پذیری بسیاری از جامدات با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد. در تعدادی از جامدات با افزایش دما حل‌پذیری کاهش می‌یابد و در برخی نیز ممکن است، تغییرات دما بر حل‌پذیری بی‌تأثیر باشد. حل‌پذیری در گازها، با افزایش دما کاهش می‌یابد.

پرسش ۱۰



با توجه به جدول ۱ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

جدول ۱- حل‌پذیری گازها در آب در فشار یک اتمسفر و در دماهای مختلف

حل‌پذیری (مول / لیتر)			
گاز	دما		
	۵۰°C	۲۵°C	۰°C
N <sub>۲</sub>	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۱۰۵
O <sub>۲</sub>	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۱۲۶	۰/۰۰۲۱۸
Ar	۰/۰۰۱۰۱	۰/۰۰۱۳۹	۰/۰۰۲۳۶
CO <sub>۲</sub>	۰/۰۱۹۵	۰/۰۳۳۸	۰/۰۷۶۵
Cl <sub>۲</sub>	۰/۰۵۳۶	۰/۰۸۸۸	۰/۲۰۶

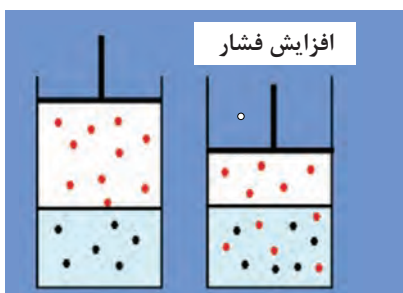
۱ افزایش دما چه تأثیری بر حل‌پذیری گازها دارد؟

۲ آیا تأثیر دما بر روند حل‌پذیری گازها در همه نمونه‌ها مشابه است؟

۳ چرا حل‌پذیری پنج گاز مندرج در جدول، از نیتروژن به کربن، در هر دمای معین، افزایش می‌یابد؟ چه نظامی در این جدول وجود دارد؟ توضیح دهید.

نیروهای بین مولکولی در گازها ضعیف‌اند. نیروهای بین مولکولی بین گازها و آب نیز ضعیف‌اند. با افزایش دما، متوسط انرژی جنبشی ذرات در محلول افزایش می‌یابد، در نتیجه ذرات گاز به آسانی بر نیروهای ضعیف بین مولکولی گاز و آب غلبه می‌کنند و از مایع خارج شده، دوباره وارد فاز گاز می‌شوند. بنابراین حل‌پذیری گازها در آب در دمای بالا کمتر خواهد بود.

### اثر فشار بر حل‌پذیری

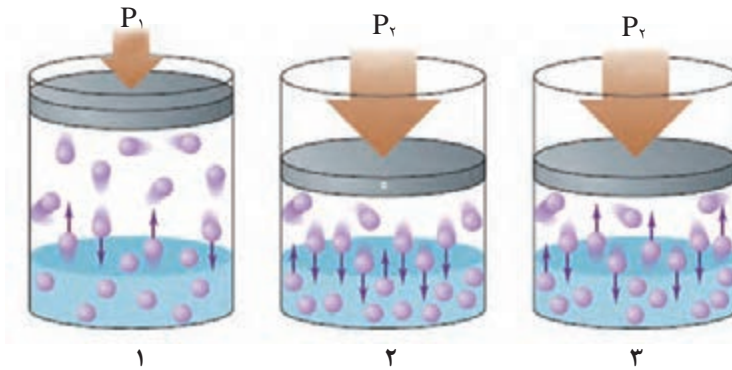


شکل ۹- اثر افزایش فشار بر حل‌پذیری گازها

از آنجا که مایعات و جامدات تراکم‌ناپذیرند، تغییر فشار بر حل‌پذیری آنها اثر ناچیزی دارد. برای مثال حل‌پذیری سدیم کلرید در آب با ازدیاد فشار از ۱ اتمسفر به ۱۰۰۰ اتمسفر، فقط با ضریب ۱/۰۲۵ زیاد می‌شود. ولی تغییر فشار بر حل‌پذیری گازها بسیار مؤثر است و با افزایش فشار، حل‌پذیری گازها در مایعات افزایش می‌یابد (قانون هنری<sup>۱</sup>) (شکل ۹).

۱- قانون هنری: مقدار گازی که در یک دمای ثابت در مقدار معینی از یک مایع حل می‌شود با فشار جزئی آن گاز در بالای محلول نسبت مستقیم دارد.

برای مثال، سامانه پیستون - سیلندر را در نظر بگیرید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- سامانه پیستون - سیلندر و اثر فشار بر حل پذیری گازها در آب

در حالت ۱، که محلول گاز در مایع را نشان می‌دهد، گاز در بالای محلول آبی سیر شده قرار دارد. در فشار معین تعداد مولکول‌های گازی که در واحد زمان وارد محلول می‌شود، با تعداد مولکول‌هایی که از آن خارج می‌شود، یکسان است، یعنی سامانه در حال تعادل است.

با حرکت پیستون به سمت پایین، حجم گاز کم می‌شود و فشار آن افزایش می‌یابد و برخورد مولکول‌های گاز با سطح مایع بیشتر می‌شود (حالت ۲). افزایش فشار گاز، تعادل را برهم می‌زند، و سامانه با حل شدن بیشتر گاز این اختلال را کم می‌کند. بنابراین تعداد مولکول‌های گاز که در واحد زمان وارد محلول می‌شوند بیشتر از تعدادی خواهد بود که محلول را ترک می‌کنند، تا دوباره تعادل جدیدی برقرار شود (حالت ۳). در تعادل جدید گاز بیشتری در محلول وجود دارد.

یک بطری نوشابه گازدار را مطابق شکل در نظر بگیرید، چرا زمانی که در آن را باز می‌کنید، نوشابه به سرعت از آن خارج می‌شود؟

پرسش ۱۱



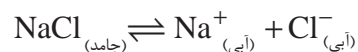
خارج شدن سریع نوشابه به همراه گاز پس از باز شدن در ظرف



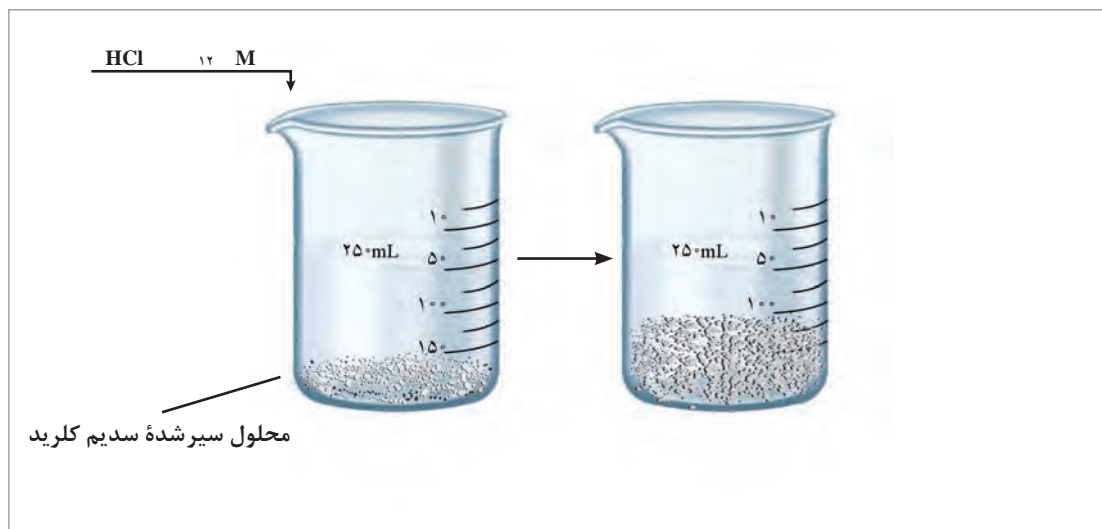
خون غواصانی که در اعماق دریا فعالیت می‌کنند در اثر فشار نسبتاً بالای آب، از هوا اشباع می‌شود. اگر این فشار، در اثر بازگشت سریع به سطح آب به سرعت کم شود، هوا از محلول خارج می‌شود و به صورت حباب‌هایی در دستگاه گردش خون به حرکت در می‌آید. این حالت موجب تکانه‌های عصبی و همچنین پیدایش اختلال در گردش خون می‌شود و ممکن است مرگ‌آور باشد. راه جلوگیری از این مشکل، استفاده از جو مصنوعی هلیوم و اکسیژن به جای هوا (اکسیژن و نیتروژن) است. حل‌پذیری گاز هلیوم در خون و در سیال‌های دیگر بدن بسیار کمتر از گاز نیتروژن است.

### اثر یون مشترک بر حل‌پذیری

در محلول سیرشده‌ای از نمک  $\text{NaCl}$  در دمای  $25^\circ\text{C}$ ، تعادل بین سدیم کلرید جامد و یون‌های سدیم و کلرید به صورت زیر برقرار است.



اگر به این محلول سیرشده، چند قطره محلول  $\text{HCl}$  غلیظ (۱۲ مولار) اضافه شود، غلظت یون  $\text{Cl}^-$  افزایش می‌یابد، و باعث برهم خوردن تعادل می‌شود. بنابر اصل لوشاتلیه، با زیاد شدن غلظت یون‌های  $\text{Cl}^-$ ، تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود. یعنی عده‌ای از یون‌های  $\text{Cl}^-$  اضافه‌شده با یون‌های  $\text{Na}^+$  در محلول، به صورت  $\text{NaCl}$  جامد رسوب می‌کند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- اثر یون مشترک بر حل‌پذیری با افزودن محلول غلیظ  $\text{HCl}$  بر محلول سیرشده سدیم کلرید

آزمایش بالا، اثر یون مشترک را بر حل‌پذیری نشان می‌دهد. «یون مشترک» یونی است که در محلول سیرشده وجود دارد و با وارد شدن ماده جدید، غلظت آن افزایش می‌یابد و تعادل را جابه‌جا می‌کند.



الف) حل پذیری NaCl در محلول NaOH یا HCl، نسبت به حل پذیری آن در آب خالص، کمتر است. چرا؟

ب) اگر به محلولی از استیک اسید ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )، سدیم استات ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) اضافه کنید، چه اتفاقی روی می دهد؟

پ) اگر محلولی از HF داشته باشیم، با افزودن NaF به محلول، چه تغییراتی به وجود خواهد آمد؟

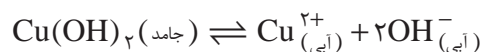
ت) حل پذیری  $\text{Ca(OH)}_2$  را در هر یک از حالت های داده شده بررسی و چرایی آنها را بیان کنید.

- حل پذیری  $\text{Ca(OH)}_2$  در محلول KOH بیشتر است یا در آب خالص؟
- حل پذیری  $\text{Ca(OH)}_2$  در محلول  $\text{CaCl}_2$  بیشتر است یا در آب خالص؟

### اثر pH بر حل پذیری

اثر pH بر حل پذیری با توجه به نوع فرایند می تواند، متفاوت باشد. برای بررسی تأثیر pH بر حل پذیری به مثال زیر توجه کنید.

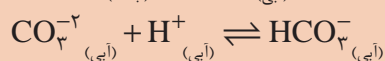
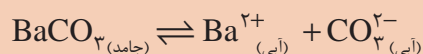
مثال ۱:  $\text{Cu(OH)}_2$  ترکیبی است که به مقدار بسیار کم در آب حل می شود. حل پذیری آن در آب حدود  $10^{-7} \text{ mol/L}$  است.



pH محلول می تواند حل پذیری  $\text{Cu(OH)}_2$  را تغییر دهد. در pH پایین تر از ۷ به دلیل اینکه غلظت یون های  $\text{H}^+$  زیاد است، این یون می تواند با یون های  $\text{OH}^-$  حاصل از تفکیک جزئی  $\text{Cu(OH)}_2$  ترکیب شود و مطابق اصل لوشاتلیه تعادل را به سمت راست جابه جا کند. در نتیجه حل پذیری  $\text{Cu(OH)}_2$  افزایش می یابد. اما در pH بالاتر از ۷ به دلیل اثر یون مشترک  $\text{OH}^-$ ، انتظار می رود که حل پذیری آن در آب کاهش یابد.



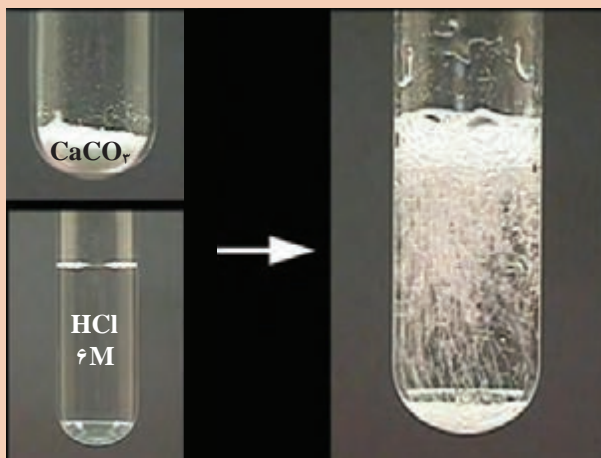
با توجه به واکنش های داده شده، بررسی کنید کاهش pH محلول چه تأثیری در حل پذیری باریم کربنات ( $\text{BaCO}_3$ ) دارد؟







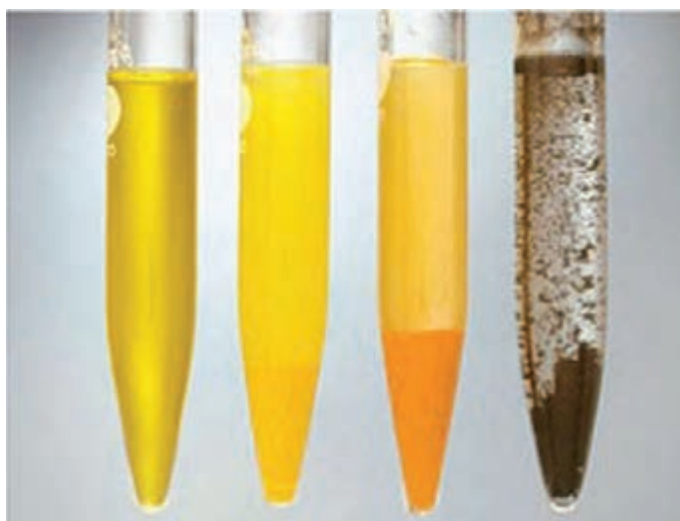
با توجه به شکل داده شده، اثر کاهش pH محلول را بر حل پذیری نمک کلسیم کربنات بررسی کنید.



اثر افزایش محلول هیدروکلریک اسید بر حل پذیری کلسیم کربنات

### ثابت حاصل ضرب حل پذیری<sup>۱</sup>

تمام نمک‌ها به طور کامل در آب محلول نیستند. بسیاری از آنها به مقدار ناچیز در آب حل می‌شوند و پس از آن شرایط تعادل شیمیایی بر سامانه‌ها حاکم می‌شود. برای نمونه، چهار نمک سولفیدی، حل پذیری‌های متفاوتی دارند (شکل ۱۲).



$(\text{NH}_4)_2\text{S}$        $\text{CdS}$        $\text{Sb}_2\text{S}_3$        $\text{pbS}$

شکل ۱۲- مقایسه حل پذیری نمک‌های سولفیدی

۱- Solubility Product Constants,  $K_{sp}$

جدول ۲- ثابت حاصل ضرب حل پذیری جامدات یونی در دمای ۲۵°C

جامد یونی	Ksp (۲۵°C)	جامد یونی	Ksp (۲۵°C)	جامد یونی	Ksp (۲۵°C)
فلوئوریدها		Hg <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> <sup>*</sup>	۲ × ۱۰ <sup>-۹</sup>	Ni(OH) <sub>2</sub>	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۱۶</sup>
BaF <sub>2</sub>	۲/۴ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	BaCrO <sub>4</sub>	۸/۵ × ۱۰ <sup>-۱۱</sup>	Zn(OH) <sub>2</sub>	۴/۵ × ۱۰ <sup>-۱۷</sup>
MgF <sub>2</sub>	۶/۴ × ۱۰ <sup>-۹</sup>	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	۹/۰ × ۱۰ <sup>-۱۲</sup>	Cu(OH) <sub>2</sub>	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۱۹</sup>
PbF <sub>2</sub>	۴ × ۱۰ <sup>-۸</sup>	PbCrO <sub>4</sub>	۲ × ۱۰ <sup>-۱۶</sup>	Hg(OH) <sub>2</sub>	۳ × ۱۰ <sup>-۲۶</sup>
SrF <sub>2</sub>	۷/۹ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>			Sn(OH) <sub>2</sub>	۳ × ۱۰ <sup>-۲۷</sup>
CaF <sub>2</sub>	۴/۰ × ۱۰ <sup>-۱۱</sup>	کربنات‌ها		Cr(OH) <sub>3</sub>	۶/۷ × ۱۰ <sup>-۳۲</sup>
		NiCO <sub>3</sub>	۱/۴ × ۱۰ <sup>-۷</sup>	Al(OH) <sub>3</sub>	۲ × ۱۰ <sup>-۳۲</sup>
کلریدها		CaCO <sub>3</sub>	۸/۷ × ۱۰ <sup>-۹</sup>	Fe(OH) <sub>3</sub>	۴ × ۱۰ <sup>-۳۸</sup>
PbCl <sub>2</sub>	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	BaCO <sub>3</sub>	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۹</sup>	Co(OH) <sub>3</sub>	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۴۳</sup>
AgCl	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>	SrCO <sub>3</sub>	۷ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>		
		CuCO <sub>3</sub>	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>	سولفیدها	
		ZnCO <sub>3</sub>	۲ × ۱۰ <sup>-۱۰</sup>	MnS	۲/۳ × ۱۰ <sup>-۱۳</sup>
برمیدها		MnCO <sub>3</sub>	۸/۸ × ۱۰ <sup>-۱۱</sup>	FeS	۳/۷ × ۱۰ <sup>-۱۹</sup>
PbBr <sub>2</sub>	۴/۶ × ۱۰ <sup>-۶</sup>	FeCO <sub>3</sub>	۲/۱ × ۱۰ <sup>-۱۱</sup>	NiS	۳ × ۱۰ <sup>-۲۱</sup>
AgBr	۵/۰ × ۱۰ <sup>-۱۳</sup>	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۸.۱ × ۱۰ <sup>-۱۲</sup>	CoS	۵ × ۱۰ <sup>-۲۲</sup>
		CdCO <sub>3</sub>	۵/۲ × ۱۰ <sup>-۱۲</sup>	ZnS	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۲۲</sup>
		PbCO <sub>3</sub>	۱/۵ × ۱۰ <sup>-۱۵</sup>	SnS	۱ × ۱۰ <sup>-۲۶</sup>
یدیدها		MgCO <sub>3</sub>	۱ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	CdS	۱/۰ × ۱۰ <sup>-۲۸</sup>
PbI <sub>2</sub>	۱/۴ × ۱۰ <sup>-۸</sup>	Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>*</sup>	۹/۰ × ۱۰ <sup>-۱۵</sup>	PbS	۷ × ۱۰ <sup>-۲۹</sup>
AgI	۱/۵ × ۱۰ <sup>-۱۶</sup>			CuS	۸/۵ × ۱۰ <sup>-۴۵</sup>
Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	۴/۵ × ۱۰ <sup>-۲۹</sup>	هیدروکسیدها		Ag <sub>2</sub> S	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۴۹</sup>
		Ba(OH) <sub>2</sub>	۵/۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	HgS	۱/۶ × ۱۰ <sup>-۵۴</sup>
سولفات‌ها		Sr(OH) <sub>2</sub>	۳/۲ × ۱۰ <sup>-۴</sup>		
CaSO <sub>4</sub>	۶/۱ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	Ca(OH) <sub>2</sub>	۱/۳ × ۱۰ <sup>-۶</sup>	فسفات‌ها	
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۱/۲ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	AgOH	۲/۰ × ۱۰ <sup>-۸</sup>	Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	۱/۸ × ۱۰ <sup>-۱۸</sup>
SrSO <sub>4</sub>	۳/۲ × ۱۰ <sup>-۷</sup>	Mg(OH) <sub>2</sub>	۸/۹ × ۱۰ <sup>-۱۲</sup>	Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	۱ × ۱۰ <sup>-۳۲</sup>
PbSO <sub>4</sub>	۱/۳ × ۱۰ <sup>-۸</sup>	Mn(OH) <sub>2</sub>	۲ × ۱۰ <sup>-۱۳</sup>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	۱/۳ × ۱۰ <sup>-۳۳</sup>
BaSO <sub>4</sub>	۱/۵ × ۱۰ <sup>-۹</sup>	Cd(OH) <sub>2</sub>	۵/۹ × ۱۰ <sup>-۱۵</sup>	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	۶ × ۱۰ <sup>-۳۹</sup>
		Pb(OH) <sub>2</sub>	۱/۲ × ۱۰ <sup>-۱۵</sup>	Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	۱ × ۱۰ <sup>-۵۴</sup>
کرومات‌ها		Fe(OH) <sub>2</sub>	۱/۸ × ۱۰ <sup>-۱۵</sup>		
SrCrO <sub>4</sub>	۳/۶ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	Co(OH) <sub>2</sub>	۲/۵ × ۱۰ <sup>-۱۶</sup>		



در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب  $20^{\circ}\text{C}$  مقدار ۴۰ گرم از هر یک از مواد جوش شیرین، شکر، نمک طعام و گچ بیفزایید و آنها را به هم بزنید. در همهٔ بشرها وضعیت یکسانی مشاهده نمی‌شود. نتایج بررسی در جدول زیر داده شده‌است:

مادهٔ حل شونده	جوش شیرین	شکر	نمک طعام	گچ
وضعیت محلول	کمی محلول	کاملاً محلول	کمی نامحلول	کاملاً نامحلول

به چه دلیل همهٔ مواد، در آب حل نشده‌اند؟ دربارهٔ علت آن بحث کنید و نتیجه را در کلاس گزارش دهید.

شیمی دانان فقط به گفتن اینکه حل‌پذیری ماده‌ای کم است، قانع نیستند، بلکه می‌خواهند بدانند چقدر آن ماده حل می‌شود. از این جهت، می‌توان به طریق کمی حل‌پذیری آن را بررسی کرد. چنان‌که می‌دانید میان غلظت‌های در حالت تعادل ارتباط کمی وجود دارد. برای مثال محلول سیرشدهٔ نقره کلرید را در نظر بگیرید:



اگر غلظت گونه‌ها (مول بر لیتر) را با علامت  $[ ]$  نشان دهیم، در معادلهٔ ثابت حاصل ضرب حل‌پذیری از آن جایی که غلظت مواد جامد و مایع خالص در دمای مشخص ثابت است، خواهیم داشت:

$$K = \frac{[\text{Ag}^{+}][\text{Cl}^{-}]}{\text{ثابت}} \quad K \times \text{ثابت} = [\text{Ag}^{+}][\text{Cl}^{-}]$$

حاصل ضرب (ثابت  $\times K$ ) نیز مقدار ثابتی است که آن را با  $K_{sp}$  نشان می‌دهند و آن را ثابت حاصل ضرب حل‌پذیری می‌نامند. بنابراین خواهیم داشت:

$$K_{sp} = [\text{Ag}^{+}][\text{Cl}^{-}]$$

مقدار  $K_{sp}$  برای نقره کلرید  $\text{AgCl}$  مانند سایر ترکیب‌های یونی عدد بسیار کوچکی است. به عبارت دیگر نقره کلرید ترکیب یونی بسیار کم محلول است.

$$K_{sp} = [\text{Ag}^{+}][\text{Cl}^{-}] = 1,6 \times 10^{-10}$$

**مثال ۲:** حل شدن کلسیم فلورید،  $\text{CaF}_2$  را در نظر بگیرید:



$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^{-}]^2 = 4,0 \times 10^{-11} \quad \text{در حالت تعادل:}$$

کوچک بودن  $K_{sp}$  نشانهٔ آن است که غلظت یون‌های در حال تعادل و در نتیجه حل‌پذیری کلسیم فلورید کم است.

پرسش ۱۵



عبارت  $K_{sp}$  را برای ترکیب‌های زیر بنویسید.  
 الف) نقره سولفید ( $Ag_2S$ ) ب) سرب (II) سولفات ( $PbSO_4$ ) پ) قلع (IV) هیدروکسید ( $Sn(OH)_4$ )

پرسش ۱۶



در جدول زیر مقدار ثابت حل‌پذیری برخی از مواد داده شده است.

نام ترکیب	فرمول شیمیایی	$K_{sp}$
نقره برمید	$AgBr$	$5.0 \times 10^{-15}$
نقره سولفید	$Ag_2S$	$6.3 \times 10^{-50}$
باریم هیدروکسید	$Ba(OH)_2$	$5.0 \times 10^{-2}$

درباره حل‌پذیری این مواد بحث کنید و آنها را به ترتیب کاهش حل‌پذیری مرتب کنید.

..... > ..... > .....

نکته



هرقدر مقدار ثابت حل‌پذیری ماده‌ای بزرگ‌تر باشد، نمک مربوط در آب محلول‌تر است.

### کاربرد ثابت حاصل ضرب حل‌پذیری ( $K_{sp}$ )

الف) تعیین غلظت یک یون با معلوم بودن غلظت یون دیگر: از معادله  $K_{sp}$  می‌توان برای محاسبه غلظت یکی از این یون‌ها با دانستن غلظت یون دیگر، استفاده کرد.

مثال ۳: یک محلول نقره‌نیتрат ۰/۱ مولار در اختیار دارید که در دمای  $25^\circ C$  نسبت به  $AgCl$ ، سیر شده است. در این محلول غلظت یون  $Cl^-$  چه مقدار است؟

حل: از معادله ثابت حل‌پذیری داریم:

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-] = 1.6 \times 10^{-10}$$

$$[Cl^-] = \frac{1.6 \times 10^{-10}}{[Ag^+]}$$

با توجه به اینکه غلظت محلول ۰/۱ مولار است، داریم:  $[Ag^+] = 0.1 M$  و از آنجا خواهیم داشت:

$$[Cl^-] = \frac{1.6 \times 10^{-10}}{0.1} = 1.6 \times 10^{-9} M$$

پرسش ۱۷



غلظت یون‌های کلرید  $\text{Cl}^-$ ، موجود در آب دریا  $0.53$  مولار است. با فرض اینکه آب دریا در  $25^\circ\text{C}$  نسبت به  $\text{AgCl}$  سیر شده باشد، آیا اقتصادی است که نقره را از آب دریا استخراج کنید؟

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.6 \times 10^{-10}$$

(ب) تعیین قابلیت حل پذیری (S)

مثال ۴: در یک لیتر آب چقدر نقره پدید ( $\text{AgI}$ )، حل می‌شود، در صورتی که ثابت حاصل ضرب حل پذیری آن برابر  $K_{sp} = 1 \times 10^{-16}$  باشد؟

پاسخ: نخست معادله حل شدن، سپس ثابت حاصل ضرب حل پذیری برای آن در آب نوشته می‌شود:



$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{I}^-] = 1 \times 10^{-16}$$

فرض کنید قابلیت حل پذیری نقره پدید در آب برابر با S مولار باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

تعداد مول‌های  $\text{AgI}$  حل شده  $[\text{Ag}^+] = [\text{I}^-] = S \text{ mol/L}$

$$K_{sp} = 1 \times 10^{-16} = (S) \times (S) = S^2$$

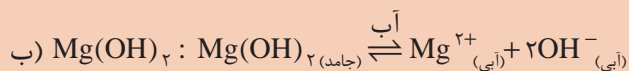
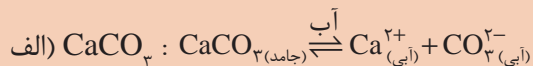
و یا

$$S^2 = 1 \times 10^{-16} \rightarrow S = \sqrt{1 \times 10^{-16}} = 1 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$$

پرسش ۱۸



برای هر یک از ترکیب‌های داده شده مقدار حل پذیری (S) را محاسبه کنید.



پرسش ۱۹



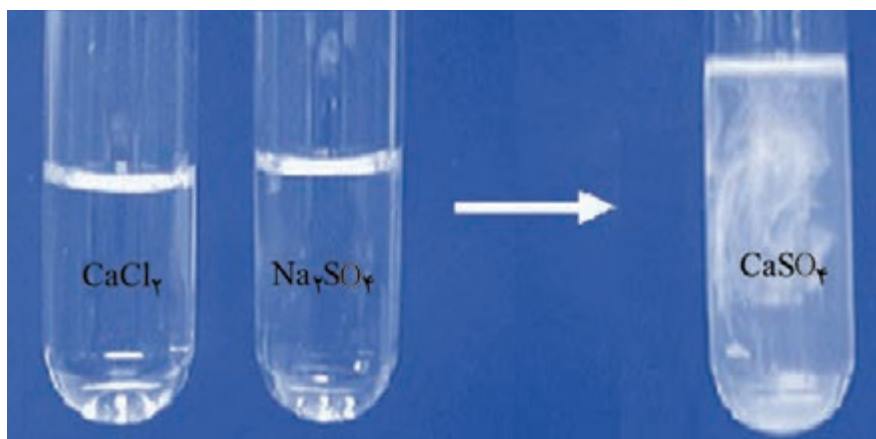
الف) با مراجعه به جدول ثابت حاصل ضرب حل پذیری برای هر یک از ترکیب‌های نقره کرومات  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  و آلومینیوم هیدروکسید  $\text{Al(OH)}_3$ :

عبارة  $K_{sp}$  را بنویسید.

حل پذیری (S) را بر حسب  $K_{sp}$  به دست آورید.

ب) حل پذیری کلسیم کربنات  $7 \times 10^{-5}$  و حل پذیری نقره کلرید برابر  $1.3 \times 10^{-5}$  مول بر لیتر است. با مقایسه حل پذیری، بررسی کنید کدام یک از نمک‌ها کم محلول تر است؟

پ) پیش‌بینی تشکیل رسوب از روی ثابت حاصل‌ضرب حل‌پذیری:  
 فرض کنید دو محلول کلسیم کلرید ( $\text{CaCl}_2$ )، و سدیم سولفات ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )، با هم مخلوط شوند. در این مخلوط هم یون‌های کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ )، وجود دارد و هم یون‌های سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). بنابراین، ممکن است کلسیم سولفات جامد رسوب کند (شکل ۱۳).  
 با در نظر گرفتن حاصل‌ضرب حل‌پذیری می‌توان پیش‌بینی کرد که چنین رسوبی تشکیل خواهد شد یا نه؟ در دمای  $25^\circ\text{C}$  حاصل‌ضرب حل‌پذیری برای کلسیم سولفات برابر با  $10^{-6} \times 6/1$  است.  
 بررسی مثال‌های زیر نشان می‌دهد که چگونه می‌توان پیش‌بینی کرد که آیا رسوب ایجاد می‌شود یا نه.

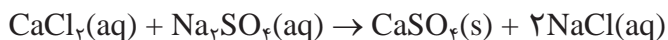


شکل ۱۳- تشکیل رسوب کلسیم سولفات در اثر واکنش کلسیم کلرید و سدیم سولفات

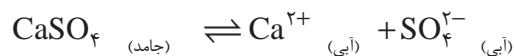
مثال ۵: ۱- در دمای  $25^\circ\text{C}$ ، دو حجم مساوی از محلول  $0.02\text{ M}$  از کلسیم کلرید و محلول  $0.0004\text{ M}$  سدیم سولفات با هم مخلوط شده‌اند.

۲- دو حجم مساوی از محلول  $0.08\text{ M}$  کلسیم کلرید و محلول  $0.02\text{ M}$  سدیم سولفات با هم مخلوط شده‌اند. در کدام مورد، رسوب تشکیل می‌شود؟

پاسخ: محلول کلسیم کلرید و سدیم سولفات مطابق واکنش زیر نمک کم محلول  $\text{CaSO}_4$  را تولید می‌کند:



واکنش تعادلی حل‌پذیری کلسیم سولفات و معادله  $K_{\text{sp}}$  مربوط به آن نوشته می‌شود:



$$K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

سپس غلظت هر یون از تقسیم غلظت اولیه بر حجم کل محلول محاسبه می‌شود:

$$[Ca^{2+}] = \frac{0.02M}{2} = 0.01M = 1 \times 10^{-2} M$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{0.0004M}{2} = 0.0002M = 2 \times 10^{-4} M$$

حاصل ضرب غلظت یون‌ها محاسبه می‌شود:

$$[Ca^{2+}][SO_4^{2-}] = (1 \times 10^{-2})(2 \times 10^{-4}) = 2 \times 10^{-6}$$

به دلیل آنکه حاصل ضرب به دست آمده یعنی  $2 \times 10^{-6}$ ، از مقدار  $K_{sp}CaSO_4 = 6/1 \times 10^{-5}$  کوچک‌تر است، بنابراین می‌توان گفت در حالت (۱) رسوب تشکیل نخواهد شد.

در حالت (۲) نیز مانند حالت (۱) غلظت یون‌ها را به دست می‌آوریم و سپس حاصل ضرب غلظت یون‌ها محاسبه می‌شود:

$$[Ca^{2+}][SO_4^{2-}] = (4 \times 10^{-2})(1 \times 10^{-2}) = 4 \times 10^{-4}$$

حاصل ضرب غلظت یون‌ها  $(4 \times 10^{-4})$ ، از  $K_{sp} = 6/1 \times 10^{-5}$  بزرگ‌تر است. بنابراین در این حالت رسوب تولید می‌شود. رسوب کردن کلسیم سولفات،  $(CaSO_4)$ ، آن قدر ادامه می‌یابد تا اینکه غلظت‌های  $[Ca^{2+}]$  و  $[SO_4^{2-}]$  کم شود و به حدی برسد که حاصل ضرب غلظت آنها مساوی  $K_{sp}$  شود، در این صورت تعادل به وجود می‌آید.

پرسش ۲۰



$K_{sp}$  برای کلسیم کربنات در دمای  $25^\circ C$  برابر  $8/7 \times 10^{-9}$  است.

الف) اگر به محلولی که دارای یون‌های  $Ca^{2+}$  با غلظت  $1 \times 10^{-4} M$  است، یون‌های  $CO_3^{2-}$  را طوری اضافه کنید که غلظت آنها برابر  $1 \times 10^{-5}$  شود، آیا رسوبی تشکیل می‌شود؟  
 ب) به همین محلول، اگر محلول سدیم کربنات اضافه کنید به طوری که غلظت  $O_3^{2-}$ ،  $1 \times 10^{-4} M$  شود، در این حالت آیا رسوبی تشکیل می‌شود؟

نکته



معمولاً موادی که حل‌پذیری آنها از  $0.01$  مول برلیتر کمتر باشد، نامحلول می‌نامند، حل‌پذیری مواد محلول از  $0.1$  مول برلیتر بیشتر است. حل‌پذیری مواد کم‌محلول بین این دو حد است.

مواد نامحلول	→	$0.01$ مول برلیتر < حل‌پذیری مواد
مواد محلول	→	$0.1$ مول برلیتر > حل‌پذیری مواد
مواد کم‌محلول	→	$0.01$ مول برلیتر > حل‌پذیری مواد > $0.1$ مول برلیتر



۱ تعادل در محلول آبی زیر را در نظر بگیرید:



حل کردن مقدار کمی KCl جامد در محلول، چه اثری بر غلظت تعادلی یون  $\text{Ag}^+$  دارد؟

بر غلظت یون  $\text{Cl}^-$  چطور؟ بر مقدار رسوب AgCl چه اثری دارد؟

۲ غلظت‌های  $\text{Ba}^{2+}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  در یک محلول در حال تعادل با  $\text{BaSO}_4$  در ۲۵ درجه سلسیوس به ترتیب

برابر با  $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$  و  $1.0 \times 10^{-6} \text{ M}$  است.  $K_{sp}$  را برای  $\text{BaSO}_4$  محاسبه کنید.

۳ کدام گزینه عبارت  $K_{sp}$  را برای  $\text{Cu}(\text{OH})_2(s)$  بیان می‌کند؟

الف)  $[\text{Cu}^{2+}] \times [\text{OH}^-]$       ب)  $[\text{Cu}^{2+}] \times [\text{OH}^-]^2$

پ)  $[\text{Cu}^{2+}]^2 \times [\text{OH}^-]$       ت)  $\frac{[\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2}{\text{Cu}(\text{OH})_2}$

۴ اگر در دمای آزمایش، ثابت حاصل ضرب حل‌پذیری کلسیم سولفات  $K_{sp} = 2.4 \times 10^{-4}$  باشد، حل‌پذیری

آن را تعیین کنید و توضیح دهید که این ماده جزو کدام یک از مواد (محلول، نامحلول و کم‌محلول) است؟

۵ محلول سیرشده‌ای از  $\text{CaSO}_4$  در اختیار دارید. دو واکنشگر نام ببرید که تحت تأثیر یون مشترک،

مقداری از محلول  $\text{CaSO}_4$  را رسوب دهند.

۶ هرگاه در محلولی با دمای  $25^\circ\text{C}$  غلظت  $\text{Ca}^{2+}$  برابر  $2 \times 10^{-3} \text{ M}$  و غلظت  $\text{SO}_4^{2-}$  برابر  $1 \times 10^{-2} \text{ M}$

باشد، آیا رسوب کلسیم سولفات تشکیل خواهد شد؟

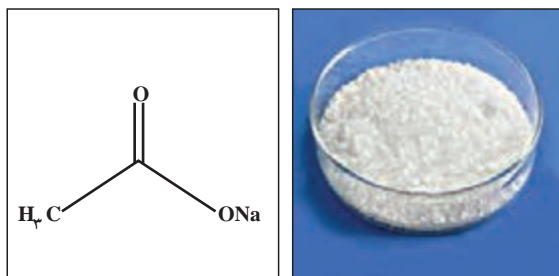
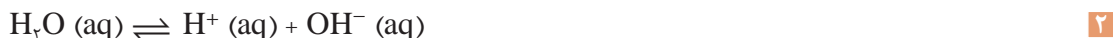
## آبکافت (هیدرولیز)



دو لوله آزمایش انتخاب کنید، در یکی محلول نمک سدیم استات ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) و در دیگری محلول آلومینیم کلرید ( $\text{AlCl}_3$ ) بریزید. سپس با اضافه کردن چند قطره شناساگر تورنسل به لوله‌ها، مشاهده می‌کنید که در لوله اول رنگ آبی و در لوله دوم رنگ قرمز ظاهر می‌شود. در صورتی که در فرمول شیمیایی هیچ‌یک از دو ماده، عامل اسیدی  $\text{H}^+$  و عامل بازی  $\text{OH}^-$  وجود ندارد و هر دو ماده، نمک هستند. چگونه تغییر رنگ ایجاد شده را می‌توان توجیه کرد؟ درباره پاسخ‌های ممکن بحث کنید.



آبکافت یک فرایند تجزیه شیمیایی است که در آن از آب برای گسستن پیوندهای شیمیایی یک ماده استفاده می‌شود. حل شدن نمک سدیم‌استات در آب به صورت زیر در نظر بگیرید:



شکل ۱۴- نمک سدیم‌استات (تصویر راست)، ساختار مولکولی سدیم‌استات (تصویر چپ)

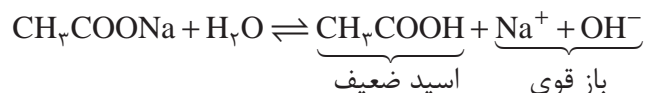
عمل متقابل یون‌های حاصل از واکنش‌های ۱ و ۲ به شرح زیر است:

**الف) برخورد میان یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{OH}^-$ :** واکنش بین این دو یون پیشرفت نمی‌کند، زیرا  $\text{NaOH}$  یک باز قوی است و به طور کامل به یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{OH}^-$  تبدیل می‌شود. (واکنش شماره ۴).

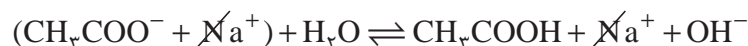
**ب) برخورد میان یون‌های  $\text{H}^+$  و  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ :** از برخورد این یون‌ها مطابق واکنش ۳ مولکول‌های استیک‌اسید ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) حاصل می‌شود که اسید ضعیفی است و به مقدار کم تفکیک می‌شود.

نظر به اینکه یون  $\text{H}^+$  در واکنش ۳ مصرف می‌شود، واکنش تعادلی ۲ نیز به سمت راست پیشرفت می‌کند و در نتیجه تعداد بیشتری از مولکول‌های آب تفکیک می‌شوند و غلظت یون  $\text{OH}^-$  افزایش می‌یابد در این صورت محلول، خاصیت بازی پیدا می‌کند.

از جمع واکنش‌ها، واکنش کلی زیر حاصل می‌شود.



واکنش کلی به صورت یونی، چنین خواهد بود:



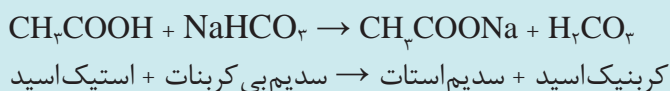
محلول سدیم‌استات در حضور شناساگر فنول‌فتالین چه رنگی ایجاد می‌کند؟

پرسش ۲۱

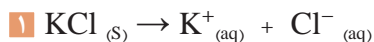




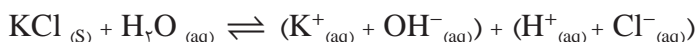
نمک سدیم استات بی‌رنگ است و کاربرد وسیعی دارد. از جمله می‌توان به استفاده از آن در صنعت نساجی برای خنثی‌سازی ضایعات سولفوریک اسید اشاره کرد. در تولید لاستیک مصنوعی برای جلوگیری از گرمای زیاد، از سدیم استات استفاده می‌شود. در تولید لباس‌های پنبه‌ای (کتان) برای جلوگیری از تجمع الکتریسیته ساکن، سدیم / استات به کار می‌رود. این نمک در عکاسی و صنایع رنگ کاربرد دارد. همچنین این نمک به دلیل کارایی بهتر و ارزان‌تر بودن برای جلوگیری از صدمه خوردن در برابر آب، در پوشش و درزگیری بتن استفاده می‌شود. سدیم استات در خوراکی‌ها برای طعم‌دهی به کار می‌رود. مشهورترین استفاده آن در مزه چپیس سرکه نمکی است. این نمک از واکنش سدیم بی‌کربنات در سرکه به صورت محلول سدیم استات در آب به دست می‌آید. به بیان دیگر، جوش شیرین با سرکه واکنش می‌دهد و به محلول سدیم استات در آب تبدیل می‌شود که با آزادسازی کربنیک اسید، به صورت گاز کربن دی‌اکسید و آب همراه می‌شود:



**مثال ۶:** آبکافت پتاسیم کلرید در آب به صورت زیر است:



پتاسیم کلرید، که یک ترکیب یونی است، در آب به طور کامل تفکیک می‌شود و یون‌های مثبت و منفی تولید می‌کند. از یون‌های حاصل از واکنش‌های ۱ و ۲، واکنش‌های ۳ و ۴ می‌تواند انجام شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در واکنش ۳ پتاسیم هیدروکسید تشکیل می‌شود که یک ترکیب محلول در آب است و واکنش تعادلی آن بیشتر به سمت چپ پیش می‌رود. همچنین در واکنش ۴ هیدروکلریک اسید تولید، و به خوبی تفکیک می‌شود و به حالت یونی در محلول تبدیل می‌شود. از جمع واکنش‌های انجام شده می‌توان واکنش کلی زیر را نوشت:



در نتیجه می‌توان گفت محلول حاصل، یک محلول خنثی است.

چگونه می‌توان با استفاده از آبکافت نمک‌های  $\text{NaCl}$  و  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ، گستره pH محلول آنها را تعیین کرد؟



نمک از یون‌های مثبت یک باز و یون‌های منفی یک اسید تشکیل شده‌است. هنگامی که یک نمک در آب حل می‌شود، یون‌هایی آزاد می‌کند که تعداد بار مثبت و منفی آنها مساوی است. نمک‌ها در آب با واکنش خود، محلول‌های خنثی، اسیدی یا بازی پدید می‌آورند. ترکیب شدن یک نمک با آب و تولید اسید و باز را **آبکافت یا هیدرولیز** گویند.

بررسی کنید محلول حاصل از آبکافت نمک‌های  $KNO_3$  و  $K_2SO_4$  اسیدی، بازی یا خنثی است؟

پرسش ۲۳



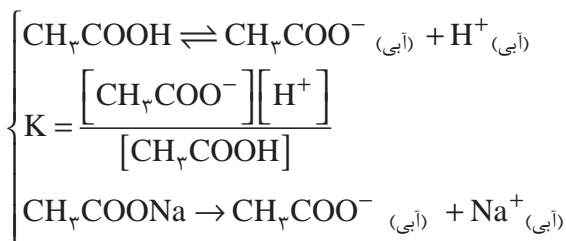
## محلول‌های تامپون<sup>۱</sup> (بافر)

اگر مقدار کمی آب‌لیمو یا سرکه، که اسیدهای خوراکی‌اند، میل کنید، چه احساسی خواهید داشت؟ اگر به‌طور اشتباهی یک لیوان از آب‌لیمو یا سرکه میل کنید، حال شما چطور خواهد بود؟ چرا؟

بحث‌گروهی ۹



هرگاه به محلولی از یک اسید ضعیف مانند استیک‌اسید، محلول نمکی از این اسید مانند سدیم‌استات اضافه نمایید، پدیدهٔ اثر یون مشترک را خواهید داشت:



یک الکترولیت قوی مانند سدیم‌استات به‌طور کامل تفکیک می‌شود و یون استات،  $CH_3COO^-$ ، به مقدار زیاد وارد محلول استیک‌اسید می‌شود. طبق اصل لوشاتلیه مقداری از یون‌های استات، با یون‌های  $H^+$  ترکیب می‌شوند و مولکول‌های استیک‌اسید را تولید می‌کنند، در نتیجه غلظت یون  $H^+$  محلول کاهش می‌یابد. چنین محلولی را که شامل یک **اسید ضعیف و نمک آن اسید** است، محلول تامپون می‌گویند. pH محلول‌های تامپون در مقابل اضافه کردن اندکی اسید یا باز مقاومت می‌کند و در آن تغییر چندانی ایجاد نمی‌شود.



در یک بشر کوچک، ۲۵ میلی لیتر محلول استیک اسید و ۲۵ میلی لیتر محلول سدیم استات (غلظت هر دو محلول ۰/۱ مولار) بریزید. در بشر دیگر، ۵۰ میلی لیتر آب مقطر بریزید و pH هر دو را به کمک کاغذ pH، یا با استفاده از دستگاه pH متر اندازه گیری کنید. pH محلول ها چه حدودی خواهد بود؟ اگر چند قطره از یک محلول اسید قوی مانند HCl در هر یک از دو بشر اضافه کنید، تغییرات pH آنها چگونه خواهد بود؟ پیش بینی شما از تغییرات ایجاد شده چیست؟ اگر مقدار بیشتری از محلول هیدروکلریک اسید (HCl) اضافه کنید، چه تغییری در pH محلول ها مشاهده خواهید کرد؟

به طور کلی محلولی که از مخلوط شدن یک اسید ضعیف و نمک آن و یا از یک باز ضعیف و نمک آن تهیه شده باشد، محلول تامپون نامیده می شود. محلول های تامپون محلول هایی هستند که pH آنها در برابر افزایش مقدار کمی اسید یا باز، تغییر محسوسی نمی کند و به همین ترتیب اگر آنها رقیق شوند، در برابر تغییرات pH مقاومت می کنند.

بافرها در مقابل تغییر pH ظرفیت معینی دارند و بیشتر از آن، یارای مقاومت در مقابل تغییر pH را ندارند.



pH یک محلول بافر که از اسید ضعیف (HA) و نمک سدیم آن (NaA)، تهیه می شود، به شرح زیر به دست می آید:



$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \Rightarrow [H^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$-\log [H^+] = -(\log K_a + \log \frac{[HA]}{[A^-]})$$

$$pH = pK_a - \log \frac{[HA]}{[A^-]} \quad \text{یا} \quad pH_s = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

نظر به اینکه نمک NaA یک الکترولیت قوی، و اسید HA هم اسید ضعیفی است، می توان با تقریب قبول کرد که تمام آنیون های  $A^-$ ، در تعادل بالا مربوط به نمک است و با توجه به این موضوع می توان نوشت:

$$\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{[\text{نمک}]}{[\text{اسید}]} \Rightarrow pH = pK_a + \log \frac{[\text{نمک}]}{[\text{اسید}]}$$



یکی از کاربردهای محلول‌های تامپون، استفاده از آنها در تنظیم دقیق دستگاه pH متر است.



محلول‌های تامپون با pH مختلف و دستگاه pH متر

مثال ۷: سه محلول شامل استیک اسید ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ) با غلظت  $0.1 M$  و سدیم استات با غلظت‌های، الف)  $0.1 M$  ب)  $0.2 M$  پ)  $0.5 M$  موجود است. pH هر یک از این محلول‌ها را به دست آورید.

حل:

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{نمک}]}{[\text{اسید}]}$$

$$pK_a = -\log K_a = -\log (1.8 \times 10^{-5}) = 4.75$$

$$pH = 4.75 + \log \frac{0.1}{0.1} = 4.75 \quad \text{در محلول (الف)}$$

$$pH = 4.75 + \log \frac{0.2}{0.1} = 4.75 + 0.3 = 5.05 \quad \text{در محلول (ب)}$$

$$pH = 4.75 + \log \frac{0.5}{0.1} = 4.75 + 0.7 = 5.45 \quad \text{در محلول (پ)}$$

محلول‌های تامپون معروف عبارت‌اند از:

HF و NaF

$H_2S$  و NaHS یا  $Na_2S$

$NH_3$  و  $NH_4Cl$

$CH_3COOH$  و  $CH_3COONa$

$H_2CO_3$  و  $KHCO_3$  یا  $K_2CO_3$

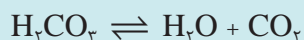


درباره اهمیت و کاربرد محلول‌های تامپون تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

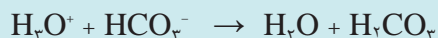
حدود تغییرات pH بدن با حیات انسان سازگاری دارد، به طوری که در حال استراحت pH بین ۷ تا ۷٫۷ است. تمرین بدنی سبب تغییر pH عضله در جهت اسیدی خواهد شد، که ممکن است هنگام ورزش‌های خیلی سنگین به ۶٫۴ تا ۶٫۶ کاهش یابد. این وضعیت جنبه موقتی و گذرا دارد، زیرا قدرت تامپونی بدن، شامل دستگاه‌های کلیه و تنفس، هرچه سریع به کار می‌افتند و pH را به حال طبیعی باز می‌گردانند.

pH معمولی خون انسان حدود ۷٫۴ است که توسط تامپون یون هیدروژن کربنات  $(\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3)\text{HCO}_3^-$  تأمین می‌شود. اگر ۰٫۱ مول از یک اسید و یا باز قوی، به یک لیتر خون اضافه شود، در pH آن تغییری ناچیز در حد ۰٫۱ به وجود می‌آید. اما اگر ۰٫۱ مول HCl را به یک لیتر آب اضافه کنیم، pH آب از ۷ به ۲ می‌رسد. و چنانچه ۰٫۱ مول NaOH به یک لیتر آب اضافه شود، pH آب از ۷ به ۱۲ افزایش می‌یابد.

زمانی که ورزشکاران در لحظات اضطراب ناشی از مسابقه و رقابت، سریع تر و عمیق تر نفس می‌کشند، تهویه بیش از اندازه، میزان  $\text{CO}_2$  موجود در خون را کاهش می‌دهد، در نتیجه مقدار بیشتری  $\text{H}_2\text{CO}_3$  طبق واکنش زیر تجزیه می‌شود تا طبق اصل لوشاتلیه این کاهش جبران شود.



اما در نتیجه این عمل، تعادل میان  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{H}_2\text{CO}_3$  به هم می‌خورد. برای جبران  $\text{H}_2\text{CO}_3$  مصرفی تعادل زیر صورت می‌گیرد:



ممکن است  $\text{HCO}_3^-$  به حدی کم شود که برای جبران آن pH خون افزایش یابد. در این شرایط رگ‌های خون در مغز منقبض می‌شوند و خون کمی به مغز می‌رسد. در نتیجه ورزشکار دچار سرگیجه و گاه بیهوشی می‌شود. در این وضعیت، تنفس عادی می‌شود و pH به مقدار طبیعی بازمی‌گردد.

علاوه بر سامانه تامپونی بی‌کربنات (مانند سدیم بی‌کربنات  $\text{NaHCO}_3$ ) سامانه‌های تامپونی دیگری مانند فسفات و پروتئین نیز وجود دارد که هر یک به طریقی انجام وظیفه می‌کنند. تامپون‌های فسفات، مانند دی‌سدیم هیدروژن فسفات ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) در کلیه متمرکزند، در حالی که تامپون‌های پروتئین (مانند هموگلوبین) در یاخته‌ها و پلاسما متمرکز دارند. از آنجا که عمل تامپونی بیشتر در داخل یاخته صورت می‌گیرد، اهمیت تامپون‌های پروتئینی بیشتر می‌شود.



۱ واکنش یونی آبکافت پتاسیم سولفید ( $K_2S$ ) را در آب بنویسید و علت بازی بودن محلول آن را توضیح

دهید.

۲ واکنش آبکافت آمونیوم استات ( $CH_3COONH_4$ ) را در آب، بنویسید. با توجه به اینکه برای استیک اسید

$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  و برای آمونیاک  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$  است، توضیح دهید که محلول حاصل اسیدی یا بازی است؟

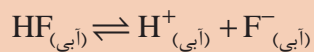
۳ واکنش آبکافت آمونیوم فلوئورید را در آب بنویسید. با توجه به اینکه برای هیدروفلوئوریک اسید

$K_a = 6.8 \times 10^{-4}$  و برای آمونیاک  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$  است، توضیح دهید که محلول حاصل اسیدی است یا

قلیایی؟

۴ هیدروژن فلوئورید در آب حل می‌شود و اسید ضعیفی پدید می‌آورد. هرگاه واکنش تفکیک آن

به صورت زیر نوشته شود:



توضیح دهید که چگونه هر یک از تغییرات زیر بر غلظت یون  $H^+$  اثر می‌گذارد؟

الف) با گرم کردن محلول، مقداری از HF به صورت گاز خارج شود.

ب) مقداری NaF به محلول اضافه شود.

### جدول ارزشیابی پودمان بررسی تعادل در محلول‌های آبی

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	عنوان پودمان
۳	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ فرایند حل شدن را توضیح دهد.</li> <li>■ عوامل مؤثر در قابلیت حل شدن را بررسی کند.</li> <li>■ مفهوم آبکافت را توضیح دهد.</li> <li>■ مفهوم تامپون و کاربرد آن را توضیح دهد.</li> <li>■ ثابت حاصل ضرب حل پذیری را توضیح دهد.</li> <li>■ مفهوم ترکیبات کم‌محلول، محلول و نامحلول را توضیح دهد.</li> </ul>	بالاتر از حد انتظار	توانایی به‌کارگیری آبکافت، محلول‌های تامپون و حاصل ضرب حل پذیری در پیش‌بینی تشکیل رسوب	کاربرد حاصل ضرب حل پذیری در پیش‌بینی تشکیل رسوب، کاربرد آبکافت، محلول‌های تامپون	تعادل در محلول‌های آبی
۲	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ فرایند حل شدن را توضیح دهد.</li> <li>■ عوامل مؤثر در قابلیت حل شدن را بررسی کند.</li> <li>■ مفهوم تامپون و کاربردهای آن را توضیح دهد.</li> <li>■ مفهوم ترکیبات کم‌محلول، محلول و نامحلول را توضیح دهد.</li> </ul>	در حد انتظار	تامپون و حاصل ضرب حل پذیری در پیش‌بینی تشکیل رسوب	کاربرد حاصل ضرب حل پذیری در پیش‌بینی تشکیل رسوب	
۱	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ فرایند حل شدن را توضیح دهد.</li> <li>■ مفهوم ترکیبات کم‌محلول، محلول و نامحلول را توضیح دهد.</li> </ul>	پایین‌تر از حد انتظار			
				نمره مستمر از ۵	
				نمره شایستگی پودمان از ۳	
				نمره پودمان از ۲۰	



## پودمان سوم

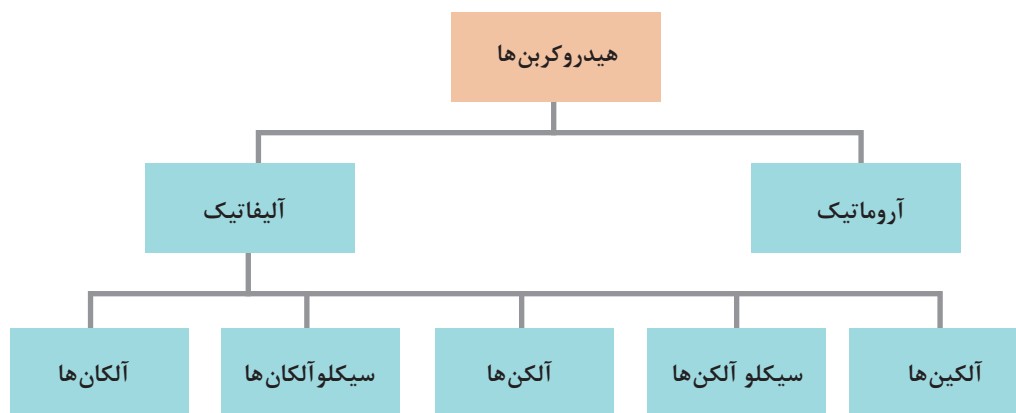
### به کارگیری هیدروکربن های آلیفاتیک



پلی‌وینیل کلراید (PVC) یکی از بسیارهایی است که به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله ساختمان، حمل و نقل، بسته بندی، برق و الکترونیک و مراقبت های بهداشتی کاربرد دارد.

در مبحث شیمی آلی ترکیباتی که شامل دو عنصر هیدروژن و کربن هستند، هیدروکربن نامیده می‌شوند. ترکیبات آلی دیگر را می‌توان از مشتقات هیدروکربن‌های ساده دانست. هیدروکربن‌ها به دو گروه اصلی، آلیفاتیک<sup>۱</sup> و آروماتیک<sup>۲</sup>، تقسیم‌بندی می‌شوند. هیدروکربن‌های آلیفاتیک خود به چند خانواده: آلکان<sup>۳</sup>، آلکن<sup>۴</sup>، آلکین<sup>۵</sup>، سیکلوآلکان<sup>۶</sup>ها و سیکلوآلکن<sup>۷</sup>ها تقسیم می‌شوند (شکل ۱).

در سال دهم با خانواده آلکان‌ها آشنا شده‌اید. در این بخش ساختار و کاربرد دیگر هیدروکربن‌ها را فراموش نکنید.



شکل ۱- طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

آلکن‌ها، هیدروکربن‌هایی هستند که مولکول آنها شامل پیوند دوگانه  $C = C$  است. این پیوند، نتیجه اشتراک دو جفت الکترون در دو اتم کربن است. این هیدروکربن‌ها نیز مانند آلکان‌ها، برحسب افزایش تدریجی تعداد اتم‌های کربن در زنجیر، ممکن است به صورت گاز، مایع و یا جامد وجود داشته باشند. نخستین و ساده‌ترین آلکن گاز اتن (اتیلن) به فرمول  $C_2H_4$  است.

اتیلن مهم‌ترین ماده خامی است که در صنایع شیمی آلی به کار برده می‌شود، در میان ۴۵ ماده شیمیایی عمده (پس از مواد معدنی نظیر سولفوریک‌اسید، نیتروژن و اکسیژن) مقام چهارم را دارد.



آیا تاکنون به چرایی قرمز شدن گوجه فرنگی فکر کرده‌اید؟

فکر کنید ۱



۱- Aliphatic  
۵- Alkyne

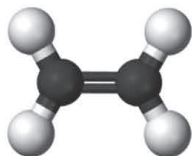
۲- Aromatic  
۶- Cycloalkane

۳- Alkane  
۷- Cycloalkyne

۴- Alkene

## اتیلن $C_2H_4$

اتیلن، گازی است که اندکی بوی ملایم و مطبوع دارد و در طبیعت به مقدار کم در گیاهان به وجود می آید. در فرایند رسیدن بسیاری از میوه ها و سبزیجات (مانند موز، گلابی و گوجه فرنگی) نقش یک هورمون گیاهی<sup>۱</sup> را ایفا می کند. از این ویژگی در بازار فروش موز استفاده می شود. موز سبز نارس را در مناطق استوایی می چینند و در جعبه هایی که دارای منافذ است حمل می کنند. به این ترتیب، موز کمتر تحت تأثیر گاز اتیلن آزاد شده قرار می گیرد و همچنان سبز باقی می ماند. با رسیدن جعبه ها به مقصد و پیش از فروش، موز را با اندکی گاز اتیلن تماس می دهند تا به اندازه کافی برسد (شکل ۲).



شکل ۲- موزی که به وسیله گاز اتیلن از حالت نارس به حالت رسیده تبدیل شده است.

چرا می گویند انبه را نزدیک میوه های دیگر نگهداری نکنید؟

تحقیق کنید  
۱



گاز اتیلن در صنایع عظیم پتروشیمی یکی از مهم ترین مواد اولیه به شمار می رود. در کشورهای برخوردار از این گونه صنایع، سالانه ده ها میلیون تن گاز اتیلن تولید می شود. این گاز در تهیه و تولید انواع پلاستیک های ارزان قیمت، مناسب برای ساختن ظروف آشپزخانه به کار می رود. همچنین در تهیه الیاف مصنوعی پلی استر، الکل معمولی، ضدیخ و انواع فراورده های دیگر کاربرد دارد.

تحقیق کنید  
۲



درباره نکات ایمنی گاز اتیلن تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

۱- هورمون گیاهی به مواد مختلفی اطلاق می شود که در بخشی از موجود زنده ساخته می شود و پس از انتقال، اثرات فیزیولوژیکی محسوسی در دیگر قسمت های آن به جا می گذارد.

## هیدروکربن‌های هم‌خانواده اتیلن

اتیلن ساده‌ترین عضو خانواده آلکن‌هاست. این خانواده، با نام قدیمی اولفین<sup>۱</sup> شناخته می‌شود، ولی نام آلکن ترجیح داده شده است. در مولکول هیدروکربن‌های خانواده اتیلن، بین دو اتم کربن در زنجیر هیدروکربنی، یک پیوند دوگانه وجود دارد. مانند آنچه در مورد اتیلن (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) دیده شد، در خانواده آلکن‌ها، در هر مولکول آلکن دو اتم هیدروژن کمتر از مولکول آلکان هم‌ردیف خود وجود دارد و به همین دلیل، هیدروکربن سیرنشده به شمار می‌رود. به فرمول ساختاری و نام سه عضو اول این دو خانواده در جدول ۱ توجه کنید:

جدول ۱- مقایسه ساختار آلکان‌ها و آلکن‌ها

آلکان		آلکن	
CH <sub>4</sub>	متان	-	-
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	اتان (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \end{array}$	اتن یا اتیلن (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	پروپان (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	پروپن یا پروپیلن (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	بوتان (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	بوتن یا بوتیلن (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )

از آنجا که فرمول عمومی هیدروکربن‌های آلکانی، C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> است، فرمول عمومی خانواده آلکن‌هایی که یک پیوند دوگانه دارند، به چه صورت درمی‌آید؟

فکر کنید ۲



## نام‌گذاری آلکن‌ها به روش آیوپاک<sup>۲</sup>

آیوپاک سازمانی است که زیر نظر اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی به نام‌گذاری مواد شیمیایی می‌پردازد. این اتحادیه یک سازمان غیردولتی است که در سال ۱۹۱۹ میلادی (سال ۱۲۹۸ ه.ش)، به‌دنبال نشست‌های بین‌المللی شیمی کاربردی به‌منظور ارتقای دانش شیمی پایه‌گذاری شد. برای نام‌گذاری هیدروکربن‌های سیرنشده اتیلنی به روش آیوپاک، مانند هیدروکربن‌های سیرشده زنجیری (آلکن‌ها) عمل می‌کنند:

۱- OLEFIN از GAS OLEFIANT گرفته شده است که در فرانسه به معنی گاز روغن‌ساز است. دلیل انتخاب این نام، تشکیل ماده روغنی شکل از واکنش اتیلن با گاز کلر است.

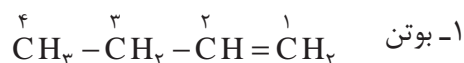
۲ و ۳ دی کلرواتان  $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$

۲- International Union of Pure and Applied Chemistry

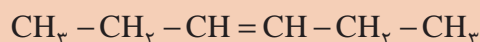
**دستور شماره ۱-** ابتدا بلندترین زنجیر کربنی موجود در مولکول را که شامل پیوند دوگانه نیز باشد، مشخص کنید (ریشه). نام هیدروکربن زنجیر اصلی را مشابه نام آلکان مربوط بنویسید و پسوند «ان» (ane) را به پسوند «ن» (en) تبدیل کنید. مانند اتان به اتن

پسوند + ریشه + پیشوند

**دستور شماره ۲-** موقعیت پیوند دوگانه را روی زنجیر اصلی، از طریق شماره گذاری مشخص کنید. این زنجیر را از جهتی شماره گذاری کنید که به اولین کربن پیوند دوگانه، کوچک ترین عدد ممکن تعلق بگیرد.  
مثال:



فرمول های زیر را نام گذاری کنید.



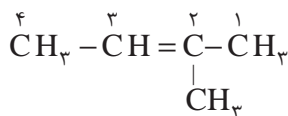
تمرین ۱



**دستور شماره ۳-** نام شاخه یا شاخه ها و موقعیت آنها را پیش از نام زنجیر اصلی بنویسید (پیشوند).

پیشوندها با جدا کردن «ان» (ane) از نام هیدروکربن و افزودن «-یل» (yl) به انتهای آن نام گذاری می شوند. مانند متیل، اتیل و پروپیل

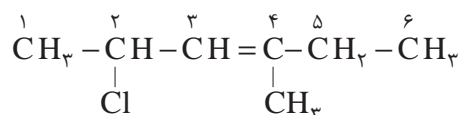
یادآوری



مثال ۱: ۲- متیل - ۲- بوتن

اگر جهت شماره گذاری بر موقعیت پیوند دوگانه تأثیر نداشته باشد، شماره گذاری از جهتی انجام می شود که به شاخه نزدیک تر باشد.

نکته



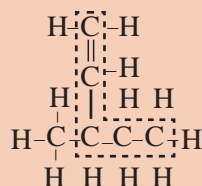
مثال ۲: ۲- کلرو - ۴- متیل - ۳- هگزن

پرسش ۱



چرا در مثال ۲ شماره گذاری را از سمت چپ زنجیر اصلی آغاز کردید؟ چرا نام شاخه کلرو، مقدم بر شاخه متیل است؟

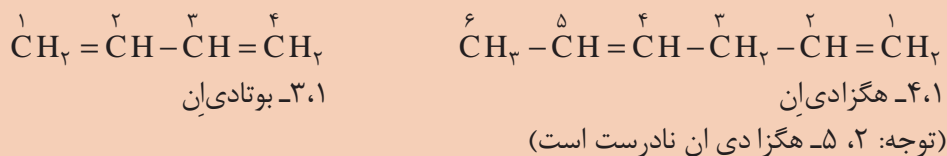
نکته



۱ همیشه لازم نیست زنجیر اصلی بر روی یک خط افقی نوشته شده باشد. مثلاً برای نام گذاری ترکیب زیر، زنجیر اصلی باید شامل پیوند دوگانه نیز باشد. در نتیجه نام این هیدروکربن مطابق روش نام گذاری آیوپاک، ۳-متیل-۱-پنتن در نظر گرفته می شود.

۲ هرگاه زنجیر هیدروکربن سیرنشده، دو پیوند دوگانه داشته باشد، به جای پسوند ان (ene) از پسوند «دی ان diene» استفاده می شود.

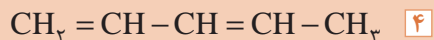
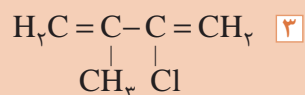
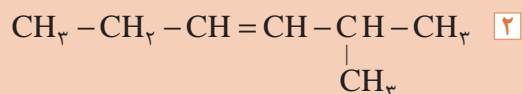
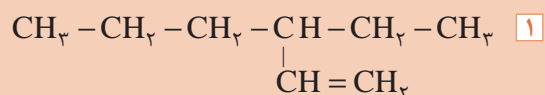
شماره گذاری کربن های این زنجیر، از جهتی صورت می گیرد که به پیوندهای دوگانه، عددهای کوچک تری نسبت داده شود. برای مثال،



تمرین ۲



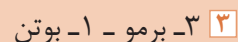
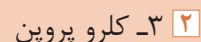
ترکیب های زیر را نام گذاری کنید.



تمرین ۳



فرمول های ساختاری مواد زیر را رسم کنید.





در گفت‌وگو با هم‌کلاسی‌های خود و استفاده از دانسته‌های پیشین بهترین تعریف ایزومری را در کادر بنویسید.

## ایزومری در آلکن‌ها

در مورد آلکن‌ها همانند هیدروکربن‌های سیرشده، علاوه بر پیدایش شاخه‌ها و تغییر مکان آنها، که موجب پیدایش ایزومری می‌شود، عامل تغییر مکان پیوند دوگانه نیز در پیدایش ایزومری تأثیرگذار است. بنابراین، تعداد ایزومرها برای یک هیدروکربن سیرنشده، بیشتر از تعداد آنها برای هیدروکربن سیرشده‌ای است که همان تعداد کربن را دارد. برای درک بهتر، تعداد ایزومرهای بوتان و بوتن را در جدول (۲) مقایسه کنید:

جدول ۲- ایزومرهای بوتان و بوتن

$\begin{array}{c} \text{CH} \\   \\ \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 \\ \text{۲- متیل پروپان} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ \text{بوتان - n} \end{array}$	بوتان
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{C} = \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 \\ \text{۲- متیل - ۱- پروپن} \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{۱- بوتن } \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2 \\ \text{۲- بوتن } \text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3 \end{array}$	بوتن

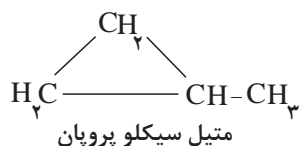
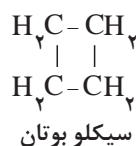
همان‌طور که مشاهده می‌کنید بوتان دارای دو ایزومر است در صورتی که بوتن ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) با داشتن همان تعداد کربن، سه ایزومر دارد.

نکته



در مورد ترکیبی مانند ۲- متیل پروپان و ۲- متیل - ۱- پروپن، می‌توان از ذکر شماره محل اتصال شاخه‌ها خودداری کرد، زیرا شاخه متیل به غیر از اتم کربن دوم، نمی‌تواند محل دیگری را اختیار کند. چون در آن صورت، جزء شاخه اصلی به شمار می‌آید. بدیهی است با تغییر مکان پیوند دوگانه، مبدأ شماره‌گذاری نیز تغییر خواهد کرد، به گونه‌ای که دوباره همان نام به دست می‌آید. بنابراین، برای نام‌گذاری دو ترکیب فوق، فقط به ذکر متیل پروپان یا متیل پروپن اکتفا می‌کنیم.

برای موادی به فرمول عمومی  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ، از پروپن ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) به بعد، نوع دیگری از ایزومری ساختاری وجود دارد که به صورت هیدروکربن حلقوی سیرشده و بدون پیوند دوگانه است. برای مثال، اضافه بر سه ایزومر ساختاری که برای بوتن ترسیم شد، می‌توان دو ایزومر حلقوی زیر را نیز در نظر گرفت:







با این موضوع، در مبحث سیکلوآلکان‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

## ایزومری سیس - ترانس<sup>۱</sup> (ایزومری هندسی<sup>۲</sup>) در ۲- بوتن

مطابق آنچه آموختید، چنین به نظر می‌رسد که بوتن ( $C_4H_8$ )، باید دارای ۲ ایزومر بدون شاخه زنجیری باشد (۱- بوتن و ۲- بوتن). آزمایش و تحقیق نشان می‌دهد که واقعیت چنین نیست و سه نوع ایزومر برای آن وجود دارد، زیرا ایزومر ساختاری ۲- بوتن ( $CH_3 - CH = CH - CH_3$ ) به تنهایی به صورت دو ماده مختلف دیده می‌شود که در برخی خواص فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر متفاوت‌اند. برای مثال، دمای جوش یکی  $0.9^\circ C$  و دیگری  $3.7^\circ C$  است. جدول ۳ مولکول ۲- بوتن و چگونگی آرایش یافتن اتم‌ها و گروه‌های آن در فضا و پیرامون پیوند دو گانه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ایزومرهای هندسی (سیس و ترانس) در ۲- بوتن

نقطه جوش ( $^\circ C$ )	چگالی (g/ml)	فرمول	مدل فضا پرکن	نام
۳٫۷	۰٫۶۲۱	$\begin{array}{c} CH_3 \quad CH_3 \\ \diagdown \quad / \\ C=C \\ / \quad \diagdown \\ H \quad H \end{array}$ 		سیس - ۲- بوتن
۰٫۹	۰٫۶۰۴	$\begin{array}{c} CH_3 \quad H \\ \diagdown \quad / \\ C=C \\ / \quad \diagdown \\ H \quad CH_3 \end{array}$ 		ترانس - ۲- بوتن

مطابق قرارداد، ایزومر ردیف اول را که دو گروه جانشینی بزرگ متیل در آن، در یک سوی پیوند دو گانه قرار دارند، سیس - ۲- بوتن، می‌نامند. ایزومر دوم را که دو گروه جانشینی متیل در آن، در دو سوی پیوند دو گانه قرار دارند، ایزومر ترانس - ۲- بوتن می‌نامند.

ایزومرهای سیس و ترانس<sup>۳</sup>، ایزومرهایی هستند که از نظر فرمول ساختاری یکسان، و از نظر چگونگی آرایش اتم‌ها و گروه‌های تشکیل دهنده آنها در فضا، متفاوت‌اند. به همین دلیل، این گونه ایزومرها را، ایزومرهای فضایی<sup>۴</sup> نیز می‌نامند.

ایزومرهای فضایی هنگامی پدید می‌آیند که گروه‌های جانشینی موجود بر روی هر اتم کربن تشکیل دهنده پیوند دو گانه، متفاوت باشند.

نکته



بحث گروهی<sup>۲</sup>



به کمک دوستان خود بگویید آیا ۱- بوتن می‌تواند ایزومرهای هندسی (سیس و ترانس) داشته باشد؟ چرا؟

۱- CIS-TRANS Isomerism

۲- Geometric isomerism

۳- CIS و TRANS دو کلمه یونانی هستند که اولی به معنی «کنار»، و دومی به معنی «مقابل» است.

۴- Stereoisomers



تحقیق کنید  
۳



چرا دمای جوش ایزومرهای سیس و ترانس - ۲- بوتن متفاوت است؟

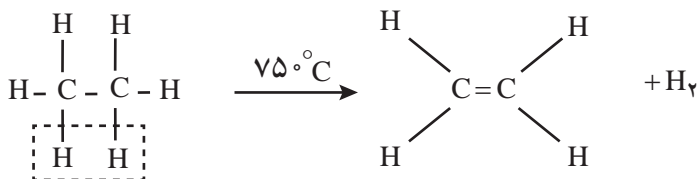
## تهیه اتیلن و هیدروکربن‌های اتیلنی

فکر کنید

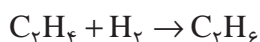


چرا هیدروکربن‌های اتیلنی از نظر شیمیایی (واکنش پذیری) فعال هستند؟

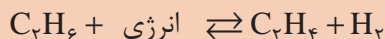
**تولید اتیلن در صنعت:** بخش اعظم اتیلن، از گرمادادن ترکیب‌های نفتی در پالایشگاه، و از زدودن تعدادی اتم هیدروژن از آلکان‌ها به دست می‌آید. اتان را تا  $75^{\circ}\text{C}$  گرما می‌دهند، یک مولکول هیدروژن از آن جدا می‌شود و گاز اتیلن پدید می‌آید.



در صنایع پتروشیمی، این گونه واکنش‌ها، که در طی آن یک مولکول بر اثر گرما به مولکول‌های کوچک‌تر شکسته می‌شود، «مولکول شکنی گرمایی»<sup>۱</sup> نام دارد. در عین حال، به علت گرفتن هیدروژن از ماده اولیه، این واکنش نوعی واکنش «هیدروژن زدایی»<sup>۲</sup> نیز به شمار می‌رود. عکس این واکنش، هیدروژن دار شدن<sup>۳</sup> است که در آن اتیلن به اتان تبدیل می‌شود.



واکنش تبدیل اتان به اتیلن یک واکنش برگشت پذیر است، زیرا خود واکنش و عکس آن، در شرایط مناسب انجام پذیر است.



نکته



بیشتر بدانید



مولکول شکنی (کراکینگ)<sup>۴</sup> به واکنش‌های شکستن اجزای سنگین تر نفتی در پالایشگاه و تبدیل آنها به اجزای سبک تر گفته می‌شود. واکنش‌های مولکول شکنی، معمولاً با آزاد شدن مقدار زیادی گازهای هیدروکربنی از قبیل اتیلن و پروپیلن همراه است که در صنایع پتروشیمی کاربرد وسیعی دارند. مولکول شکنی معمولاً یا به کمک گرما (مولکول شکنی گرمایی) و یا به کمک کاتالیزگر (مولکول شکنی کاتالیزی)<sup>۵</sup> صورت می‌گیرد.

۱- Thermal Cracking

۲- Dehydrogenation

۳- Hydrogenation

۴- Cracking

۵- Catalytic Cracking

تمرین ۴



عبارت زیر را با انتخاب کلمه‌های مناسب، کامل کنید.  
 واکنش افزایش هیدروژن به اتان  $\frac{\text{گرماده}}{\text{گرماگیر}}$  و واکنش افزایش هیدروژن به اتیلن  $\frac{\text{گرماده}}{\text{گرماگیر}}$  است.

تمرین ۵



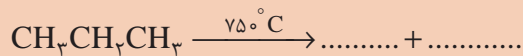
مطابق اصل لوشاتلیه، پیش‌بینی کنید که هرگاه:  
 ■ دما را افزایش دهیم، واکنش تعادلی تبدیل اتان به اتیلن به کدام سو جابه‌جا می‌شود، و نسبت کدام ماده در مخلوط تعادلی، افزایش می‌یابد؟  
 ■ فشار را بر مخلوط تعادلی، افزایش دهیم، واکنش تعادلی به کدام سو جابه‌جا می‌شود؟

در صنایع پتروشیمی، با استفاده از کاتالیزگر، دما و فشار مناسب، تعادل را به سوی محصول مطلوب سوق می‌دهند. برای تهیه هیدروکربن‌های اتیلنی سنگین‌تر نیز، با روش مولکول‌شکنی عمل می‌کنند. برای مثال، از مولکول‌شکنی گرمایی گاز پروپان، به پروپن (پروپیلن) می‌رسند که ماده‌ی اولیه مهمی در صنایع پتروشیمی و از جمله تولید پلاستیک‌های مصرفی در آشپزخانه است.

پرسش ۲



واکنش زیر را کامل کنید:



بیشتر بدانید

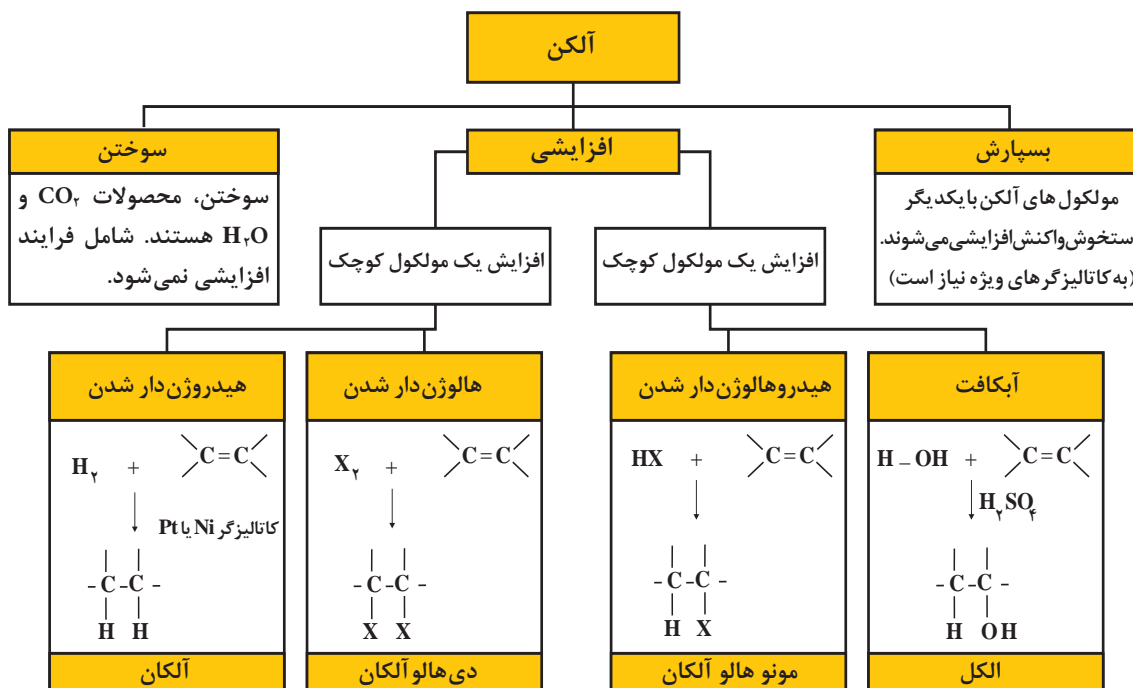


کشور عزیزمان ایران با تولید هزاران تن اتیلن در سال، در جایگاه دوم در بین کشورهای خاورمیانه قرار دارد.



## واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها

واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها را می‌توان به طور کلی به سه گروه واکنش‌های سوختن، افزایشی و بسپارش<sup>۱</sup> تقسیم‌بندی کرد (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها

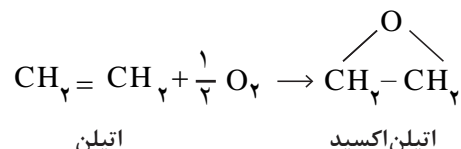
## سوختن

شعله سوختن اتان و متان، که بخش اعظم گاز طبیعی را تشکیل می‌دهند، آبی کم‌رنگ است. اتیلن مانند اتان در هوا می‌سوزد. شعله اتیلن، به علت بیشتر بودن نسبت کربن به هیدروژن، نورانی و درخشنده است. ذرات کربن نسوخته حاصل از تجزیه گرمایی اتیلن، درون شعله به التهاب در می‌آیند و شعله را درخشنده می‌کنند. بدیهی است، وقتی این ذره‌ها به سطح شعله برسند، کاملاً می‌سوزند.

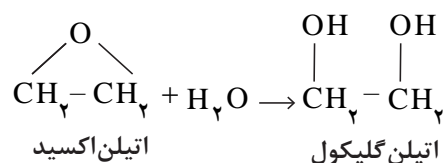


## اکسایش اتیلن

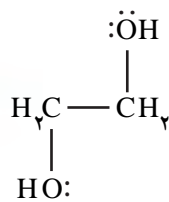
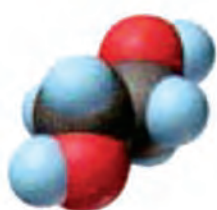
اکسایش اتیلن استفاده وسیعی در صنایع پتروشیمی دارد. اکسایش اتیلن برای اولین بار توسط دی کلرواتانول و پتاسیم هیدروکسید مایع انجام شد. سپس روش مستقیم اکسایش اتیلن با استفاده از کاتالیزگر نقره کاربرد فراوانی یافت. در این روش گاز اتیلن به وسیله اکسیژن هوا در مجاورت کاتالیزگر نقره در فشار و دمای مشخص اتیلن اکسید را تولید می کند.



در سطح جهانی، سالانه میلیون ها تن اتیلن اکسید مطابق این روش تهیه می شود که برای تولید برخی مواد شیمیایی و به ویژه اتیلن گلیکول مصرف دارد. اتیلن اکسید با آب واکنش می دهد و اتیلن گلیکول پدید می آورد.



در آزمایشگاه اتیلن و سایر آلکن هایی که پیوند دوگانه دارند، محلول بنفش رنگ پتاسیم پرمنگنات اسیدی را بی رنگ می کنند و خود اکسید می شوند. معادله واکنش، به قرار زیر است:



شکل ۴- ساختار اتیلن گلیکول

ماده حاصل از این واکنش، الکلی است دو عاملی، که نام تجاری آن اتیلن گلیکول است و به عنوان ضدیخ مصرف دارد شکل (۴).

به چه علت از اتیلن گلیکول به عنوان ضدیخ استفاده می شود؟

تحقیق کنید  
۴



تحقیق کنید  
۵



آزمایش تشخیص آلکن از آلکن

شکل روبه رو دو لوله آزمایش را نشان می دهد که یکی مایع n - هگزان و دیگری مایع ۱- هگزن دارد. بر روی هر دوی آنها محلول رقیق پتاسیم پرمنگنات ریخته ایم. به نظر شما، کدام یک آلکن است؟



با مراجعه به منابع اینترنتی معتبر، دربارهٔ خواص اتیلن گلیکول و کاربرد آن اطلاعاتی جمع‌آوری کنید و آنها را به کلاس ارائه دهید.

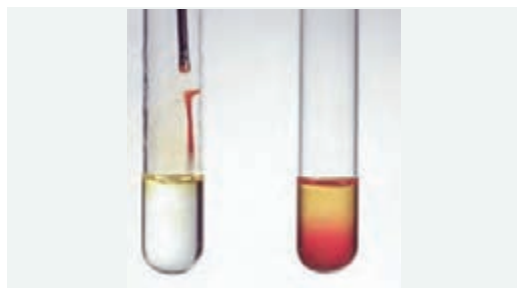
## واکنش‌های افزایشی اتیلن

به‌طور کلی منظور از واکنش افزایشی، واکنشی است که در آن دو یا چند ماده با یکدیگر ترکیب می‌شوند و ماده واحدی به‌وجود می‌آورند.

### ■ واکنش افزایشی با هالوژن‌ها

برای آشنایی با این بخش واکنش افزایشی اتیلن با برم و کلر بررسی می‌شود:

#### واکنش برم با اتیلن



آزمایش بی‌رنگ شدن آب برم برای تشخیص الکن‌ها

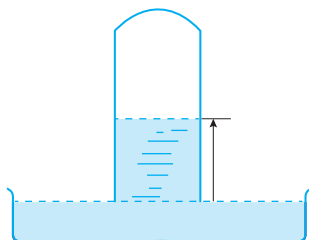
اگر حدود ۲ میلی‌لیتر آب برم را که قرمز قهوه‌ای رنگ است، در لولهٔ آزمایش محتوی گاز اتیلن بریزید و سپس دهانه آن را ببندید و تکان دهید. مشاهده می‌کنید آب برم بی‌رنگ می‌شود، که نشانهٔ انجام شدن واکنش میان برم و اتیلن است. این واکنش، در تاریکی نیز انجام‌پذیر است. ماده حاصل که ۱،۲-دی برمواتان نام دارد، مایع بی‌رنگی است که در صنعت تولید بنزین، کاربرد فراوان دارد.

#### نکته

از محلول‌های پتاسیم پرمنگنات و آب برم، به علت تغییر رنگ آنها در واکنش، برای تشخیص آلکن‌ها و سایر مواد سیر نشده، استفاده می‌شود.



#### واکنش کلر با اتیلن



واکنش گاز کلر با گاز اتیلن روی سطح آب نمک

اگر گازهای کلر و اتیلن را در یک لولهٔ آزمایش وارد کنید، و بر روی تشتکی که از محلول سیر شده نمک طعام پر شده است، واژگون سازید مانند شکل روبه‌رو، پس از مدتی، سطح آب نمک در لوله بالا می‌رود. بالا رفتن سطح آب نمک، نشانه آن است که واکنش بین گاز کلر و گاز اتیلن با کم شدن حجم همراه است.

می‌توان نتیجه گرفت که بین گازهای اتیلن و کلر نوعی «واکنش افزایشی<sup>۱</sup>» صورت گرفته است (مانند واکنش افزایشی برم با اتیلن).

تمرین ۷



تمرین ۸



تحقیق کنید  
۷



معادله واکنش‌های افزایشی اشاره شده را بنویسید و محصول آنها را نام‌گذاری کنید.

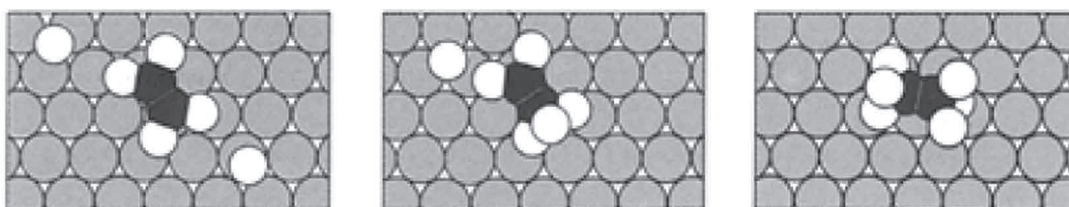
معادله واکنش برم را با پروپیلن بنویسید، و محصول عمل را نام‌گذاری کنید.



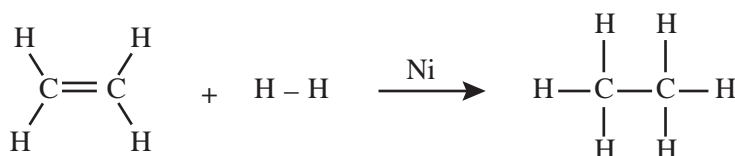
چرا روغن مایع برای سلامتی بهتر از روغن جامد است؟

### ■ واکنش افزایشی با هیدروژن

واکنش افزایشی گاز هیدروژن با هیدروکربن‌های سیرنشده، بدون حضور کاتالیزگر تقریباً ناممکن است. زیرا پیوند  $H-H$  به‌طور قابل ملاحظه‌ای قوی است و به آسانی نمی‌شکند<sup>۱</sup>. ولی هرگاه از کاتالیزگرهایی مانند فلزهای پلاتین، پالادیم یا نیکل، به‌صورت ذره‌های ریز استفاده کنیم، مولکول‌های هیدروژن، مطابق شکل ۵ جذب سطح این ذره‌ها می‌شوند و به‌ازای درهم شکستن هریک پیوند  $H-H$ ، دو اتم هیدروژن، مطابق شکل (۵)، دو پیوند ناپایدار و موقت با اتم‌های سطحی کاتالیزگر تشکیل می‌دهند. آنگاه از برخورد اتم‌های هیدروژن مزبور با مولکول اتیلن، پیوند دوگانه شکسته می‌شود و پیوندهای جدید  $C-H$  پدید می‌آیند. با انجام شدن این واکنش افزایشی، مولکول اتان آزاد می‌شود و از سطح کاتالیزگر جدا می‌شود.



شکل ۵- واکنش افزایشی  $H_2$  و  $C_2H_4$  بر سطح کاتالیزگر



بدیهی است که نقش کاتالیزگر، تغییر مسیر واکنش و عبور دادن آن از یک قله انرژی کم ارتفاع‌تر است که نیازمند انرژی فعال‌سازی کمتر است.

۱- انرژی پیوند  $H-H$  برابر ۴۳۶ کیلوژول بر مول است.

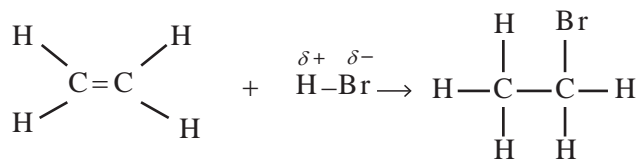
هنگامی که دو یا چند مولکول هیدروژن با یک مولکول هیدروکربن سیرنشده واکنش می‌دهند و یک مولکول محصول پدید می‌آورند، این واکنش‌ها «هیدروژن‌دار شدن» نام دارند.



کاربرد مهم برای واکنش «هیدروژن‌افزایی»، در صنعت روغن نباتی است.

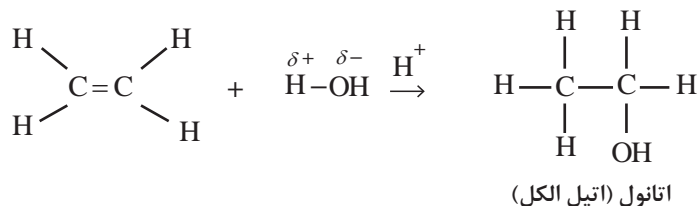
### ■ واکنش افزایشی هیدروژن با هالیدها

هیدروکربن‌های سیرنشده از قبیل اتیلن، فقط با مولکول‌های ساده‌ای همچون  $\text{Br}_2$  و  $\text{H}_2$  واکنش افزایشی نمی‌دهند، بلکه با مولکول‌های مرکبی مانند هیدروژن‌هالیدها از قبیل  $\text{HCl}$ ،  $\text{HBr}$ ،  $\text{HI}$ ، یا آب، نیز واکنش می‌دهند. برای نمونه واکنش افزایشی اتیلن با  $\text{HBr}$  که یک مولکول قطبی است، بررسی می‌شود. به علت بیشتر بودن الکترونگاتیوی برم نسبت به هیدروژن (الکترونگاتیوی برم،  $2/8$  و الکترونگاتیوی هیدروژن  $2/1$  است)، جفت الکترون مشترک در  $\text{H}^{\delta+} \rightarrow \text{Br}^{\delta-}$  اندکی به سوی برم کشیده می‌شود، به طوری که برم، سر منفی و هیدروژن سر مثبت این مولکول را تشکیل می‌دهند. به محض اینکه سر مثبت هیدروژن این مولکول، که «الکترون‌دوست» است، به مولکول اتیلن نزدیک می‌شود، یک پیوند کووالانسی ( $\text{C}=\text{C}$ ) در اتیلن و یک پیوند کووالانسی در  $\text{H-Br}$  شکسته می‌شود و با طی شدن مراحل واکنش، دو پیوند کووالانسی جدید پدید می‌آید و مولکول آلکن به مولکول آلکان تبدیل می‌شود.



### ■ واکنش افزایشی با آب

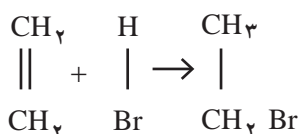
مولکول آب یک مولکول قطبی است. آب می‌تواند در مجاورت کاتالیزگرهای اسیدی با اتیلن واکنش افزایشی انجام دهد. این واکنش به صورت زیر نشان داده می‌شود. محصول واکنش، اتانول (یا اتیل الکل) است.



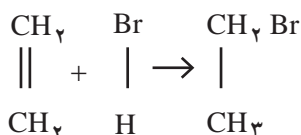
اتانول، الکلی دوکربنی، بی‌رنگ و فرّار است که به هر نسبتی در آب حل می‌شود. این الکل یکی از مهم‌ترین حلال‌های صنعتی است که در تهیه مواد دارویی، بهداشتی و آرایشی به کار می‌رود. از اتانول در بیمارستان‌ها به عنوان ضدعفونی‌کننده استفاده می‌شود.

## چگونگی واکنش‌های افزایشی در هیدروکربن‌های مونواتیلنی

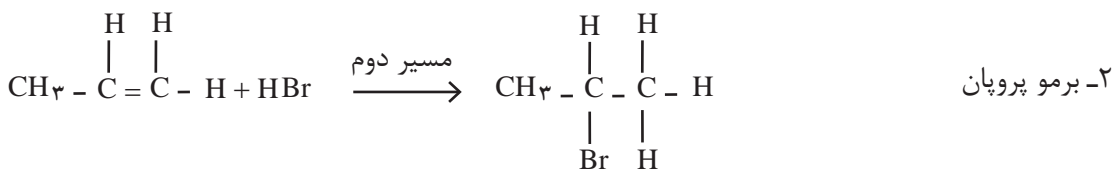
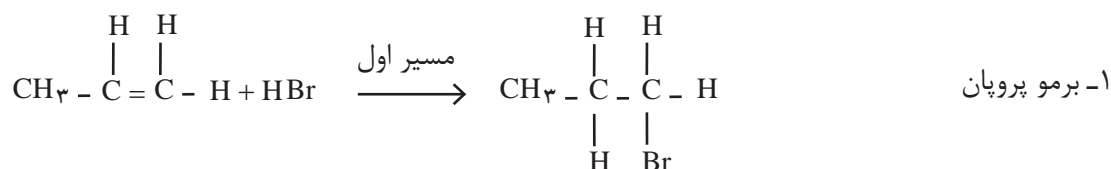
در واکنش افزایشی یک هیدروژن‌هالید (مانند HBr) با اتیلن، هیدروژن بر یکی از اتم‌های کربن و هالوژن بر روی اتم کربن دیگر می‌نشیند، و در نتیجه برمواتان تشکیل می‌شود.



حال اگر در معادله فوق، جای هیدروژن و برم بر روی اتم‌های کربن عوض شود، چون دو اتم کربن در اتیلن از هرنظر یکسان هستند، باز هم نتیجه عمل، همان تشکیل برمواتان خواهد شد.



ولی اگر به جای اتیلن در این واکنش، از هم‌زده بعدی، یعنی پروپیلن (پروپن) استفاده شود، اتم‌های کربن پیوند دوگانه، دیگر یکسان نیستند. بنابراین، به ظاهر دو مسیر مختلف برای انجام شدن واکنش وجود دارد:



آزمایش نشان می‌دهد که تقریباً همه محصول ۲-برم پروپان است. معنی این گفته آن است که واکنش افزایشی HBr به مولکول نامتقارن آلکن، از نوعی «موضع‌گزینی» برخوردار است. اتم هیدروژن به اتم کربنی از پیوند دوگانه متصل شده است که دارای اتم H بیشتری است. این موضع‌گزینی در موارد دیگر نیز، مشاهده می‌شود. مارکونیکف، شیمی‌دان روسی، پس از آزمایش‌ها و تحقیقات تجربی فراوان، به این قاعده تجربی که به نام وی معروف است، دست یافت.



بیشتر بدانید



ولادیمیر مارکونیکف

ولادیمیر واسیلیف مارکونیکف<sup>۱</sup> (۱۸۳۸-۱۹۰۴) استاد شیمی دانشگاه مسکو بود. او تعدادی مواد شیمیایی را بر مبنای پیش بینی ساختار شیمیایی، به طور مصنوعی تهیه کرد. او روی برهم کنش اتم ها بر یکدیگر در مولکول مطالعه کرد و به نظام هایی رسید. بخش بزرگی از تلاش وی صرف تحقیق در منابع طبیعی کشور (به ویژه نفت) و جست و جوی راه های تأمین رفاه مردم کشورش شد. گرچه مارکونیکف قاعده خود را درباره واکنش افزایشی در ۳۳ سالگی پیشنهاد کرد، ولی به علت امتناع از چاپ نتایج تحقیق خود به زبانی غیر از زبان مادری، این کشف، ۳۰ سال بعد مورد توجه شیمی دانان جهان واقع شد.

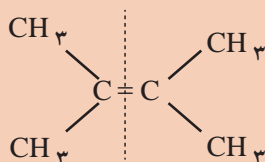
## قاعده مارکونیکف

«وقتی یک هیدروژن هالید (مانند HBr) به یک آلکن نامتقارن<sup>۲</sup> افزوده شود، هیدروژن اسید، در شرایط عادی، بیشتر به اتم کربنی در پیوند دوگانه متصل می شود که، هیدروژن بیشتری داشته باشد.»

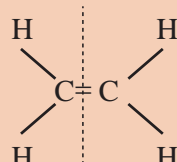
نکته



وقتی گروه های متصل به کربن های پیوند دوگانه یکسان باشند، آلکن را **میتقارن** می نامند. مانند:

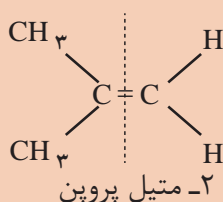


۲، ۳- دی متیل - ۲- بوتن

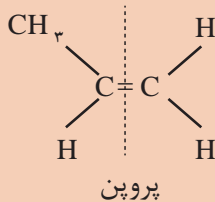


اتیلن

اگر گروه های متصل به کربن های پیوند دوگانه متفاوت باشند، آلکن را **نامتقارن** می نامند. مانند:



۲- متیل پروپن



پروپن

معادله واکنش HBr را با ۲- متیل پروپیلن بنویسید، و ماده حاصل را نام گذاری کنید.

تمرین ۹



۱- Markovnikov

۲- Assym

می‌توان فرمول آب را به صورت  $\delta^+ \delta^- \text{H}-\text{O}-\text{H}$  نوشت و قطبی بودن مولکول آن را نشان داد. معادله واکنش آب را با پروپیلن بنویسید (نام ترکیب حاصل ایزوپروپیل الکل است).

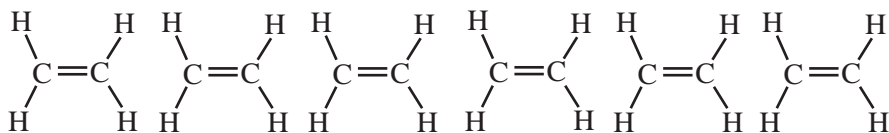


## بسپارش آلکن‌ها

درباره تصویرهای زیر با دوستان خود گفت‌وگو کنید:

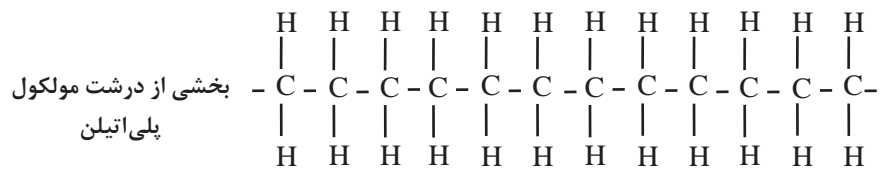


آلکن‌ها، مانند اتیلن، به سبب داشتن پیوند دوگانه، می‌توانند نوعی واکنش افزایشی از خود نشان دهند. در این صورت، پیوند دوگانه مولکول اتیلن باز می‌شود و به مولکول اتیلن مجاور، که پیوند آن نیز باز شده است، متصل می‌شود. به همین ترتیب، مولکول‌های اتیلن دیگری به این مجموعه می‌پیوندند، و زنجیره هیدروکربنی بلندی تشکیل می‌شود.

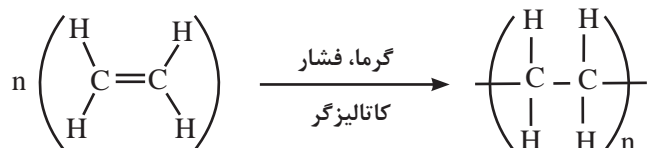


مولکول‌های اتیلن (تکپار)

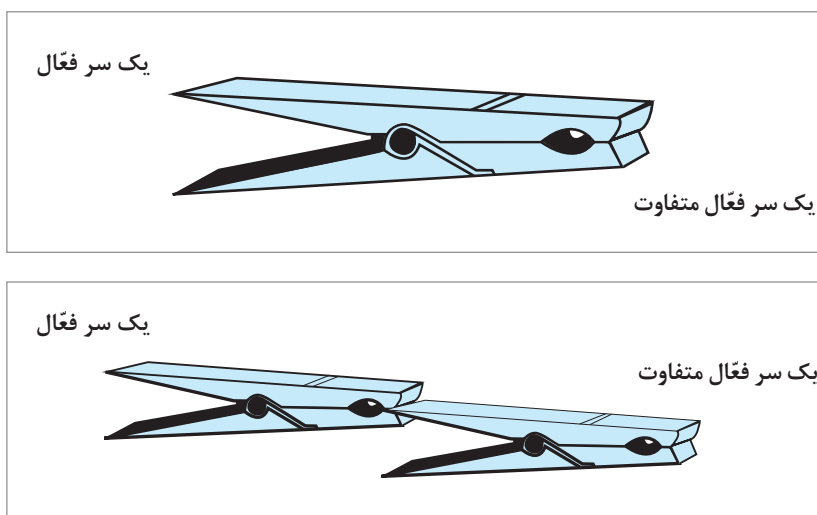
بسپارش



به‌طور کلی واکنش را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:



مولکول اصلی که واحد ساختاری این زنجیره را تشکیل می‌دهد، تکپار<sup>۱</sup> (مونومر) نامیده می‌شود. محصول را که به‌صورت زنجیره بلند حاصل از تشکیل پیوندهای کووالانسی میان تکپارهاست، بسیار<sup>۲</sup> (پلیمر) می‌نامند. مهم‌ترین ویژگی تکپار که به آن امکان می‌دهد زنجیره بلند بسیار را تشکیل دهد، دربرداشتن دو گروه با دو سر فعال است. یک تکپار، باید توان ایجاد دو پیوند را از هر دو سر خود با مولکول‌های مجاور داشته باشد (شکل ۶).



شکل ۶- نمایشی برای مفهوم تکپار و بسیار

مطابق شکل (۶)، هر گیره را می‌توان به یک تکپار تشبیه کرد، که دارای دو سر است و می‌تواند با گیره‌های متعدد دیگر، زنجیره بسیار بلند بسیار پدید آورد. محیط زندگی ما سرشار از مولکول‌های بسیار بزرگ بسیاری است که اصطلاحاً آنها را درشت مولکول<sup>۳</sup> می‌نامند. مثال انواع طبیعی این درشت مولکول‌ها، کائوچوی طبیعی، پنبه و پشم است و مثال انواع مصنوعی آنها پلاستیک‌ها (شکل ۷)، نایلون و الیاف پارچه‌ای پلی‌استر است.

۱- Monomer به زبان یونانی به معنی «یک جزء» است.

۲- Polymer به زبان یونانی به معنی «اجزای متعدد و فراوان» است.

## پلاستیک‌های پلی اتیلن و پلی پروپیلن



شکل ۷- تهیه بطری‌های آب از پلی اتیلن

پلاستیک‌ها را ممکن است گونه‌ای مواد بسیاری دانست که می‌توان به دفعات گرم و ذوب کرد و در قالب ریخت و به شکل مطلوب درآورد. پلاستیک‌ها برخلاف الیاف بسیاری پارچه‌های مصنوعی که مولکول‌ها در آنها به صورت رشته‌های نخ مانند درازی هستند، می‌توانند اشیای سه بعدی و یا ورقه‌های نازک و شفاف پدید آورند.

پلاستیک پلی پروپیلن: این نوع پلاستیک نیز از تکپار پروپیلن به فرمول  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$  و به همان شیوه تشکیل پلاستیک پلی اتیلن به وجود می‌آید. در جدول ۴ مقایسه پلاستیک‌های پلی اتیلن و پلی پروپیلن را ملاحظه می‌کنید.

جدول ۴- مقایسه پلاستیک‌های پلی اتیلن و پلی پروپیلن

کاربرد بسیار	فرمول و نام تکپار	واحد تکرارشونده و نام بسیار
بطری، کیسه پلاستیکی، اسباب بازی، عایق الکتریسیته	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ اتیلن	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$ پلی اتیلن
بطری، فرش، قطعات قالب گیری شده از جمله دریچه‌های مصنوعی قلب	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$ پروپیلن	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ پلی پروپیلن

صنعت پتروشیمی یکی از صنایع مهم جهان است. در این صنعت، ترکیب‌ها، مواد و وسایل گوناگونی از نفت یا گاز طبیعی به دست می‌آید که به فراورده‌های پتروشیمیایی معروف‌اند. پتروشیمی ایران



نسبت به سایر رقبای خود مزیت و برتری‌های فراوانی دارد. از آن جمله می‌توان به منابع ارزان نفت و گاز، دسترسی سریع به بازارهای جهانی و منطقه‌ای و نیروی انسانی اشاره کرد. امید است پتروشیمی ایران در سال‌های آینده، بیش از پیش در منطقه و جهان بدرخشد.

بیشتر بدانید



## آلکین‌ها (هیدروکربن‌های استیلنی)



آیا تابه‌حال به جوشکاری و برشکاری فلزها توجه کرده‌اید؟ چه شرایطی برای جوشکاری لازم است؟

بحث‌گروهی ۴



خانواده دیگری از هیدروکربن‌ها شامل مولکول‌هایی است که بین اتم‌های کربن پیوند سه‌گانه دارند، این هیدروکربن‌ها را آلکین می‌نامند. تعداد هیدروژن‌ها در این هیدروکربن‌ها، دو اتم کمتر از آلکن‌هایی است که همان تعداد کربن دارند. با توجه به اینکه فرمول عمومی آلکن‌ها،  $C_nH_{2n}$  است. بنابراین، فرمول عمومی آلکین‌ها به صورت  $C_nH_{2n-2}$  نوشته می‌شود. این هیدروکربن‌ها برای صنایع مواد مصنوعی مانند پلاستیک‌ها و الیاف، مواد اولیه پارازشی به‌شمار می‌آیند.

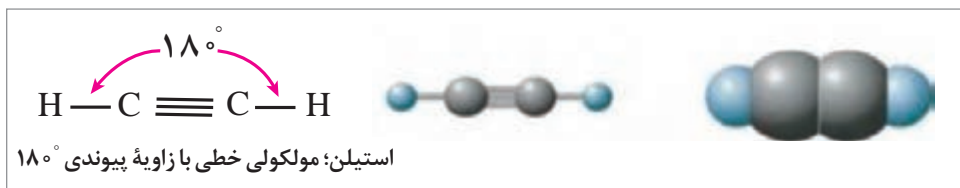
تعیین کنید هر یک از هیدروکربن‌های زیر به کدام گروه (آلکان، آلکن، آلکین) تعلق دارند؟

الف)  $C_5H_{10}$       ب)  $C_5H_{12}$       ج)  $C_5H_8$

تمرین ۱۱



ساده‌ترین عضو خانواده آلکین‌ها، اتین ( $C_2H_2$ ) است، که دو اتم هیدروژن و دو اتم کربن دارد و استیلن نامیده می‌شود. از این رو، آلکین‌ها را **هیدروکربن‌های استیلنی** نیز می‌نامند. فرمول ساختاری استیلن، یعنی چگونگی پیوند اتم‌های کربن و هیدروژن به یکدیگر در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نمایش فرمول ساختاری مولکول خطی استیلن

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، استیلن، یک مولکول خطی است. یعنی، دو اتم کربن و دو اتم هیدروژن، همگی در یک راستا قرار گرفته‌اند.

### نام‌گذاری آلکین‌ها

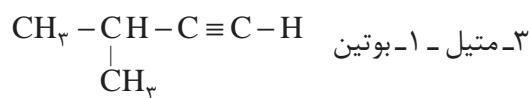
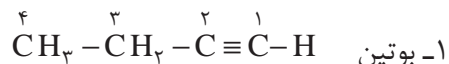
آلکین‌ها مانند آلکان‌ها و آلکن‌ها، یک مجموعه هم‌رده تشکیل می‌دهند. یعنی هر ترکیب با ترکیب پیشین یا پسین، در یک گروه ( $-CH_2-$ ) تفاوت دارد.

قواعد نام‌گذاری آلکین‌ها به روش آیوپاک، شبیه نام‌گذاری آلکن‌هاست، با این تفاوت که به جای پسوند «-ن» از پسوند «-ین» استفاده می‌شود. به مثال‌های زیر توجه کنید:

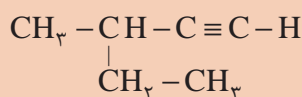


قواعد نام‌گذاری آلکین‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱ بلندترین زنجیر کربنی را که شامل پیوند سه‌گانه باشد، مشخص کنید.
  - ۲ این زنجیر کربنی را از جهتی که به پیوند سه‌گانه نزدیک‌تر باشد، شماره‌گذاری کنید.
  - ۳ موضع نخستین کربن پیوند سه‌گانه و موضع گروه‌های آلکیل را که به صورت شاخه بر روی زنجیره طویل قرار دارند، با شماره‌های مناسب مشخص کنید.
- برای مثال، به نام‌گذاری هیدروکربن‌های استیلنی زیر و چگونگی نوشتن نام آیوپاک آنها توجه کنید.



تمرین ۱۲



الف) نام آیوپاک هیدروکربن داده‌شده را بنویسید.

ب) چرا در نام‌گذاری آلکینی که سه اتم کربن دارد، به «شماره» نیاز نیست؟

ج) فرمول ساختاری آلکینی، که نام آیوپاک آن ۳،۳-دی‌متیل - ۱- بوتین است، را بنویسید.

## ایزومری در آلکین‌ها

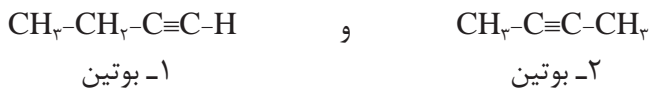
عواملی که در آلکین‌ها موجب به وجود آمدن ایزومری می‌شوند، تقریباً همان عواملی هستند که در آلکن‌ها ایجاد ایزومری می‌کنند:

۱ تغییر موقعیت پیوند سه‌گانه (ایزومری موقعیت)

۲ تغییر زنجیربندی اتم‌های کربن (ایزومری زنجیره‌ای)

مثال ۳: به نمونه‌های زیر توجه کنید:

ایزومری موقعیت:





الف) با توجه به یک ظرفیتی بودن هیدروژن و چهار ظرفیتی بودن کربن، برای هیدروکربنی به فرمول  $C_4H_8$ ، چند ایزومر ساختاری می‌توان رسم کرد که دارای پیوند سه‌گانه کربن - کربن باشند؟ نام هر یک را به روش آیوپاک بنویسید.

ب) آیا در پرسش بالا می‌توان پنج اتم کربن را پشت سر هم در یک ردیف نوشت و پیوند سه‌گانه را بین کربن‌های سوم و چهارم قرار داد؟ نام آیوپاک این ترکیب چه خواهد بود؟

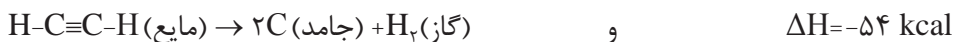
ج) چرا در بعضی آلکن‌ها ایزومری هندسی مشاهده می‌شود، ولی در آلکین‌ها مشاهده نمی‌شود؟ توضیح دهید؟

د) ایزومرهای استیلنی هیدروکربنی به فرمول  $C_6H_{10}$  را رسم کنید و نام هر یک را به روش آیوپاک بنویسید.

ه) آیا در تمرین د، ایزومری داشته‌اید که نام آیوپاک آن ۳-اتیل - ۱- بوتین باشد؟ ساختار این ایزومر را رسم کنید و توضیح دهید. چه اشکالی در نام‌گذاری آن وجود دارد؟

## استیلن

گاز استیلن یا اتین کوچک‌ترین عضو از خانواده آلکین‌ها، دارای فرمول مولکولی  $C_2H_2$  است که در آن دو اتم کربن توسط یک پیوند سه‌گانه به هم متصل شده‌اند، به همین جهت استیلن جزو ترکیبات سیرنشده به‌شمار می‌آید. استیلن خالص، گازی است بی‌رنگ و دارای بویی شبیه به بوی اتر، در دما و فشار مشخصی به مایع تبدیل می‌شود. استیلن را نمی‌توان بدون رعایت مسایل ایمنی، به مایع تبدیل کرد. استیلن مایع، به‌طور انفجاری به عنصرهای سازنده خود (کربن و هیدروژن) تجزیه می‌شود.



استیلن                      کربن                      هیدروژن

استیلن کمی در آب و الکل حل می‌شود، ولی در استون بسیار حل‌پذیر است؛ به طوری که در دمای  $15^\circ C$  و در فشار معمولی، ۲۵ برابر و در ۱۲ اتمسفر تا ۴۰۰ برابر حجم خود در استون حل می‌شود.



برای حمل و نقل استیلن از مخزن‌های فولادی استفاده می‌کنند. در این مخزن‌ها، ورقه‌هایی از پنبه نسوز که به استون مرطوب آغشته شده‌اند، قرار می‌دهند. استیلن را با فشار نسبتاً کم، در این مخزن‌ها ذخیره می‌کنند. وقتی شیر مخزن را باز کنند، گاز استیلن، همراه با کمی استون، بیرون می‌آید.

با استفاده از این روش، از حوادث ناشی از انفجار استیلن که زمانی بسیار متداول بود، جلوگیری می‌شود. سیلندرهای گاز استیلن به دلیل آتش‌زا و خطرناک بودن لازم است یکپارچه قرمز رنگ باشند.



کیسول استیلن

## تهیه استیلن

استیلن، از نظر صنعتی اهمیت فراوان دارد. ساده‌ترین راه برای تهیه استیلن، افزودن آب به کلسیم کربید است. در آزمایشگاه، استیلن را به این روش تهیه می‌کنند. برای تهیه کلسیم کربید، زغال کک را که یکی از فرآورده‌های به‌دست آمده از تقطیر زغال سنگ است، مخلوط با آهک، در کوره الکتریکی تا حدود  $2000^{\circ}\text{C}$  گرم می‌کنند. واکنش زیر روی می‌دهد:



کربن مونوکسید    کلسیم کربید    کک    آهک



سپس، از واکنش آب با کلسیم کربید، استیلن به‌دست می‌آید:



کلسیم کربید    استیلن

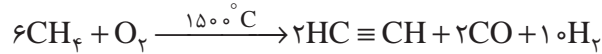


شکل ۹- واکنش کلسیم کربید با آب، گاز اشتعال پذیر استیلن را تولید می‌کند.

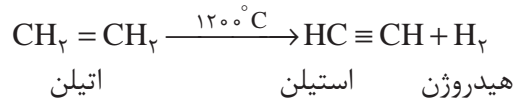


در این فرایند، از مواد اولیه ای استفاده می شود (زغال کک، آهک و آب) که فراوان و ارزان اند. استیلنی که از آبکافت کلسیم کربید به دست می آید، بویی شبیه به بوی سیر دارد. این بو ناشی از ناخالصی های موجود در آن، مانند  $H_2S$ ، به ویژه  $PH_3$  است.

در صنعت برای تهیه استیلن، از روش دیگری که ارزان تر است و بر ترکیب های نفتی تکیه دارد، استفاده می شود. در این روش، متان را در دمای بالا، در مجاورت مقدار کمی اکسیژن، تا  $1500^\circ C$  گرم می کنند:



فرایند صنعتی دیگر برای تهیه استیلن، هیدروژن زدایی از اتیلن در دماهای بالاتر از  $1200^\circ C$  است. در این فرایند، استیلن و هیدروژن تشکیل می شود.



نکته

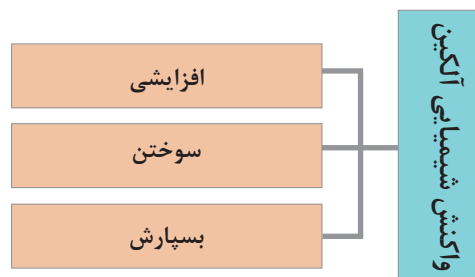


انتخاب فرایندهای مناسب برای تهیه استیلن، به نوسان بهای انرژی (فرایند کلسیم کربید به الکتریسیته بیشتری نیاز دارد)، در دسترس بودن مواد اولیه (اتیلن و زغال) و میزان سرمایه گذاری برای ایجاد تأسیسات مناسب، بستگی دارد.

استیلن، به طور نسبی، گران تر از اتیلن تهیه می شود. از این رو، بیشتر موادی را که در گذشته از استیلن تهیه می کردند، امروزه از اتیلن تهیه می کنند. اتیلن از مولکول شکنی مواد نفتی به دست می آید. برای تهیه بعضی از ترکیب هایی که در ساخت بسپارها کاربرد دارند، هنوز از استیلن استفاده می شود.

## واکنش های شیمیایی آلکین ها

واکنش های شیمیایی آلکین ها، همانند آلکن ها، به سه دسته افزایشی، سوختن و بسپارش تقسیم بندی می شود.

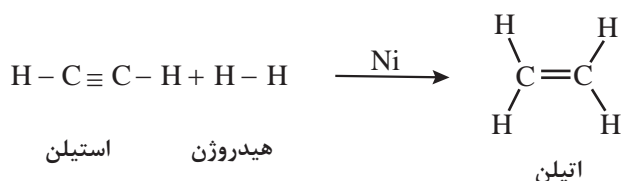


## واکنش‌های افزایشی آلکین‌ها

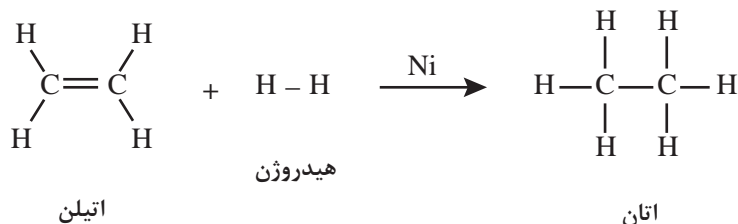
آلکین‌ها، به دلیل دارا بودن پیوند سه‌گانه کربن-کربن، می‌توانند، مانند اتیلن، در واکنش‌های افزایشی شرکت کنند. در ادامه، واکنش‌های افزایشی استیلن توضیح داده می‌شود.

### ■ واکنش افزایشی با هیدروژن

دو گاز هیدروژن و استیلن را می‌توان در دمای معمولی با یکدیگر مخلوط کرد، بدون آنکه بین آنها واکنشی روی دهد. ولی در مجاورت کاتالیزگرهای مناسب (مثلاً ذرات بسیار ریز نیکل، پلاتین یا پالادیم) بین آنها یک واکنش افزایشی روی می‌دهد. این واکنش در دو مرحله صورت می‌گیرد: در مرحله نخست، یک مولکول هیدروژن به استیلن افزوده می‌شود و اتیلن به دست می‌آید.

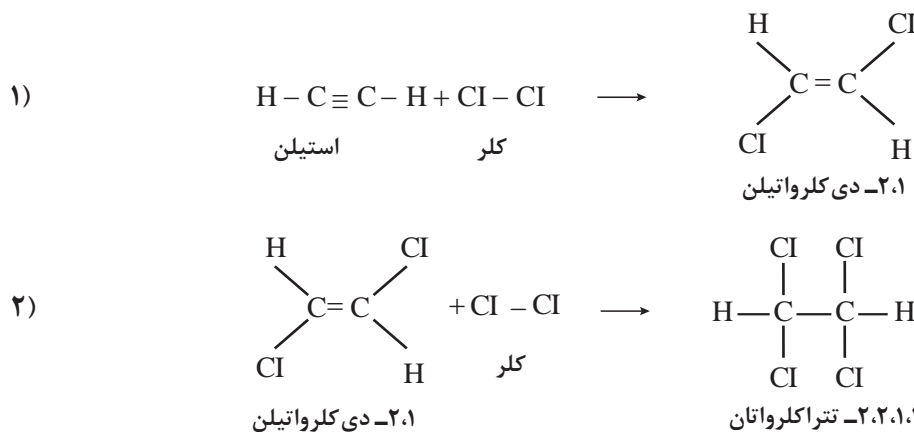


در مرحله بعد، با افزایش مولکول دوم هیدروژن به اتیلن، فرآورده نهایی واکنش، یعنی اتان، تشکیل می‌شود.



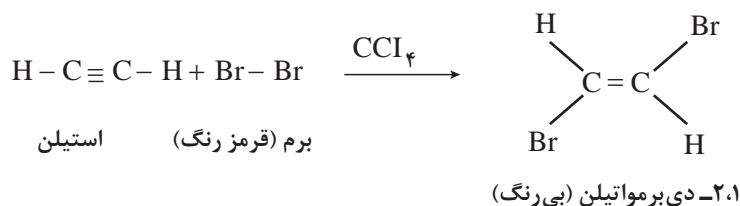
### ■ واکنش افزایشی با هالوژن‌ها

واکنش کلر با استیلن بسیار شدید است و مانند افزایش هیدروژن به استیلن، در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله نخست، ۱،۲-دی‌کلرواتیلن و در مرحله بعد ۱،۱،۲،۲-تتراکلرواتان به دست می‌آید.



واکنش برم با استیلن، مانند واکنش کلر با استیلن ولی ملایم‌تر است. این واکنش با آب برم یا محلول برم در کربن تتراکلرید، فقط تا مرحله نخست پیشرفت می‌کند، ولی با برم مایع، مرحله دوم افزایش نیز انجام می‌شود و ۱،۱،۲،۲-تترا برمواتان به دست می‌آید.

از این واکنش برای شناسایی ترکیب‌های سیرنشده، یعنی پی بردن به وجود پیوندهای دوگانه یا سه‌گانه کربن-کربن در یک ترکیب، استفاده می‌شود. برای این منظور، کمی محلول برم را در کربن تتراکلرید (CCl<sub>4</sub>)، که قرمز رنگ است، به ترکیب می‌افزایند. با تکان دادن آن رنگ قرمز برم به سرعت ناپدید می‌شود. زیرا فراورده‌ای که در این واکنش به وجود می‌آید، بی‌رنگ است.



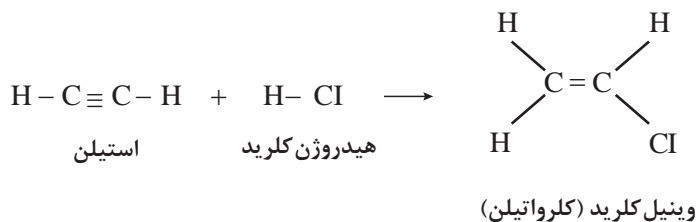
در یک آزمایشگاه دو شیشه دارو، بدون برچسب پیدا شده است، ولی در نزدیکی‌های این شیشه‌ها، دو برچسب بر زمین افتاده است. بر روی یکی از برچسب‌ها ۱- هگزين و بر روی برچسب دیگر n- هگزان نوشته شده است. این شیشه‌ها دارای مایعاتی شفاف و بی‌رنگ‌اند. چگونه می‌توانید معلوم کنید که هر برچسب به کدام شیشه متعلق است؟ توضیح دهید.

بحث کلاسی



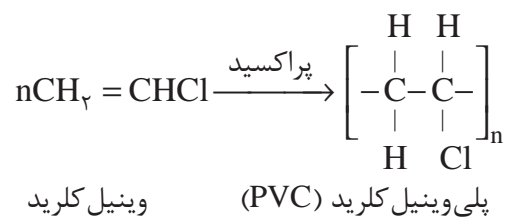
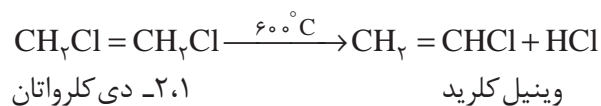
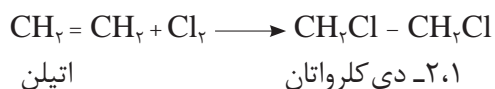
### ■ واکنش افزایشی با هیدروژن هالیدها

واکنش هیدروژن هالیدها، (مثلاً هیدروژن کلرید، HCl)، با استیلن، مانند واکنش آنها با اتیلن است. این واکنش خودبه‌خود انجام می‌شود و نیازی به کاتالیزگر ندارد. بر اثر افزایش یک مول هیدروژن کلرید به استیلن، ترکیبی موسوم به وینیل کلرید (یا کلرواتیلن) تشکیل می‌شود.



وینیل کلرید ماده اولیه بسیار مهمی در صنعت است. زیرا از بسپارش آن، پلی‌وینیل کلرید که به طور خلاصه پی‌وی‌سی<sup>۱</sup> (PVC) نامیده می‌شود، به دست می‌آید. پی‌وی‌سی یکی از پلاستیک‌های ارزنده است و کاربردهای فراوان دارد شکل (۱۰). امروزه در صنعت، وینیل کلرید را بیشتر از اثر گاز کلر بر اتیلن، در دمای بالا، تهیه می‌کنند.

۱- Poly Vinyl Chloride



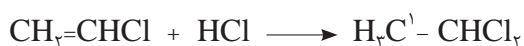
شکل ۱۰- پلی وینیل کلرید (PVC)

در مورد کاربردهای پلی وینیل کلرید اطلاعاتی جمع آوری کنید و آنها را در کلاس گزارش دهید.

تحقیق کنید  
۸



اگر در واکنش تهیه وینیل کلرید مقدار هیدروژن کلرید زیاد باشد، دو مولکول از آن، به طور بیای، به پیوند سه گانه کربن-کربن افزوده می شوند. واکنش افزایشی در مرحله دوم، همان طور که می دانید از قاعده مارکونیکف پیروی می کند: یعنی، پروتون هیدروژن کلرید به کربنی متصل می شود که هیدروژن بیشتری داشته باشد.



۱،۱-دی کلرواتان    هیدروژن کلرید    وینیل کلرید

واکنش هیدروژن برمید و هیدروژن یدید (HI ، HBr) نیز، مانند واکنش هیدروژن کلرید با استیلن و با سایر آلکین هاست.

**مثال ۴:** چگونه می‌توانید از استیلن آغاز کنید و ترکیب‌های زیر را بسازید؟ از هر واکنش‌گری که لازم باشد، می‌توانید استفاده کنید:

الف) ۲،۱- دی‌کلرواتیلن      ب) ۱،۱،۲- تری‌کلرواتان

**پاسخ:** الف) معادل یک مولکول کلر به یک مولکول استیلن بیفزایید.



استیلن      کلر      دی‌کلرواتیلن ۲،۱-

ب) به فراورده بند الف، معادل یک مولکول هیدروژن کلرید اضافه کنید.



دی‌کلرواتان ۲،۱-      تری‌کلرواتان ۱،۱،۲-

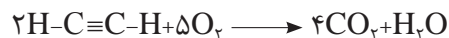
معادله شیمیایی مراحل افزایش دو مولکول هیدروژن برمید را به پروپیلن بنویسید. در هر مرحله چه ترکیبی تشکیل می‌شود؟ نام هر یک را بنویسید.

تمرین ۱۴



## سوختن استیلن

استیلن نیز مانند هر هیدروکربن دیگر، در برابر هوا یا اکسیژن خالص می‌سوزد و کربن دی‌اکسید و آب تولید می‌کند.



گرمای حاصل از سوختن یک مول استیلن ( $\Delta H = -317 \text{ kcal}$ ) در اکسیژن خالص کمتر از گرمای سوختن یک مول اتیلن ( $\Delta H = -337 \text{ kcal}$ ) و اتان ( $\Delta H = -374 \text{ kcal}$ ) است. واکنش‌های سوختن این سه هیدروکربن را با اکسیژن بنویسید.

تمرین ۱۵



شکل ۱۱- جوشکاری استیلن

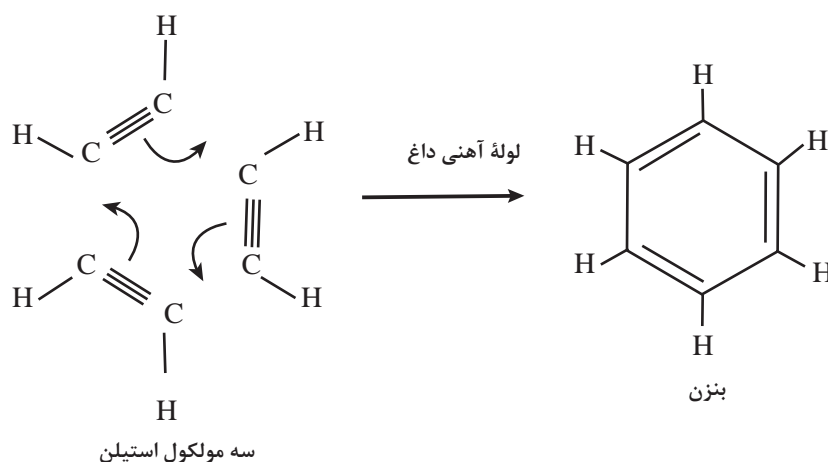
از سوختن استیلن، در مقایسه با سوختن اتان و اتیلن، گرمای کمتری تولید می‌شود. با وجود این، برای جوشکاری و بریدن قطعات فلزی، بیشتر از مشعل‌های اکسی استیلن استفاده می‌شود. زیرا دمای شعله سوختن استیلن در مقایسه با اتیلن و اتان، بالاتر است. علت را می‌توان در کمتر بودن تعداد مول‌های گازی حاصل از سوختن یک مول استیلن جست‌وجو کرد. این گازها برای رسیدن به دمای شعله، گرمای کمتری جذب می‌کنند و در نتیجه، دما بالاتر می‌رود (شکل ۱۱).



دمای شعله سوختن یک حجم استیلین با بیست حجم هوا بیشتر است یا با پنج حجم اکسیژن خالص؟ معادله‌های واکنش را در هر دو حالت بنویسید و درباره پاسخ خود توضیح دهید (راهنمایی: یک پنج حجم هوا، اکسیژن و چهار پنجم آن، نیتروژن است). پاسخ به این تمرین اختیاری است.

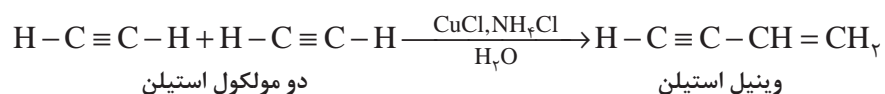
### بسیار ش استیلین

اگر گاز استیلین را از درون یک لوله آهنی داغ عبور دهند، مقداری از آن به بنزن تبدیل می شود.

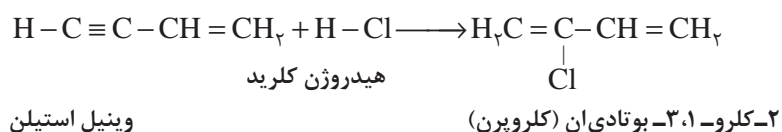


بنزن را می توان سه پار<sup>۱</sup> استیلین (تشکیل شده از سه مولکول استیلین) به شمار آورد.

دو مولکول استیلین می توانند در مجاورت مس (I) کلرید، در محلول آبی آمونیوم کلرید، با یکدیگر واکنش دهند و به دو پار<sup>۲</sup> (تشکیل شده از دو مولکول استیلین) تبدیل شوند.

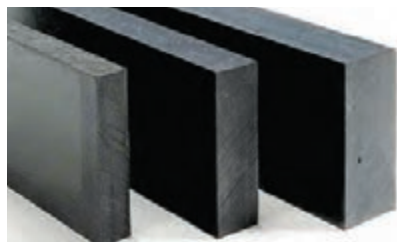


در واکنش های افزایشی، پیوند سه گانه کربن-کربن، فعال تر از پیوند دو گانه کربن-کربن است. از این رو، بر اثر افزایش یک مول هیدروژن کلرید به وینیل استیلین، بر طبق قاعده مارکونیکف، ۲-کلرو-۱،۳-بوتادیان به دست می آید. نام تجاری این ترکیب «کلرو پرن» است.



۱- Trimer

۲- Dimer

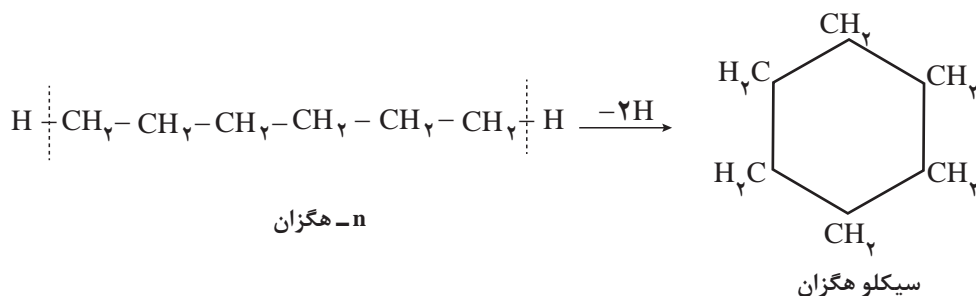


از بسپارش کلروپرن، یک کائوچوی مصنوعی، موسوم به «نئوپرن»، به دست می‌آید. نئوپرن، برخلاف کائوچوی طبیعی، در برابر روغن‌ها و چربی‌ها مقاوم است و در صنایع خودروسازی کاربردهای فراوان دارد. از جمله به صورت عایق سیم‌های برق و بسیاری از قطعاتی که در تماس با چرب‌کننده‌ها قرار می‌گیرند، مصرف می‌شود (شکل ۱۲).

شکل ۱۲- یک نمونه نئوپرن

## سیکلوآلکان‌ها

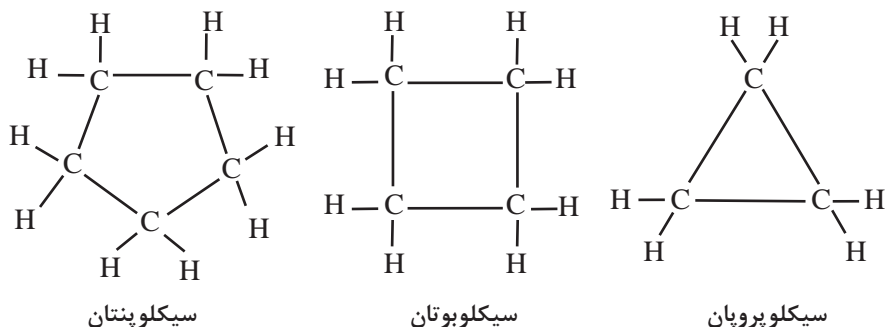
در آلکان‌ها، آلکن‌ها و آلکین‌ها اتم‌های کربن به گونه‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند که زنجیره تشکیل می‌دهند. این هیدروکربن‌ها را هیدروکربن‌های زنجیره‌ای می‌نامند. اما، در بسیاری از هیدروکربن‌ها، اتم‌های کربن به گونه‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند که حلقه تشکیل می‌دهند. این هیدروکربن‌ها، هیدروکربن‌های حلقوی نامیده می‌شوند. برای مثال، اگر در  $n$ -هگزان (هگزان نرمال)، از کربن‌های ابتدایی و انتهای زنجیر، دو اتم هیدروژن جدا شود و کربن‌هایی که در این حالت یک اتصال آزاد دارند، به یکدیگر متصل شوند، یک هیدروکربن حلقوی که دارای شش اتم کربن و دوازده اتم هیدروژن است و سیکلوهگزان نام دارد، به دست می‌آید.



بنابراین، سیکلوآلکان‌ها، نسبت به هیدروکربن‌های زنجیره‌ای سیر شده با همان تعداد کربن، دو اتم هیدروژن کمتر دارند. به یاد دارید که آلکن‌ها نیز نسبت به هیدروکربن‌های سیر شده زنجیره‌ای هم‌ردیف خود (با همان تعداد اتم کربن) دو اتم هیدروژن کمتر دارند. از این رو، سیکلوآلکان‌ها مانند آلکن‌ها، دارای فرمول عمومی  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  هستند. باید توجه داشت که بین آلکن‌ها و سیکلوآلکان‌های هم‌کربن، یک تفاوت عمده وجود دارد، در آلکن‌ها، دست کم دو اتم کربن با پیوند دوگانه به یکدیگر متصل شده است و بنابراین، سیر نشده‌اند، در صورتی که در سیکلوآلکان‌ها، تمام اتم‌های کربن با پیوندهای یگانه به یکدیگر متصل‌اند و در نتیجه، سیر شده به شمار می‌آیند. هیدروکربن‌های حلقوی در اندازه‌های مختلف، از سه کربن در حلقه تا حلقه‌های بیست ضلعی یا بزرگ‌تر وجود دارند. به علاوه، بسیاری از آنها بیش از یک حلقه دارند و در طبیعت، به ویژه در گیاهان، به طور گسترده یافت می‌شوند.

## نام گذاری سیکلو آلکان ها

برای نام گذاری هیدروکربن های سیر شده حلقوی به روش آیوپاک، پیشوند «سیکلو-Cyclo» را که به معنی «حلقوی» است، به نام هیدروکربن سیر شده زنجیری با همان تعداد کربن، می افزایند. به مثال های زیر توجه کنید:



رسم فرمول سیکلو آلکان ها به این صورت، وقت گیر و خسته کننده است. برای آسان کردن کار، اغلب از نوشتن اتم های کربن و اتم های هیدروژن صرف نظر می شود. بنابراین، فرمول های ساختاری هیدروکربن های حلقوی بالا را می توان به صورت خلاصه شده زیر نمایش داد:

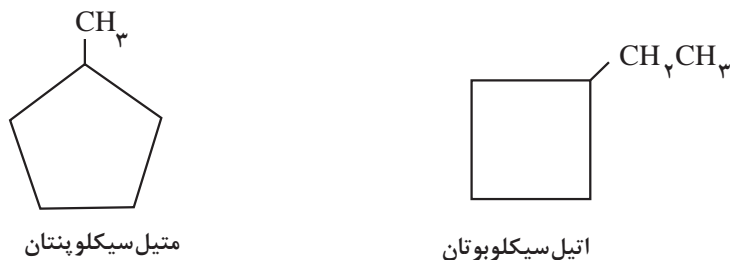


در هر گوشه از این شکل های هندسی، یک اتم کربن و دو اتم هیدروژن متصل به آن وجود دارد.

نکته

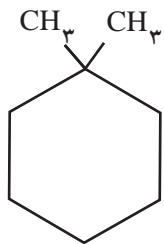


هیدروکربن های حلقوی، ممکن است دارای یک یا چند شاخه جانبی نیز باشند. اگر تنها یک شاخه جانبی وجود داشته باشد، به شماره گذاری حلقه نیازی نیست، زیرا تمام مواضع حلقه یکسان هستند. به مثال های زیر توجه کنید:

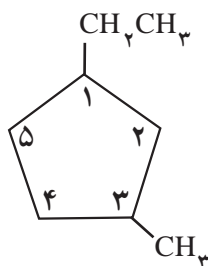




ولی اگر تعداد شاخه‌های جانبی دو یا بیشتر باشد، باید موضع آنها را بر روی حلقه با شماره‌های مناسب مشخص کنیم. شماره‌گذاری اتم‌های کربن تشکیل دهنده حلقه از جهتی انجام می‌شود که مجموع اعداد نسبت داده شده به آنها کوچک‌ترین مقدار باشد. نام شاخه‌ها را به ترتیب حروف الفبای لاتین، ذکر می‌کنیم. برای مثال، به نام‌گذاری هیدروکربن‌های زیر توجه کنید:



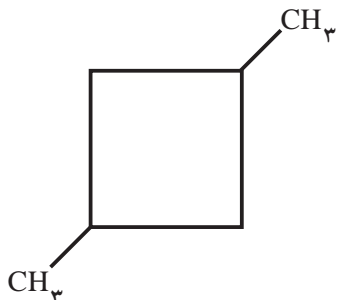
۱،۱-دی‌متیل‌سیکلوهگزان



۱-اتیل - ۳-متیل‌سیکلوپنتان

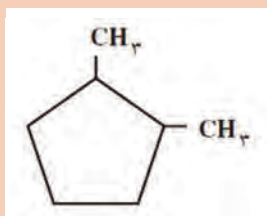
توجه: (۱-اتیل - ۴-متیل‌سیکلوپنتان درست نیست).

مثال ۴: هیدروکربن زیر را به روش آیوپاک نام‌گذاری کنید:



حل:

در این هیدروکربن، چهار اتم کربن یک حلقه چهارضلعی تشکیل داده‌اند (سیکلو بوتان). در گوشه‌های ۱ و ۳ دو شاخه متیل وجود دارد. بنابراین، نام این هیدروکربن، به روش آیوپاک، به صورت زیر است:  
۱،۳-دی‌متیل‌سیکلو بوتان



۱ هیدروکربن داده شده را نام‌گذاری کنید:

۲ فرمول‌های ساختاری هیدروکربن‌های زیر را بنویسید:

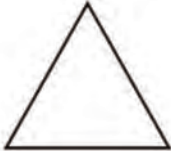

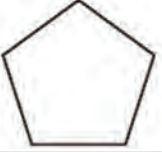

(الف) ۱،۱-دی‌اتیل‌سیکلو پروپان (ب) n - پروپیل‌سیکلوپنتان



### بررسی نقطه ذوب و جوش سیکلوآلکان‌ها

دمای ذوب و جوش سیکلوآلکان‌ها، کمی بالاتر از دمای ذوب و جوش آلکان‌های زنجیری با همان تعداد اتم کربن است زیرا حرکات نوسانی اتم‌ها در مولکول سیکلوآلکان‌ها به علت تشکیل حلقه، تا حدودی محدود شده است و در نتیجه، مولکول‌های آنها بیشتر می‌توانند به یکدیگر نزدیک شوند (نیروهای جاذبه بین آنها بیشتر است) در نتیجه جدا کردن آنها از یکدیگر به انرژی بیشتری نیاز دارد. به داده‌های جدول ۵ توجه کنید.

جدول ۵- مقایسه دمای ذوب و جوش n - آلکان‌ها و سیکلوآلکان‌ها

دمای جوش (°C)	دمای ذوب (°C)	فرمول	n - آلکان و سیکلوآلکان
-۴۲	-۱۸۷	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	پروپان
-۳۳	-۱۲۷		سیکلو پروپان
-۰/۵	-۱۳۵	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	n- بوتان
۱۳	-۹۰		سیکلو بوتان
۳۶	-۱۳۰	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	n- پنتان
۴۹	-۹۴		سیکلو پنتان
۶۹	-۹۵	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	n- هگزان
۸۱	۷		سیکلو هگزان

هیدروکربن‌های زیر را به ترتیب کاهش دمای جوش، از چپ به راست منظم کنید. (هیدروکربنی را که دارای دمای جوش بالاتر است، در سمت چپ بنویسید.) برای انتخاب خود، چه دلیلی ارائه می‌دهید:

الف) سیکلوپنتان      ب) n- پنتان      ج) ۲- متیل بوتان

تمرین ۱۸



## پرسش‌های پایانی

۱ مولکول اتن را با مولکول اتان، در موارد زیر مقایسه کنید.

الف) تعداد پیوندهای میان اتم‌ها

ب) تعداد جفت الکترون‌های پیرامون هر اتم

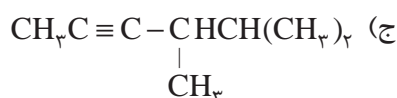
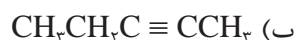
ج) ظرفیت کربن

۲ کدام یک از ترکیب‌های زیر، دارای ایزومرهای سیس و ترانس است؟

الف) ۱- بوتن (ب) ۲- پنتن (ج) ۲- متیل بوتن (د) ۲- متیل پروپن

فرمول ساختاری ایزومرهای احتمالی را رسم کنید.

۳ نام آیوپاک هریک از آلکین‌های زیر را بنویسید:



۴ ساختار فراورده عملی به دست آمده از واکنش ۱- هگزین را با واکنش‌گرهای زیر بنویسید:

الف) هیدروژن (دو مول)، پلاتین

ب) هیدروژن کلرید (یک مول)

پ) هیدروژن کلرید (دو مول)

۵ چگونه می‌توان با یک آزمایش ساده، هیدروکربن‌های زیر را از یکدیگر تشخیص داد؟

الف) ۲- بوتین و بوتان

ب) ۱- بوتین و ۱- بوتین

پ) ۱- بوتین و ۱- بوتن

ث) ۲- بوتن و بوتان

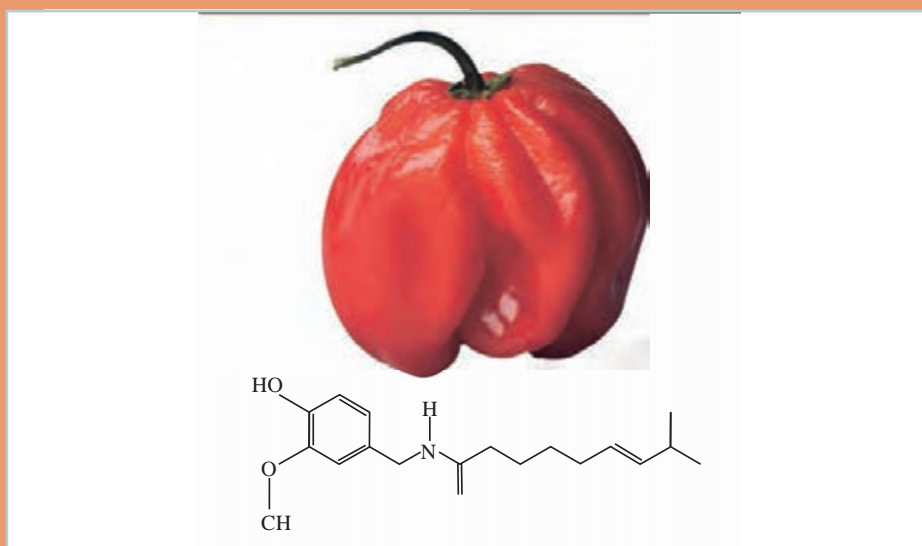
۶ معادله واکنش سوختن یک مول سیکلوپنتان را در هوا بنویسید.

### جدول ارزشیابی پودمان به کارگیری هیدروکربن های آلیفاتیک

نمره	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	عنوان پودمان
۳	■ چگونگی واکنش های آلکن ها و آلکین ها را شرح دهد.	بالاتر از حد انتظار	رسم ساختار و نام گذاری و رسم ایزومرهای آلکن ها و آلکین ها و سیکلوآلکن ها را انجام دهد. ■ کاربرد هیدروکربن های الیفاتیکی را توضیح دهد.	کاربرد آلکن ها	هیدروکربن های آلیفاتیک
۲	■ ساختار سیکلوآلکن ها، آلکن ها و آلکین ها را رسم و آنها را نام گذاری کند. ■ ایزومرهای آلکن ها و آلکین های اولیه را رسم کند. ■ بسپارش و خواص بسپارها را بیان کند. ■ روش تهیه اتیلن و استیلن را شرح دهد.	در حد انتظار		کاربرد آلکین ها و سیکلوآلکن ها	
۱	شاخص های «در حد انتظار» را با بیش از یک اشتباه انجام دهد.	پایین تر از حد انتظار			
				نمره مستمر از ۵	
				نمره شایستگی پودمان از ۳	
				نمره پودمان از ۲۰	

## پودمان چهارم

### به کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار



ترکیبات آلی در طبیعت به ویژه در گیاهان به طور گسترده موجودند. احساس سوزش در فلفل مربوط به ساختار ترکیبات آلی موجود در آن است.

## هیدروکربن‌های آروماتیک

هیدروکربن‌های آروماتیک دسته وسیعی از ترکیبات آلی هستند که دارای ساختاری با یک حلقه شش کربنی یا بیشتر، با پیوندهای یگانه و دوگانه به صورت متناوب هستند.

بنزن (ساده‌ترین هیدروکربن حلقوی) مایعی بی‌رنگ، فرار با بوی نافذ است که در روغن‌های حاصل از تقطیر زغال سنگ وجود دارد. این ماده در صنایع داروسازی، رنگ‌سازی، عطرسازی، مواد منفجره و پلاستیک‌ها بسیار اهمیت دارد.

هیدروکربن‌هایی که شامل یک یا چند حلقه بنزنی است هیدروکربن‌های آروماتیک نامیده می‌شود. زیرا این ترکیبات را نخستین بار از ترکیباتی به دست آوردند که بوی مطبوعی داشت. برای مثال یکی از این مواد معطر از دانه‌های خردشده وانیل به دست می‌آید. به ساختار چند نمونه ترکیب آروماتیک در شکل ۱ توجه کنید.



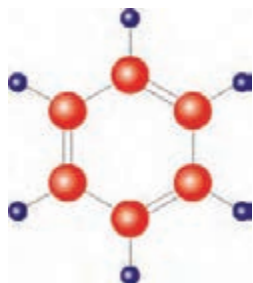
شکل ۱- ساختار چند نمونه ترکیب آروماتیک

امروزه، واژه آروماتیک کاربرد گسترده‌تری پیدا کرده است. به‌طور کلی، ترکیب‌هایی را که از نظر خواص مانند بنزن رفتار می‌کنند، حتی اگر بوی نامطبوعی داشته باشند، ترکیب آروماتیک به‌شمار می‌آورند. تعدادی از مجتمع‌های پتروشیمی ایران ظرفیت لازم را برای تولید بنزن دارند (شکل ۲).



شکل ۲- یکی از مجتمع‌های پتروشیمی - ایران

## ساختار بنزن



هیدروکربنی را که امروزه با نام بنزن می‌شناسیم، برای نخستین بار در سال ۱۸۵۲ میلادی به وسیله مایکل فارادی<sup>۱</sup>، دانشمند انگلیسی، از مایع روغنی شکل باقی مانده در استوانه‌های فولادی و پر شده با گاز روشنایی به دست آمد. فارادی نشان داد که این ترکیب فقط از اتم‌های کربن و هیدروژن تشکیل شده است و شمار اتم‌های کربن در آن با شمار اتم‌های هیدروژن برابر است.

در سال ۱۸۳۴، میچرلیخ<sup>۲</sup> با اندازه‌گیری چگالی بخار بنزن، برای آن فرمول مولکولی  $C_6H_6$  را پیشنهاد کرد. در سال‌های بعد معلوم شد که بنزن سنگ زیرین بنای بسیاری از ترکیب‌های آلی است. یک آلکان شش کربنی (هگزان)، دارای فرمول مولکولی  $C_6H_{14}$  است. بنابراین، بنزن با فرمول مولکولی  $C_6H_6$ ، یک هیدروکربن سیر نشده به شمار می‌آید و باید در مولکول خود چند پیوند دوگانه یا سه‌گانه داشته باشد.

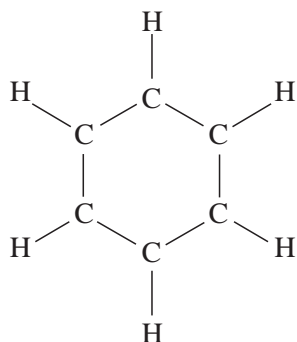


II

I

از طرف دیگر، همان‌طور که پیش از این دیدید، ترکیب‌هایی که دارای پیوندهای دوگانه یا سه‌گانه‌اند، در برابر بسیاری از واکنش‌گرها، فعالیت شدیدی از خود نشان می‌دهند. برای مثال، آلکن‌ها و آلکین‌ها، محلول قرمز رنگ برم در کربن تتراکلرید را در تاریکی بی‌رنگ می‌کنند و رنگ محلول پتاسیم پرمنگنات را از بین می‌برند. اما بنزن چنین خواصی از خود ظاهر نمی‌سازد. حتی سولفوریک اسید غلیظ در سرما بر آن تأثیر نمی‌گذارد. این ویژگی‌ها نمی‌تواند با ساختارهای I یا II سازگار باشد.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، بنزن دارای فرمول مولکولی  $C_6H_6$  است. یعنی در مولکول خود، شش اتم کربن و شش اتم هیدروژن دارد. پرسشی که مطرح می‌شود این است: این اتم‌ها چگونه به یکدیگر متصل شده‌اند؟



شکل ۳- ساختار شش ضلعی منتظم پیشنهادی ککوله برای بنزن

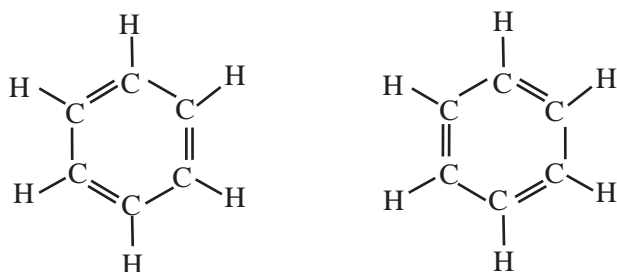
شیمی‌دان‌های قرن نوزدهم، برای تعیین ساختار مولکولی بنزن، کوشش‌های فراوانی به عمل آوردند، ولی معمای ساختار بنزن به مدت چهل سال همچنان حل نشده باقی بود تا اینکه در سال ۱۸۵۶، ککوله<sup>۳</sup> برای آن یک ساختار شش ضلعی منتظم پیشنهاد کرد. در ساختار پیشنهادی ککوله، شش اتم کربن در گوشه‌های یک شش ضلعی منتظم قرار می‌گیرند و هر کربن با یک هیدروژن پیوند دارد (شکل ۳).

۱- Michael Faraday

۲- Mitscherlich

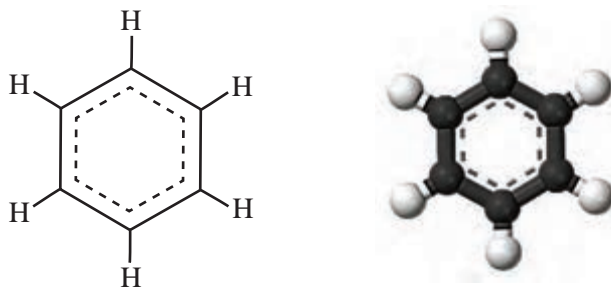
۳- August Kekule

اما این ساختار شش ضلعی، اصل چهار ظرفیتی بودن کربن را که توسط خود ککوله عنوان شده بود، زیر پا می گذاشت. برای تأمین ظرفیت چهارم اتم‌های کربن، ککوله آنها را به طور یک در میان با پیوندهای ساده و دوگانه به یکدیگر متصل کرد. به این ترتیب، ساختارهای زیر به دست آمدند که ما آنها را فرمول‌های ککوله می نامیم (شکل ۴).



شکل ۴- ساختار بنزن، با توجه به چهار ظرفیتی بودن کربن (فرمول‌های ککوله)

سایر دانشمندان به طور گسترده ساختار پیشنهادی ککوله برای بنزن را پذیرفتند و هنوز هم از آن استفاده می کنند. توجه به این واقعیت‌ها، شیمی‌دانان را به ساختار مولکولی بنزن به صورت شکل ۵ راهنمایی می کند.



شکل ۵- ساختار مولکولی بنزن

در واقع، به جای آنکه پیوندهای موجود بین اتم‌های کربن در مولکول بنزن به طور یک در میان، یگانه و دوگانه فرض شود، تمام پیوندهای کربن - کربن هم‌ارز و حد واسط بین یک پیوند یگانه و یک پیوند دوگانه (یک‌ونیم پیوند) در نظر گرفته می شود. این فرض، با واقعیت‌های تجربی سازگار است.

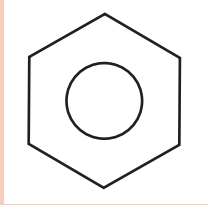
بررسی بلورهای بنزن توسط پرتوهای ایکس نشان می دهد که بنزن دارای ساختار یک شش ضلعی منتظم است. طول تمام پیوندهای کربن - کربن در آن، برابر  $1/4^{\circ} \text{A}$  یعنی حد واسط بین طول پیوندهای یگانه کربن-کربن ( $1/54^{\circ} \text{A}$ ) و طول پیوندهای دوگانه کربن - کربن ( $1/34^{\circ} \text{A}$ ) است. افزون بر این، زوایای پیوندی

برابر  $120^{\circ}$  اندازه گیری شده اند.

The diagrams illustrate the bond angles in benzene. The first diagram shows a carbon atom (C) bonded to two other carbon atoms (C) and one hydrogen atom (H). The angle between the two C-C bonds is labeled as  $120^{\circ}$ . The second diagram shows a carbon atom (C) bonded to two other carbon atoms (C), with the angle between the two C-C bonds also labeled as  $120^{\circ}$ .



نکته



امروزه برای ساده نویسی، توزیع یکنواخت پیوندها را بین اتم‌های کربن در حلقه بنزن با یک دایره در داخل حلقه شش ضلعی منتظم نشان می‌دهند و اغلب از نوشتن اتم‌های کربن و اتم‌های هیدروژن صرف نظر می‌کنند.



خواص فیزیکی بنزن، بیشتر شبیه خواص فیزیکی هیدروکربن‌های زنجیره‌ای با همان تعداد کربن است. برای مثال، بنزن مایعی بی‌رنگ و ناقطبی است، بنابراین در حلال‌های ناقطبی حل می‌شود اما در آب حل ناپذیر است.

نکته ایمنی

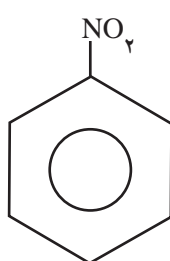


تنفس بخارهای بنزن، موجب گیجی و سردرد می‌شود. مقدار زیاد آن بیهوشی می‌آورد. بخار بنزن، چشم‌ها و اعضای مخاطی را تحریک می‌کند. بنزن مایع از راه پوست جذب می‌شود و ممکن است ایجاد مسمومیت کند. خوردن آن فوق‌العاده خطرناک است. تنفس بخارهای بنزن با غلظت کم ولی برای مدت طولانی، اثرهای نامطلوب از جمله بیماری‌های خونی و حتی مرگ به همراه دارد. ظرف‌های محتوی بنزن و تمام مواد شیمیایی سمی دیگر، باید دارای برچسب هشداردهنده «جمجمه و دو استخوان متقاطع» باشند.

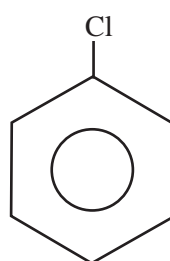


## نام گذاری هیدروکربن‌های آروماتیک

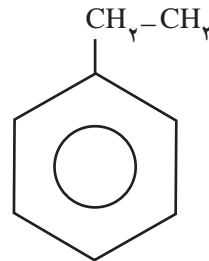
۱ در روش نام گذاری آیوپاک، ترکیب آروماتیک را به عنوان مشتق بنزن نام گذاری می‌کنند. یعنی، ابتدا نام گروه جانشین را می‌نویسند و سپس کلمه «بنزن» را به آن می‌افزایند. به نام گذاری‌های زیر توجه کنید:



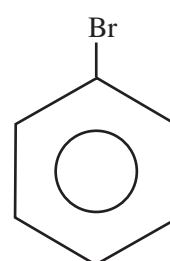
نیتروبنزن



کلروبنزن



اتیل بنزن



برومبنزن

چرا در نام گذاری بالا موقعیت گروه جانشین با شماره مشخص نشده است؟

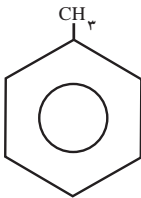
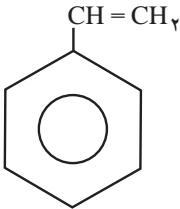
بحث گروهی





برخی از مشتق‌های بنزن، بیشتر با نام‌های متداول خود نامیده می‌شوند. این نام‌ها هیچ‌گونه اطلاعی در مورد نوع گروه جانشین و ساختار آن در اختیار نمی‌گذارند. به دلیل استفاده از این نام‌ها در اغلب کتاب‌های شیمی، لازم است با نام آنها آشنا باشید. برای مثال، نام آیوپاک و نام متداول چند مشتق بنزن را در جدول ۱ ملاحظه می‌کنید:

### ۱- نام آیوپاک و نام متداول چند مشتق بنزن

ساختار	نام آیوپاک	نام متداول	کاربرد
	متیل بنزن	تولوئن	
	وینیل بنزن	استایرن <sup>۱</sup>	

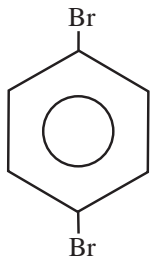
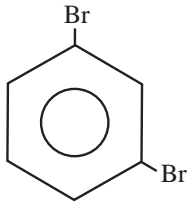
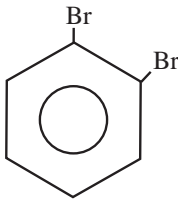
با مراجعه به منابع، کاربردهای تولوئن و استایرن را در جدول (۱) تکمیل کنید.

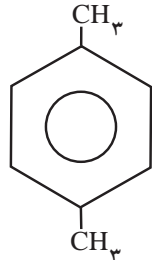
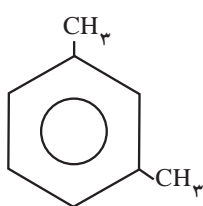
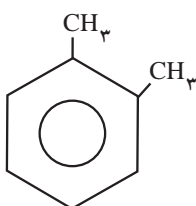
تحقیق کنید  
۱



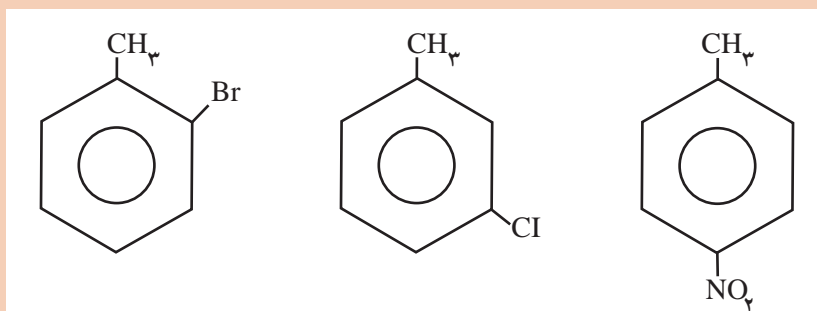
۲ اگر دو اتم یا دو گروه، جانشین دو هیدروژن حلقه بنزن شده باشند، افزون بر نام گروه‌ها باید موقعیت نسبی هر یک را نیز بر روی حلقه بنزن مشخص کنیم. برای مثال به منظور تعیین مواضع نسبی اتم‌های برم، می‌توان از پیشوندهای ارتو - (به جای شماره‌های ۱، ۲-)، متا - (به جای شماره‌های ۱، ۳-) و پارا - (به جای شماره‌های ۱، ۴-) استفاده کرد. به جدول ۲ توجه کنید:

جدول ۲- نام آیوپاک و نام متداول مشتقات بنزن با دو گروه جانشین

			ساختار
۱، ۴- دی برموبنزن	۱، ۳- دی برموبنزن	۱، ۲- دی برموبنزن	نام آیوپاک
پارا- دی برموبنزن	متا- دی برموبنزن	ارتو - دی برموبنزن	نام متداول

			ساختار
۱، ۴- دی متیل بنزن	۱، ۳- دی متیل بنزن	۱، ۲- دی متیل بنزن	نام آیوپاک
پارا - زایلن	متا- زایلن	ارتو - زایلن	نام متداول

اگر یکی از دو گروه جانشین بر روی حلقه بنزن، دارای نام متداول باشد، ترکیب را به عنوان مشتقی از این نام قدیمی نام گذاری می کنند. برای مثال، ترکیب‌های زیر به عنوان مشتق تولوئن نام گذاری شده‌اند:



ارتو- برموتولوئن

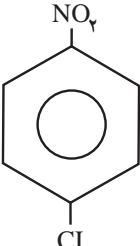
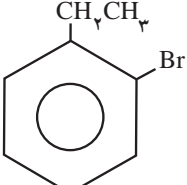
متا- کلروتولوئن

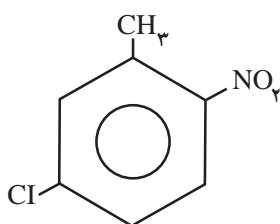
پارا - نیتروتولوئن

نکته

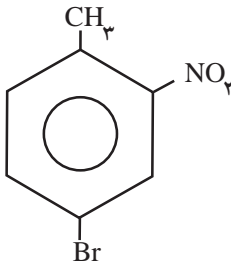


۲ وقتی دو گروه متفاوت بر روی حلقه جانشین شده باشند، شماره گذاری اتم‌های کربن حلقه از گروهی آغاز می‌شود که به ترتیب حروف الفبای لاتین دارای تقدم باشد. نام گروه‌های جانشین نیز به ترتیب حروف الفبای لاتین نوشته می‌شود. به مثال‌های زیر توجه کنید:

نام متداول	نام آیوپاک	ساختار
پارا - کلرونیترو بنزن	۱- کلرو - ۴- نیترو بنزن	
ارتو - برمواتیل بنزن	۱- برمواتیل - ۲- اتیل بنزن	



۵- کلرو - ۲- نیترو تولوئن

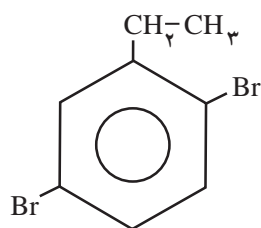


۴- برمواتیل - ۲- نیترو تولوئن

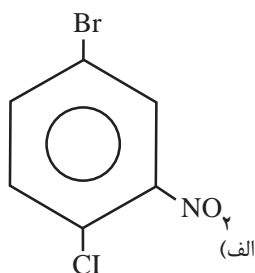
(این دو ترکیب، به‌عنوان مشتق تولوئن نام گذاری شده‌اند).

اگر بر روی حلقه بنزن، بیش از دو گروه جانشین وجود داشته باشد، برای مشخص کردن موقعیت‌های نسبی آنها، اتم‌های کربن حلقه به‌گونه‌ای شماره گذاری می‌شود که مجموع شماره‌های نسبت داده شده به گروه‌های جانشین کوچک‌ترین مقدار باشد (البته ترتیب حروف الفبای لاتین نیز باید رعایت شود).

نکته



(ب)



(الف)

نام ترکیب‌های زیر را به‌روش آیوپاک بنویسید.

تمرین ۱





۱ فرمول‌های ساختاری ترکیب‌های زیر را بنویسید:

الف) ۵- برمو - ۲- نیترو تولوئن

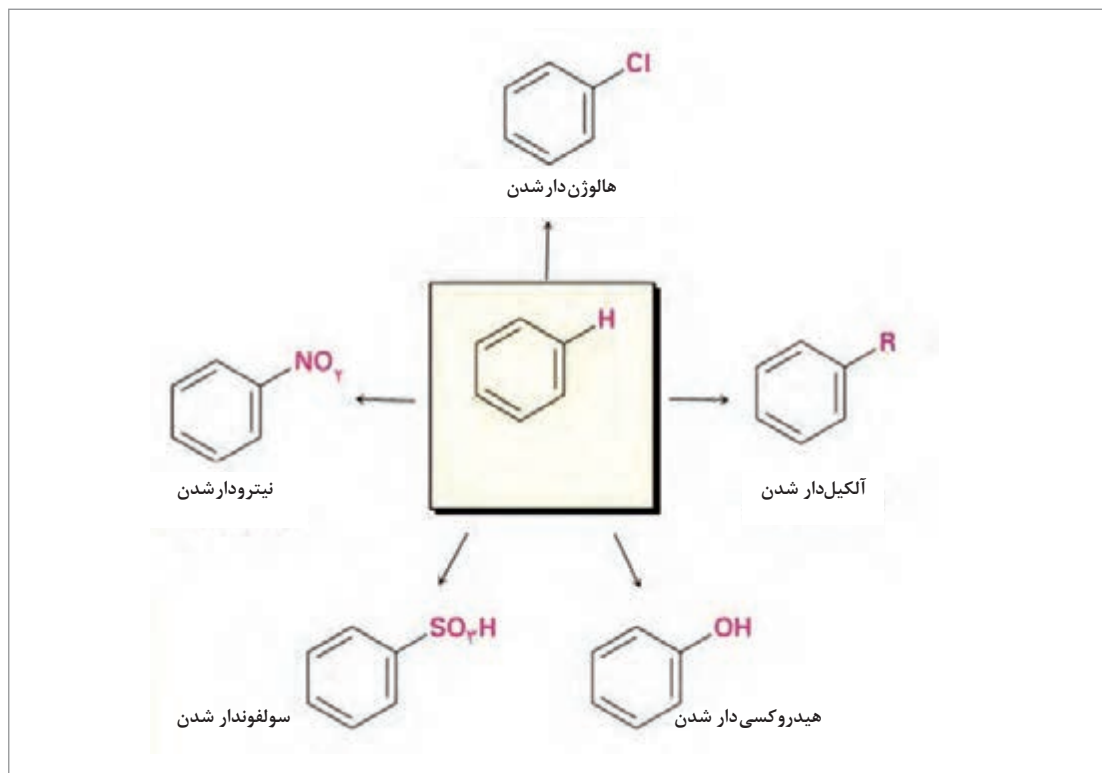
ب) ۱- برمو - ۴- کلرو - ۲- نیترو بنزن

۲ چند ایزومر با فرمول مولکولی  $C_8H_{10}$  می‌شناسید که دارای حلقه بنزنی باشند؟ نام هر یک را بنویسید.

۳ برای هیدروکربنی با فرمول مولکولی  $C_9H_{12}$ ، در مجموع چند ایزومر می‌توانید رسم کنید که از بنزن مشتق شده باشند؟ نام هر یک را بنویسید.

## واکنش‌های جانیشینی بنزن و مشتقات آن

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، بنزن  $C_6H_6$ ، یک مولکول سیرنشده است. با وجود این، برخلاف هیدروکربن‌های سیرنشده معمولی (آلکن‌ها و آلکین‌ها)، در برابر بسیاری از واکنش‌گرها برای شرکت در واکنش‌های افزایشی تمایل چندانی از خود نشان نمی‌دهد. اما، در دماهای بالاتر و در مجاورت کاتالیزگرهای مناسب، در واکنش‌های جانیشینی با بیشتر این واکنش‌گرها، شرکت می‌کند. شکل ۶ واکنش‌های جانیشینی بنزن را نشان می‌دهد و در ادامه تعدادی از آنها توضیح داده خواهد شد.

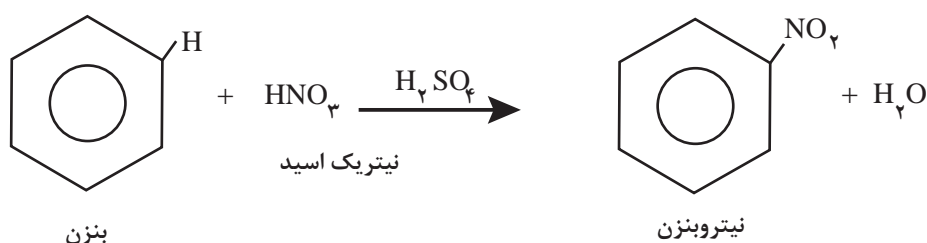


شکل ۶- واکنش‌های جانیشینی بنزن

## ■ نیترودار کردن بنزن<sup>۱</sup>

نیترودار کردن بنزن، واکنش بسیار مهمی است و ترکیب‌های سودمندی را تولید می‌کند که دسترسی به آنها از راه‌های دیگر به آسانی امکان‌پذیر نیست. برای نیترودار کردن بنزن، معمولاً از مخلوط نیتریک‌اسید و سولفوریک‌اسید غلیظ استفاده می‌شود. مخلوط این دو اسید را «مخلوط سولفونیتریک» می‌نامند.

اگر بنزن را قطره قطره به مخلوط نیتریک‌اسید و سولفوریک‌اسید غلیظ بیفزاییم، مایعی روغنی شکل به رنگ زرد روشن با بوی بادام تلخ، معروف به نیتروبنزن، به وجود می‌آید. در این واکنش، یکی از هیدروژن‌های حلقه بنزن توسط گروه نیترو،  $\text{NO}_2^+$ ، جانشین می‌شود. به این گونه واکنش‌ها، واکنش جانشینی الکترون دوستی<sup>۲</sup> گفته می‌شود.

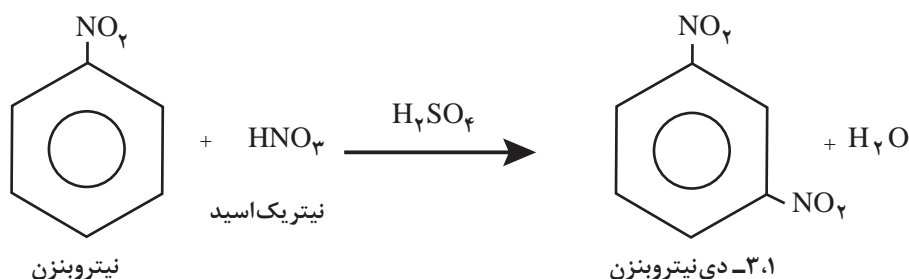


در این واکنش، سولفوریک اسید به عنوان کاتالیزگر عمل می‌کند.

این واکنش، گونه‌ای از واکنش‌های آلی است که طی آن یکی از اتم‌های متصل به حلقه آروماتیک (معمولاً هیدروژن) جای خود را با یک گروه الکترون دوست (واکنش‌گری که با پذیرفتن یک زوج الکترون پیوندی از یک گروه دیگر با آن تشکیل پیوند می‌دهد) عوض می‌کند.

از نیتروبنزن، برای معطر کردن صابون‌های ارزان قیمت و ساخت مواد آلی مهم دیگر مانند رنگینه‌ها و داروها استفاده می‌شود.

با ادامه عمل نیترودار کردن و جانشین شدن یکی دیگر از هیدروژن‌های حلقه بنزن توسط گروه نیترو، بلورهای ۳،۱-دی‌نیتروبنزن (متا-دی‌نیتروبنزن) به وجود می‌آیند. برای اجرای این مرحله از واکنش باید از شرایط سخت‌تر، یعنی اسیدهای غلیظ‌تر و دماهای بالاتر استفاده شود.

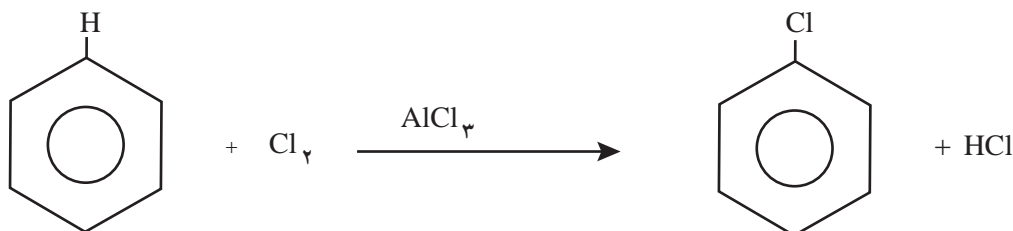


۱- Aromatic Nitration

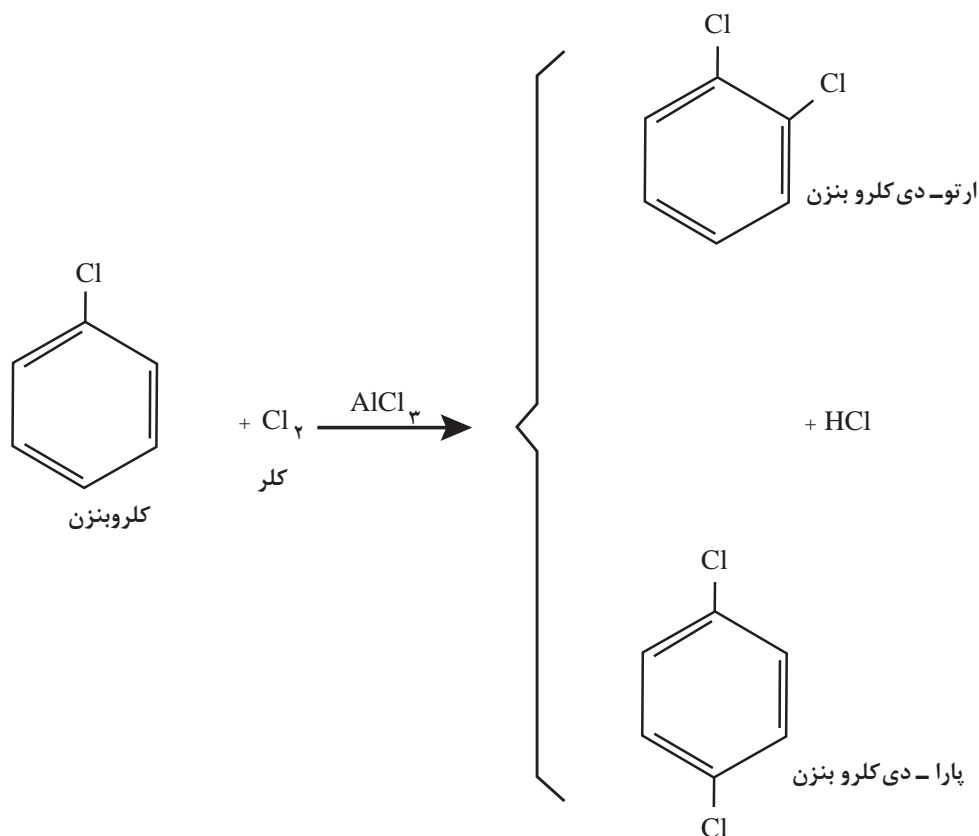
۲- Electrophilic Substitution Reaction

### ■ هالوژن دار کردن بنزن

هنگامی که بنزن را در تاریکی و در دمای معمولی با کلر مخلوط کنید، واکنشی صورت نمی گیرد، اما در مجاورت یک کاتالیزگر مناسب، واکنش جانشینی الکترون دوستی انجام می شود، در این واکنش افزون بر کلروبنزن، هیدروژن کلرید نیز به وجود آید.



در واکنش فوق، از آلومینیم کلرید  $AlCl_3$ ، به عنوان کاتالیزگر استفاده شده است. نقش آلومینیم کلرید، قطبی کردن مولکول کلر است. با ادامه واکنش کلردار کردن، می توان سایر مشتق های کلردار بنزن مانند دی کلروبنزن و تری کلروبنزن را به دست آورد.



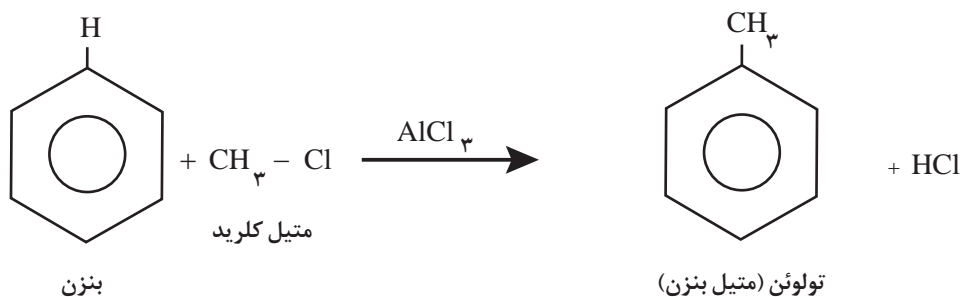
همان طور که نشان داده شده است، در کلردار کردن کلروبنزن، بیشتر مخلوطی از ارتو - و پارا - دی کلرو بنزن به دست می آید.



واکنش برم‌دار کردن بنزن را در مجاورت براده آهن با فرمول نشان دهید.

### ■ آلکیل‌دار کردن بنزن

متیل‌بنزن (تولوئن) و دی‌متیل‌بنزن‌ها (زایلن‌ها) را می‌توان از تقطیر نفت خام به‌دست آورد. با وجود این، هر وقت لازم باشد می‌توان یک گروه متیل (یا هر گروه آلکیل دیگر) را جانشین یکی از هیدروژن‌های حلقه بنزن کرد. برای این کار، از واکنش آلکیل‌دار کردن فریدل - کرافتس<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. برای مثال، چنانچه متیل کلرید (کلرومتان،  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) را در مجاورت کاتالیزگر آلومینیم کلرید بی‌آب، ( $\text{AlCl}_3$ )، با بنزن گرم کنند متیل‌بنزن و هیدروژن کلرید تشکیل می‌شود.



واکنش آلکیل‌دار کردن فریدال - کرافتس، از دیدگاه صنعتی اهمیت فراوان دارد.

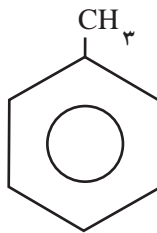


واکنش ایزوپروپیل کلرید  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$  را در مجاورت آلومینیم کلرید بی‌آب، با بنزن بنویسید.



## هیدروکربن های هم خانواده بنزن

یکی از هیدروکربن های هم خانواده بنزن، ترکیبی به نام متیل بنزن یا تولوئن است. تولوئن یک هیدروکربن آروماتیک است که منبع طبیعی آن نفت خام است. تولوئن در طول فرایند تولید بنزین و سوخت های دیگر از نفت خام، در ساخت کک از زغال سنگ و به عنوان یک محصول جانبی در تولید استایرن، به دست می آید.



تولوئن یک حلال بسیار خوب است، زیرا آب دوست نیست و می تواند بسیاری از ترکیبات آلی را حل کند. تولوئن دارای کاربردهای تجاری و صنعتی متعددی از جمله، حلال رنگ ها، لاک، تینر (رقیق کننده رنگ) و چسب است و در فرایندهای صنعت چاپ و صنعت چرم (دباغی چرم) از آن استفاده می شود. تولوئن می تواند به عنوان یک تقویت کننده عدد اکتان در سوخت های بنزینی و در موتورهای احتراق داخلی، استفاده شود. تولوئن به تنهایی می تواند به عنوان سوخت برای موتورها استفاده شود.

### خواص فیزیکی تولوئن

خواص فیزیکی تولوئن، مانند خواص فیزیکی بنزن است. تولوئن مایعی بی رنگ و حل ناپذیر در آب است. اما در حلال های آلی حل می شود. مانند بنزن، حلال خوبی برای مواد آلی است و به عنوان حلال، کاربردش خیلی بیشتر از بنزن و سمیت آن نیز بسیار کمتر از بنزن است.

### خواص شیمیایی تولوئن

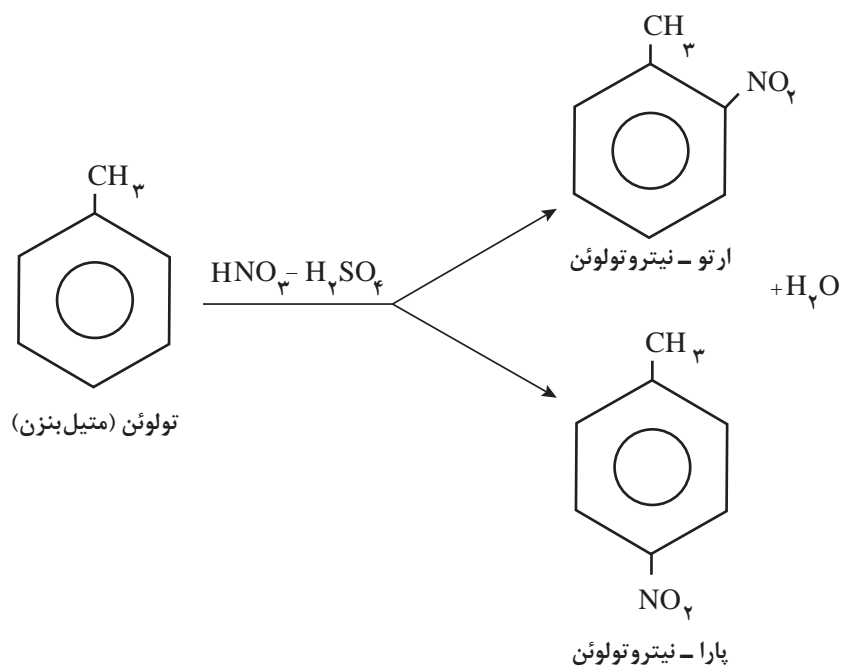
واکنش های شیمیایی تولوئن را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد:  
(الف) واکنش هایی که بر روی حلقه بنزن اجرا می شود.  
(ب) واکنش هایی که بر روی گروه متیل صورت می گیرد.

### الف) واکنش های حلقه بنزن

تولوئن، در تمام واکنش های جانمایی الکترون دوستی، که پیش از این در مورد بنزن بیان شده است، شرکت می کند. برای مثال، تولوئن می تواند بر روی حلقه نیترودار، هالوژن دار، سولفودار و همچنین آلکیل دار شود. در تمام این واکنش ها، تولوئن فعال تر از بنزن عمل می کند و واکنش های آن سریع تر اجرا می شود.

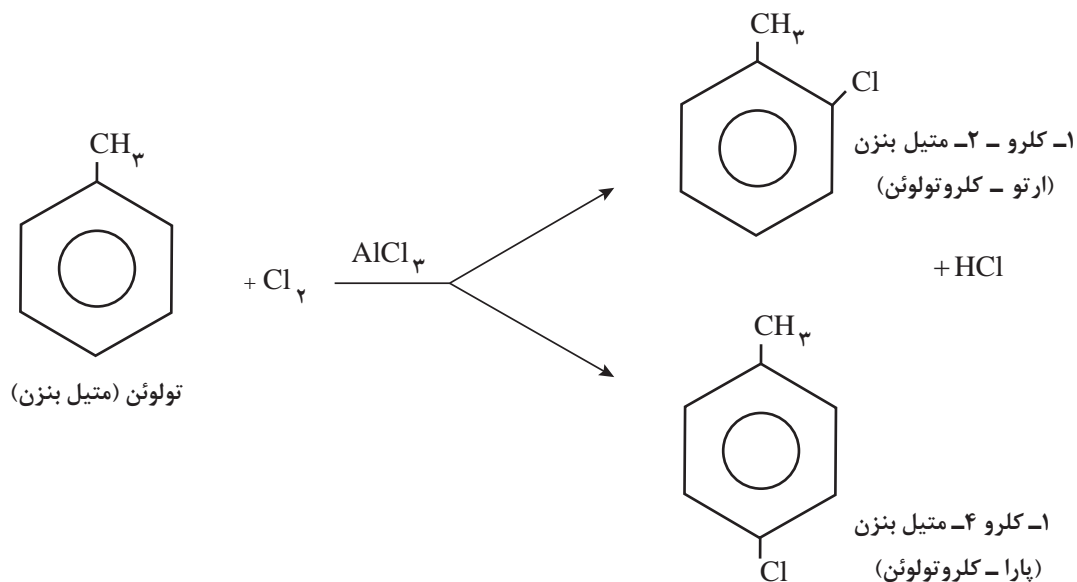
### ■ نیترودار کردن تولوئن

تولوئن را می توان به همان روشی که درباره بنزن بیان شد، با مخلوط نیتریک اسید و سولفوریک اسید غلیظ، نیترودار کرد. محصول این واکنش مخلوطی از دو ایزومر متیل نیتروبنزن (ارتو- و پارا- نیترو تولوئن) است.



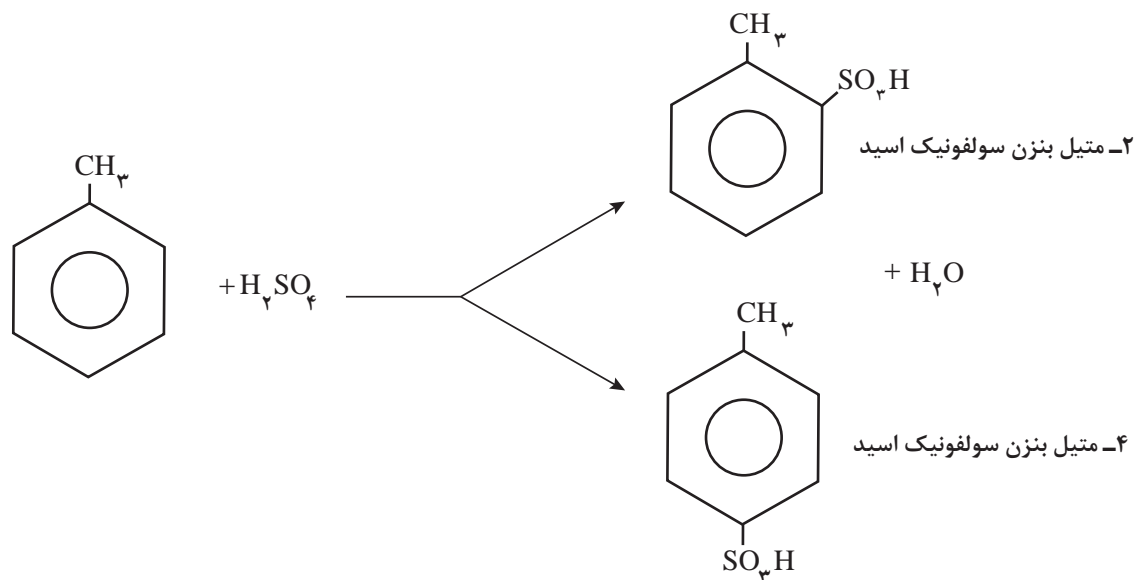
### ■ کلردار کردن تولوئن:

حلقه بنزن در تولوئن را می توان با عبور دادن گاز کلر از درون مایع آن، در مجاورت آلومینیم کلرید،  $\text{AlCl}_3$ ، در تاریکی کلردار کرد. آلومینیم کلرید به عنوان کاتالیزگر عمل می کند. در این حالت مخلوطی از دو ایزومر کلرومتیل بنزن (ارتو - و پارا - کلروتولوئن) به دست می آید.



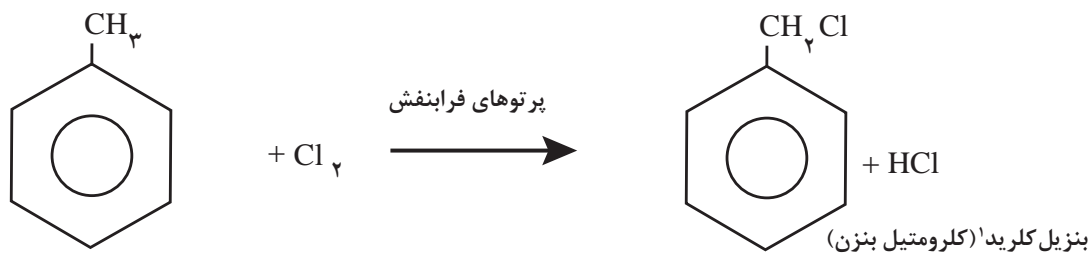
### ■ سولفودار کردن تولوئن

سولفودار کردن با سولفوریک اسید غلیظ نیز به مخلوطی از دو ایزومر (ارتو- و پارا- متیل بنزن سولفونیک اسیدها) منجر می شود:



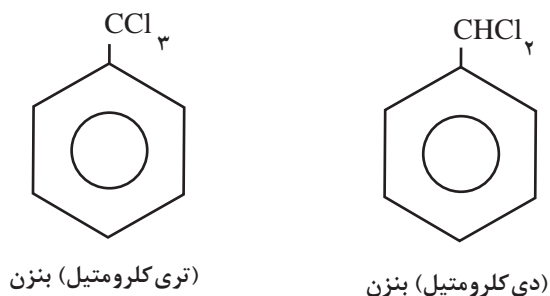
### ب) واکنش های شاخه متیل

گروه متیل در تولوئن در بعضی از واکنش های اختصاصی آلکان ها شرکت می کند. این گروه همچنین در واکنش هایی که در آلکان ها مشاهده نمی شود، شرکت می کند. در این قسمت از هر نوع واکنش یک نمونه بررسی می شود. گروه متیل در تولوئن را می توان مانند آلکان ها از طریق رادیکالی، هالوژن دار کرد. برای اجرای این واکنش، گاز کلر را در برابر نور مستقیم خورشید یا در برابر پرتوهای فرابنفش از درون تولوئن جوشان عبور می دهند. توجه داشته باشید که هالوژن دار کردن حلقه بنزن در تولوئن به شرایط تجربی کاملاً متفاوتی نیاز دارد. کلردار کردن گروه متیل در تولوئن را می توان به صورت زیر نشان داد:



۱- گروه -CH<sub>2</sub>- را گروه بنزید می نامند.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در این شرایط گاز کلر بر حلقه اثر ندارد. واکنش آن با گروه متیل مانند واکنش کلر با متان، یعنی از نوع جانشینی رادیکالی است. با ادامه واکنش هالوژن‌دار کردن، ترکیب‌های زیر نیز تشکیل می‌شوند:



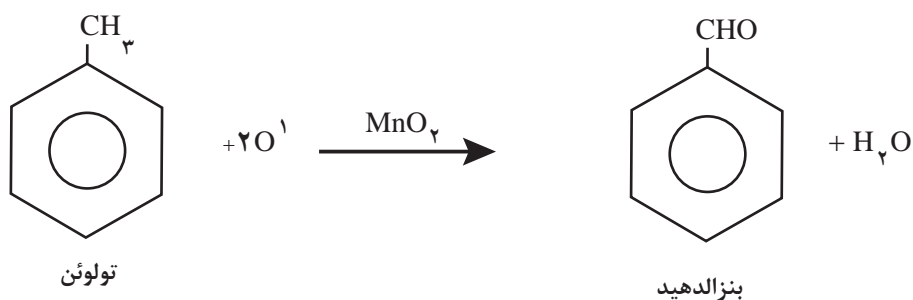
برم‌دار کردن تولوئن نیز، در شرایط مشابه انجام می‌شود و ترکیب‌های برم‌دار مربوط به دست می‌آید.

معادله شیمیایی برم‌دار کردن تولوئن را در برابر پرتوهای فرابنفش، با فرمول نشان دهید و نام ترکیب‌های به دست آمده را بنویسید.

تمرین ۵



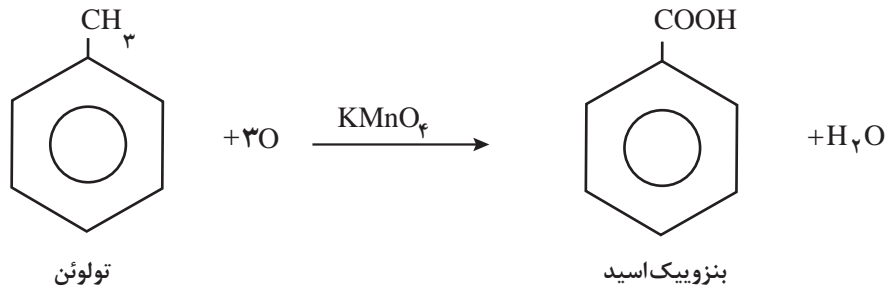
پیش از این دیدید که آلکان‌ها در برابر عوامل اکسیدکننده، حتی اکسیدکننده‌های قوی مانند پتاسیم پرمنگنات، مقاومت می‌کنند اما، شاخه متیل در تولوئن، حتی در برابر عوامل اکسیدکننده نسبتاً ملایم مانند منگنز دی‌اکسید ( $MnO_2$ )، اکسید می‌شود!



۱- علامت O نشانه اتم اکسیژنی است که به وسیله محلول  $MnO_2$  (اکسیدکننده) در اختیار تولوئن (اکسیدشونده) قرار می‌گیرد.

بودمان چهارم: به کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار

در این واکنش اگر از یک اکسیدکننده قوی تر مانند پتاسیم پرمنگنات استفاده شود، عمل اکسایش پیشرفت می کند و بنزویک اسید به دست می آید:



شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران با دریافت فرآورده های نفتی (از قبیل بنزین، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره و سوخت جت) از پالایشگاه ها و انتقال آنها به مخازن انبارهای متصل به خطوط لوله در سراسر کشور، تأمین سوخت مایع برخی از نیروگاه ها، فرودگاه ها و بخشی از خوراک صنعت پتروشیمی و در مجموع کنترل شبکه ای را با کارکرد انتقال سالانه بالغ بر ۱۲۳ میلیارد لیتر مواد نفتی از طریق حدود ۱۴ هزار کیلومتر خطوط لوله و ۲۹۳ ایستگاه مخابراتی برعهده دارد.

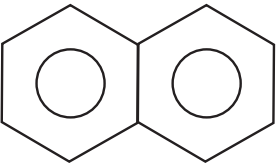
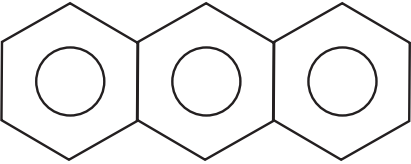
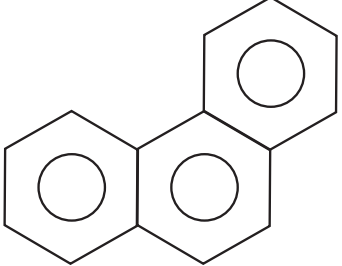
بیشتر بدانید



## هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای

در بسیاری از هیدروکربن‌های آروماتیک، دو یا چند حلقه بنزنی به یکدیگر متصل شده‌اند. به عبارت دیگر، بین دو حلقه در اتم کربن اشتراک وجود دارد. در جدول ۳ چند نمونه از ساده‌ترین و مهم‌ترین هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای معرفی شده است.

جدول ۳- کاربرد مهم‌ترین هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای

فرمول ساختاری	نام	کاربرد
	نفتالن	آفت کش (ضد بید)
	آنتراسن	رنگینه‌ها
	فنانترن	رنگینه‌ها، مواد منفجره و ساخت داروها



شکل ۷- نفتالن

این سه هیدروکربن، از قطران زغال سنگ به دست می‌آید. نفتالن فراوان‌ترین (۵٪) جزء موجود در قطران زغال سنگ است. برای جلوگیری از بیدزدگی منسوجات پشمی، اغلب از نفتالن به عنوان ضدبید استفاده می‌شود.

غلظت مجاز نفتالن موجود در هوای محیط کار، ppm ۱۰ است.

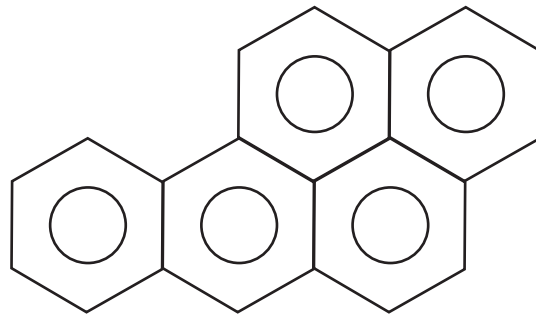
نکته زیست  
محیطی



## هیدروکربن‌های سرطان‌زا

شمار ترکیب‌هایی که در سال‌های اخیر به‌عنوان سرطان‌زا<sup>۱</sup>، شناخته شده‌اند، به سرعت رو به افزایش است. در واقع معلوم شده است سرطان یک بیماری محیطی است، یعنی از محیطی که انسان در آن زندگی می‌کند، نشئت می‌گیرد. همان‌طور که با خشک کردن باتلاق‌ها و از میان بردن پشه‌ها می‌توان بیماری مالاریا و یا تب‌زرد را کنترل کرد، با دور کردن مواد سرطان‌زا از محیط زندگی نیز می‌توان احتمال مبتلا شدن به سرطان را کاهش داد.

بعضی از هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای از سرطان‌زاهای بسیار مؤثر به‌شمار می‌آیند. بنزوپیرن نمونه‌ای از این مواد است (شکل ۸).



شکل ۸- ساختار بنزوپیرن

این هیدروکربن فراورده سوخت ناقص مواد آلی مانند زغال‌سنگ، نفت و توتون است. از این رو، در محیط زندگی بسیار پراکنده است و می‌تواند یکی از علت‌های مهم مبتلا شدن انسان به سرطان باشد. بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه چگونگی اثرگذاری مواد سرطان‌زا، بر هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای متمرکز شده است.

هنگامی که یک جسم خارجی وارد بدن می‌شود بدن سعی می‌کند آن را بیرون براند. اگر حل‌پذیری جسم در آب کم باشد، بدن ابتدا آن را به موادی که حل‌پذیری آنها در آب زیاد است تبدیل می‌کند و سپس به دفع آن می‌پردازد. گمان می‌رود ترکیب‌های واسطه به‌وجودآمده از عملکرد هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک سرطان‌زای واقعی باشند.

## ترکیب‌های آلی اکسیژن دار

تعداد ترکیب‌های آلی بسیار زیاد است؛ از این رو مطالعه یک‌یک آنها ناممکن و بسیار دشوار است. برای سادگی مطالعه ترکیب‌های آلی، آنها را به خانواده‌های گوناگون طبقه‌بندی می‌کنند. اعضای هر خانواده دارای یک گروه ساختاری مشترک است. این گروه ساختاری را «گروه عاملی» می‌نامند. هر گروه عاملی، اتم یا مجموعه‌ای از اتم‌هاست که خواص معینی به مولکول می‌بخشد. ترکیب‌هایی که دارای یک نوع گروه عاملی هستند، در واکنش‌های شیمیایی به یک شکل رفتار می‌کنند. در اینجا چند خانواده مهم از ترکیب‌های آلی اکسیژن دار به اختصار معرفی می‌شود.

۱- Carcinogenic

جدول ۴، فرمول عمومی چند خانواده مهم از ترکیبات آلی اکسیژن دار و نیتروژن دار را نشان می دهد.

جدول ۴- دسته بندی ترکیب های آلی بر مبنای گروه های عاملی

کاربرد معمولی ترکیب	نام ترکیب	ترکیب نمونه	نام دسته	فرمول کلی اعضای دسته
حلال	دی کلرومتان (متیلن کلرید)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	آلکیل هالید	R-X
حلال	متانول (الکل چوب)	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	الکل	R-OH
حفاظت کننده	متانال (فرمالدهید)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	آلدهید	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$
سرکه	اتانوئیک اسید (استیک اسید)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	کربوکسیلیک اسید	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \end{array}$
حلال	پروپانون (استون)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \text{H} \\   \quad    \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	کتون	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{C}-\text{R}' \end{array}$
بیهوش کننده	دی اتیل اتر (اتیل اتر)	$\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$	اتر	R-O-R'
حلال در لاک ناخن	اتیل اتانوات (اتیل استات)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} \end{array}-\text{CH}_3$	استر	$\text{R}-\text{O}-\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} \end{array}-\text{R}'$
چرم سازی	متیل آمین	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{N} \\   \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	آمین	$\text{R}-\begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \end{array}$
ماده نرم کننده پلاستیک ها	استامید	$\text{CH}_3-\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} \end{array}-\begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \end{array}$	آمید	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\    \quad   \\ \text{R}-\text{C}-\text{N}-\text{R}' \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \end{array}$



R نماینده یک H یا یک گروه هیدروکربن مانند  $\text{CH}_3$  - یا  $\text{C}_2\text{H}_5$  - موسوم به آلکیل است. R' گروه دیگر متفاوت یا یکسان با R است.

## الکلها

بحث گروهی ۲

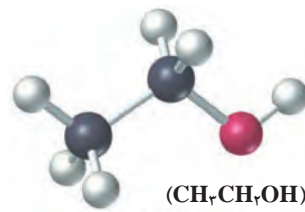
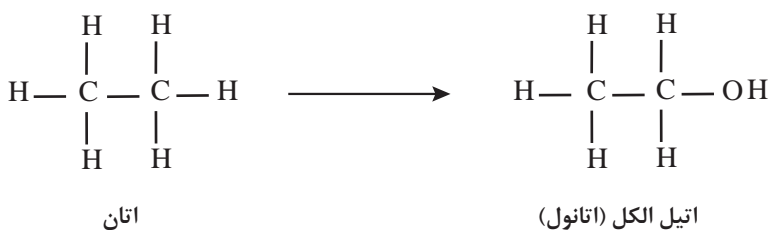
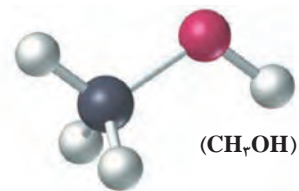
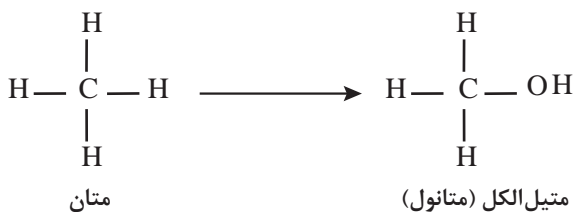


چرا از اتانول به عنوان یک حلال، در عطرها استفاده می شود؟



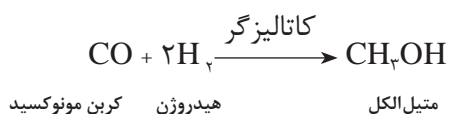
اگر یکی از هیدروژن های هیدروکربن سیرشده، برای مثال متان،  $\text{CH}_4$ ، یا اتان،  $\text{C}_2\text{H}_6$ ، به وسیله یک گروه هیدروکسیل ( $\text{-OH}$ ) جانشین شود، الکل به دست می آید. گروه  $\text{-OH}$  را که در تمام الکلها وجود دارد، «عامل الکی» می نامند.

متیل الکل، ( $\text{CH}_3\text{-OH}$ ) و اتیل الکل ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-OH}$ ) هر دو دارای گروه عاملی  $\text{-OH}$  هستند. این گروه عاملی را می توان در الکل های دیگر نیز مشاهده کرد. بنابراین وجه تشابه تمام الکلها گروه عاملی  $\text{-OH}$  است.



تفاوت الکل‌های گوناگون با یکدیگر در بنیان هیدروکربنی آنها است. بنیان هیدروکربنی در متیل‌الکل گروه متیل (CH<sub>3</sub>-)، و در اتیل‌الکل گروه اتیل، (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-) است. اگر الکل به خصوصی در نظر نباشد، می‌توان گروه هیدروکربنی را با R- نشان داد. در این صورت، آن را «گروه آلکیل» می‌نامیم. برای اساس، فرمول عمومی الکل‌ها به صورت R-OH نوشته می‌شود که از دو بخش «گروه عاملی -OH» و «بنیان هیدروکربنی R-» تشکیل شده است.

**متانول (متیل‌الکل)** ساده‌ترین الکل است که آن را «الکل چوب» نیز می‌نامند. زیرا در گذشته متیل‌الکل را از گرما دادن چوب، در ظرف‌های سربسته، تا دمای ۳۰ °C به دست می‌آوردند. امروزه متیل‌الکل را از واکنش کربن مونوکسید CO با هیدروژن H<sub>2</sub> در مجاورت کاتالیزگرهای مناسب تهیه می‌کنند.

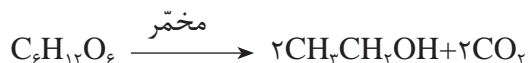


نکته ایمنی

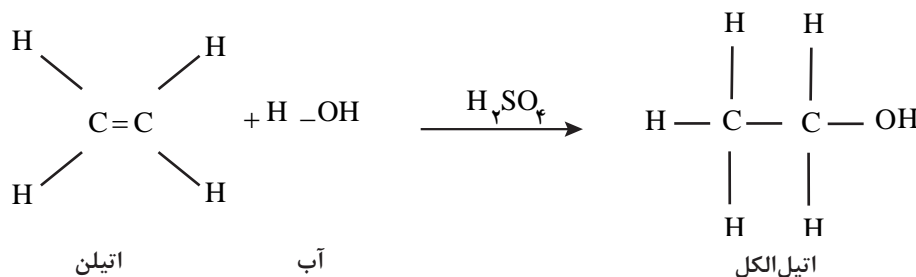


متیل‌الکل، بسیار سمی است. اگر خورده شود، موجب کوری و حتی مرگ می‌شود.

**اتانول (اتیل‌الکل):** چند هزار سال است که این الکل را از تخمیر مواد قندی (مانند آب انگور و نشاسته) تهیه می‌کنند. هم‌اکنون نیز بخش بزرگی از اتیل‌الکل مصرفی از این راه تهیه می‌شود. در این روش، گلوکز حاصل از مواد قندی به کمک مخمر، به اتیل‌الکل و کربن دی‌اکسید CO<sub>2</sub> تجزیه می‌شود.



اتانول مصرفی صنعت را معمولاً از واکنش افزایشی آب با اتیلن در مجاورت کاتالیزگرهای اسیدی، مانند سولفوریک اسید H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> تهیه می‌کنند.



الکل طبی در حدود ۵٪ آب دارد. این الکل در کارهای پزشکی و آزمایشگاهی کاربرد دارد. در کارهای صنعتی، حدود ۵٪ متیل‌الکل (سمی)، ۵٪ پیریدین (یک ماده سمی و بدبو) و یک ماده رنگی مانند بنفش متیل، را به اتیل‌الکل می‌افزایند تا با الکل طبی تفاوت داشته باشد و به آسانی تشخیص داده شود. الکل صنعتی

بسیار ارزان تر از الکل طبی است. همان گونه که اشاره شد، متیل الکل و پیریدین بسیار سمی هستند و با تقطیر ساده نمی توان آنها را از اتیل الکل جدا کرد. بعضی از الکل ها دارای دو یا چند عامل الکی هستند. «گلیکول» یک الکل دو عاملی است و در رادیاتور خودروها به عنوان ضدیخ مصرف می شود. محلول ۵۰٪ آن در آب در  $34^{\circ}\text{C}$  - منجمد می شود. گلیسرول یا گلیسرین دارای سه عامل الکی است و از آبکافت چربی ها به دست می آید. این الکل در تهیه مواد آرایشی، ماده منفجره «نیتروگلیسرین» و مواد پلاستیکی کاربرد دارد.

بیشتر بدانید



### رازی، ابوبکر محمد بن زکریا

رازی، شیمیدان، داروساز، داروشناس، پزشک، فیزیکدان و فیلسوف ایرانی در ری زاده شد. وی پدرش را در جوانی از دست داد. پس به شغل زرگری روی آورد و پس از زمان کوتاهی توانست شیمیدان، داروساز و داروشناس ماهری شود.

رازی علم کیمیا را پیش از تحصیل در پزشکی فرا گرفت. او یکی از کیمیاگرانی است که به بحث های نظری و عملی پرداخته است. رساله های شیمیایی او در واقع، نخستین کتاب های علمی شیمی به شمار می روند. طبقه بندی مواد توسط وی از دیدگاه علم شیمی و نه از دیدگاه کیمیا، کار پرارزشی بوده است.



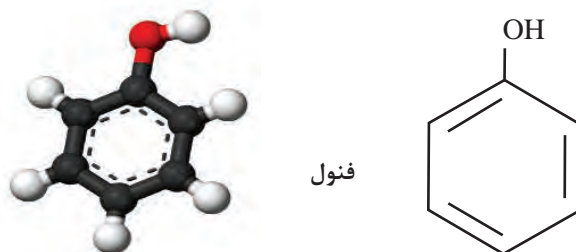
کتاب سراسر از مهم ترین کتاب های رازی است. وی در این کتاب، شیمی را به زبان کیمیاگران بیان کرده است. به طور کلی، سراسر کتابی در شیمی و شناخت داروهاست که به چندین زبان ترجمه شده است. رازی برای نخستین بار هیدروکلریک اسید را از گرما دادن نشادر (آمونیم کلرید) به دست آورد و آن را جوهر نمک نامید. همچنین برای نخستین بار الکل (اتانول) را از تقطیر شراب به دست آورد و آن را «الکُهل» نامید.

بیشتر بدانید



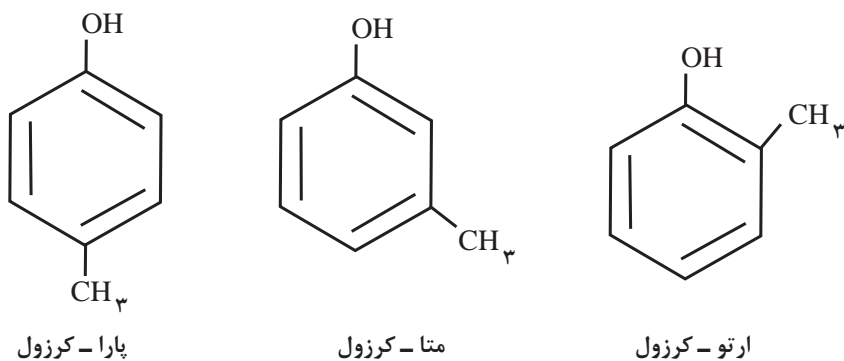
در کشورهای پیشرفته برای تولید اتانول، ذرت را به طور گسترده ای کشت می کنند و از آن برای سوخت خودرو استفاده می کنند. سوخت ساخته شده از مواد گیاهی، با استفاده از مخمر یا باکتری، «سوخت زیستی» نامیده می شود.

## فنول‌ها



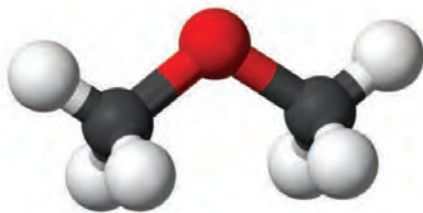
اگر یکی از هیدروژن‌های حلقه بنزن با گروه هیدروکسیل ( $\text{-OH}$ ) جانشین شود، «فنول» به دست می‌آید. فنول معمولی یک جامد بلوری و ضدعفونی‌کننده و میکروب‌کش است، اما به پوست آسیب می‌رساند و سوختگی‌های شدید ایجاد می‌کند.

در صنایع شیمیایی فنول به عنوان ماده اولیه برای تهیه رنگینه، دارو و مواد پلاستیک کاربرد دارد. از جمله فنول‌های دیگر کرزول‌ها<sup>۱</sup> (متیل فنول‌ها) هستند که به عنوان ضدعفونی‌کننده مصرف می‌شوند:



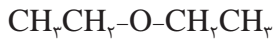
## اترها

اگر در مولکول آب، هر دو اتم هیدروژن با بنیان‌های هیدروکربنی برای مثال گروه متیل ( $\text{-CH}_3$ ) یا گروه اتیل ( $\text{-CH}_2\text{CH}_3$ ) جانشین شود، «اتر» به دست می‌آید. در اترها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن پیوند



بودمان چهارم: به کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار

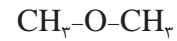
خورده است. به مثال‌های زیر توجه کنید:



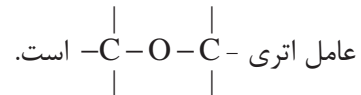
دی‌اتیل اتر



اتیل‌متیل اتر

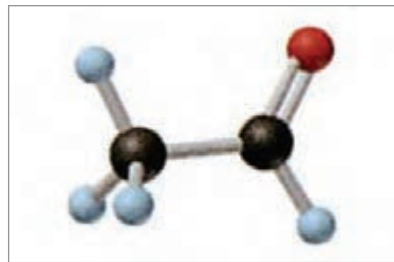
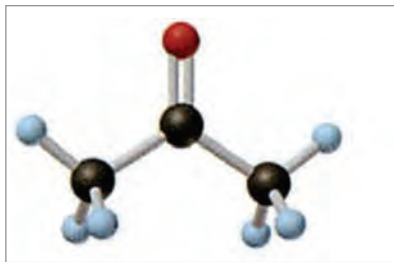


دی‌متیل اتر

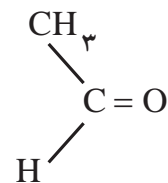


دی‌اتیل‌اتر یا اتر معمولی متداول‌ترین اترهاست. در گذشته از آن به‌عنوان ماده هوش‌بر (بی‌هوش‌کننده) استفاده می‌شده است.

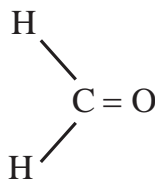
## آلدهیدها و کتون‌ها



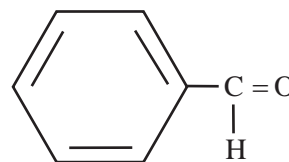
گروه عاملی در آلدهیدها و کتون‌ها گروه کربنیل است. گروه کربنیل  $\text{C=O}$  در آلدهیدها به اتم هیدروژن و یک بنیان هیدروکربنی (مثلاً گروه متیل  $-\text{CH}_3$ ) متصل است (در فرمالدهید، دو اتم هیدروژن با گروه کربنیل پیوند دارند).



استالدهید (اتانال)



فرمالدهید (متانال)



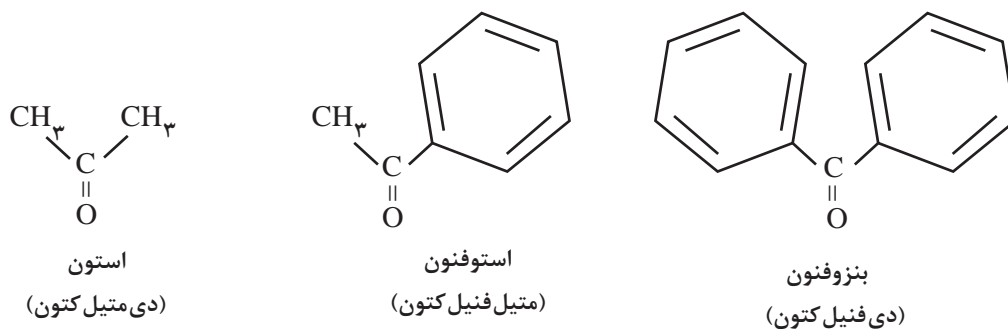
بنزالدهید

فرمالدهید یکی از متداول‌ترین آلدهیدهاست که بوی تند و نافذ دارد. محلول ۴۰٪ فرمالدهید در آب را «فرمالین» می‌نامند. از این محلول برای نگهداری اعضای بدن در آزمایشگاه یا نگهداری جانوران کوچک در موزه‌ها استفاده می‌شود، زیرا از رشد باکتری‌ها جلوگیری می‌کند. در تهیه مواد پلاستیک و چسب نیز کاربرد دارد.



در مورد نکات ایمنی کار با فرمالین گزارشی تهیه کنید و آن را در کلاس ارائه دهید.

گروه عاملی در کتون‌ها نیز مانند آلدهیدها گروه کربنیل است، با این تفاوت که به دو بنیان هیدروکربنی (مانند دو گروه متیل) متصل است.  
به این مثال‌ها توجه کنید:



استون یا دی‌متیل‌کتون یکی از متداول‌ترین کتون‌هاست که حلال چربی‌ها، بعضی از مواد پلاستیکی و بسیاری از مواد آلی دیگر هست.



زمانی که بدن شما قادر نباشد انرژی کافی را از قندها به‌دست آورد و از چربی‌ها برای تأمین انرژی مورد نیاز خود استفاده کند، ماده‌ای به نام کتون ساخته می‌شود. هنگامی که انسولین کافی برای ورود گلوکز (قند) به‌درون سلول‌ها وجود نداشته باشد، بدن به اجبار چربی‌ها را می‌شکند و از آنها به عنوان منبع انرژی خود استفاده می‌کند. با آزاد شدن چربی‌ها مواد کتونی در کبد تولید و وارد جریان خون می‌شود. این مواد که سمی هستند، در خون بالا رفته و در ادرار دفع می‌شوند. مقادیر بالای مواد کتونی به پیدایش وضعیت بیماری خطرناکی منجر می‌شود که به آن «کتواسیدوز» گفته می‌شود.



با اطلاعاتی که تاکنون از ساختار یک ترکیب آلی به‌دست آورده‌اید، درباره ترکیب آلی موجود در چاشنی دارچین گزارشی تهیه کنید و آن را در کلاس ارائه دهید.

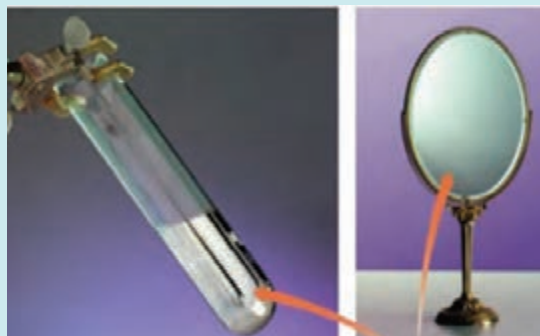
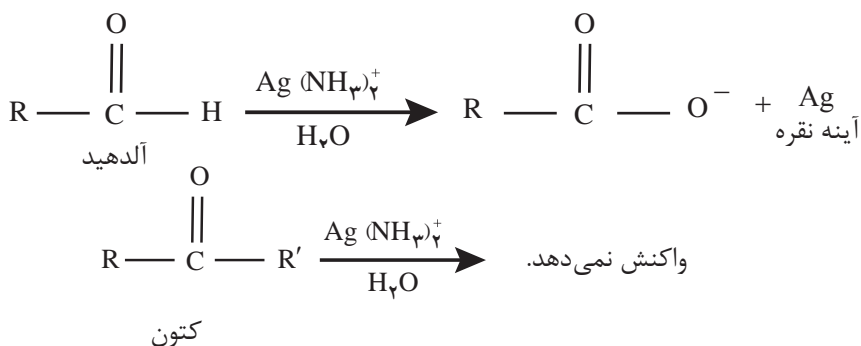




### تشخیص آلدهیدها از کتون‌ها

#### آزمون تولن (آزمون آینه نقره)<sup>۱</sup>

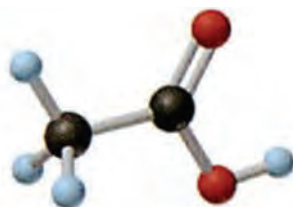
در آزمایشگاه، از این آزمون برای تشخیص آلدهید و کتون استفاده می‌شود. واکنشگر تولن محلولی از  $Ag^+$  ( $AgNO_3$ ) و آمونیاک است که آلدهیدها (و نه کتون‌ها) را اکسید می‌کند. یون‌های نقره به نقره به نقره فلزی کاهش می‌یابد و بر روی دیواره داخلی ظرف، لایه‌ای موسوم به «آینه نقره» تشکیل می‌دهد.



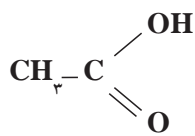
آزمون تولن برای تشخیص آلدهیدها از کتون‌ها استفاده می‌شود. کتون‌ها به واکنش‌گر تولن پاسخ مثبت نمی‌دهند.

## اسیدهای آلی

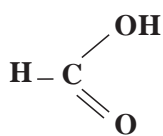
گروه عاملی در اسیدهای آلی گروه کربوکسیل است که به صورت  $\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \\ \text{C} \\ // \\ \text{O} \end{array}$  یا  $\text{COOH}$  نشان داده می‌شود. مزه ترش بسیاری از میوه‌ها ناشی از وجود کربوکسیلیک اسید در آنهاست. برای مثال، پرتقال، لیموترش و نارنگی دارای سیتریک اسید (جوهر لیمو) هستند. به مثال‌های شکل ۹ و جدول ۵ توجه کنید.



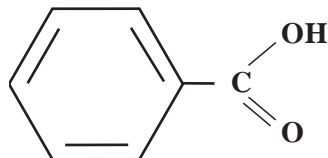
۱- Tollens' Test (Silver Mirror Test)



استیک اسید



فرمیک اسید



بنزویک اسید



شکل ۹- چند نمونه اسید آلی

جدول ۵- ساختار چند اسید آلی و نقطه جوش آنها

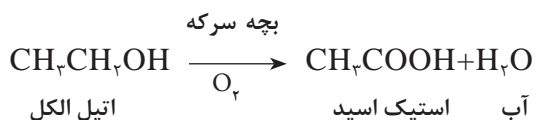
نام اسید	متانویک اسید	اتانویک اسید	پروپانویک اسید	بوتانویک اسید
فرمول	HCOOH	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH
فرمول ساختاری	$\text{H-C}\begin{matrix} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{matrix}$	$\text{H-C}\begin{matrix} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \\   \text{H} \end{matrix}$	$\text{H-C}\begin{matrix} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \\   \text{H} \\   \text{H} \end{matrix}$	$\text{H-C}\begin{matrix} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \\   \text{H} \\   \text{H} \\   \text{H} \end{matrix}$
تعداد اتم‌های کربن	۱	۲	۳	۴
نقطه جوش (°C)	۱۰۱	۱۱۸	۱۴۱	۱۶۴

### فرمیک اسید

ساده‌ترین اسید آلی است که در آن گروه کربوکسیل به یک اتم هیدروژن متصل شده است. این اسید در نیش مورچه و در بعضی حشرات دیگر وجود دارد و بخشی از ماده التهاب‌آوری است که هنگام نیش‌زدن این حشرات موجب خارش در بدن می‌شود.

### استیک اسید

متداول‌ترین اسید آلی است. ترشی سرکه ناشی از وجود استیک اسید در آن است. از این رو استیک اسید را «جوهر سرکه» می‌نامند. سرکه را از اکسایش محلول‌های رقیق الکلی در مجاورت نوعی باکتری موسوم به «بچه سرکه» تهیه می‌کنند. در این عمل اتیل‌الکل به استیک اسید اکسید می‌شود:





در مورد خواص و کاربرد بنزوئیک اسید گزارشی تهیه کنید و آن را در کلاس ارائه دهید؟



بعضی از اسیدهای آلی در زنجیره هیدروکربنی خود ۱۶ یا ۱۸ اتم کربن دارند. این اسیدها را «اسید چرب» می نامند، زیرا در ساختار روغن ها و چربی های نباتی و جانوری وجود دارند (شکل ۱۰).

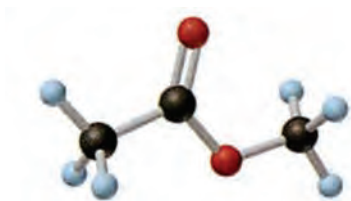


شکل ۱۰- چند نمونه اسید چرب

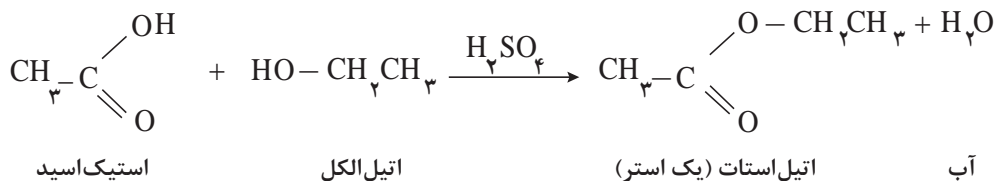
با بررسی فرمول اسیدهای چرب شکل ۱۰، در هر کدام مشخص کنید اسید چرب سیرشده است یا سیرنشده؟



## استرها



عامل شیمیایی در استرها به صورت  $\begin{matrix} \text{OR} \\ \diagup \\ \text{C} \\ \diagdown \\ \text{O} \end{matrix}$  نشان داده می شود. برای تهیه استرها می توان از واکنش یک اسید آلی (مانند استیک اسید) با یک الکل (اتیل الکل) در مجاورت کاتالیزگرهای اسیدی (سولفوریک اسید) استفاده کرد:









این واکنش را «استری شدن» می نامند.



بوی خوشایند بسیاری از میوه‌ها و گل‌ها ناشی از وجود نوعی استر در آنهاست.

برای نمونه بو و طعم سیب مربوط به استرهای طبیعی است، در حالی که در شامپوها از استر مصنوعی استفاده می‌شود.

جدول ۶- بعضی از الکل‌ها، اسیدها و استرهای حاصل از آنها

بوی استر	استر	اسید	الکل
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>ایزوپنتیل استات</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{COOH} \\ \text{استیک اسید} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>ایزوپنتیل الکل</p>
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}(\text{CH}_2)_4 - \text{O} - \text{C} - (\text{CH}_2)_3\text{CH}_3 \\   \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>ایزوپنتیل پنتانوات</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH} \\ \text{پنتانوئیک اسید} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>ایزوپنتیل الکل</p>
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3(\text{CH}_2)_7 - \text{O} - \text{C} - (\text{CH}_2)_7\text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>بوتیل بونانوات</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \text{بوتانوئیک اسید} \end{array}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$ <p>n- بوتیل الکل</p>
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_2\text{CH}_3 \\   \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>ایزوبوتیل پروپیونات</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} \\ \text{پروپیونیک اسید} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>ایزوبوتیل الکل</p>
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_2)_2 - \text{O} - \text{C} - \text{H} \\   \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>ایزوبوتیل فرمات</p>	$\begin{array}{c} \text{HCOOH} \\ \text{فرمیک اسید} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>ایزوبوتیل الکل</p>
	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array}$ <p>بنزیل بوتانوات</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \text{بوتانوئیک اسید} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \text{بنزیل الکل} \end{array}$

بودمان چهارم: به کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار

روغن‌ها و چربی‌های نباتی و جانوری نیز استر هستند. این استرها از واکنش اسیدهای چرب (اسیدهایی که در مولکول خود ۱۶ یا ۱۸ اتم کربن دارند) با گلیسرین (الکل سه‌عاملی) به وجود آمده‌اند. اسیدهای چرب ممکن است سیرشده یا سیرنشده باشند. اگر اسیدچرب موجود در مولکول استر سیرنشده باشد، استر مربوط را «روغن» می‌نامند. روغن‌ها (استرهای سیرنشده) زودتر از چربی‌ها (استرهای سیرشده) در برابر هوا فاسد می‌شوند، از این رو، روغن‌ها را در برابر کاتالیزگر نیکل با هیدروژن واکنش می‌دهند تا دوام بیشتری داشته باشد.

نکته

هنگامی که از چربی‌های سیرشده یا سیرنشده برای پختن استفاده می‌شود، دما نباید به حد نقطهٔ دود آنها برسد، زیرا در چنین شرایطی مواد سمی تولید می‌شود.



اگر روغن‌ها و چربی‌ها را با محلول سدیم‌هیدروکسید گرم کنند، به صابون (نمک سدیم اسیدهای چرب) و گلیسرول (گلیسرین) تبدیل می‌شود. این عمل را «صابونی شدن» می‌نامند.

معادلهٔ واکنش صابونی شدن را با جست‌وجو در منابع قابل دسترس بنویسید.

تحقیق کنید  
۵



روغن زیتون و سرکه چه ساختاری دارند؟

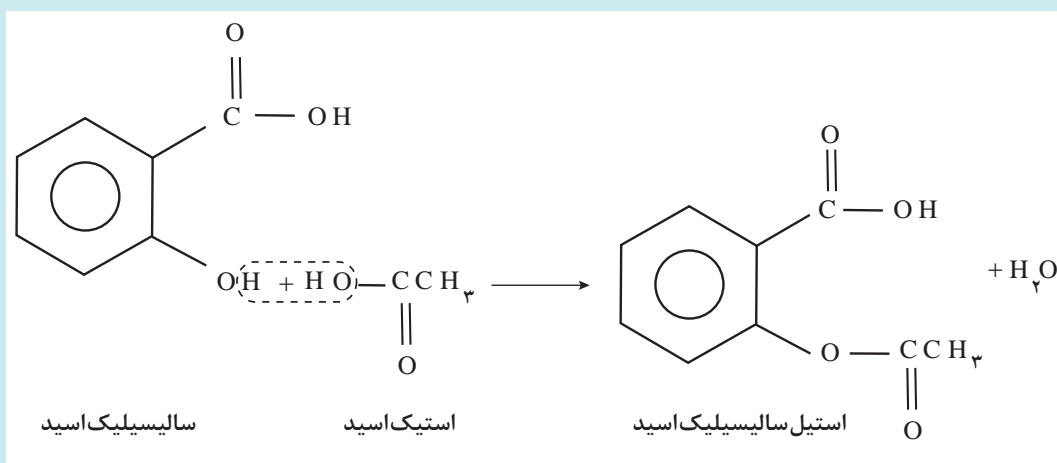
پرسش



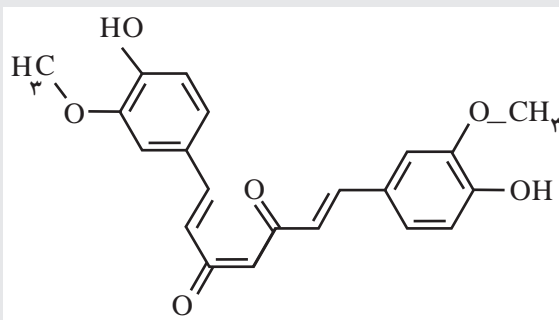
شیمی آلی در میز غذا



آسپرین، یک استر بسیار مهم است که از واکنش عامل الکلی سالیسیلیک اسید و استیک اسید حاصل می شود و آن را در بسیاری موارد به عنوان ضد درد مصرف می کنند.



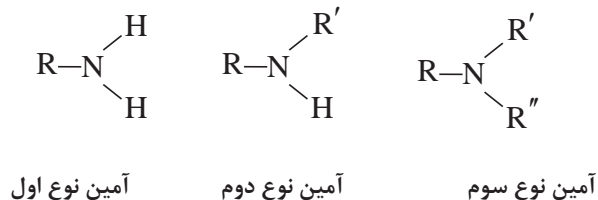
کورکومین<sup>۱</sup> یا دی فرولوئیل متان جزء فعال ادویه زردچوبه و خواص ضدالتهابی دارد. همچنین یک پاداکسنده<sup>۲</sup> قوی است و خاصیت ضدسرطانی دارد. با توجه به تصویر چه بخش هایی از ساختار آن را می شناسید؟




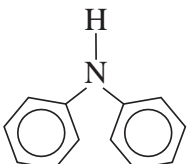
- ۱- Curcumin
- ۲- Antioxidant

## آمین‌ها

هرگاه به جای یک هیدروژن آمونیاک، یک بنیان آلی قرار گیرد، «آمین نوع اول» و هرگاه به جای دو یا سه هیدروژن آمونیاک، دو یا سه بنیان آلی قرار گیرد، «آمین نوع دوم یا سوم» نامیده می‌شود که در آن  $R'$ ،  $R''$  و  $R'''$  گروه‌های مختلف هیدروکربنی هستند.



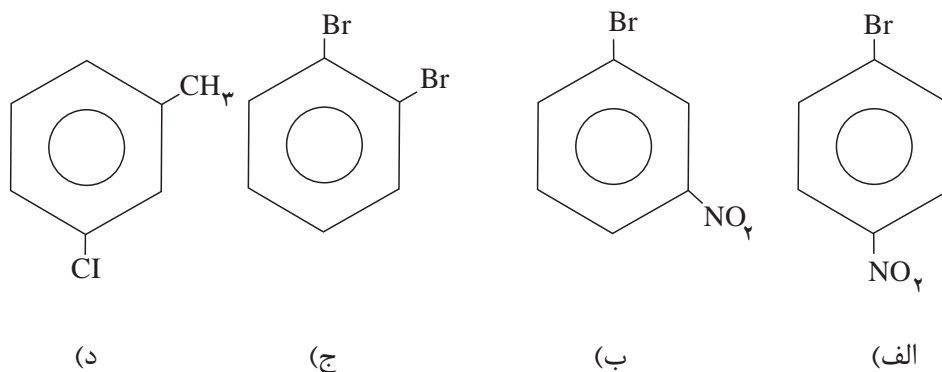
جدول ۷- چند نمونه آمین

فرمول	نام متداول	نوع
$\text{CH}_3\text{NH}_2$	متیل آمین	اول
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$	اتیل آمین	اول
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	دی‌متیل آمین	دوم
$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	تری‌متیل آمین	سوم
	آنیلین	اول
	دی‌فنیل آمین	دوم

آمین‌ها در تولید دارو و رنگینه‌هایی که از آنها به‌طور گسترده در صنعت رنگرزی استفاده می‌شود، کاربرد دارند. همچنین در صنایع به‌منظور حذف گازهایی مانند کربن دی‌اکسید و هیدروژن سولفید استفاده می‌شوند.

## پرسش‌های پایانی

۱ نام ترکیب‌های زیر را بنویسید.



۲ فرمول‌های ساختاری ترکیب‌های زیر را رسم کنید.

- (الف) ۲، ۴، ۶-تری‌نیتروتولوئن  
 (ب) ۴-کلرو - ۳ - نیتروتولوئن  
 (پ) پارا - کلرونیتروبنزن  
 (ت) ۱-برمو - ۳ - کلرو - ۵-یدو بنزن  
 (ث) ۴-ایزوپروپیل تولوئن  
 (ج) ۱-فلوئورو - ۲، ۴ - دی‌نیتروبنزن

۳ ایزومرهای ممکن برای ترکیب‌های زیر را رسم کنید و نام هریک را بنویسید:

(الف) تری‌نیتروبنزن (ب) برمونیترتولوئن

۴ نام تمام ترکیب‌های آروماتیکی (مشتق شده از بنزن) را که دارای فرمول مولکولی  $C_8H_8Br$  و  $C_7H_7Br$  هستند، را بنویسید.

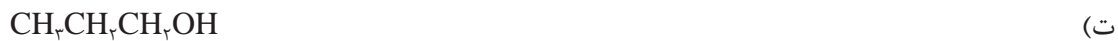
۵ متیل‌الکل را متانول و اتیل‌الکل را اتانول نیز می‌نامند. از پروپان چه الکی مشتق می‌شود؟ آیا از این هیدروکربن تنها یک الکل مشتق می‌شود: نام الکی یا الکل‌های مشتق‌شده از پروپان را بنویسید.

۶ استیک اسید یک اسید ضعیف است. با وجود این، در بسیاری از واکنش‌های خود مانند اسیدهای معمولی عمل می‌کند. معادله واکنش استیک اسید را با سدیم کربنات و سدیم هیدروکسید بنویسید.

۷ چرا روغن‌ها را باید در ظرف‌های دربسته نگه داشت تا فاسد نشوند؟

بودمان چهارم: به کارگیری ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار

۸ کدام یک از فرمول های ساختاری زیر فرمول یک الکل، یک کربوکسیلیک اسید و یک آلدهید است؟



۹ استئاریک اسید یک اسید سیرشده زنجیری با ۱۸ اتم کربن است، که در شمع سازی (شمع بی اشک) از آن استفاده می شود. ساختار استئاریک اسید را رسم کنید.

## جدول ارزشیابی پودمان به کارگیری ترکیبات آروماتیک و آلی اکسیژن دار

نمره	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	عنوان پودمان
۳	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ آروماتیک های چند حلقه را شرح دهد.</li> <li>■ ساختار چربی ها و واکنش صابونی شدن را بنویسد.</li> </ul>	بالاتر از حد انتظار	ترکیبات آروماتیک، ترکیبات آلی اکسیژن دار و آمین ها را از روی ساختار و خواص آنها تشخیص دهد.	به کارگیری ترکیبات آروماتیک	ترکیبات آلی آروماتیک و اکسیژن دار
۲	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ساختار بنزن و مشتق های ساده آن را بررسی کند.</li> <li>■ گروه های عاملی رادر ترکیبات اکسیژن دار و نیتروژن دار تشخیص دهد.</li> <li>■ روش تهیه و کاربرد چند ترکیب اکسیژن دار نمونه را شرح دهد.</li> </ul>	در حدانتظار		به کارگیری ترکیبات آلی اکسیژن دار و نیتروژن دار	
۱	موارد بالا را با بیش از یک اشتباه انجام دهد.	پایین تر از حدانتظار			
				نمره مستمر از ۵	
				نمره شایستگی پودمان از ۳	
				نمره پودمان از ۲۰	



## پودمان پنجم

### کسب اطلاعات فنی



کسب اطلاعات فنی از منابع غیرفارسی با هدف یادگیری همیشگی و توسعه مهارت‌های کسب‌شده از ضروریات پیشرفت در کسب و کار موفق است.

وَمِنْ آيَاتِهِ خَلْقَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافُ أَلْسِنَتِكُمْ وَالْوَأْنِكُمْ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّلْعَالَمِينَ  
و از نشانه‌های او آفرینش آسمان‌ها و زمین، و تفاوت زبان‌ها و رنگ‌های شماست؛ در این، نشانه‌هایی است  
برای اهل دانش.

And of Allah's Signs of Power is the creation of the heavens and the earth and also the variation of the languages and the colour of you people; verily, in all these are Signs for men of knowledge.

Surah Ar-Rum [22] - Al - Qur'an al - Kareem



## Part One

### Chemical industries

Match the pictures with phrases.



A. 1 Water purification



B. 2 Drug



C. 3 Oil, gas and petrochemicals



D. 4 Agriculture

### Chemical industries

The chemical industry includes all the manufacturing plants that convert raw materials (oil, natural gas, air, water, metals, and minerals) into more than 70,000 different chemical products. This industry has influenced all aspects of our life including Transportation, Agriculture, Environment, Hygiene, and so on. It has also significantly used in re-cycling that helps in utilizing the waste materials, and gives one more life-cycle for the products.

#### Iran: A land of opportunity












Iran is the 18<sup>th</sup> largest country of the world. It stretches from the Caspian Sea in the north to the Persian Gulf in the south. Iran is one of the world's major countries in oil export and it is rich

in natural resources. It is bordered to the north by Armenia, Azerbaijan, and Turkmenistan, to the east by Afghanistan and Pakistan, to the south by Persian Gulf and the Gulf of Oman, and to the west by Iraq and Turkey (Fig. 1).



Fig. 1: Map of Iran

Read and According to the below text, answer the following questions.

Economy and demographics	Iran's Petro chemical industry
 <p>Second Largest economy in the Middle East and North Africa, after Saudi Arabia</p>	 <p>Second-Largest. gas reserves globally 34 trillion cubic feet.</p>
 <p>Production capacity expected to reach 180 mt/g by 2025</p>	 <p>4.8 Percent of the global petrochemical market</p>
 <p>Population:80.8 million</p>	 <p>Controlled by the National petrochemical company (NPC)</p>
 <p>High levels of education: 71 percent of 18-24 year olds are enrolled in tertiary education.</p>	 <p>52 Petrochemical plants with a total production capacity of about 60 mt and an output of 51 mt (2016)</p>
 <p>Diversified economy:18th largest automaker in the world,14th largest steel producer.</p>	 <p>Production capacity expected to reach 180 mt per year by 2025</p>
	 <p>Key export partners: methanol, urea, Polyolefins, ammonia, monethylene glycol (meg) and para-xylene.</p>

**A. Choose the best answer.**

- Iran is (the first/the second) largest economy in the Middle East and North Africa.
- In Iran, (population/ production capacity) is expected to reach 180 mt/y by 2025.

**B. True/ False**

- Iran's petrochemical industry is the largest gas reserves globally. -----
- Key export products of Iran are methanol, urea, polyolefins, ammonia, monoethylene glycol (meg) and para-xylene. -----

**Structure of the chemical industry:**

Raw materials are converted into products for other industries and consumers.

Basic raw materials can be divided into:

- ❖ Organic, and
- ❖ Inorganic.

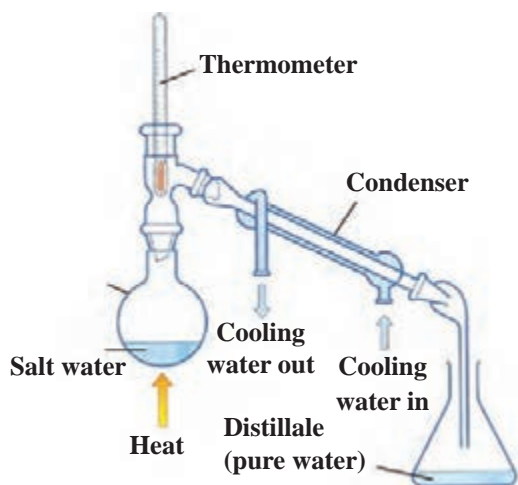
Inorganic raw materials include:

- ✓ Air
- ✓ Water, and
- ✓ Minerals.

Fossil fuels and biomass belong to the class of organic raw materials.

As you know, chemical industry converts raw materials into different products. This is done by various physical and chemical processes such as distillation, extraction, filtration, and etc.

**Match the pictures with the words and phrases.**



A.

1 Crystallization



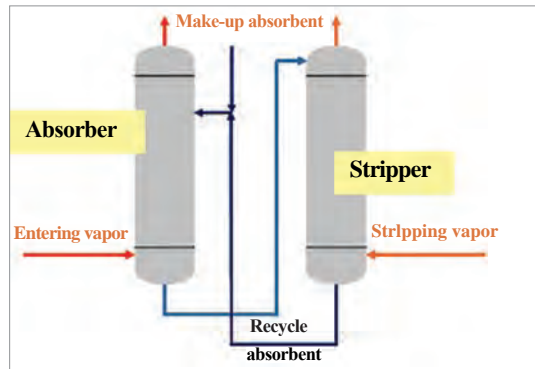
B.

2 Distillation



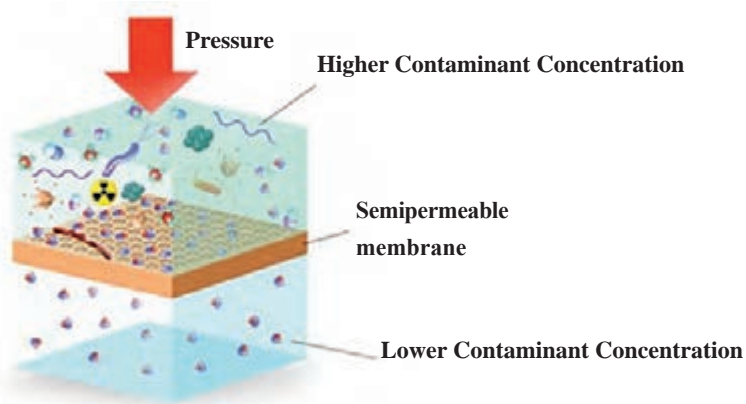
C.

3 Membrane processes



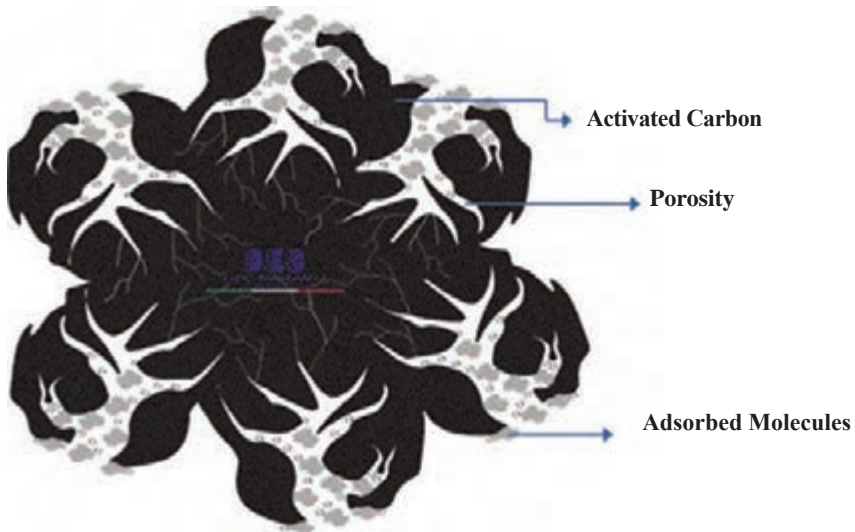
D.

4 Adsorption



E.

5 Absorption and stripping



F.

6 Extraction

## Traditional chemical engineering processes

Chemical products are made by a combination of processes that include synthesis, separation, and purification. The traditional chemical engineering methods of separation and purification include distillation, crystallization, adsorption, membrane processes, absorption and stripping, and extraction. These technologies are briefly described below.

### Distillation

Distillation is by far the most widely used separation process for fluid mixtures (mostly liquids) that can be vapourized. Distillation is a process for isolating components from a mixture based on differences in boiling points. In this process, vapours are generated from mixtures by heating and are then condensed into liquid products.

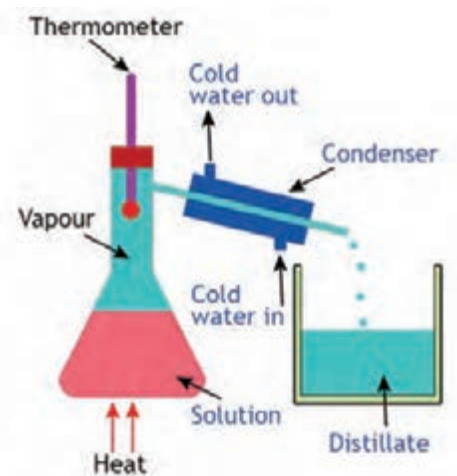


Fig.2: Distillation

Distillation processes are widely used for the separation of organic chemicals and for the separation of gases, usually at cryogenic temperatures, as in the production of oxygen and nitrogen from air (Fig.3).

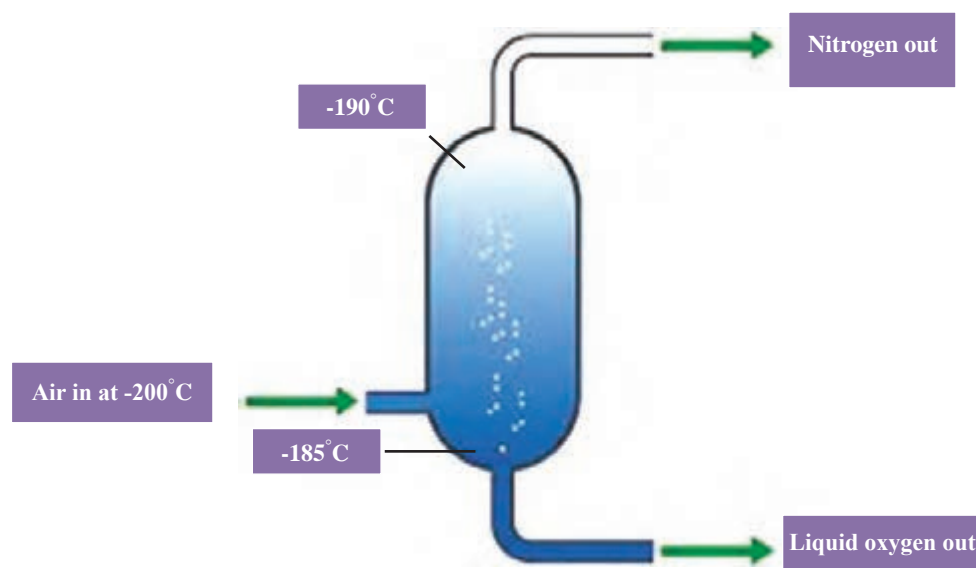


Fig.3: The production of oxygen and nitrogen from air

## Crystallization

know more

Crystallization is one of the oldest unit operations in the separation techniques used for industrial and laboratory processes. Crystallization is used to achieve several functions: separation, purification, concentration, solidification, and the production of a crystal. Because the heat of crystallization is typically much lower than the heat of vaporization, considerable energy savings can be realized in applications where crystallization is an effective means of separation.

Solutes can be recovered from solutions by reducing the solubility through cooling, heating, evaporation, chemical reaction, or by adding a nonsolvent to the mixture.

Different steps of crystallization are shown in Fig. 4.

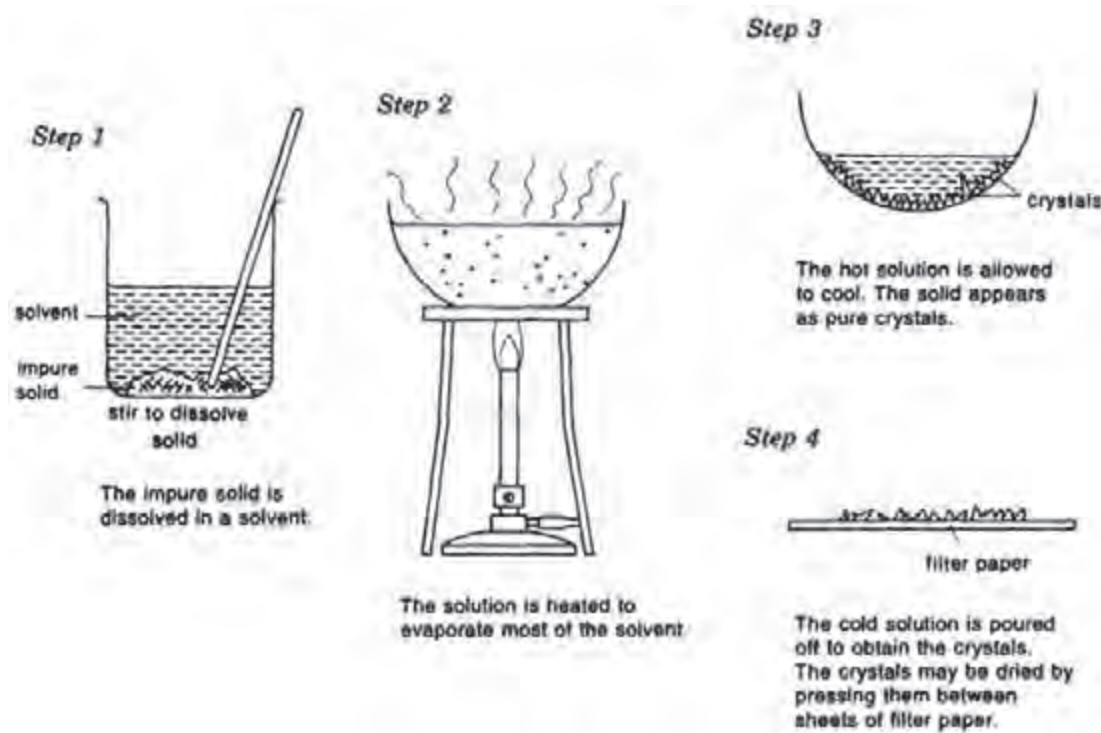


Fig.4: Crystallization



## Adsorption

Adsorption is the adhesion of atoms, ions or molecules from a gas, liquid or dissolved solid to a surface. This process creates a film of the adsorbate on the surface of the adsorbent (Fig.5).

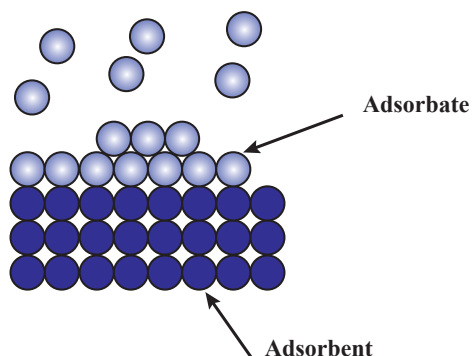


Fig.5: Adsorption process

This process differs from absorption (Fig. 6). Adsorption is a surface-based process while absorption is the process in which a fluid is dissolved by a liquid or a solid (absorbent).

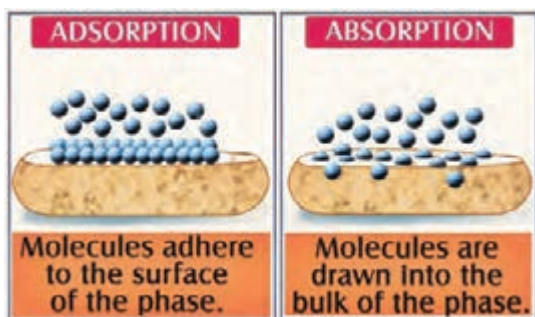


Fig 6: Adsorption and absorption

The adsorption separation process is necessarily cyclic, alternating between adsorption and desorption. Desorption can be accomplished by increasing the temperature, reducing the pressure, or a combination of both.

## Membrane processes

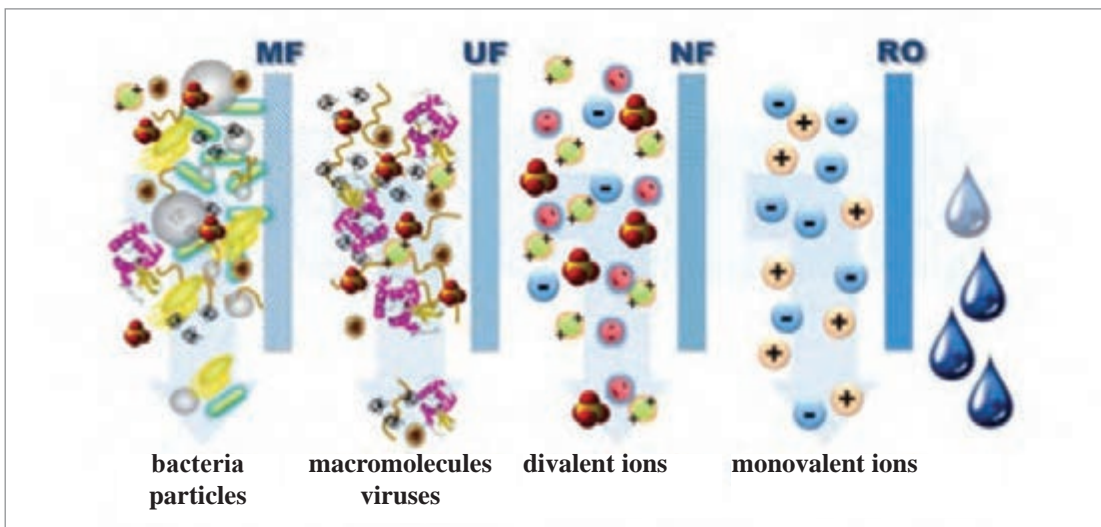
Separation processes involving membranes require two bulk phases that are physically separated by a third phase, the membrane. In all membrane processes, the feed is separated into two phases: the materials that go through the membrane and the portion of the feed retained by the membrane.

**Note:** Membrane processes typically do not involve a phase change and therefore do not involve a specific heat of vapourization (like distillation) or a specific heat of crystallization (like crystallization). Because there is no phase change, highly selective membranes can complete separations with considerably less energy than other methods.

Types of membrane processes are:

- ✓ Microfiltration (MF)
- ✓ Ultrafiltration (UF)
- ✓ Nanofiltration (NF)
- ✓ Reverse osmosis (RO)
- ✓ Dialysis /Electrodialysis (ED)

- Look and then answer the questions with your own knowledge.



Membrane processes

- 1 Which filtration system is good for drinking water? (RO/MF)
- 2 Which filtration system is not commonly used for distilled water? (MF/None of them)
- 3 Which filtration system is suitable for deionized water? (All of them/RO)

## Absorption and stripping

Absorption refers to the transfer of one or more components of a gas phase to a liquid phase in which the gas phase is soluble. Stripping is exactly the reverse, the transfer of a component from a liquid phase in which it is dissolved to a gas phase (Fig. 7).

know more

There are three types of absorption processes: separation based on physical solution; separation based on reversible chemical reaction; and separation based on irreversible chemical reaction. Absorption processes require the generation of extensive areas of liquid surfaces in contact with gas phases.

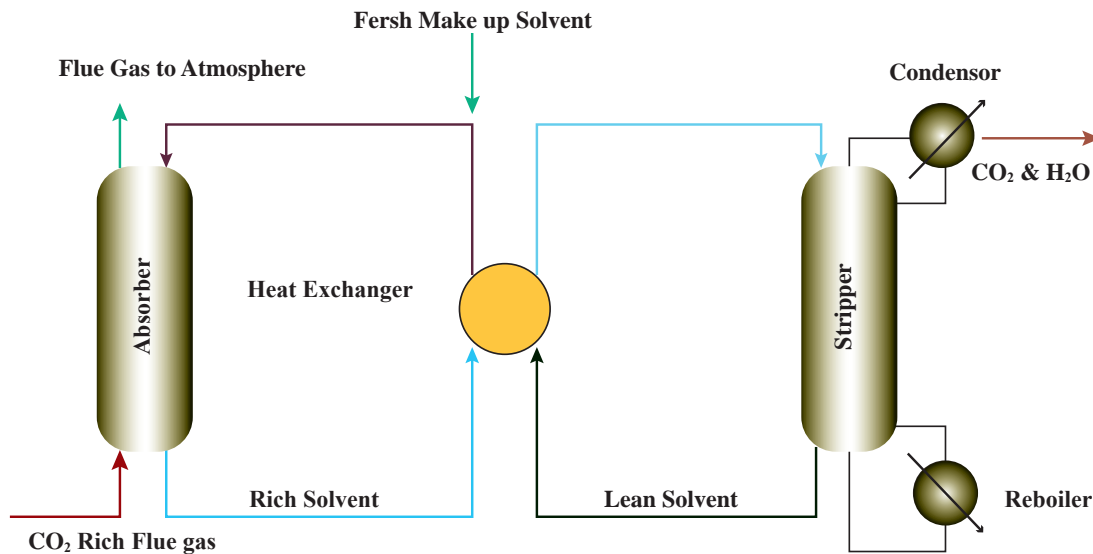


Fig.7: Absorption and stripping

### Extraction

Liquid - liquid extraction is a separation technique involving two immiscible liquid phases. During liquid-liquid extraction, the solvent phase, extracts the solutes from the other liquid phase (Fig.8).

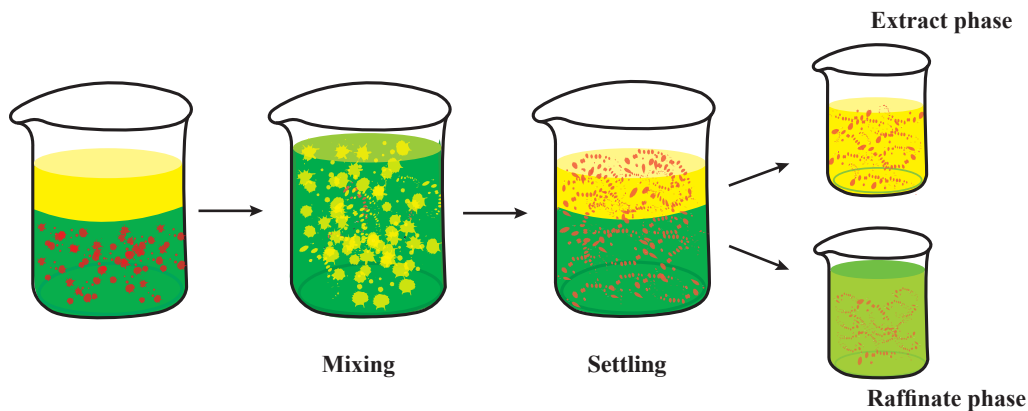
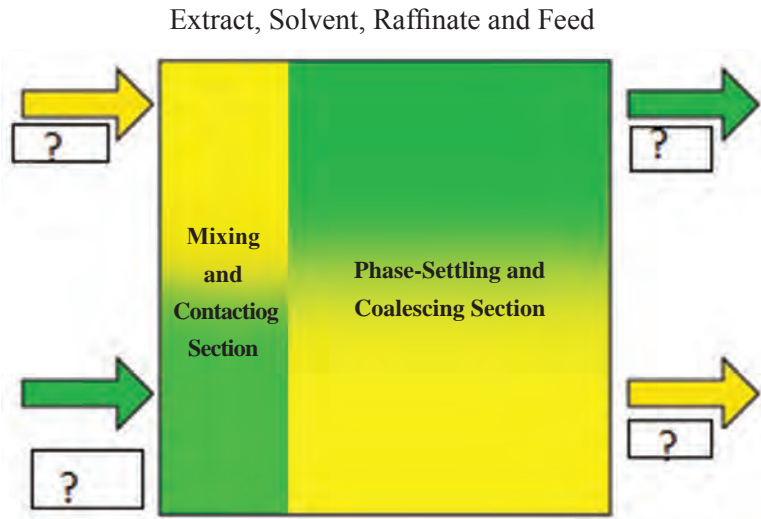


Fig.8: Extraction

Solvent recovery and raffinate clean up follow the separation. There is usually more than one possible method of purifying the solvent and raffinate phases and, therefore, process design is important.

**Fill in the blanks with the given words.**



Mostly the chemical industry (Fig. 9) concentrates on producing polymers, and plastics. They are not only used in packing, but also in numerous other applications, like wiring, furniture, clothing, home decorations and electronics. PVC piping, water tanks, huge storage containers are made out of plastics.



**Fig.9: A chemical plant**

**Branches of various chemical industries are:**

- Oil, gas and petrochemicals
- Water, soil and air purification
- Food, and drug,
- Soaps and detergents
- Fertilizers and pesticides
- Mineral products
- Etc.

## Part Two

### Air purification

Match the pictures with phrases.



A.

1 Burning waste



B.

2 Vehicular emissions



C.

3 Air purification



D.

4 Air pollution



E.

5 Household combustion devices



F.

6 Forest fires

## Air purification

Air pollution has grown up to be a serious problem for both people and governments since it disturbs sustainable development along with threatening people's health. Vehicular emissions and industrial fossil fuel consumption can affect the regional air quality. High population density, rapid urbanization, and economic growth have been found to be the main reasons behind the global problem of increasing air pollution.

Air pollution is referred to as contamination of indoor or outdoor environment by any chemical, physical or biological agent that modifies the natural characteristics of the atmosphere. Household combustion devices, motor vehicles, industrial facilities and forest fires are common sources of air pollution. Pollutants of major public health concern include particulate matter, carbon monoxide, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Outdoor and indoor air pollution cause respiratory and other diseases, which can be fatal.

**Note:** Particle pollution, also called particulate matter or PM, is a mixture of solids and liquid droplets floating in the air. Particles less than or equal to 10 micrometers in diameter are so small that they can get into the lungs, potentially causing serious health problems (Fig.10).

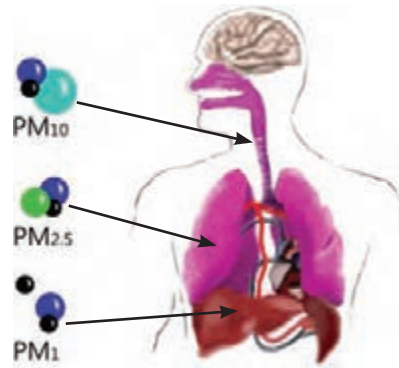


Fig.10: Particles less than or equal to 10 micrometers in diameter can get into the lungs.

- Use the appropriate phrases in parentheses.



Clean air



Polluted air

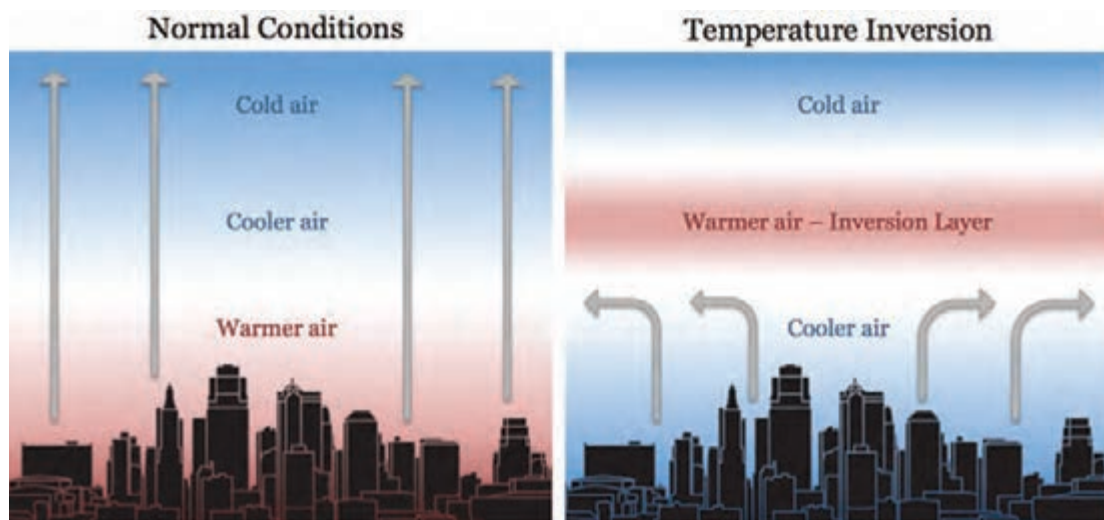
- Which one is better? (Clean air/Polluted air)
- (Clean air/Polluted air) is synonym of fresh air.
- (Clean air/Polluted air) is opposite of fresh air.

**Note:** Iran shut primary schools in Tehran and other parts of the country on Sunday due to air pollution (Fig. 11).



Fig.11: Air pollution in Tehran

Every year, Tehran suffers some of the worst air pollutions in the world when cool temperatures cause an effect known as "temperature inversion". The phenomenon creates a layer of warm air above the city that traps pollution from its more than eight million cars and motorbikes (Fig. 12).



Arrows show air flow in normal conditions on the left and during temperature inversion on the right. In normal conditions, warm air rises and normal convective patterns persist. During temperature inversion, the warm air acts as a cap, effectively shutting down convection and trapping smog over the city.

Fig.12: Temperature inversion phenomenon

**Note:** "We need clean air for our children's future." An air purifier or air cleaner is a device which removes contaminants from the air in a room (Fig.13).



Fig.13: An air purifier

## Personal protective equipment

Personal protective equipment (PPE) refers to protective clothing, helmets, or equipment designed to protect the body from injury or infection. The gas mask is a mask used to protect the user from inhaling airborne pollutants and toxic gases (Fig.14).



Fig.14: Air-purifying respirator

## Filtration

Filtration is any of various mechanical, physical or biological operations that separate solids from fluids (liquids or gases) by adding a medium through which only the fluid can pass (Fig.15). The fluid that passes through is called the filtrate. In physical filters oversize solids in the fluid are retained. However, the separation is not complete; solids will be contaminated with some fluid and filtrate will contain fine particles (depending on the pore size and filter thickness). Filtration occurs both in nature and in engineered systems.

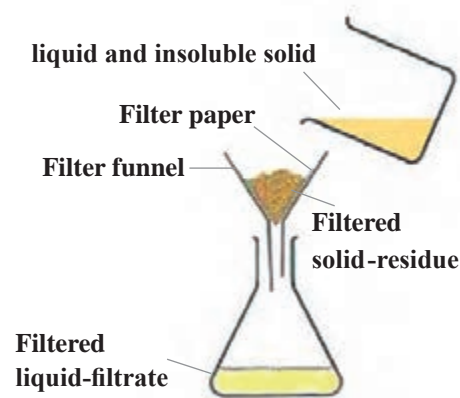
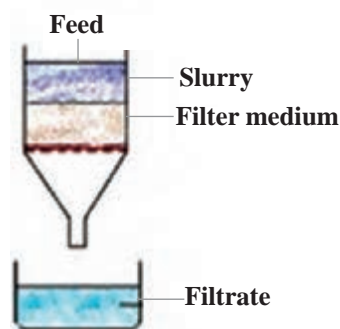


Fig.15: Simple filtration

Match the words and phrases with your own knowledge.

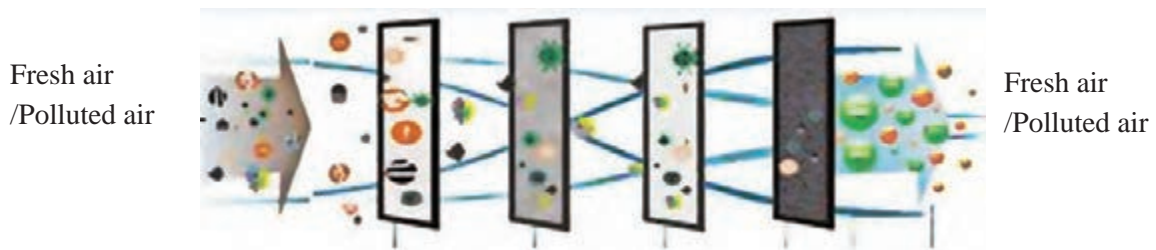


Word	Phrase
Feed, Slurry	Clear liquid passing through the filter
Filter medium	Porous medium used to retain solid
Filter cake	Suspension to be filtered
Filtrate	Accumulated solids on the filter

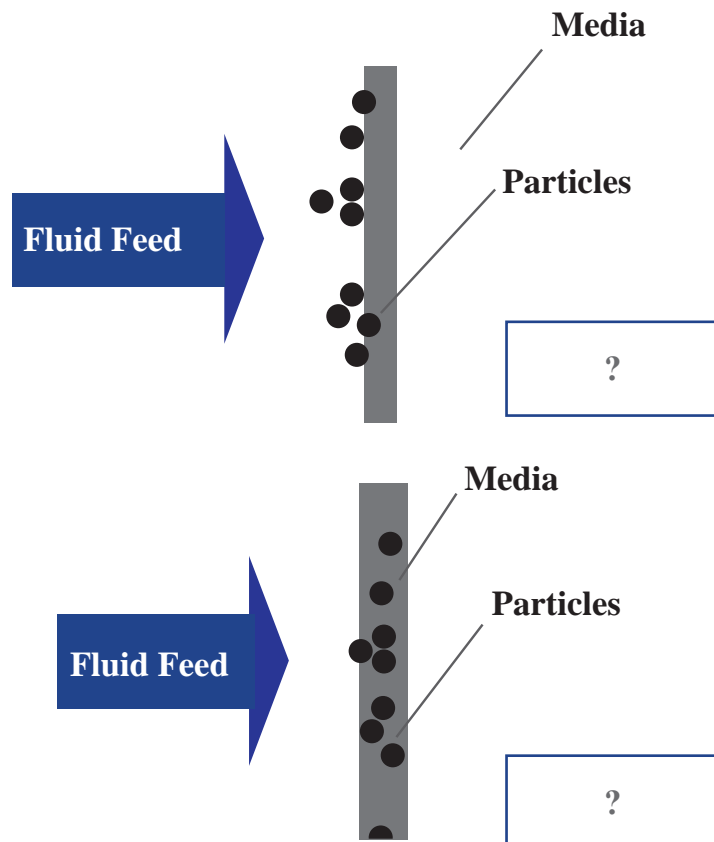


**- Choose the best answers.**

- ✓ A (filter cake/filtrate) is formed by the substances that are retained on a filter. The filter cake grows in the course of (filtration/filtrate), becomes "thicker" as particulate matter is being retained.
- ✓ Due to the deposition of (solids/liquids), the thickness of filter cake is (decreased/increased) and so it makes a limitation to further filtration.



**- Which one is Surface Filtration or Depth Filtration?**



## Part Three

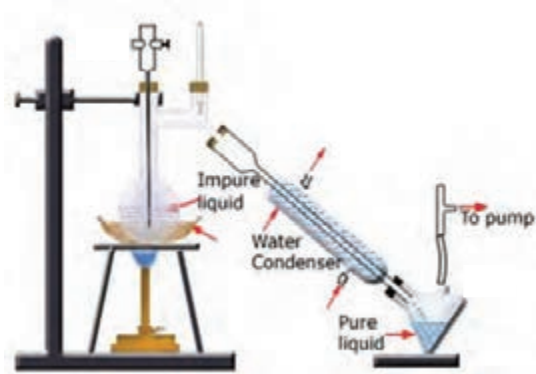
### Crude oil

Match the pictures with phrases.



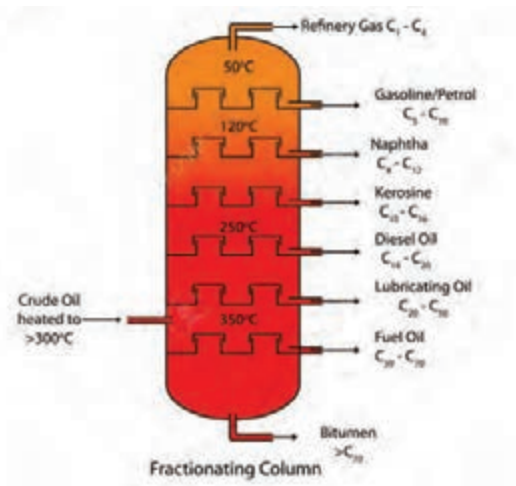
A.

1 Crude oil distillation



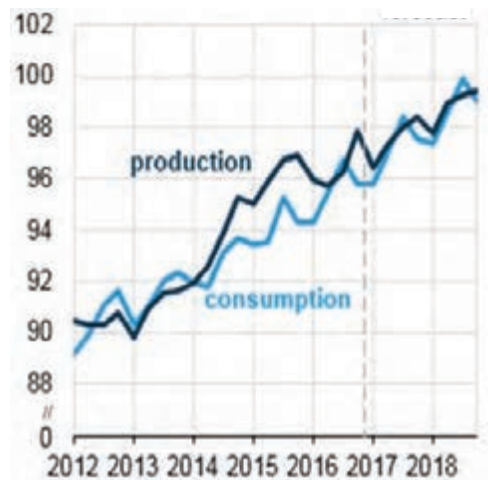
C.

3 World fuels production/consumption (mb/d)



B.

2 Crude oil



D.

4 Vacuum distillation

## Crude oil



Petroleum or crude oil is a naturally material composed of hydrocarbon deposits and other organic materials. The composition varies widely depending on where and how it was formed. Crude oil, as a fossil fuel, is refined to produce usable products such as gasoline, diesel and various forms of petrochemicals. It is a nonrenewable resource, which means that it cannot be replaced naturally at the rate we consume it and is therefore a limited resource.

### History of Oil in Iran

The Anglo-Persian Oil Company (APOC) was a British company founded in 1908 following the discovery of a large oil field in Masjid Soleiman, Iran. The Masjid Soleiman, located in the Khuzestan province in the southwest of the Islamic Republic of Iran, is the place where the country's first oil well was drilled (Fig. 16).



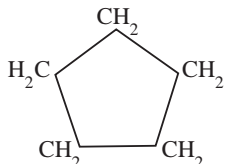
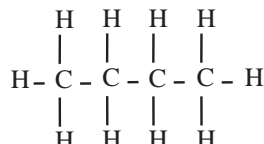
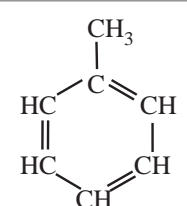
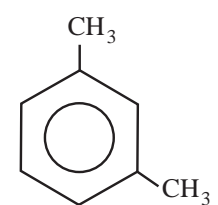
Fig. 16: The country's first oil well in Masjid Soleiman

## Hydrocarbons in Crude Oil

There are four main types of hydrocarbons found in crude oil.

- ✓ paraffins (15-60%)
- ✓ naphthenes (30-60%)
- ✓ aromatics (3-30%)
- ✓ asphaltenes

- Choose the best answer with your own knowledge.

Molecular Structure معادل انگلیسی ساختار مولکولی	Name
	Cyclopentane or Cyclohexane
	Butane or Propane
	Benzene or Toluene
	Xylene or Toluene

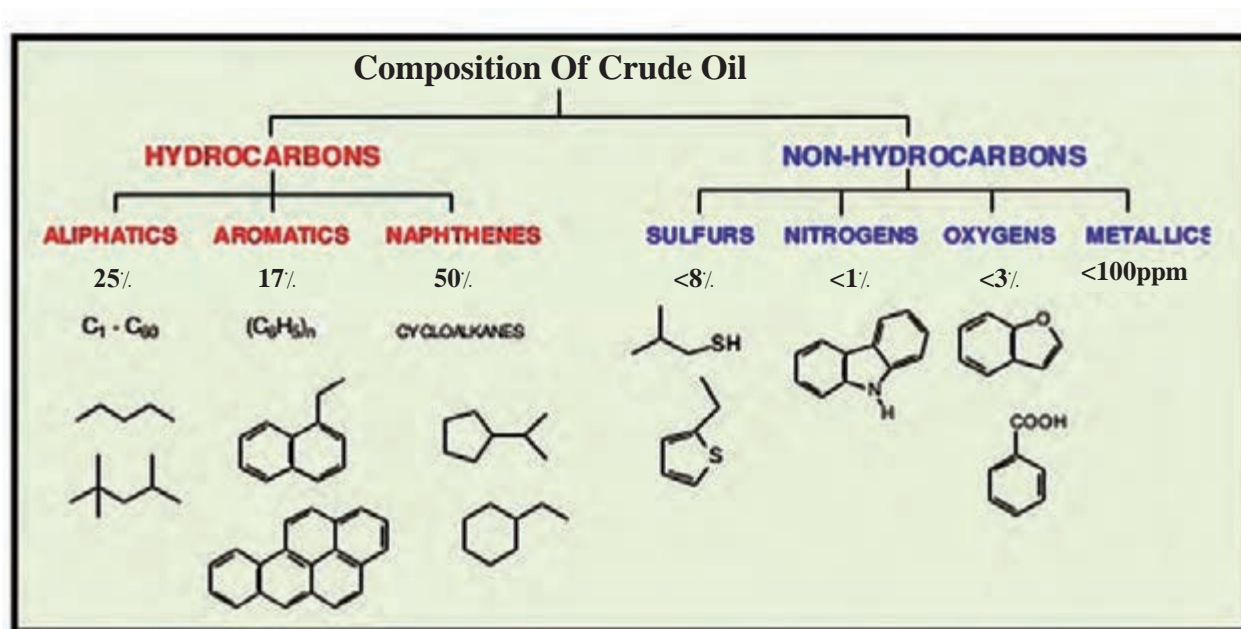
### Elemental Composition of Petroleum

Although there is considerable variation between the ratios of organic molecules, the elemental composition of petroleum is well-defined:

- ✓ Carbon - 83 to 87%
- ✓ Hydrogen - 10 to 14%
- ✓ Nitrogen - 0.1 to 2%
- ✓ Oxygen - 0.05 to 1.5%
- ✓ Sulfur - 0.05 to 6.0%
- ✓ Metals - < 0.1%

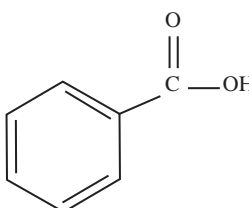
The most common metals are iron, nickel, copper, and vanadium.

**- Look, Read and Practice.**



**True/False**

1 (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>n</sub> is an aliphatic hydrocarbons. ....

2  is a hydrocarbon substance in crude oil. ....

3 Bezoic acid (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) is a Colourless crystalline solid and a simple aromatic carboxylic acid. ....

4 Cycloalkanes are also called naphthenes. ....

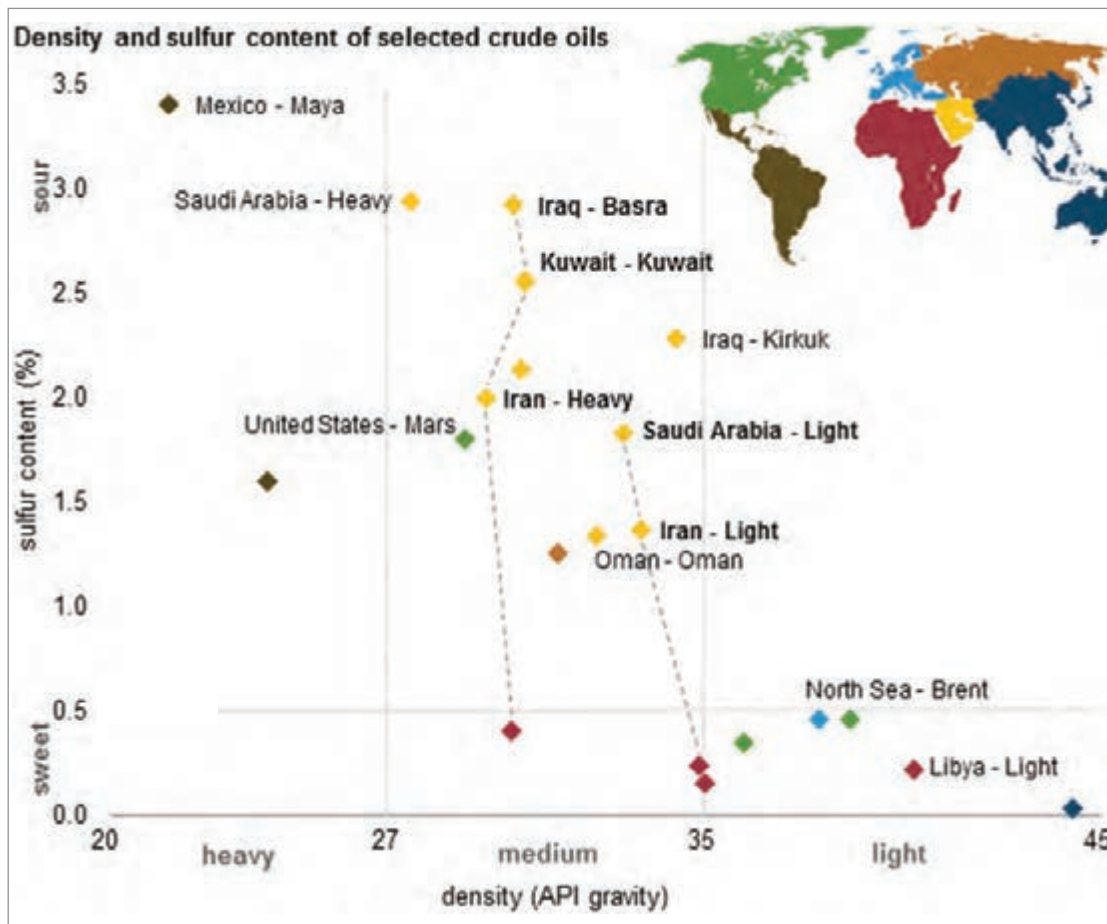
## Petroleum colour and viscosity

The colour and viscosity of petroleum vary markedly from one place to another (Fig.17). It is usually dark brown or blackish, although it may be greenish, reddish, or yellowish.



Fig. 17: Crude oil

- Look at the picture carefully and then fill in the blanks with appropriate words.



- Types of selected crude oil of Iran are ----- and -----.
- The density of Iran-Light crude oil is -----, approximately.
- Sulfur content of Iran-Heavy crude oil is about -----.

## Crude oil refinery

A crude oil refinery is a group of industrial facilities (Fig. 18) that turns crude oil into finished petroleum products.



Fig. 18: Tehran crude oil refinery

### - Choose the appropriate words with your own knowledge.

(Extraction/Distillation) is the process in which the components of a liquid mixture are separated by heating it to a certain temperature and condensing the resulting vapors. This process, which is a (physical/chemical) separation process and not a (physical/chemical) reaction, is a unit operation of practically universal importance in chemical industries.

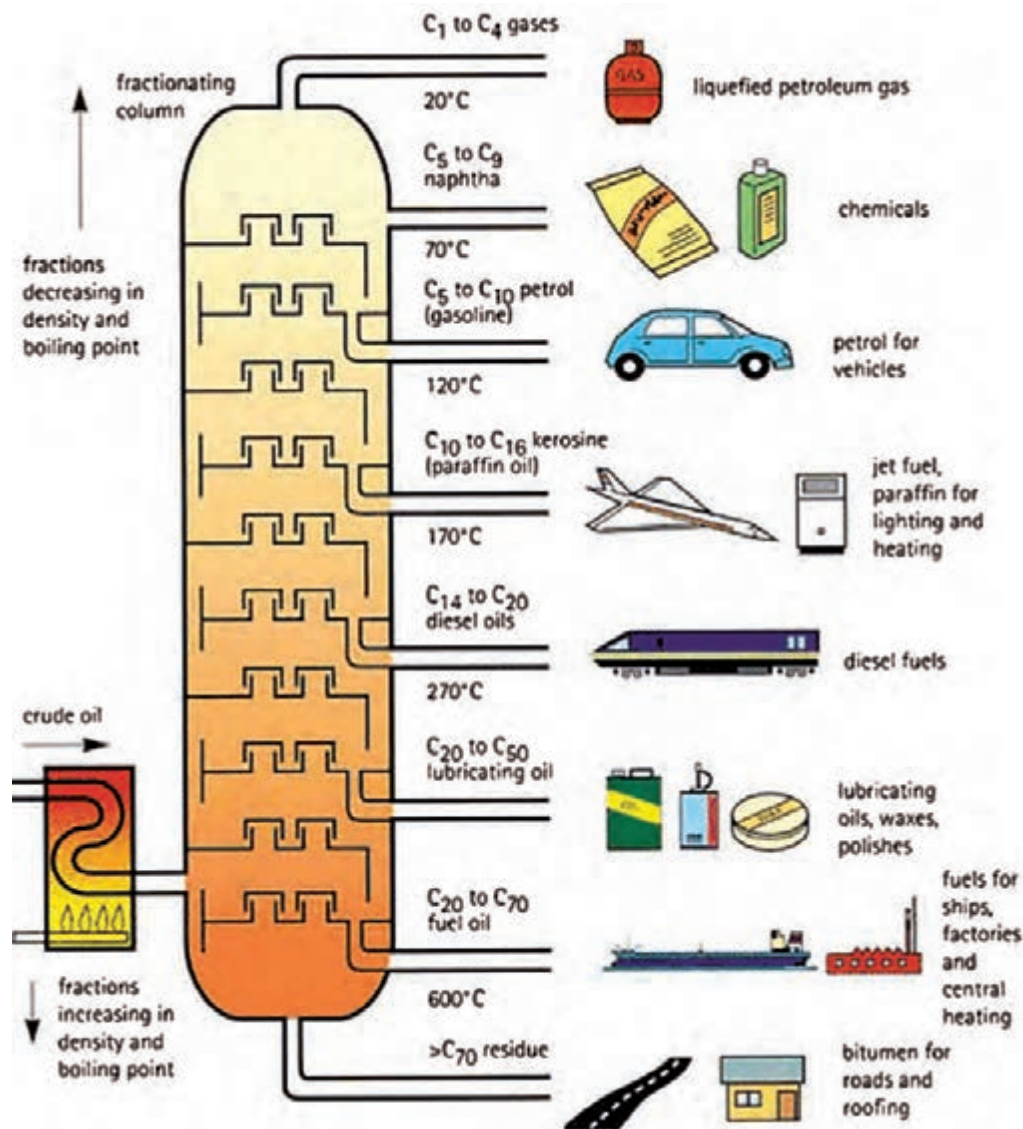


Fig. 19: Distillation of crude oil

The diagram above presents a conventional version of the distillation process. Crude oil is made up of a mixture of hydrocarbons, and the distillation process aims to separate it into broad categories of its component hydrocarbons, or “fractions”. Crude oil is first heated and then put into a distillation column, also known as a still, where different products boil off and are recovered at different temperatures.

Lighter products, such as butane and other liquid petroleum gases (LPG), gasoline blending components, and naphtha, are recovered at the lowest temperatures. Mid-range products include jet fuel, kerosene, and distillates (such as home heating oil and diesel fuel). The heaviest products such as residual fuel oil are recovered at temperatures sometimes over 600 degrees Centigrade.



The simplest refineries stop at this point. Although not shown in the simplified diagram above, most refineries reprocess the heavier fractions into lighter products to maximize the output of the most desirable products.

In fact, distillation of crude oil is carried out in two units, first in an Atmospheric Distillation Unit, and then in a Vacuum Distillation Unit (Fig. 20) that further processes the residue from atmospheric distillation.

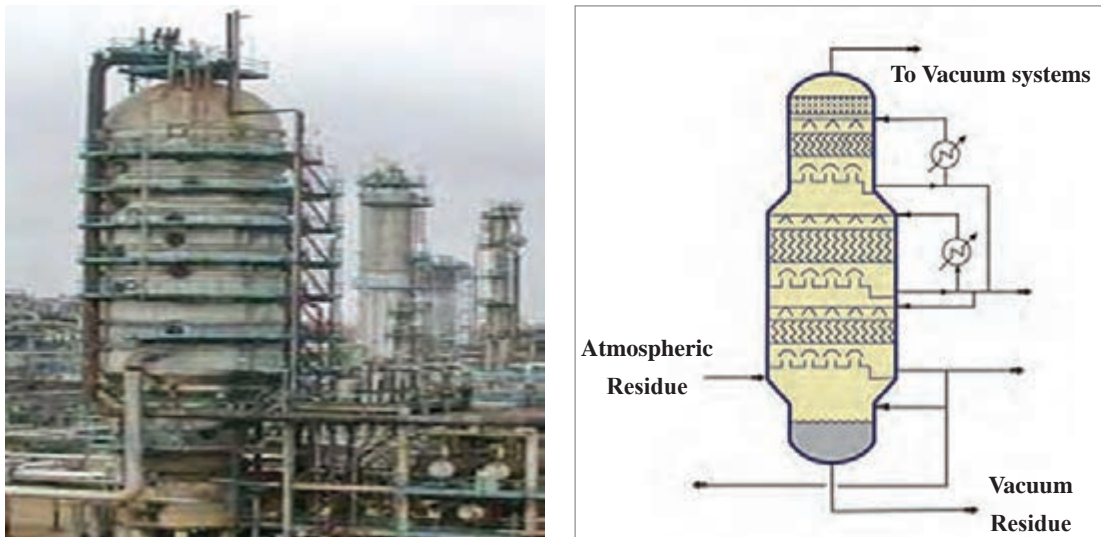


Fig. 20: Vacuum distillation tower

Around a third of the oil and gas extracted worldwide comes from offshore sources (Fig.21).



Fig. 21: Offshore sources of oil and gas

The Iranian Offshore Oil Company (IOOC) is a subsidiary of the National Iranian Oil Company. Its activities cover important areas of the Persian Gulf and its main operations are in Bushehr Province and on the Islands of Kharg, Sirri and Lavan.

## Part Four

### Chemical laboratory equipment

Match the pictures with phrases.



A.

1 Safety goggle



B.

2 Beaker



C.

3 Erlenmeyer flasks



D.

4 Burette



E.

5 Cylinders



F.

6 Test tube



G.

7 Pipette



H.

8 Thermometer

## Chemical laboratory

Chemistry is a science, which necessarily needs some place for its experimental activities – for realization of chemicals and chemical reactions. This place is called laboratory (= a lab). A chemical lab is full of specific chemicals and laboratory equipment for measurement, and experimentation in scientific research. It is a place, where everyone has to respect operating, safety and hygienic rules.

A chemical lab requires:

- ✓ laboratory table
- ✓ console
- ✓ furniture
- ✓ weighing room
- ✓ chemicals, tools and lab equipment

These requirements are demonstrated in Fig.22 .


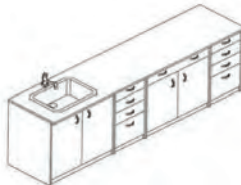


Name	Figure
Laboratory table	
Console	
Furniture (laboratory glasswares, storage bottles and very frequently used tools are stored in racks next to the wall)	
Weighing room	

Fig. 22: Lab requirements

Laboratory tools are made of laboratory glass and porcelain, metals, plastic, and rubber. Laboratory glasswares are resistant against chemical substances (Fig. 23).

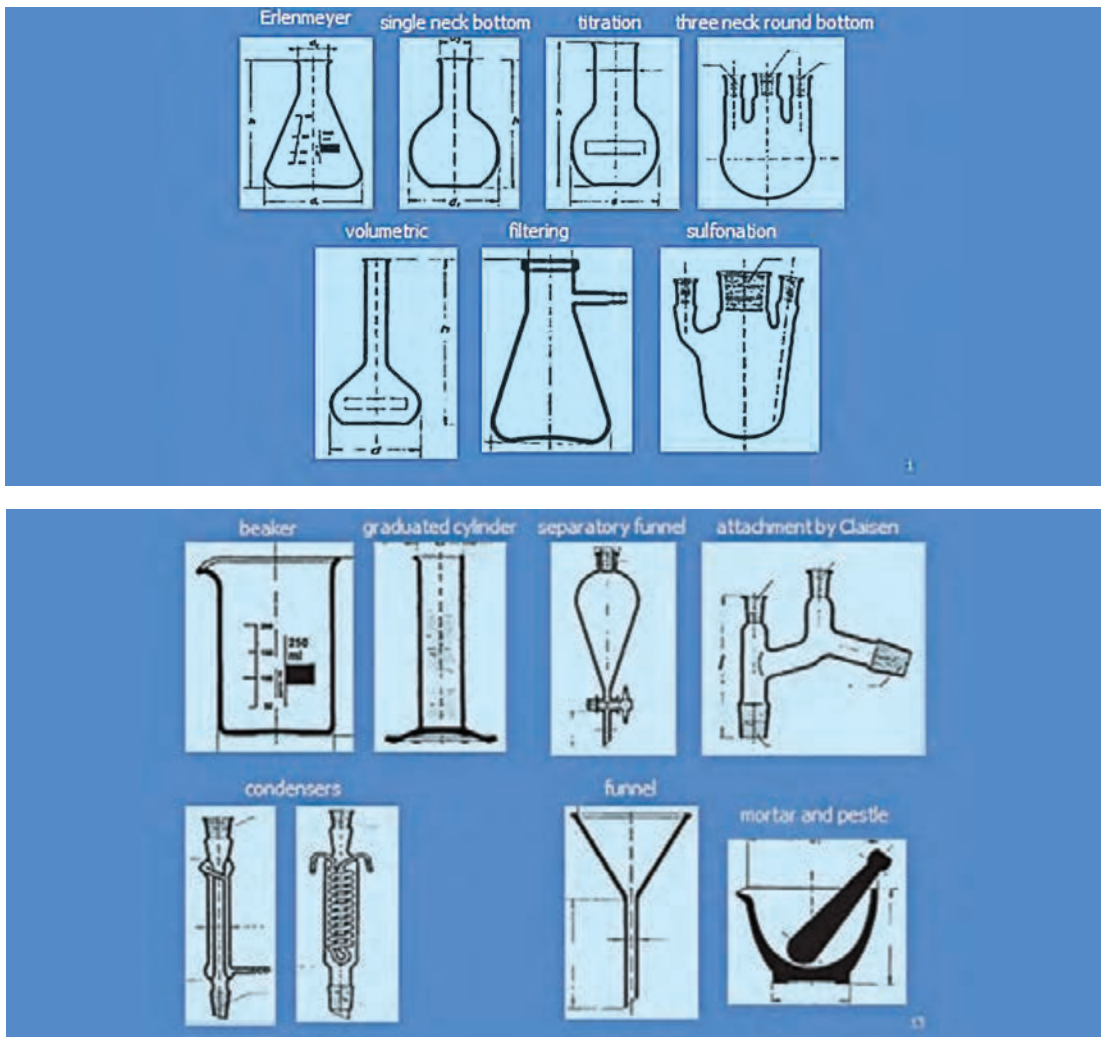


Fig. 23: Laboratory glassware- examples

Laboratory plastic and rubber tools are made of various material such as polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), teflon, polycarbonate (Fig. 24).

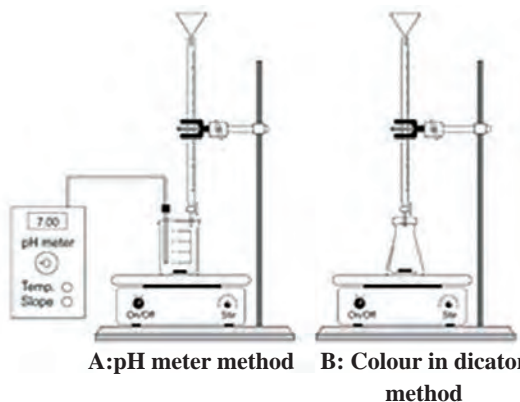
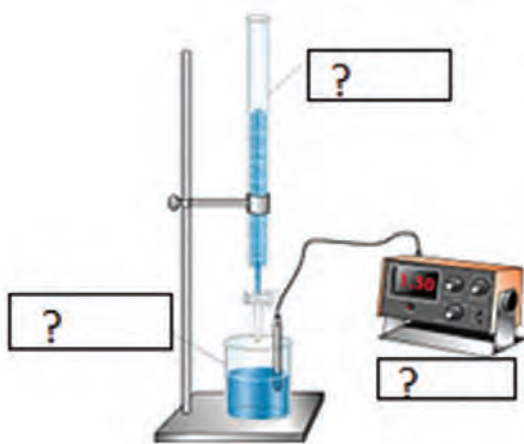


Fig. 24: Metallic, plastic and rubber tools - examples

- Fill in the blanks with the given phrases.

pH-meter, Beaker, Burette

Which titration setup is good for you? pH meter method or colour indicator method.



## Calibration of thermometer

In this section, we explain how to calibrate a stem-type thermometer and how to use it to correctly measure the air temperature of the laboratory.

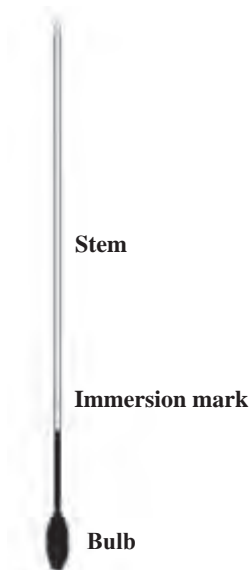


Fig. 25: A stem - type thermometer

One of the most common types of laboratory thermometers is the stem-type or liquid-expansion thermometer (Fig. 26). In this type of thermometer, an expansion liquid, usually mercury or alcohol, fills a glass bulb attached to a long stem with a uniformly expansion column. When heated, the liquid expands up the bore until the bulb reaches thermal equilibrium with the material whose temperature is being measured. The expansion of the liquid is such that the height it reaches in the stem is linear with temperature. These thermometers are typically marked with equal spacings along the stem. They are then calibrated at two different "fixed point" temperatures. Alcohol thermometers are of lower accuracy than mercury thermometers, but are more commonly used in the chemical laboratories because mercury is toxic and difficult to clean-up in the case of breakage.

[know more](#)

As with any measuring device, the accuracy of a thermometer depends on its calibration. Calibration is such that a measurement is performed whose result is well known. For a stem thermometer, because the markings along the stem cannot be adjusted, a correction curve is prepared such that thermometer readings can be converted to accurate temperatures. Known temperature baths for calibration can be generated using the ice point and the boiling point of water. These temperature baths are called "fixed points" because of their use as calibration markers for thermometers.



Fig. 26: Laboratory liquid - expansion thermometer

## Procedure

### Thermometer identification

- 1 If possible, note the manufacturer, serial number and manufacture date of the thermometer.
- 2 Note the temperature range of the thermometer.
- 3 Note whether or not the thermometer is a Total Immersion or Partial Immersion type.

#### know more

Partial Immersion thermometers will have an immersion mark and are designed so that only that part of the stem is exposed to the temperature being measured. Total Immersion thermometers are designed so that both the bulb and the entire liquid column must be exposed to the temperature being measured.

- 4 Check to make sure that the liquid in the stem of the thermometer has not separated. If it has, ask your laboratory instructor for a new thermometer.

### Calibration at the ice point of water

- 1 Fill a container with crushed ice (You will have to share a container with another group, so become friendly with your neighbours).
- 2 Add enough pre - cooled distilled water to cover the ice, but not so much water such that the ice floats.
- 3 Thoroughly stir the ice-water mixture.
- 4 Hang your thermometer until it is appropriately inserted into the ice - water.
- 5 Allow the temperature shown by the thermometer to stabilize (about 10 minutes is required to establish thermal equilibrium). After 3 minutes at the stable temperature, record the temperature to the correct precision.
- 6 The ice point of water is remarkably stable at 0.00 °C (Fig.27).

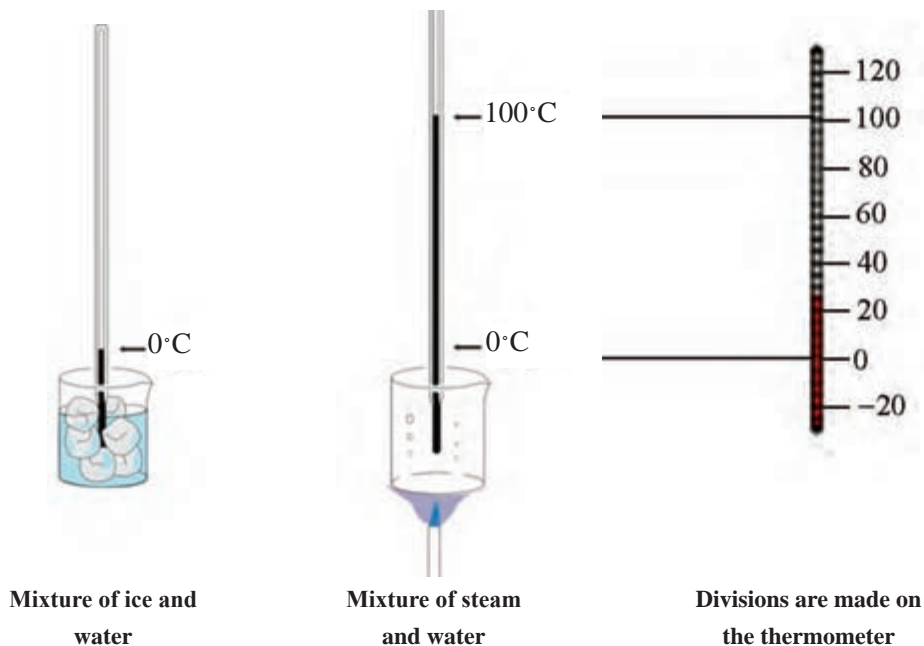


Fig. 27: Thermometer calibration

### Calibration at the boiling point of water

- 1 Set up a hot plate with a 500 mL Florence flask resting on it. The flask should be supported by a clamp from a ring stand.
- 2 Fill the flask about half full with distilled water. Add a few boiling chips to promote smooth boiling.
- 3 Hang the thermometer from the ring stand as before.

**Note:** Using a Florence flask helps promote the reflux. It is a type of flask used as an item of laboratory glassware for holding liquids. A Florence flask has a round body, a single long neck, and often a flat bottom (Fig.28).

- 4 Turn on the hot plate and allow the water to come to its boiling point.

- 5 Allow the temperature shown by the thermometer to stabilize (about 10 minutes after a rolling - boil has been achieved). After 3 minutes at the stable temperature, record the temperature to the correct precision.

- 6 The boiling point of water is extremely sensitive to the atmospheric pressure. You will be provided with the day's atmospheric pressure. Use this, along with the data in the appendix, to determine the correct boiling point of water. You may have to interpolate the data in the table.



Fig.28: A Florence flask



## Appendix

Atmospheric pressure( mmHg)	Boiling point water (°C)
760	99.996
750	99.629
740	99.257
730	98.880
720	98.499
710	98.112
700	97.720
690	97.323
680	96.921
670	96.512
660	96.098
650	95.676
640	95.249
630	94.814
620	94.371
610	93.921

## Air temperature

The air temperature in the room will be measured by measuring the temperature of a large water bath that has been allowed to come to thermal equilibrium with the air.

- 1 Hang your stem thermometer from the ring stand into the water bath provided (everyone will share the same large bath).
- 2 Allow for thermal equilibrium to be established. Make the appropriate readings.

## جدول ارزشیابی پودمان کسب مهارت‌های فنی

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	عنوان پودمان
۳	با استفاده کاتولوگ انگلیسی، دماسنج‌ها را تنظیم کند.	بالاتر از حد انتظار	به‌کارگیری مفاهیم اصلی صنایع شیمیایی و کتابچه راهنمای ابزار و دستگاه‌ها (به زبان انگلیسی)	تصویر فرایندهای شیمیایی را به معادل‌های انگلیسی آن مرتبط کند.	کسب اطلاعات فنی
۲	تصویر اصطلاحات و وسایل آزمایشگاهی را به معادل انگلیسی آنها نشان دهد.	در حد انتظار		مفهوم فارسی هر فرایند را با توجه به متن موجود در کتاب، توضیح دهد. تمرین‌های موجود در کتاب و مشابه آن را حل کند.	
۱	مفهوم ساده‌ای از تعریف فرایندها و کالیبراسیون دماسنج را به فارسی بگوید.	پایین‌تر از حد انتظار		با دیدن تصویر، توضیح فارسی مناسب را ارائه دهد.	
			نمره مستمر از ۵		
			نمره شایستگی پودمان از ۳		
			نمره پودمان از ۲۰		

- ۱ برنامه درسی درس دانش فنی تخصصی، رشته صنایع شیمیایی ۱۳۹۳، دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- ۲ مارتین سیلبربرگ، اصول شیمی عمومی، جلد اول و دوم، مجید میرمحمد صادقی - غلامعباس پارسا فر - محمدرضا سعیدی، ۱۳۹۳، مرکز نشر نوپردازان
- ۳ رابرت اسموت، ریچارد اسمیت، شیمی عمومی با نگرش کاربردی، جلد ۲ و ۳ منصور عابدینی، علی سیدی، چاپ هفتم، ۱۳۹۰، انتشارات فاطمی
- ۴ غلامعباس پارسا فر، علی پورجوادی، افشین شفیعی، مهدی جلالی هروی، مجتبی باقرزاده، شیمی با نگرش تحلیلی، جلد ۲ و ۳، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی
- ۵ صدیقه عدنانی، مریم سراجیان، فاطمه محسنی، محلول‌ها، ۱۳۸۳، انتشارات محراب قلم
- ۶ محمد امیری، شهرام تنگستانی نژاد، احمد رضا اسمعیل بیگ، شیمی تجزیه (۱)، ۱۳۹۳ شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران
- ۷ اسگوک، وست، هالر، ویدا توسلی، هوشنگ خلیلی، علی معصومی، مبانی شیمی تجزیه، جلد اول ۱۳۸۷، مرکز نشر دانشگاهی تهران، چاپ نهم
- ۸ احمد خواجه نصیر طوسی، شیمی و جامعه، ۱۳۷۲ انتشارات فاطمی.
- ۹ علی افضل صمدی، شیمی عمومی، ۱۳۷۷، نشر نی
- ۱۰ احمد خواجه نصیر طوسی، علی سیدی، شیمی عمومی با نگرش کاربردی، ۱۳۷۸ نشر فاطمی
- ۱۱ منصور عابدینی، شیمی عمومی، ۱۳۹۴ چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۲ علی سیدی اصفهانی، شیمی آلی، ۱۳۹۳ چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- 13 Jonathan. Clayden, Nick. Greeves, Stuart. Warren, "Organic Chemistry", Second Edition, Oxford University Press, 2012
- 14 RoseMarie Gallagher Paul Ingram, "Complete Chemistry for Cambridge", IGCSE®, Second Edition, Oxford University Press, 2007
- 15 Steven S. Zumdahl, Susan A. Zumdahl - Chemistry - An Atoms First Approach (2016)
- 16 Raymond Chang, Jason Scott Overby - General Chemistry- The Essential Concepts, 6th Edition (2011, McGraw-Hill Companies),  
2Daniel Vallero, "Fundamentals of Air Pollution", Elsevier, 5th edition, 1994, ISBN: 9780124017337.
- 17 Stephen T. Holgate, Hillel S. Koren, Jonathan M. Samet, and Robert L. Maynard, "Air Pollution and Health", Academic Press, 1999, eBook ISBN: 9780080526928.
- 18 Warren L. McCabe, Julian C. Smith, and Peter Harriott, "Unit Operation of Chemical Engineering", McGraw-Hill, 1985, ISBN: 0070448280.
- 19 Jozef Markos, "Mass Transfer in Chemical Engineering Processes", InTech 2011, ISBN-13: 9789533076195.
- 20 Standey M. Walas, "Chemical Process Equipment", Butterworth-Heinemann Publications, 2010, ISBN:978-12-372506-6.



سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان درباره کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانه راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

#### اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت‌کننده در اعتبارسنجی کتاب دانش فنی تخصصی - کد ۲۱۲۵۲۰

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	فرشید محامدی	هرمزگان	۱۳	شهرزاد جورابلو	سمنان
۲	سمیه باقری‌وانانی	چهارمحال و بختیاری	۱۴	مهدی ولی	کرمان
۳	زهرا شهسواری فرد	فارس	۱۵	نادر عباسی‌نوا	آذربایجان غربی
۴	زهرا قنواتی	خوزستان	۱۶	سوسن ضرابی‌دربان	خراسان رضوی
۵	نعیمه سیف‌الدینی	کرمان	۱۷	شکراله شمسی	مرکزی
۶	مسعود آری	گیلان	۱۸	اعظم یوسفی	شهر تهران
۷	امید افشاری	قزوین	۱۹	محمد ایرنگانی	سیستان و بلوچستان
۸	محمد رضا شاهسون	شهرستان‌های تهران	۲۰	رضوان نامدار	همدان
۹	حسن بشیریان	همدان	۲۱	امیرحسین عباسی	زنجان
۱۰	نیره سبزی‌پرور	آذربایجان شرقی	۲۲	حامد چناری	ایلام
۱۱	زهرا علیپور	قزوین	۲۳	احمد مرسلی	زنجان
۱۲	نادر مولوی	آذربایجان شرقی			