

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



## دانش فنی پایه

رشته صنایع شیمیایی  
گروه مواد و فراوری  
شاخه فنی و حرفه‌ای  
پایه دهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



دانش فنی پایه (رشته صنایع شیمیایی) - ۲۱۰۵۲۰

نام کتاب:

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

پدیدآورنده:

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

طیبه کنشلو، بهرام قنبری، رابعه شیخ‌زاده، قاسم حاجی‌قاسمی، اعظم صفاری و سیدرضا سیف‌محدثی  
(اعضای شورای برنامه‌ریزی)

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

رابعه شیخ‌زاده، طیبه کنشلو، اعظم صفاری (اعضای گروه تألیف) - بهرام قنبری (ویراستار علمی)

مدیریت آماده‌سازی هنری:

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی:

جواد صفری (مدیر هنری) - سورش سعادت‌مندی (صفحه‌آرا) - سمیه نصری (طراح جلد) - سید مرتضی  
میرمجیدی (رسام)

نشانی سازمان:

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی) تلفن: ۹-۸۸۳۱۱۶۱،  
دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

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)  
تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ:

چاپ نهم ۱۴۰۳

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.



ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به‌دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین‌طور. اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.  
امام خمینی (قَدَسَ سِرُّهُ)

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| ۱.....   | پودمان ۱: کلیات                     |
| ۹.....   | پودمان ۲: مفاهیم پایه ساختار اتم    |
| ۳۱.....  | پودمان ۳: مفاهیم پایه ساختار مولکول |
| ۶۳.....  | پودمان ۴: شیمی ترکیبات آلی          |
| ۷۹.....  | پودمان ۵: فناوری و نوآوری‌ها        |
| ۱۰۲..... | منابع                               |

## سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینه ارتقای وجودی خویش را مهیا و امکان کسب روزی حلال و پاسخگویی به نیازهای جامعه را فراهم می‌آورد. آموزش فناوری، کار و مهارت‌آموزی، باعث پیشرفت فردی، افزایش بهره‌وری، مشارکت در زندگی اجتماعی و اقتصادی، کاهش فقر، افزایش درآمد و توسعه یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزه دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخه فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشته تحصیلی است که هنرجویان در پایه دهم و در آغاز ورود به رشته تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامه تحصیل در رشته خود کسب نمایند. درس دانش فنی تخصصی که در پایه دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصی حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامه تحصیل و توسعه حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند. لازم به یادآوری است که کتاب دانش فنی پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایه نهم به تحریر درآمده است. محتوای آموزشی کتاب دانش فنی پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش نظری تأمین می‌کند. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



نظرسنجی کتاب درسی

درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانش فنی پایه در گروه مواد و فراوری و رشته تحصیلی صنایع شیمیایی برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش فنی پایه، موضوعاتی مانند تاریخچه رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشته تحصیلی، نقش رشته شما در توسعه کشور، مثال‌هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت، اصول، مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت‌ها، واحدها و یکاها، فرمول‌های فنی، تعریف دستگاه‌ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشته تحصیلی در نظر گرفته شده است.

در هنگام ارزشیابی این درس، می‌توانید از کتاب همراه هنرجوی خود استفاده نمایید.

توصیه می‌شود در یادگیری این درس به دلیل کاربرد زیاد آن در درس‌های دیگر رشته، کوشش لازم را داشته باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش





# پودمان ۱

## کلیات



با توجه به توانایی‌های کشور جمهوری اسلامی ایران در زمینه نفت و گاز و مواد معدنی گوناگون توسعه صنایع شیمیایی در کشور ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

## اهمیت و ضرورت رشته



نظر به تحولات سریع صنعتی کشور به خصوص در صنایع شیمیایی و داشتن ذخایر عظیم و خدادادی نفت، گاز و مواد معدنی گوناگون و با توجه به گسترش این صنایع به ویژه صنایع پتروشیمی در کشورمان نیاز به متخصصین و تکنسین‌های فنی در این رشته روزبه‌روز بیشتر احساس می‌گردد.

دوره سه ساله متوسطه رشته صنایع شیمیایی به گونه‌ای طراحی شده است که نیازهای این صنعت را به دیپلمه‌های فنی متبحر

برطرف نماید. باید توجه داشت که کشور ما از نظر صنایع شیمیایی اعم از نفت، گاز، پتروشیمی، صنایع معدنی و کانی، صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی، صدها برابر بیش از آنچه امروز شاهد آن هستیم، ظرفیت توسعه دارد. منطقه عسلویه به عنوان قطب اصلی صنعت گاز کشور پتانسیل‌های زیادی جهت توسعه دارد که امید است به تدریج در آینده این توانمندی‌های بالقوه به فعل تبدیل شود. بنابراین اگر صنایع شیمیایی کشور جایگاه شایسته خود را پیدا نماید، توسعه رشته صنایع شیمیایی در مقطع متوسطه و کاردانی جهت آموزش تکنسین‌های کارآموده امری اجتناب‌ناپذیر است.

فارغ‌التحصیلان این رشته توانایی تغییر و تبدیل بر روی مواد خام را دارند و به یاری همین توانایی، تعداد زیادی از فارغ‌التحصیلان این رشته کارگاه‌ها یا کارخانه‌های شیمیایی کوچک یا بزرگ دایر کرده و در کار خود نیز موفق بوده‌اند. آنها همچنین می‌توانند در کارگاه‌ها و کارخانه‌های تهیه مواد آلی، دارویی، بهداشتی و آرایشی، رنگ‌ها، رزین‌ها و تهیه و خالص‌سازی مواد معدنی مشغول به کار شوند. همچنین در صورت تمایل می‌توانند در مقاطع بالاتر ادامه تحصیل دهند.

## قلمرو دانش رشته



صنایع شیمیایی علم کاربرد شیمی، ریاضیات، فیزیک و اقتصاد در فرایند تبدیل مواد خام به مواد باارزش‌تر یا سودمندتر است. هدف اصلی این رشته تهیه مواد ویژه و کارآمد برای صنایع متنوع امروزی و تولید محصولات با کیفیت بالاتر می‌باشد، از این رو صنایع شیمیایی ارتباطی تنگاتنگ با علوم مهندسی دارد.

از شاخه‌های رشته صنایع شیمیایی می‌توان صنایع شیمیایی آلی (مانند صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، دارویی، رنگ، مواد شوینده،

سموم دفع آفات)، صنایع شیمیایی معدنی (سیمان، گچ، آهک، شیشه)، صنایع سلولزی (کاغذ، مقوا، چوب)، صنایع غذایی (قند و شکر، مواد تخمیری، نوشابه‌ها، روغن نباتی، کنسروسازی) صنایع فراوری چرم و پوست، علوم هسته‌ای، تصفیه آب و پساب را نام برد.



## مشاغل رشته و توصیف‌های شغلی

فارغ‌التحصیلان رشته صنایع شیمیایی می‌توانند جهت اشتغال در شاخه‌های مختلف صنایع شیمیایی مانند صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، دارویی، رنگ، مواد شوینده و سموم دفع آفات، صنایع شیمیایی معدنی اعم از سیمان، گچ، آهک و شیشه و صنایع سلولزی مانند کاغذ، مقوا و چوب صنایع غذایی مانند قند و شکر، مواد تخمیری، نوشابه‌ها، روغن نباتی و کنسروسازی صنایع فراوری چرم و پوست علوم هسته‌ای تصفیه آب و پساب جذب کار شوند. در زیر توصیف شغلی برخی از آنها آورده شده است.

### صنایع شیمیایی معدنی

بخشی از صنایع و فناوری‌ها تولیدی می‌باشد که در آنها از مواد شیمیایی و سنگ‌های استخراج‌شده معدنی به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌شود تا مواد و محصولات مختلفی مانند سیمان، شیشه، کاشی و سرامیک، گچ، آهک و یا مواد شیمیایی معدنی مانند اسیدها و بازها، گازهای صنعتی و بسیاری از محصولات دیگر به‌دست آیند. امروزه طراحی فرایند تبدیل مواد اولیه به محصولات قابل استفاده در کارخانه‌های صنعتی تولید مواد غیرآلی به عهده متخصصان این بخش می‌باشد و به همین دلیل کارخانه‌ها و صنایع تحت پوشش این گروه، طیف وسیعی از صنایع تولیدی را در بر می‌گیرند. همچنین صنایع شیمیایی معدنی با صنایعی چون صنایع معدنی، متالورژی و سرامیک ارتباط نزدیکی دارد و به همراه این صنایع، نقش مهمی را در ساخت‌وساز و فعالیت‌های عمرانی جوامع به عهده دارند.

### صنایع شیمیایی معدنی

نمایش فیلم



### صنایع نفت، گاز و پتروشیمی



بخش گسترده‌ای از فناوری‌های صنایع شیمیایی است که مربوط به کاربرد دانش، فناوری، ریاضیات و اقتصاد در فرایند اکتشاف، استخراج، برآورد مخزن و توسعه نفت، گاز و سایر ترکیبات هیدروکربنی از مخازن زیرزمینی و انتقال آنها به پالایشگاه‌های نفت می‌باشد. پس از آن در صنایع پتروشیمی هیدروکربن‌های موجود در نفت خام یا گاز طبیعی با انجام فرایندهای مختلف و پیچیده به محصولات و فرآورده‌های شیمیایی مختلف تبدیل می‌گردند. امروزه صنایع نفت و پتروشیمی تأمین‌کننده مواد و نیازهای بسیاری از صنایع دیگر بوده و در تأمین انرژی و توسعه جوامع صنعتی نقش مهمی دارند. صنایع نفت، گاز و پتروشیمی با بسیاری از شاخه‌های دیگر صنایع شیمیایی مرتبط بوده و به‌ویژه در کشورهای دارنده منابع هیدروکربنی یکی از صنایع بسیار مهم تلقی می‌شود.

نمایش فیلم



## صنایع نفت، گاز و پتروشیمی



## صنایع غذایی

یکی از شاخه‌های صنایع شیمیایی است که با توجه به خصوصیات شیمیایی، میکروبیولوژی، تغذیه‌ای و بهداشتی مواد غذایی به طراحی و نظارت بر واحدهای تولید صنایع غذایی و کنترل کیفی محصولات آنها می‌پردازد. در این بخش جنبه‌های تئوری و عملی طراحی کارخانه‌ها و واحدهای تولید مواد غذایی، که شامل طراحی فرایند، طراحی خطوط آماده‌سازی، فراوری و بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد، مورد توجه قرار می‌گیرد بدین منظور از سایر علوم و فناوری‌های مهندسی استفاده می‌گردد.

نمایش فیلم

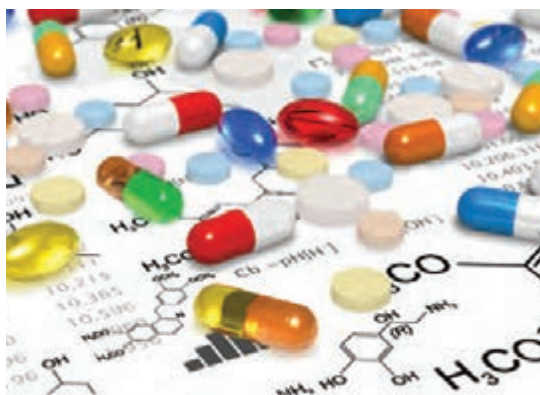


## صنایع غذایی

تحقیق کنید



پنج ماده شیمیایی پرمصرف جامعه بشری را تعیین کنید.



## صنایع دارویی

شاخه‌ای از صنایع شیمیایی است که به کشف، بررسی، تکوین و استفاده از اثر ترکیبات شیمیایی در سطح مولکولی، با هدف درمانش در سامانه‌های زیستی می‌پردازد. علم شیمی از دانش‌های پایه در علم داروسازی به‌شمار می‌رود و بخش گسترده‌ای از داروها از مطالعات در این زمینه حاصل می‌شوند. لذا دانش‌آموختگان رشته صنایع شیمیایی توانایی انجام کار در مراکز داروسازی را دارا می‌باشند.

نمایش فیلم



## صنایع دارویی



### شیمی محیط زیست

شاخه‌ای از صنایع شیمیایی است که با بررسی و سنجش مواد و ترکیبات شیمیایی و تأثیر آنها بر محیط زیست، به راهکارهای کاهش آلاینده‌گی حاصل از آنها می‌پردازد. در این زمینه به موضوعاتی مانند مهندسی محیط زیست، شیمی محیط زیست، شیمی سبز، کنترل آلودگی آب و هوا، مدیریت محیط زیست، تصفیه آب و فاضلاب، شیمی آب و خاک پرداخته می‌شود.

### شیمی محیط زیست

نمایش فیلم



### صنعت تصفیه آب و فاضلاب

امروزه حفظ منابع آب، یعنی حیاتی‌ترین ماده‌ای که بشر به آن نیاز دارد، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه مجامع مختلف بین‌المللی قرار گرفته است. رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد از منابع محدود آب از یک طرف و آلوده شدن آنها به سبب فعالیت‌های گوناگون زیستی، کشاورزی و صنعتی بشر از طرف دیگر، همگی دست به دست هم‌دیگر داده و زنگ خطر بحران آب را در سال‌های آینده به صدا در

آورده است. بنابراین حفظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی و زیست‌شناختی منابع آب سرلوحه فعالیت بسیاری از سازمان‌هایی است که به نحوی با این منابع سروکار دارند.

صنایع تصفیه آب و فاضلاب با هدف فراهم نمودن آب آشامیدنی سالم برای انسان‌ها، کاهش آلاینده‌گی فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و همچنین کاهش خطرات زیست‌محیطی این وظیفه خطیر را برعهده دارند. برای این منظور در آزمایشگاه‌های مجهز به وسایل و دستگاه‌ها و با روش‌های آزمایشگاهی فیزیکی، شیمیایی، توسط افراد متخصص علم شیمی، بیوشیمی، میکروبی‌شناسی، تصفیه آب و فاضلاب و پساب‌ها انجام می‌شود.

### تصفیه آب و فاضلاب

نمایش فیلم



## وظایف شاغلین در رشته صنایع شیمیایی

- ۱ انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی
  - ۲ کنترل کیفی مواد اولیه، میانی و محصولات و نظارت بر فرایند تولید
  - ۳ کار با دستگاه‌های فنی آزمایشگاه شیمی
  - ۴ کار در واحدهای تولید به‌عنوان اپراتور بهره‌برداری
  - ۵ کار در واحدهای کنترل (اتاق‌های کنترل دستگاه‌ها)
  - ۶ کار با ماشین‌آلات صنعتی واحدهای تولید
- دستگاه‌های تبادل حرارت و مبدل‌های حرارتی
  - دستگاه‌های تصفیه
  - واحدهای بلورشی
  - توربین‌ها، شیرها، پمپ‌ها و کوره‌ها
  - ۷ کار در واحدهای سرویس برق و بخار و تصفیه آب
  - ۸ کار با دستگاه‌های پالایش، برج‌های تقطیر
  - ۹ کار با دستگاه‌های تبدیل و شکست مولکولی
  - ۱۰ کار با ابزارآلات مختلف در
- صنایع بسپار و رنگ
  - صنایع چوب و کاغذ
  - صنایع غذایی
  - صنایع منفجره
  - نساجی
  - صنایع سیلیکات و نظایر آنها



## فعالیت‌های اقتصادی در منطقه و نقش رشته در توسعه کشور

کشور جمهوری اسلامی ایران به دلیل وجود ذخایر گسترده نفت، گاز و مواد معدنی گوناگون دارای ثروت خدادادی است. ولی امروزه تنها داشتن منابع طبیعی، کافی نیست و قدرت و ثروت کشورها بیشتر بر مبنای نوآوری و تولید فناوری شکل می‌گیرد.



ارتقای جایگاه ایران در زمینه توسعه صنایع شیمیایی به عنوان ضرورتی اجتناب ناپذیر است و رشد صنایع شیمیایی در کشور نسبت به گذشته روبه جلو است. سهم کشور در صادرات محصولات شیمیایی در جهان محدود بوده و به رغم ظرفیت‌های بالایی که این صنعت در کشور دارد از پتانسیل‌ها آن گونه که باید استفاده نشده است. طبق برنامه‌های چشم‌انداز ۲۰ ساله وزارت صنعت، معدن و تجارت و افق آینده سهم ایران در صادرات محصولات صنایع شیمیایی باید ارتقا یابد.

صنعت پتروشیمی بخشی از صنایع شیمیایی است که محصولاتش را از نفت خام یا گاز طبیعی تولید می‌کند. صنعت پتروشیمی از صنایع مادر و اشتغال‌زا است که به عنوان تغذیه‌کننده سایر بخش‌های صنعت می‌تواند به عنوان موتور حرکت اقتصاد کشورهای در حال توسعه نقش اساسی را ایفا نماید. از امتیازات مهم صنعت پتروشیمی که دارای

مزیت نسبی است، تأمین مواد اولیه آن در داخل کشور است. با گسترش صنعت پتروشیمی ضمن اینکه بسیاری از نیازهای داخلی رفع می‌شود، ارزش افزوده ماده خام نیز به داخل کشور بازمی‌گردد و باعث رونق هرچه بیشتر اقتصاد می‌شود.

تحقیق کنید



صنایع مرتبط با صنایع شیمیایی که در استان شما وجود دارد را شناسایی کنید و گزارشی در مورد آن تهیه و در کلاس ارائه دهید.

### جدول ارزشیابی پودمان کلیات

| نمره | شاخص تحقیق  | نتایج مورد انتظار     | استاندارد عملکرد (کیفیت)  | تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)   | عنوان پودمان       |
|------|---|-----------------------|---|--|--------------------|
| ۳    | تحلیل وظایف شاغلین صنایع شیمیایی از دیدگاه حوزه عمل | بالاتر از حد انتظار   | بررسی و تحلیل اهمیت رشته صنایع شیمیایی در توسعه کشور تعیین قلمرو دانش رشته دسته‌بندی وظایف شاغلین صنایع شیمیایی | ۱- تحلیل اهمیت و ضرورت رشته صنایع شیمیایی<br>۲- بررسی تحلیل مشاغل رشته صنایع شیمیایی | پودمان ۱:<br>کلیات |
| ۲    | تعیین حوزه عمل رشته در صنایع شیمیایی کشور           | در حد انتظار          |   |  |                    |
| ۱    | تعیین شاخه‌های رشته صنایع شیمیایی                   | پایین‌تر از حد انتظار |   |  |                    |
|      |   |                       |   | نمره مستمر از ۵  |                    |
|      |   |                       |   | نمره شایستگی پودمان  |                    |
|      |   |                       |   | نمره پودمان از ۲۰  |                    |

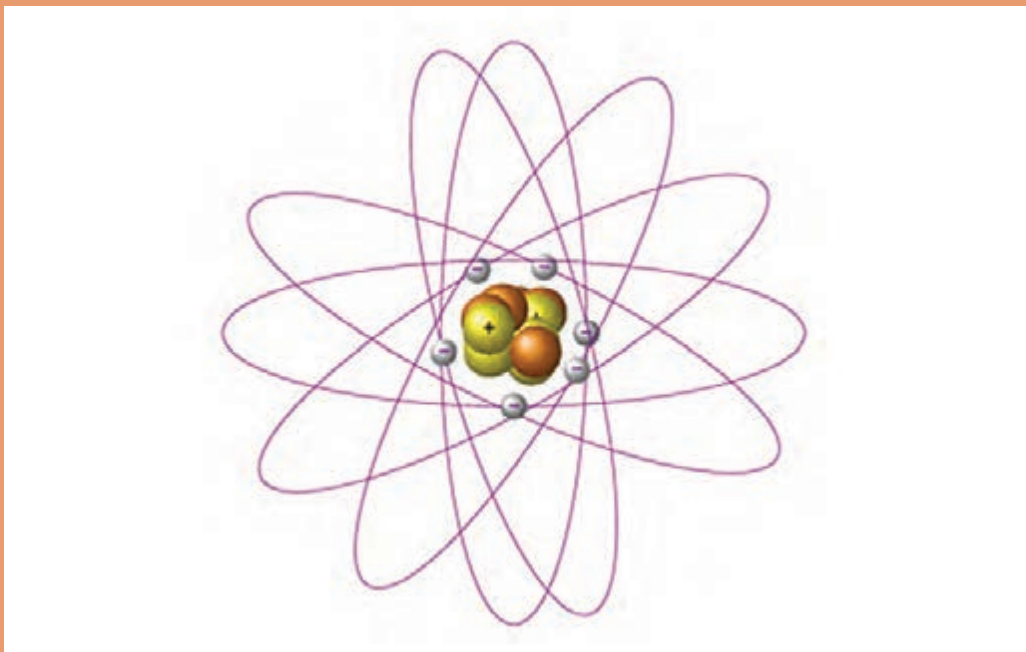






## پودمان ۲

### مفاهیم پایه ساختار اتم



شیمی با مطالعه ماده و تغییرات آن سروکار دارد. از آنجا که ماده به تمام مواد موجود در جهان اطلاق می‌شود، پس هر جسمی را که می‌بینیم و یا به نحوی از آن استفاده می‌کنیم بخشی از داستان شیمی را بازگو می‌کند.

**تئوری اولیه دربارهٔ اتم:** در حدود ۴۰۰ ق. م فیلسوفی یونانی به نام دموکریتوس نخستین اندیشه‌های مربوط به اتم را مطرح کرد. نظر وی این بود که جهان از دو چیز ساخته شده است: یکی فضای خالی و دیگری ذرات بسیار کوچکی که او آنها را «اتم» نامید. وی می‌پنداشت که اتم‌ها کوچک‌ترین ذرات ممکن ماده‌اند و هر یک از مواد موجود در جهان، اتم‌های متفاوتی دارند.

مدتی پس از دموکریتوس ارسطو این نظر را مطرح کرد که ماده پیوسته و یکپارچه است و از ذرات کوچک‌تری ساخته نشده است. تا قرن هفدهم نظر ارسطو پذیرفته شده بود و از آن پس تردیدها آغاز شد و اندیشه‌های وی مورد اعتراض قرار گرفت.

دو تن از مخالفان نظر ارسطو، آیزاک نیوتن و رابرت بویل بودند. آنها مقالاتی منتشر کردند که بیانگر اعتقادشان به ماهیت اتمی بودن عناصرها بود. اما هیچ مدرک آزمایش شده‌ای برای اعتقاد خود نداشتند.

جان دالتون در سال‌های اولیهٔ ۱۸۰۰ میلادی نتایج مشاهدات آزمایشی دیگران دربارهٔ واکنش‌های شیمیایی را بررسی کرد.

آنتوان لاوازیه در پی آزمایش‌های خود دریافته بود که وقتی واکنش شیمیایی در سامانهٔ بسته‌ای صورت می‌گیرد، جرم مواد پس از تغییر شیمیایی برابر جرم مواد پیش از تغییر شیمیایی است. (سامانهٔ بسته، سامانه‌ای است که نمی‌تواند با محیطش جرم مبادله کند.) اظهار نظر وی این بود که در واکنش‌های شیمیایی معمولی، ماده تغییرات بسیاری می‌کند، اما خلق یا نابود نمی‌شود.

شیمی‌دان فرانسوی «ژوزف پروست»<sup>۱</sup> در بررسی‌های خود مشاهده کرده بود که مواد خالص همیشه شامل عناصری با نسبت جرمی یکسان هستند. برای مثال در نمک طعام که از دو عنصر کلر و سدیم تشکیل شده است، نسبت جرم سدیم به جرم کلر همواره و در همهٔ نمونه‌های خالص این نمک، ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.



جان دالتون (۱۸۴۴-۱۷۶۶)

**نظریهٔ اتمی دالتون:** جان دالتون<sup>۲</sup> با توجه به یافته‌های لاوازیه و پروست، نظریهٔ اتمی خود را در اوایل قرن نوزدهم اعلام کرد. نظریهٔ اتمی دالتون را می‌توان در چهار بند خلاصه کرد:

۱ همهٔ مواد از ذره‌های بسیار ریز به نام اتم تشکیل شده‌اند. و اتم‌های یک عنصر غیرقابل تقسیم هستند.

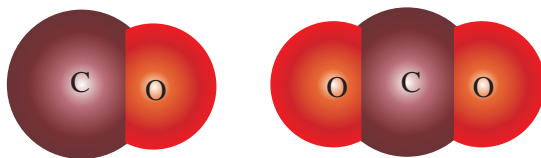
۲ تمام اتم‌های یک عنصر، از هر لحاظ یکسان بوده، جرم ثابت و مشخص دارند، اما اتم‌های عنصرهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارند.

۳ اتم ضمن یک تغییر شیمیایی از بین نمی‌رود یا به‌وجود نمی‌آید، و به اتم عنصر دیگر نیز تبدیل نمی‌شود.

۴ هر ترکیب شیمیایی، از تشکیل پیوند بین اتم‌های دو یا چند عنصر به‌وجود می‌آید و نسبت اتم‌ها با یکدیگر مشخص و ثابت است. به بیان دیگر، در هر ترکیب معین نسبت تعداد اتم‌ها همواره ثابت است. مثلاً در جیوه (II) اکسید HgO نسبت تعداد اتم‌های جیوه به اکسیژن همواره ۱:۱ است.

۱- Joseph Proust

۲- Gohon Dalton



شکل (۲-۱) مولکول‌های CO و CO<sub>۲</sub>

نظریه دالتون چگونه قوانین جرم را توضیح می‌دهد: جرم مواد شرکت‌کننده در واکنش با جرم مواد تشکیل‌دهنده محصول برابر است. اصل سوم نظریه دالتون همان قانون بقای جرم است. (با موضوع قانون بقای جرم در علوم سال نهم آشنا شده‌اید).

■ قانون نسبت‌های معین می‌گوید که ترکیب خالص همواره شامل عنصرهای یکسان با نسبت جرمی یکسان است. اصل چهارم نظریه دالتون بیانگر این قانون است.

■ طبق بند ۲ اتم‌های یک عنصر جرم یکسانی دارند و طبق بند ۴ اتم عنصرهای مختلف با نسبت‌های معینی با هم ترکیب می‌شوند. در نتیجه اگر تعداد متفاوتی از اتم‌های B با هر اتم A ترکیب شوند، مواد مختلفی پدید می‌آیند که در آنها نسبت جرم‌های اتم B با اتم A در دو ترکیب مختلف، شامل نسبت دو عدد صحیح کوچک است. این نتیجه اهمیت بسیاری دارد و به «قانون نسبت‌های چندگانه» معروف است.

برای درک قانون نسبت‌های چندگانه به شکل (۲-۱) توجه کنید:

کربن‌مونوکسید CO از یک اتم کربن و یک اتم اکسیژن و کربن‌دیوکسید CO<sub>۲</sub> از یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. از قانون نسبت‌های چندگانه دالتون می‌توان نتیجه گرفت که نسبت جرم اکسیژن در کربن‌دیوکسید به جرم اکسیژن در کربن‌مونوکسید باید نسبت دو عدد صحیح کوچک باشد، که در این مثال نسبت ۲ به ۱ است.

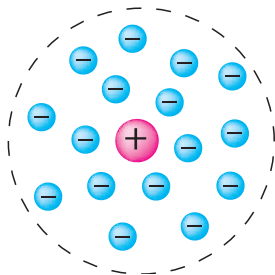
گرچه نکات اساسی مربوط به نظریه اتمی دالتون به قوت خود باقی است، ولی با پیشرفت علم امروزه می‌دانیم که در مورد بند ۱، اتم‌های یک عنصر از ذره‌های زیر اتمی<sup>۱</sup> کوچک‌تری تشکیل شده‌اند و در مورد بند ۲، اتم‌های یک عنصر می‌توانند جرم‌های متفاوت که ایزوتوپ‌های آن عنصر است را، داشته باشند.

## ۲-۲- ساختار اتم

در سال‌های قبل از ۱۹۰۹ میلادی با تلاش دانشمندان مختلف به وجود دو ذره<sup>۲</sup> زیر اتمی الکترون و پروتون پی بردند. در این سال تامسون مدلی برای اتم به شکل کره‌ای در نظر گرفت که پروتون‌ها در همه حجم آن به‌طور یکنواخت گسترده بودند و الکترون‌ها نیز به‌طور یکنواخت در فضای بین پروتون‌ها پراکنده بودند. مدل پیشنهادی تامسون به مدل هندوانه‌ای معروف است که قسمت خوراکی آن را پروتون‌ها تشکیل می‌دهند و الکترون‌ها مانند تخمه‌های هندوانه در آن پراکنده‌اند. بعدها معلوم شد که این مدل با مشاهدات تجربی سازگاری ندارد.

سال‌های بعد تلاش‌های دانشمندان چون ارنست رادرفورد، و در پی آن جیمز چادویک منجر به ارائه مدلی برای اتم شد. در این مدل پیشنهادی اتم به شکل کره‌ای در نظر گرفته شده است که دارای هسته‌ای با بار مثبت که با یک یا چند الکترون با بار منفی احاطه گردیده است. الکترون‌ها به سرعت در فضای اتمی موجود حرکت می‌کنند و از طریق جاذبه<sup>۳</sup> هسته نگهداری می‌شوند. هسته فوق‌العاده متراکم، فشرده و بیشترین وزن اتم را تشکیل می‌دهد.

۱- ذرات زیر اتمی: ذرات تشکیل‌دهنده اتم‌ها را ذرات زیراتمی می‌نامند. مانند پروتون، الکترون و نوترون.  
۲- ایزوتوپ: اتم‌های یک عنصر که دارای الکترون و پروتون‌های مساوی هستند و در تعداد نوترون‌ها با هم تفاوت دارند.



مدل اتمی رادرفورد

هسته اتم از پروتون‌ها و نوترون تشکیل شده است (تنها استثنا هسته اتم هیدروژن است که فقط یک پروتون دارد). پروتون ( $P^+$ ) دارای بار مثبت و نوترون ( $n$ ) بدون بار است. از آنجا که اتم‌ها از لحاظ بارالکتریکی خنثی هستند، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های ( $e^-$ ) اطراف هسته برابر است.

فکر کنید

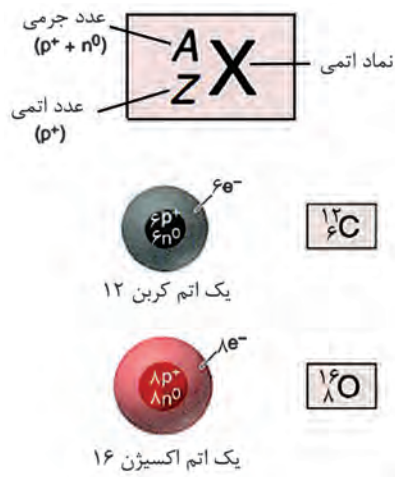
اگر بپذیریم که در یک اتم الکترون‌ها در اطراف پروتون‌ها می‌چرخند، به نظر شما چه نیرویی این دو ذره را در کنار هم نگه می‌دارد؟



### جدول (۲-۱) خواص سه ذره بنیادی الکترون، پروتون و نوترون

| مکان ذره در اتم | جرم                               |                  | بار                        |       | نام و نماد        |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|----------------------------|-------|-------------------|
|                 | مطلق                              | نسبی             | مطلق                       | نسبی  |                   |
| هسته            | $1/673 \times 10^{-24} \text{ g}$ | ۱                | کولن $1/6 \times 10^{-19}$ | $1^+$ | پروتون ( $P^+$ )  |
| هسته            | $1/675 \times 10^{-24} \text{ g}$ | ۱                | ۰                          | ۰     | نوترون ( $n^0$ )  |
| خارج از هسته    | $9/109 \times 10^{-28} \text{ g}$ | $\frac{1}{1837}$ | کولن $1/6 \times 10^{-19}$ | $1^-$ | الکترون ( $e^-$ ) |

### عدد اتمی و عدد جرمی



هسته هر اتم از تعدادی پروتون و نوترون (به جز اتم هیدروژن که تنها یک پروتون در هسته دارد) تشکیل شده است. تعداد پروتون‌های هر اتم را عدد اتمی آن می‌نامند و با نماد  $Z$  نشان می‌دهند. مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته یک اتم عدد جرمی نامیده می‌شود که آن را با نماد  $A$  نشان می‌دهند. اطلاعات مربوط به جرم و بار هسته را غالباً با نماد شیمیایی یک عنصر ( $X$ ) نشان می‌دهند. عدد اتمی ( $Z$ ) به صورت زیروند در سمت چپ نماد شیمیایی و عدد جرمی ( $A$ ) به صورت بالا وند در سمت چپ نماد شیمیایی نوشته می‌شود (شکل ۲-۲).

شکل (۲-۲) نمادشیمیایی اتم‌ها



پرسش



۱ در عنصرهای داده شده، تعداد پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌های اتم را مشخص کنید.



۲ اگر تعداد الکترون‌های اتمی ۱۷ و تعداد نوترون‌های هسته اتم ۱۸ باشد، عدد اتمی و عدد جرمی آن را به دست آورید.

۳ اگر در اتمی تعداد نوترون‌ها برابر ۱۰ و تعداد الکترون‌های آن ۹ باشد، عدد اتمی و عدد جرمی آن را به دست آورید.

### ایزوتوپ

همان‌طور که گفته شد عدد اتمی برابر تعداد پروتون‌های هسته اتم و عدد جرمی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست. همه اتم‌های یک عنصر عدد اتمی یکسان دارند، اما ممکن است عدد جرمی متفاوتی داشته باشند، در این صورت می‌توان گفت این اتم‌ها در تعداد نوترون‌ها با هم متفاوت‌اند. به اتم‌هایی که عدد اتمی یکسان ولی عدد جرمی متفاوت دارند، ایزوتوپ گویند. به‌عنوان مثال ایزوتوپ‌های اتم کربن در جدول ۲-۲ آمده است.

جدول (۲-۲) درصد فراوانی ایزوتوپ‌های اتم کربن

| ایزوتوپ‌ها        | عدد اتمی Z | عدد جرمی A | تعداد نوترون‌ها | درصد فراوانی |
|-------------------|------------|------------|-----------------|--------------|
| ${}^{12}\text{C}$ | ۶          | ۱۲         | ۶               | ۹۸/۸۹        |
| ${}^{13}\text{C}$ | ۶          | ۱۳         | ۷               | ۱/۱۱         |
| ${}^{14}\text{C}$ | ۶          | ۱۴         | ۸               | ۰/۰۱         |

تحقیق کنید



با مراجعه به منابع در دسترس خود، ایزوتوپ‌های مربوط به عنصرهای هیدروژن و اکسیژن را در جدولی مانند جدول (۲-۲) جمع‌آوری کنید.

پرسش



اتم سیلیسیم سه ایزوتوپ طبیعی  ${}_{14}^{28}\text{Si}$ ،  ${}_{14}^{29}\text{Si}$ ،  ${}_{14}^{30}\text{Si}$  دارد. تعداد پروتون‌ها، نوترون‌ها و الکترون‌ها را در هر ایزوتوپ تعیین کنید.

### محاسبه جرم اتمی میانگین

برای عنصرهایی که بیش از یک نوع ایزوتوپ دارند، جرم اتمی با توجه به درصد فراوانی هر ایزوتوپ در طبیعت محاسبه می‌شود:

مطابق معادله زیر:

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \frac{\dots + (\text{درصد فراوانی ایزوتوپ ۲} \times \text{جرم ایزوتوپ ۲}) + (\text{درصد فراوانی ایزوتوپ ۱} \times \text{جرم ایزوتوپ ۱})}{۱۰۰}$$

**یکای جرم اتمی (amu):** جرم یک اتم نسبت به جرم یک استاندارد تعیین می‌شود. و برای این منظور کربن ۱۲ به‌عنوان استاندارد انتخاب و جرم آن دقیقاً ۱۲ واحد جرم اتمی (amu) تعریف شده است. بنابراین

یکای جرم اتمی (amu)،  $\frac{1}{12}$  جرم یک اتم کربن ۱۲ است.

○ مثال:

ایزوتوپ‌های طبیعی نئون،  $^{20}\text{Ne}$ ،  $^{21}\text{Ne}$  و  $^{22}\text{Ne}$  به ترتیب، درصد فراوانی  $90/5$ ،  $9/3$  و  $9/2$  دارند. جرم اتمی این عنصر را به دست آورید؟

$$\text{جرم اتمی Ne} = \frac{(20 \times 90/5) + (21 \times 9/3) + (22 \times 9/2)}{100} = 20/187 \text{ amu}$$

پرسش



۱ جرم اتمی میانگین نقره را معین کنید، هرگاه اتم‌های نقره موجود در طبیعت  $106/905 \text{ amu}$  و از اتم‌ها  $108/905 \text{ amu}$  جرم داشته باشند.

۲ هرگاه  $92/21\%$  اتم‌های سیلیسیم جرم  $29/777 \text{ amu}$ ،  $4/70\%$  جرم  $28/976 \text{ amu}$  و  $3/09\%$  جرم  $29/974 \text{ amu}$  داشته باشند، جرم اتمی سیلیسیم چقدر خواهد بود؟

۳ عنصر بور دارای دو ایزوتوپ طبیعی به جرم‌های اتمی  $^{10}\text{B} = 10/0129 \text{ amu}$  و  $^{11}\text{B} = 11/0093 \text{ amu}$  است. با در نظر گرفتن جرم اتمی بور که معادل  $10/81 \text{ amu}$  است، فراوانی نسبی ایزوتوپ‌های  $^{10}\text{B}$  و  $^{11}\text{B}$  را حساب کنید.

تحقیق کنید



۱ چرا کربن به‌عنوان عنصری برای تعیین جرم اتمی استفاده شده است؟

۲ آب سنگین چه تفاوت‌هایی با آب معمولی دارد؟ کاربرد آن چیست؟

### محاسبه جرم مولکولی

جرم مولکولی (وزن مولکولی) یک واحد فرمولی ترکیب است که به‌صورت مجموعه‌ای از جرم‌های اتمی محاسبه می‌شود:

$$\text{جرم مولکولی} = \text{مجموع جرم‌های اتمی}$$

جرم مولکولی آب (با استفاده از جرم اتمی، تا چهار رقم معنی دار)، از جدول تناوبی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} \text{جرم مولکولی } H_2O &= (\text{جرم اتمی } H \times 2) + (\text{جرم اتمی } O \times 1) \\ &= (2 \times 1/008 \text{ amu}) + 16/00 \text{ amu} = 18/02 \text{ amu} \end{aligned}$$

ترکیب های یونی نیز به همین صورت در نظر گرفته می شوند، ولی چون آنها شامل مولکول نیستند، اصطلاح جرم فرمولی را برای ترکیب های یونی به کار می بریم. برای محاسبه جرم فرمولی، تعداد اتم های هر عنصر در پرانتز، در زیروند خارج پرانتز ضرب می شود. برای باریوم نیترات  $Ba(NO_3)_2$  به صورت زیر محاسبه می کنیم:

$$\begin{aligned} \text{جرم فرمولی } Ba(NO_3)_2 &= (\text{جرم اتمی } Ba \times 1) + (\text{جرم اتمی } N \times 2) + (\text{جرم اتمی } O \times 6) \\ &= 137/3 \text{ amu} + (2 \times 14/01 \text{ amu}) + (6 \times 16/00 \text{ amu}) = 261/3 \text{ amu} \end{aligned}$$

در مورد ترکیب های آلی به سادگی می توان جرم مولکولی را از ضرب کردن تعداد هر عنصر در جرم اتمی آن و جمع بستن مجموع آنها، محاسبه نمود.

تمرین

با استفاده از داده های جدول تناوبی، جرم مولکولی ترکیب های زیر را محاسبه کنید.

|            |                      |           |                      |
|------------|----------------------|-----------|----------------------|
| $NH_4NO_3$ | (ب) آمونیوم نیترات:  | $H_2SO_4$ | (الف) سولفوریک اسید: |
| $Na_2CO_3$ | (ت) سدیم کربنات:     | $NaOH$    | (پ) سدیم هیدروکسید:  |
| $HCl$      | (ج) هیدروکلریک اسید: | $KCl$     | (ث) پتاسیم کلرید:    |

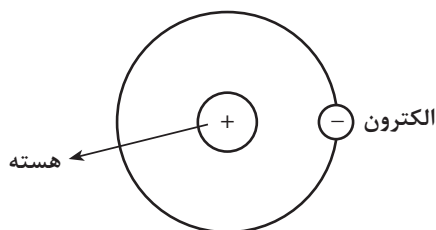
### ۲-۳- مدل اتمی بور

نظریه های علمی دیگری پس از دالتون مطرح و مورد پژوهش و آزمایش قرار گرفتند. از جمله نظریه بور (نیلز بور<sup>۱</sup> ۱۹۶۲-۱۸۸۵) که پیشنهاد کرد اتم هیدروژن دارای یک الکترون و هسته ای متشکل از یک پروتون است شکل (۲-۳).

طبق نظریه بور، در اطراف هسته هر اتم چندین مدار یا سطح انرژی در فاصله های معین وجود دارند و الکترون ها تنها مجازند در این مدارها یا سطوح انرژی به دور هسته بچرخند شکل (۲-۴).



شکل (۲-۴) مدل اتمی بور و لایه های الکترونی

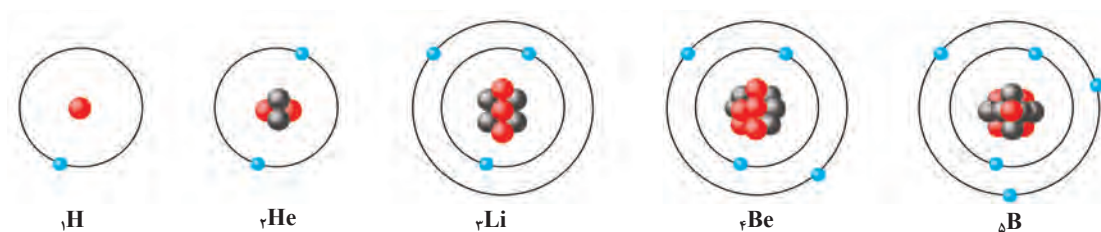


شکل (۲-۳) مدل اتمی بور برای اتم هیدروژن

از آنجا که مدل پیشنهادی بور برای چرخش الکترون‌ها به دور هستهٔ اتم مشابه به گردش سیاره‌ها به دور خورشید است این مدل، به مدل سیاره‌ای بور معروف است.

شواهد تجربی نشان می‌دهند که حداکثر تعداد الکترون‌ها در هر سطح انرژی ثابت است. تعداد الکترون‌ها در نخستین مدار یا سطح انرژی که با حرف K مشخص می‌شود، حداکثر دو است. مثلاً در اتم هیدروژن که تنها یک پروتون در هسته و یک الکترون در فضای خارج از هسته دارد، این الکترون در نخستین سطح انرژی در نزدیک‌ترین فاصله تا هسته، می‌چرخد. در اتم هلیم که بعد از هیدروژن است و دو پروتون در هسته دارد، ۲ الکترون موجود در این اتم در همان سطح انرژی K به دور هسته در حال چرخش‌اند. در سطوح انرژی دوم، سوم و چهارم که به ترتیب با حروف L، M، و N مشخص می‌شوند، حداکثر تعداد الکترون‌ها به ترتیب ۸، ۱۸ و ۳۲ می‌باشد.

شکل (۲-۵) مدل بور را برای اتم‌های هیدروژن، هلیم، لیتیم، بریلیوم و بور نشان می‌دهد.

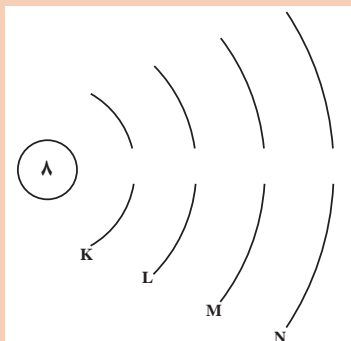


شکل (۲-۵) مدل اتمی بور برای اتم‌های هیدروژن، هلیم، لیتیم، بریلیوم و بور

پرسش

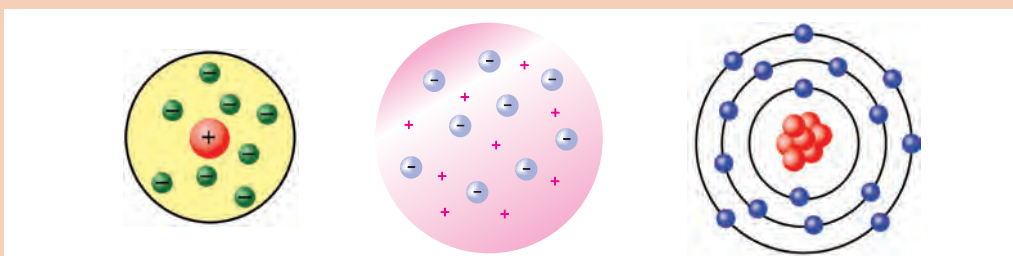


۱ برای اتم اکسیژن با عدد اتمی ۸، تعداد الکترون‌ها در هر لایه را روی شکل مشخص کنید.



۲ برای اتم‌های  ${}_{9}\text{F}$ ،  ${}_{12}\text{Mg}$ ،  ${}_{15}\text{P}$  و  ${}_{17}\text{Cl}$  آرایش مدل بور را رسم کنید.

۳ هر یک از تصاویر داده شده کدام مدل اتمی را نشان می‌دهند؟

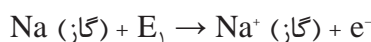


الکترون‌ها با سرعتی در حدود سرعت نور در اطراف پروتون‌های هسته می‌چرخند. چه عاملی سبب حفظ فاصله هر الکترون نسبت به هسته اتم می‌شود؟



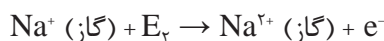
## ۲-۲- انرژی متوالی یونش آرایش الکترون‌ها در اتم

از آنجا که تعداد پروتون‌ها در هسته اتم با تعداد الکترون‌ها در اطراف اتم برابر است، می‌توان گفت اتم‌ها از نظر الکتریکی خنثی هستند. جدا کردن الکترون از اتم به صرف انرژی نیاز دارد. مطابق تعریف، مقدار انرژی لازم برای جدا کردن سست‌ترین الکترون از یک اتم گازی و تشکیل یون مثبت گازی را انرژی نخستین یونش<sup>۱</sup> می‌گویند. مانند:



که  $E_1$  انرژی نخستین یونش است.

در اینجا می‌توان با صرف مقدار انرژی بیشتر، از یون گازی سدیم یک الکترون دیگر جدا و آن را به یون گازی  $+2$  تبدیل کرد:



$E_2$  را انرژی دومین یونش می‌گویند. طبیعی است که مقدار  $E_2$  بزرگ‌تر از  $E_1$  است، زیرا در مورد  $E_1$  الکترون از یک اتم خنثی جدا می‌شود، حال آنکه  $E_2$  برای جدا کردن الکترون از یک یون  $+1$  به کار می‌رود و هنوز مفهوم «مول» گفته نشده است، باید انرژی بیشتری صرف شود.

مقدار انرژی یونش برحسب کیلوژول برای جدا کردن یک مول الکترون<sup>۲</sup> بیان می‌شود. برای مثال، انرژی نخستین یونش سدیم  $E_1 = 490 \text{ kJ/mol}$  و انرژی دومین یونش آن  $E_2 = 4560 \text{ kJ/mol}$  است.

### تحقیق درباره گروه‌های الکترونی اتم با استفاده از جدول انرژی‌های یونش

از روی انرژی‌های یونش متوالی می‌توان درباره آرایش الکترونی اتم اطلاعاتی به دست آورد. برای این منظور انرژی‌های یونش متوالی اتم سدیم را در نظر می‌گیریم. انرژی‌های یونش متوالی لیتیم تا سدیم برحسب مگاژول<sup>۳</sup> بر مول (MJ/mol) در جدول ۲-۳ داده شده است. چنانچه انرژی‌های یونش متوالی اتم سدیم را از  $E_1$  تا  $E_{11}$  روی محور عمودی و تعداد الکترون‌های جدا شده را روی محور افقی منتقل کنیم، دو جهش عمده در نمودار حاصل مشاهده می‌شود (شکل ۲-۶). جهش اول از  $E_1$  به  $E_2$  است.

$$(E = 4/56 - 0/49 = 4/07 \text{ MJ/mol}, E_1 \rightarrow E_2)$$

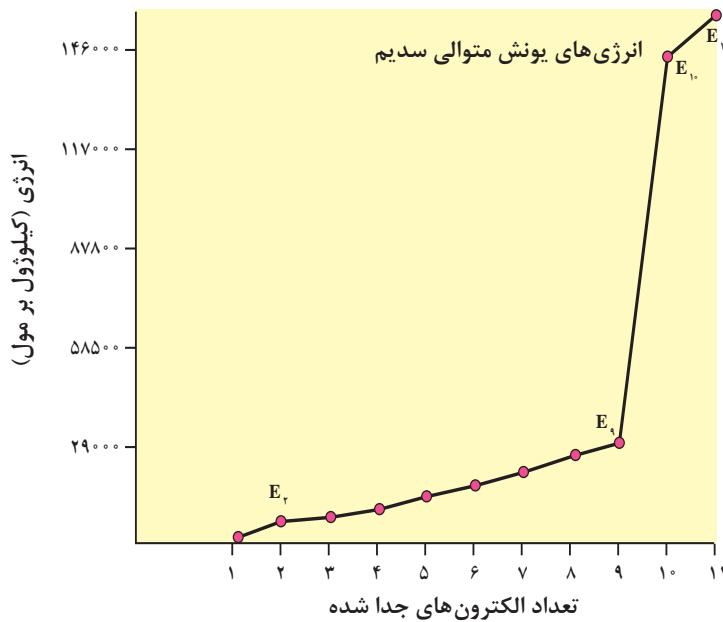
و جهش دوم از  $E_9$  به  $E_{10}$  است.

$$(E = 141/37 - 28/93 = 112/44 \text{ MJ/mol}, E_9 \rightarrow E_{10})$$

۱- First ionization energy

۲- یک مول الکترون برابر  $10^{23} \times 0.2/6$  الکترون است. به  $10^{23} \times 0.2/6$  عدد آووگادرو گفته می‌شود.  
۳- مگا (M) =  $10^6$ ، برای تبدیل مگاژول به کیلوژول آن را در  $1000$  ضرب می‌کنند.



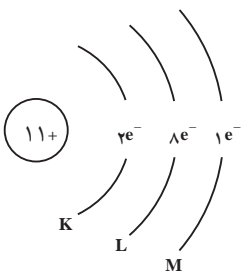
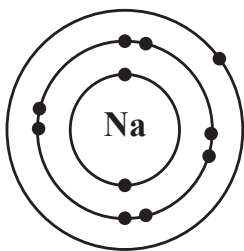


شکل (۲-۶) نمودار جهش های مشاهده شده در انرژی های یونش متوالی اتم سدیم

بنابراین، سه گروه الکترونی در اتم سدیم قابل تشخیص است. گروه اول فقط شامل یک الکترون است که انرژی کمتری برای جدا کردن آن لازم است و بیرونی ترین لایه الکترونی اتم سدیم را تشکیل می دهد. گروه دوم شامل هشت الکترون است (انرژی های یونش  $E_2$  تا  $E_9$ ) که انرژی های یونش مربوط به آنها با توجه به زیاد شدن متوالی بار یون ها یک افزایش مداوم را نشان می دهد. درونی ترین لایه الکترونی در اتم سدیم شامل دو الکترون است که انرژی های یونش مربوط به آنها  $E_{10}$  و  $E_{11}$  است و به طوری که ملاحظه می شود انرژی فوق العاده زیادی

برای جدا کردن آنها لازم است. با توجه به اینکه در هسته اتم سدیم ۱۱ پروتون وجود دارد، هرچه الکترون ها به هسته اتم نزدیک تر باشند، تحت تأثیر نیروی جاذبه الکتروستاتیک بیشتری قرار می گیرند و در نتیجه انرژی زیادتری هم برای جدا کردن آنها لازم می شود. دو الکترون آخر که جدا کردن آنها از سایر الکترون ها دشوارتر است، به هسته اتم نزدیک ترند و گفته می شود که پایین ترین سطح انرژی را اشغال کرده اند. این سطح انرژی را که همان سطح انرژی K است، آن را با  $n=1$  مشخص می کنند.

دومین سطح انرژی (سطح انرژی L)، همان طور که اشاره شد شامل هشت الکترون است و آن را با  $n=2$  مشخص می کنند. بیرونی ترین سطح انرژی در اتم سدیم که بیشترین فاصله را نسبت به هسته اتم سدیم دارد، فقط شامل یک الکترون است. سومین سطح انرژی (سطح انرژی M) را با  $n=3$  مشخص می کنند. به این ترتیب آرایش الکترونی اتم سدیم مطابق مدل سیاره ای بور به صورتی است که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



شکل (۲-۷) نمایش مدل بور اتم سدیم

با توجه به انرژی‌های یونش اتم بریلیم چند الکترون باید از اتم بریلیم ( $Z = 4$ ) برداریم تا با نخستین جهش بزرگ در انرژی یونش مواجه شویم؟ در اتم بور چگونه؟



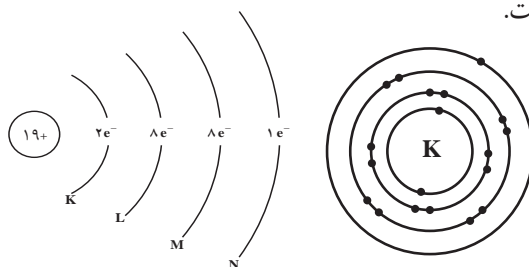
با استفاده از ستون  $E_1$  در جدول ۲-۳ تحقیق کنید که آیا انرژی نخستین یونش عنصرهای  $Z=3$  تا  $Z=10$  به طور منظم افزایش دارد؟ در کدام عنصرها بی‌نظمی دیده می‌شود؟

جدول (۲-۳) انرژی‌های یونش متوالی (MJ/mol) \* عنصرهای لیتیم تا سدیم

| Z  | عنصر | تعداد الکترون‌های ظرفیت | $E_1$             | $E_2$ | $E_3$ | $E_4$ | $E_5$ | $E_6$ | $E_7$ | $E_8$ | $E_9$  | $E_{10}$ | $E_{11}$ |
|----|------|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|----------|
|    |      |                         | الکترون‌های درونی |       |       |       |       |       |       |       |        |          |          |
| ۳  | Li   | ۱                       | ۰/۵۲              | ۷/۳۰  | ۱۱/۸۱ |       |       |       |       |       |        |          |          |
| ۴  | Be   | ۲                       | ۰/۹۰              | ۱/۷۶  | ۱۴/۸۵ | ۲۱/۰۱ |       |       |       |       |        |          |          |
| ۵  | B    | ۳                       | ۰/۸۰              | ۲/۴۳  | ۳/۶۶  | ۲۵/۰۲ | ۳۲/۸۲ |       |       |       |        |          |          |
| ۶  | C    | ۴                       | ۱/۰۹              | ۲/۳۵  | ۴/۶۲  | ۶/۲۲  | ۳۷/۸۳ | ۴۷/۲۸ |       |       |        |          |          |
| ۷  | N    | ۵                       | ۱/۴۰              | ۲/۸۶  | ۴/۵۸  | ۷/۴۸  | ۹/۴۴  | ۵۳/۲۷ | ۶۴/۳۶ |       |        |          |          |
| ۸  | O    | ۶                       | ۱/۳۱              | ۳/۳۹  | ۵/۳۰  | ۷/۴۷  | ۱۰/۹۸ | ۱۳/۳۳ | ۷۱/۳۳ | ۸۴/۰۸ |        |          |          |
| ۹  | F    | ۷                       | ۱/۶۸              | ۳/۳۷  | ۶/۰۵  | ۸/۴۱  | ۱۱/۰۲ | ۱۵/۱۶ | ۱۷/۸۷ | ۹۲/۰۴ | ۱۰۶/۴۳ |          |          |
| ۱۰ | Ne   | ۸                       | ۲/۰۸              | ۳/۹۵  | ۶/۱۲  | ۹/۳۷  | ۱۲/۱۸ | ۱۵/۲۴ | ۲۰/۰۰ | ۲۳/۰۷ | ۱۱۵/۳۸ | ۱۳۱/۴۳   |          |
| ۱۱ | Na   | ۱                       | ۰/۴۹              | ۴/۵۶  | ۶/۹۱  | ۹/۵۴  | ۱۳/۳۵ | ۱۶/۶۱ | ۲۰/۱۱ | ۲۵/۴۹ | ۲۸/۹۳  | ۱۴۱/۳۷   | ۱۵۹/۰۷   |

\* مگا (M) =  $10^6$

با توجه به سه گروه الکترونی که برای اتم سدیم مشخص شد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برای اتم پتاسیم که مانند سدیم به گروه IA در جدول تناوبی عنصرها تعلق دارد و در تناوب چهارم ( $n=4$ ) این جدول واقع شده است، چهار گروه الکترونی قابل تشخیص است. یک گروه شامل دو الکترون (سطح انرژی K)، دو گروه هرکدام شامل هشت الکترون (سطح‌های انرژی L و M) و سرانجام بیرونی‌ترین لایه الکترونی که چهارمین سطح انرژی ( $n=4$ ) را تشکیل می‌دهد و آن را سطح انرژی N می‌نامند. این سطح انرژی در اتم پتاسیم شامل یک الکترون است. آرایش الکترونی اتم پتاسیم مطابق مدل سیاره‌ای بور به صورتی است که در شکل ۲-۸ نمایش داده شده است.



شکل (۲-۸) نمایش مدل بور اتم پتاسیم

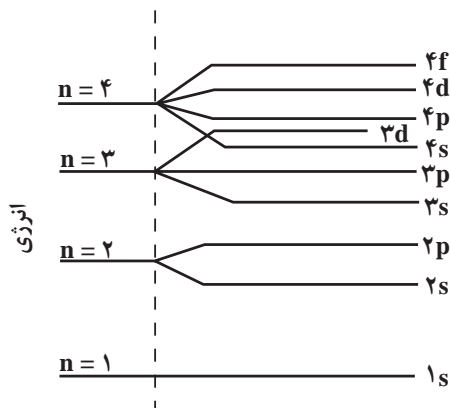
## ترازهای فرعی انرژی

انرژی نخستین یونش ( $E_1$ ) در یک تناوب به طوری که انتظار می رود با افزایش بار هسته اتمها افزایش می یابد. اما بررسی دقیق تر انرژی نخستین یونش عنصرهای تناوب دوم جدول تناوبی نشان می دهد که از بریلیم به بور با اینکه بار هسته یک واحد اضافه شده است ولی انرژی نخستین یون  $B$  ( $800 \text{ kJ/mol}$ ) کمتر از انرژی نخستین یونش  $Be$  ( $900 \text{ kJ/mol}$ ) است (به فعالیت گروهی مراجعه شود). این تفاوت نشان دهنده این واقعیت است که الکترون پنجم در اتم بور نسبت به الکترون های سوم و چهارم در فاصله دورتری نسبت به هسته قرار گرفته است. در نتیجه می توان گفت که سطح انرژی دوم ( $n=2$ ) خود، شامل دو تراز فرعی انرژی است که آنها را ترازهای فرعی  $2s$  و  $2p$  می نامند. تراز فرعی  $2s$  می تواند حداکثر دو الکترون در خود جای دهد حال آنکه تراز فرعی  $2p$  حداکثر تا ۶ الکترون می پذیرد. تراز فرعی  $2p$  در فاصله دورتری نسبت به تراز فرعی  $2s$  از هسته اتم قرار دارد. شایان ذکر است که در این تناوب همچنین از  $N$  ( $E_1=1400 \text{ kJ/mol}$ ) به  $O$  ( $E_1=1310 \text{ kJ/mol}$ ) انرژی نخستین یونش برخلاف انتظار کاهش می یابد. دلیل آن را ضمن بررسی ترتیب پر شدن ترازهای انرژی در اتمها توضیح خواهیم داد.

تحقیقات تجربی نشان می دهد که سطح انرژی سوم ( $n=3$ ) خود شامل ترازهای فرعی  $3s$ ،  $3p$  و  $3d$  است. وجود ترازهای فرعی  $3s$  و  $3p$ ، مشابه ترازهای فرعی  $2s$  و  $2p$ ، نیز با توجه به کاهش انرژی نخستین یونش قابل تشخیص است. در تناوب دوم، انرژی نخستین یونش از  $Be$  به  $B$  کاهش یافت، در تناوب سوم نیز انرژی نخستین یونش از  $Mg$  به  $Al$  کاهش می یابد ( $E_1=738 \text{ kJ/mol}$ ،  $Al$  و  $E_1=578 \text{ kJ/mol}$ ). در تناوب سوم نیز تغییری را که بین  $N$  و  $O$  در تناوب دوم مشاهده کردیم، از  $P$  ( $E_1=1012 \text{ kJ/mol}$ ) به  $S$  ( $E_1=1000 \text{ kJ/mol}$ ) ملاحظه می کنیم. تحقیقات همچنین نشان می دهد که سطح انرژی چهارم ( $n=4$ ) نیز شامل چهار تراز فرعی است که آنها را به عنوان ترازهای فرعی  $4s$ ،  $4p$ ،  $4d$  و  $4f$  می شناسیم. تراز فرعی  $d$  حداکثر گنجایش ۱۰ الکترون و تراز فرعی  $f$  نیز حداکثر گنجایش ۱۴ الکترون را دارد.

## ترتیب پر شدن ترازهای فرعی انرژی در اتم

در شکل ۲-۹ ترتیب پر شدن عده ای از ترازهای فرعی انرژی نشان داده شده است. برای به دست آوردن آرایش الکترونی اتمها، الکترون های مربوط به هر اتم را در ترازهای فرعی انرژی قرار می دهیم. به این ترتیب که از پایین ترین تراز فرعی در  $n=1$  شروع می کنیم و به تدریج به سمت ترازهای فرعی بالاتر در سطح های  $n=2$ ،  $n=3$  و ... پیش می رویم.



شکل (۲-۹) سطح های انرژی اصلی و ترازهای فرعی آنها

چنانکه قبلاً اشاره شد در سطح انرژی  $n=1$  که همان تراز  $1s$  است و درونی‌ترین لایه الکترونی اتم را تشکیل می‌دهد، حداکثر دو الکترون قرار می‌گیرد. در سطح انرژی دوم ( $n=2$ ) پس از پر شدن تراز فرعی  $2s$  با دو الکترون، الکترون‌های بعدی در تراز فرعی  $2p$  قرار می‌گیرند. در سطح انرژی سوم ( $n=3$ ) ابتدا تراز فرعی  $3s$  و سپس تراز فرعی  $3p$  به وسیله الکترون‌ها اشغال می‌شوند. اما همان‌طور که در شکل ۹-۲ دیده می‌شود، تراز فرعی  $4s$  پایین‌تر از تراز فرعی  $3d$  قرار دارد و از این‌رو پس از اتم آرگون ( $Z=18$ ) که آخرین لایه الکترونی آن به صورت  $3s^2 3p^6$  است، تناوب چهارم با وارد شدن نوزدهمین الکترون در تراز فرعی  $4s$  آغاز می‌شود که همان عنصر پتاسیم باشد. تراز فرعی  $4s$  در عنصر کلسیم ( $Z=20$ ) کامل می‌شود و آن‌گاه ده الکترون بعدی از الکترون بیست و یک تا الکترون سی در تراز فرعی  $3d$  قرار می‌گیرند و سری عنصرهای واسطه از اسکاندیم تا روی را به وجود می‌آورند. پس از کامل شدن تراز فرعی  $3d$  نوبت به تراز فرعی  $4p$  می‌رسد و این تراز فرعی نیز با دریافت شش الکترون در عنصر کریبتون ( $Z=36$ ) کامل می‌شود. ترتیب پر شدن ترازهای فرعی انرژی بالاتر مطابق الگوی شکل ۹-۲ در عنصرهای مربوط به تناوب‌های بالاتر ادامه می‌یابد که بررسی آنها خارج از قلمرو برنامه این درس است. در این کتاب تأکید بیشتر روی یادگیری آرایش الکترونی  $20$  عنصر اول جدول تناوبی عنصرها است که در جدول ۴-۲ آمده است.

جدول (۴-۲) آرایش الکترونی  $20$  عنصر اول جدول تناوبی عنصرها

| عدد اتمی | عنصر | آرایش الکترونی                       |
|----------|------|--------------------------------------|
| ۱        | H    | $1s^1$                               |
| ۲        | He   | $1s^2$                               |
| ۳        | Li   | $1s^2, 2s^1$                         |
| ۴        | Be   | $1s^2, 2s^2$                         |
| ۵        | B    | $1s^2, 2s^2, 2p^1$                   |
| ۶        | C    | $1s^2, 2s^2, 2p^2$                   |
| ۷        | N    | $1s^2, 2s^2, 2p^3$                   |
| ۸        | O    | $1s^2, 2s^2, 2p^4$                   |
| ۹        | F    | $1s^2, 2s^2, 2p^5$                   |
| ۱۰       | Ne   | $1s^2, 2s^2, 2p^6$                   |
| ۱۱       | Na   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$             |
| ۱۲       | Mg   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$             |
| ۱۳       | Al   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$       |
| ۱۴       | Si   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$       |
| ۱۵       | P    | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^3$       |
| ۱۶       | S    | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^4$       |
| ۱۷       | Cl   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^5$       |
| ۱۸       | Ar   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6$       |
| ۱۹       | K    | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1$ |
| ۲۰       | Ca   | $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2$ |

## ۲-۵- جدول تناوبی عناصر



شکل (۲-۱۰) مندلیف (۱۸۳۴-۱۹۰۷)

در گذشته شیمی دانان به این نکته پی برده بودند که بین برخی از عناصر و همچنین ترکیبات آنها تشابهاتی وجود دارد و از طرفی بین این عناصر و عناصر دیگر تفاوت‌هایی دیده می‌شود. از جمله موارد درخور توجه، تشابه فلزات قلیایی مانند سدیم و پتاسیم از یک سو و هالوژن‌ها مانند کلر و برم از سوی دیگر و تفاوت کامل خواص این فلزات با هالوژن‌ها بود. در آغاز توسعه علم شیمی برخورد با این قبیل موارد نشان می‌داد که برای تأکید این تشابهات و تفاوت‌ها به یک طرح طبقه‌بندی عناصر نیاز است. موفق‌ترین طرح در این راه در سال ۱۸۶۹ توسط مندلیف<sup>۱</sup> ارائه شد. مندلیف جدولی منتشر کرد که در آن حدود ۶۰ عنصر شناخته شده تا آن زمان را به ترتیب افزایش جرم اتمی آنها تنظیم کرده بود به گونه‌ای که عناصر دارای خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه در یک گروه قرار گرفته بودند. این جدول براساس تکرار تناوبی خواص معینی استوار بود. مندلیف توانست به کمک این جدول خواص برخی از عناصری را که تا آن

زمان شناخته نشده بودند، پیش‌بینی کند و جای آنها را در جدول تناوبی عناصر خالی گذاشت. مثلاً خواص عنصری که باید زیر سیلیسیم قرار گیرد تا آن زمان شناخته نشده بود. مندلیف خواص این عنصر را که اکا<sup>۲</sup> سیلیسیم نامید پیش‌بینی کرد و با کشف این عنصر در سال ۱۸۸۶ توسط وینکلر که آن را ژرمانیم نامید، این پیش‌بینی درست از آب درآمد.

گرچه تنظیم جدول مندلیف براساس افزایش جرم اتمی عنصرها استوار بود، اما مندلیف در چند مورد مجبور شد برای رعایت تشابه خواص عنصرها، عنصری را که جرم اتمی بیشتری داشت مقدم بر عنصر با جرم اتمی کمتر قرار دهد. مثلاً براساس افزایش جرم اتمی، عنصر کبالت (Co) باید بعد از نیکل قرار گیرد. اما تشابه نیکل (Ni) با پالادیم (Pd) و پلاتین (Pt) بیشتر از تشابه کبالت با دو عنصر مذکور است یا در جای دیگر جرم اتمی تلور (Te) از جرم اتمی ید (I) بیشتر است. با این همه ید بعد از تلور قرار داده شده بود زیرا ید از نظر خواص شیمیایی شبیه برم و کلر است و تلور هم با سلنیم (Se) و گوگرد (S) تشابه دارد. امروزه می‌دانیم که ترتیب معکوس جرم اتمی در این موارد مربوط به تفاوتی است که در فراوانی نسبی ایزوتوپ‌های این عناصر وجود دارد. پس از کشف عدد اتمی (تعداد پروتون‌ها در هسته اتم) در سال ۱۹۱۳ توسط مزلی معلوم شد که استفاده از عدد اتمی هر عنصر که مقدار معین و ثابتی است ملاک مناسب‌تری برای طبقه‌بندی عنصرهاست. جدول تناوبی جدید بر اساس افزایش عدد اتمی استوار است. با تنظیم عنصرها برحسب افزایش عدد اتمی، خواص شیمیایی و فیزیکی آنها به‌طور تناوبی تکرار می‌شود.

|            |       |       |
|------------|-------|-------|
| → جرم اتمی | ۱۲۷/۶ | ۱۲۶/۹ |
|            | Te    | I     |
| → عدد اتمی | ۵۲    | ۵۳    |

۱- Dimitri Ivanovich Mendeleev

۲- اکا به زبان روسی معنی زیر می‌دهد.

## ۶-۲- ساختار جدول تناوبی و برخی ویژگی‌های عناصر آن

بعد از مطالعه چگونگی پیدایش جدول تناوبی به بررسی برخی ویژگی‌ها و امتیازات جدول می‌پردازیم. منظور از جدول تناوبی در حال حاضر، جدول ارائه شده در شکل ۱۱-۲ است که ساختار کامل‌تر و ساده‌تری نسبت به جدول قدیمی مندلیف دارد. مهم‌ترین امتیازی که جدول تناوبی دارد، کمک در تفسیر خواص عنصرها و ترکیب‌های آنها، همچنین پیش‌بینی کردن درباره این خواص و نجات دادن همگان از الزام در مرور و به خاطر سپردن انبوه داده‌ها و ویژگی‌های مواد است. برای استفاده از جدول تناوبی باید آن را شناخت. هرچه جدول را بهتر بشناسیم؛ بیشتر از آن بهره‌مند می‌شویم. با دانستن عدد اتمی یا موقعیت یک عنصر در جدول، به بسیاری از اطلاعات مورد نیاز دسترسی پیدا می‌کنیم.

### ساختار تناوب‌های جدول

- تناوب اول دارای دو عنصر گازی شکل هیدروژن (H) و هلیوم (He) است.
- تناوب‌های دوم و سوم هریک دارای ۸ عنصر اصلی است که با یک فلز قلیایی آغاز شده و به یک گاز نجیب پایان می‌یابد (تناوب دوم از Li تا Ne و تناوب سوم از Na تا Ar).
- تناوب‌های چهارم و پنجم، هریک دارای ۱۸ عنصر است که اینها نیز با یک فلز قلیایی آغاز می‌شوند و به یک گاز نجیب پایان می‌یابند. ۸ عنصر در هریک از این تناوب‌ها اصلی هستند (گروه‌های IA تا VIIIA) و ۱۰ عنصر نیز واسطه به شمار می‌روند (گروه‌های B) که به شیوه خاصی میان دو گروه IIA و IIIA قرار گرفته‌اند.
- تناوب ششم دارای ۳۲ عنصر است که شامل ۸ عنصر اصلی در گروه‌های IA تا VIIIA، ۱۰ عنصر واسطه (گروه‌های B) و ۱۴ عنصر هم معروف به **لانتانیدها** که در یک ردیف زیر جدول قرار دارند (ردیف بالایی).

عدد اتمی →

|         |
|---------|
| H       |
| هیدروژن |
| ۱/۱-۰۱  |

← نماد شیمیایی  
← نام عنصر  
← جرم اتمی میانگین

| ۱<br>IA                        |                                 |                                 |                                |                                  |                                |                                  |                                  |                                |                                  |                               | ۱۳<br>IIIA                       | ۱۴<br>IVA                        | ۱۵<br>VA                       | ۱۶<br>VIA                         | ۱۷<br>VIIA                      | ۱۸<br>VIIIA                         |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                          |                             |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| ۱<br>H<br>هیدروژن<br>۱/۱-۰۱    |                                 |                                 |                                |                                  |                                |                                  |                                  |                                |                                  |                               | ۵<br>B<br>بور<br>۱۰/۸۱۱          | ۶<br>C<br>کربن<br>۱۲/۰۰۷         | ۷<br>N<br>نیتروژن<br>۱۴/۰۰۷    | ۸<br>O<br>اکسیژن<br>۱۵/۸۹۳        | ۹<br>F<br>فلور<br>۱۸/۹۱۸        | ۱۰<br>Ne<br>نئون<br>۲۰/۱۷۹          |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                          |                             |
| ۲<br>Li<br>لیتیم<br>۶/۶۹۴      | ۴<br>Be<br>بریم<br>۹/۱۰۱        | فلز                             |                                |                                  |                                |                                  |                                  |                                |                                  |                               |                                  | ۱۳<br>Al<br>آلومینیم<br>۲۶/۸۸۳   | ۱۴<br>Si<br>سیلیسیم<br>۲۸/۰۸۶  | ۱۵<br>P<br>فسفر<br>۳۰/۰۳۱         | ۱۶<br>S<br>گوگرد<br>۳۲/۰۳۵      | ۱۷<br>Cl<br>کلر<br>۳۵/۰۳۵           | ۱۸<br>Ar<br>آرگون<br>۳۹/۰۳۸         |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                          |                             |
| ۳<br>Na<br>سدیم<br>۲۲/۹۷۹      | ۱۲<br>Mg<br>منیزیم<br>۲۴/۱۲۰    | ۳<br>IIIB                       | ۴<br>IVB                       | ۵<br>VB                          | ۶<br>VIB                       | ۷<br>VIIB                        | فلز                              |                                |                                  |                               |                                  | ۹<br>VIII                        | ۱۰<br>IB                       | ۱۱<br>IIB                         | ۱۲<br>IIIB                      | ۱۳<br>Al<br>آلومینیم<br>۲۶/۸۸۳      | ۱۴<br>Si<br>سیلیسیم<br>۲۸/۰۸۶       | ۱۵<br>P<br>فسفر<br>۳۰/۰۳۱           | ۱۶<br>S<br>گوگرد<br>۳۲/۰۳۵          | ۱۷<br>Cl<br>کلر<br>۳۵/۰۳۵           | ۱۸<br>Ar<br>آرگون<br>۳۹/۰۳۸         |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |                          |                             |
| ۴<br>K<br>پتاسیم<br>۳۹/۰۳۹     | ۲۰<br>Ca<br>کلسیم<br>۴۰/۰۷۸     | ۲۱<br>Sc<br>اسکاندیم<br>۴۴/۱۰۶  | ۲۲<br>Ti<br>تیتانیم<br>۴۷/۸۸   | ۲۳<br>V<br>وانادیم<br>۵۰/۹۲۱     | ۲۴<br>Cr<br>کروم<br>۵۱/۹۶۶     | ۲۵<br>Mn<br>منگنز<br>۵۴/۵۴۸      | ۲۶<br>Fe<br>آهن<br>۵۵/۶۵۶        | ۲۷<br>Co<br>کوبالت<br>۵۸/۵۸۷   | ۲۸<br>Ni<br>نیکل<br>۵۸/۶۹۳       | ۲۹<br>Cu<br>مس<br>۶۳/۶۳۵      | ۳۰<br>Zn<br>روی<br>۶۵/۶۳۷        | ۳۱<br>Ga<br>گالیم<br>۶۹/۷۲۳      | ۳۲<br>Ge<br>جرمانیم<br>۷۲/۶۸   | ۳۳<br>As<br>آرسنیک<br>۷۴/۷۶۲      | ۳۴<br>Se<br>سلنیم<br>۷۸/۷۹      | ۳۵<br>Br<br>برم<br>۷۹/۷۹۹           | ۳۶<br>Kr<br>کریپتون<br>۸۳/۸۳۶       | ۳۷<br>Rb<br>روبیوم<br>۸۵/۸۵۴        | ۳۸<br>Sr<br>استرانسیم<br>۸۷/۸۷۶     | ۳۹<br>Y<br>ایتیم<br>۸۸/۹۰۶          | ۴۰<br>Zr<br>زیرکونیم<br>۹۱/۹۱۲      | ۴۱<br>Nb<br>نیوبیم<br>۹۲/۹۰۹        | ۴۲<br>Mo<br>مولیبدن<br>۹۵/۹۵۴       | ۴۳<br>Tc<br>تکنسیم<br>۹۸/۹۸         | ۴۴<br>Ru<br>روتنیم<br>۱۰۱/۱۰۱       | ۴۵<br>Rh<br>رودیم<br>۱۰۱/۱۰۱        | ۴۶<br>Pd<br>پالادیم<br>۱۰۶/۱۰۶      | ۴۷<br>Ag<br>نقره<br>۱۰۷/۱۰۷         | ۴۸<br>Cd<br>کادمیم<br>۱۱۲/۱۱۲       | ۴۹<br>In<br>ایندیم<br>۱۱۴/۱۱۴       | ۵۰<br>Sn<br>قلع<br>۱۱۸/۱۱۸          | ۵۱<br>Sb<br>آنتیمون<br>۱۲۱/۱۲۱      | ۵۲<br>Te<br>تلوریم<br>۱۲۷/۱۲۷       | ۵۳<br>I<br>ید<br>۱۲۶/۱۲۶ | ۵۴<br>Xe<br>زنون<br>۱۳۱/۱۳۱ |
| ۵<br>Rb<br>روبیوم<br>۸۵/۸۵۴    | ۳۸<br>Sr<br>استرانسیم<br>۸۷/۸۷۶ | ۳۹<br>Y<br>ایتیم<br>۸۸/۹۰۶      | ۴۰<br>Zr<br>زیرکونیم<br>۹۱/۹۱۲ | ۴۱<br>Nb<br>نیوبیم<br>۹۲/۹۰۹     | ۴۲<br>Mo<br>مولیبدن<br>۹۵/۹۵۴  | ۴۳<br>Tc<br>تکنسیم<br>۹۸/۹۸      | ۴۴<br>Ru<br>روتنیم<br>۱۰۱/۱۰۱    | ۴۵<br>Rh<br>رودیم<br>۱۰۱/۱۰۱   | ۴۶<br>Pd<br>پالادیم<br>۱۰۶/۱۰۶   | ۴۷<br>Ag<br>نقره<br>۱۰۷/۱۰۷   | ۴۸<br>Cd<br>کادمیم<br>۱۱۲/۱۱۲    | ۴۹<br>In<br>ایندیم<br>۱۱۴/۱۱۴    | ۵۰<br>Sn<br>قلع<br>۱۱۸/۱۱۸     | ۵۱<br>Sb<br>آنتیمون<br>۱۲۱/۱۲۱    | ۵۲<br>Te<br>تلوریم<br>۱۲۷/۱۲۷   | ۵۳<br>I<br>ید<br>۱۲۶/۱۲۶            | ۵۴<br>Xe<br>زنون<br>۱۳۱/۱۳۱         | ۵۵<br>Cs<br>سزیم<br>۱۳۲/۱۳۲         | ۵۶<br>Ba<br>باریم<br>۱۳۷/۱۳۷        | ۵۷<br>La<br>لانتانیم<br>۱۳۸/۱۳۸     | ۵۸<br>Ce<br>سرم<br>۱۴۰/۱۴۰          | ۵۹<br>Pr<br>پراسئودیم<br>۱۴۱/۱۴۱    | ۶۰<br>Nd<br>نئودیم<br>۱۴۴/۱۴۴       | ۶۱<br>Pm<br>پرمیتانیم<br>۱۴۴/۱۴۴    | ۶۲<br>Sm<br>ساماریوم<br>۱۵۰/۱۵۰     | ۶۳<br>Eu<br>اروپیم<br>۱۵۲/۱۵۲       | ۶۴<br>Gd<br>گادولینیم<br>۱۵۷/۱۵۷    | ۶۵<br>Tb<br>تربیم<br>۱۵۸/۱۵۸        | ۶۶<br>Dy<br>دیسپروسیم<br>۱۶۲/۱۶۲    | ۶۷<br>Ho<br>هولم<br>۱۶۴/۱۶۴         | ۶۸<br>Er<br>اریم<br>۱۶۷/۱۶۷         | ۶۹<br>Tm<br>تلم<br>۱۶۸/۱۶۸          | ۷۰<br>Yb<br>ایتیم<br>۱۷۳/۱۷۳        |                          |                             |
| ۶<br>Cs<br>سزیم<br>۱۳۲/۱۳۲     | ۵۶<br>Ba<br>باریم<br>۱۳۷/۱۳۷    | ۵۷<br>La<br>لانتانیم<br>۱۳۸/۱۳۸ | ۵۸<br>Ce<br>سرم<br>۱۴۰/۱۴۰     | ۵۹<br>Pr<br>پراسئودیم<br>۱۴۱/۱۴۱ | ۶۰<br>Nd<br>نئودیم<br>۱۴۴/۱۴۴  | ۶۱<br>Pm<br>پرمیتانیم<br>۱۴۴/۱۴۴ | ۶۲<br>Sm<br>ساماریوم<br>۱۵۰/۱۵۰  | ۶۳<br>Eu<br>اروپیم<br>۱۵۲/۱۵۲  | ۶۴<br>Gd<br>گادولینیم<br>۱۵۷/۱۵۷ | ۶۵<br>Tb<br>تربیم<br>۱۵۸/۱۵۸  | ۶۶<br>Dy<br>دیسپروسیم<br>۱۶۲/۱۶۲ | ۶۷<br>Ho<br>هولم<br>۱۶۴/۱۶۴      | ۶۸<br>Er<br>اریم<br>۱۶۷/۱۶۷    | ۶۹<br>Tm<br>تلم<br>۱۶۸/۱۶۸        | ۷۰<br>Yb<br>ایتیم<br>۱۷۳/۱۷۳    | ۷۱<br>Lu<br>لوئوریم<br>۱۷۴/۱۷۴      | ۷۲<br>Hf<br>هافنیم<br>۱۷۸/۱۷۸       | ۷۳<br>Ta<br>تانالتیم<br>۱۸۰/۱۸۰     | ۷۴<br>W<br>تنگستن<br>۱۸۳/۱۸۳        | ۷۵<br>Re<br>رنتیم<br>۱۸۶/۱۸۶        | ۷۶<br>Os<br>اوسمیوم<br>۱۹۰/۱۹۰      | ۷۷<br>Ir<br>ایریدیم<br>۱۹۲/۱۹۲      | ۷۸<br>Pt<br>پلاتین<br>۱۹۵/۱۹۵       | ۷۹<br>Au<br>طلا<br>۱۹۷/۱۹۷          | ۸۰<br>Hg<br>جیوه<br>۲۰۰/۲۰۰         | ۸۱<br>Tl<br>تالم<br>۲۰۴/۲۰۴         | ۸۲<br>Pb<br>سرب<br>۲۰۷/۲۰۷          | ۸۳<br>Bi<br>بیسموت<br>۲۰۸/۲۰۸       | ۸۴<br>Po<br>پولونیم<br>۲۰۹/۲۰۹      | ۸۵<br>At<br>استانتین<br>۲۰۹/۲۰۹     | ۸۶<br>Rn<br>رادون<br>۲۲۲/۲۲۲        |                                     |                                     |                          |                             |
| ۷<br>Fr<br>فرانسییم<br>۲۲۳/۲۲۳ | ۸۸<br>Ra<br>رادیم<br>۲۲۶/۲۲۶    | ۸۹<br>Ac<br>اکتیوم<br>۲۲۷/۲۲۷   | ۹۰<br>Th<br>توریم<br>۲۳۲/۲۳۲   | ۹۱<br>Pa<br>پراکتینیم<br>۲۳۱/۲۳۱ | ۹۲<br>U<br>اورانیوم<br>۲۳۸/۲۳۸ | ۹۳<br>Np<br>نپتونیوم<br>۲۳۷/۲۳۷  | ۹۴<br>Pu<br>پلوتونیوم<br>۲۴۴/۲۴۴ | ۹۵<br>Am<br>امرسیوم<br>۲۴۳/۲۴۳ | ۹۶<br>Cm<br>کوریوم<br>۲۴۷/۲۴۷    | ۹۷<br>Bk<br>برکلیم<br>۲۴۷/۲۴۷ | ۹۸<br>Cf<br>کالیفرنیم<br>۲۵۱/۲۵۱ | ۹۹<br>Es<br>اینشتینیم<br>۲۵۲/۲۵۲ | ۱۰۰<br>Fm<br>فرمیوم<br>۲۵۷/۲۵۷ | ۱۰۱<br>Md<br>مندلویفیم<br>۲۵۸/۲۵۸ | ۱۰۲<br>No<br>نوبلیوم<br>۲۵۹/۲۵۹ | ۱۰۳<br>Uuo<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۴<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۵<br>Uup<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۶<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۷<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۸<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۰۹<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۰<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۱<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۲<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۳<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۴<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۵<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۶<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۷<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۸<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۱۹<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ | ۱۲۰<br>Uuq<br>آن اکتینیم<br>۲۸۹/۲۸۹ |                          |                             |

شکل (۱۱-۲) جدول تناوبی عنصرها

■ تناوب هفتم ناقص است و در صورتی که عنصرهای جدیدی در آزمایشگاه‌های تحقیقات هسته‌ای ساخته شوند، قاعدتاً در این تناوب قرار می‌گیرند. این عنصرها با فلز قلیایی و پرتوزای فرانسیم آغاز می‌شود. عنصر دوم آنها فلز پرتوزای رادیم (Ra) است. ۱۴ عنصر پرتوزای دیگر آنها به نام **آکتینیدها** در یک ردیف زیر سری قبلی لانتانیدها قرار گرفته‌اند. همان‌طور که در جدول مزبور دیده می‌شود، تناوب هفتم ناقص است و فقط شامل چند عنصر پرتوزای مصنوعی دیگر است که در بخش پایینی گروه‌های B قرار دارد.

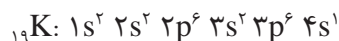
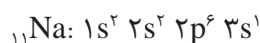
### ساختار گروه‌های جدول تناوبی با توجه به آرایش الکترونی عنصرهای آنها

در این بخش به رابطه‌ای که میان آرایش الکترونی اتم یک عنصر و بسیاری از خواص آن برقرار است، اشاره می‌شود. در این میان آرایش الکترونی لایه ظرفیت و موقعیت عنصر در جدول تناوبی نقش اساسی دارد. جدول (۲-۵) آرایش الکترونی لایه ظرفیت گروه‌های هشت‌گانه اصلی را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۵) عنصرهای اصلی جدول تناوبی و آرایش الکترونی لایه ظرفیت آنها

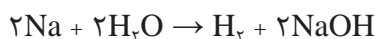
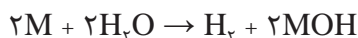
| گروه                            | IA  | IIA | IIIA | IVA | VA  | VIA | VIIA | VIIIA                |
|---------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|----------------------|
| تعداد الکترون‌ها در لایه بیرونی | ۱   | ۲   | ۳    | ۴   | ۵   | ۶   | ۷    | (به استثنای He)<br>۸ |
| تناوب اول                       | H·  |     |      |     |     |     |      | H:                   |
| تناوب دوم                       | Li· | Be: | B·   | C·  | N·  | O·  | F·   | Ne:                  |
| تناوب سوم                       | Na· | Mg: | Al·  | Si· | P·  | S·  | Cl·  | Ar:                  |
| تناوب چهارم                     | K·  | Ca: | Ga·  | Ge· | As· | Se· | Br·  | Kr:                  |
| تناوب پنجم                      | Rb· | Sr: | In·  | Sn· | Sb· | Te· | I·   | Xe:                  |
| تناوب ششم                       | Cs· | Ba: | Tl·  | Pb· | Bi· | Po· | At·  | Rn:                  |
| تناوب هفتم                      | Fr· | Ra: |      |     |     |     |      |                      |

**گروه IA (خانواده فلزهای قلیایی یا گروه لیتیم):** آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز  $ns^1$  ختم می‌شود. نماد n نشان‌دهنده شماره آخرین لایه الکترونی (لایه ظرفیت) است. به سه مثال زیر توجه کنید:





لایه ظرفیت اتم لیتیم ۲s و ۲p، اتم سدیم ۳s و ۳p و اتم پتاسیم ۴s و ۴p است. بدیهی است که تراز p در آنها خالی است. همان طور که آموختید، مقدار انرژی یونش لازم برای جدا کردن تنها الکترون موجود در لایه ns فلزهای قلیایی نسبتاً کم است و این عناصر در واکنش با عناصر دیگری همچون کلر، این الکترون را به آسانی از دست می‌دهند و به یونی با بار +۱ تبدیل می‌شوند. خواص فلزی قوی این عناصر و واکنش پذیری شدید آنها نیز دلالت بر آمادگی زیاد برای تبدیل شدن به یون  $M^+$  ( $Li^+$ ،  $K^+$  و  $Na^+$ ) دارد. برای مثال این فلزها به شدت با آب واکنش می‌دهند و  $\frac{1}{2}$  مول گاز  $H_2$  به ازای مصرف یک مول فلز M پدید می‌آورند. معادله عمومی واکنش فلزهای این خانواده با آب و برای مثال واکنش سدیم با آب به قرار زیر است:



معادله واکنش فلز لیتیم و پتاسیم را با آب بنویسید.

اکسیدهای فلزی این خانواده به شدت بازی هستند و با آب تولید هیدروکسید فلز می‌کنند که در آب محلول است.



تمرین

۱ فرمول شیمیایی پتاسیم اکسید لیتیم اکسید را بنویسید.

۲ واکنش پتاسیم اکسید و لیتیم اکسید را با آب بنویسید.



### مثال:

۰/۳۹ گرم فلز قلیایی مجهول با آب به شدت واکنش می‌کند و ۱۱۲ سانتی متر مکعب گاز هیدروژن در شرایط دما و فشار استاندارد<sup>۱</sup> تولید می‌کند. با استفاده از جدول تناوبی، نام این فلز، همچنین آرایش الکترونی و عدد اتمی آن را مشخص کنید.

پاسخ:

$$0.39g \times \frac{1 \text{ mol فلز}}{M_w} \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol فلز}} \times \frac{22400 \text{ cm}^3}{1 \text{ mol } H_2} = 112 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow M_w = \frac{0.39g \times 22400 \text{ cm}^3}{2 \times 112 \text{ cm}^3} = 39g \text{ جرم اتمی عنصر}$$

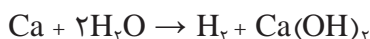
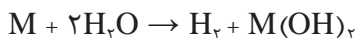
با داشتن جرم اتمی و مراجعه به جدول تناوبی مشخص می‌شود که این فلز عنصر پتاسیم یا عدد اتمی ۱۹ است. بنابراین آرایش الکترونی آن به صورت زیر خواهد بود.



۱- هر مول گازی در شرایط استاندارد دما و فشار ( $P=1 \text{ atm}$ ،  $T=0^\circ \text{C}$ ) ۲۲/۴ لیتر حجم دارد.

**گروه IIA (خانواده فلزهای قلیایی خاکی یا گروه بریلیم):** آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز انرژی  $ns^2$  ختم می‌شود. چون در لایه ظرفیت ۲ الکترون دارند، انرژی نخستین و دومین یونش آنها نسبتاً کم و سومین یونش آنها همراه با جهش بزرگ است. بنابراین، این عنصرها به جز بریلیم ۲ الکترون لایه ظرفیت خود را به راحتی از دست می‌دهند و به یون  $2+$  تبدیل می‌شوند. فعالیت شیمیایی فلزهای گروه IIA اندکی کمتر از IA است. برای مثال، در تناوب چهارم، واکنش فلز کلسیم با آب، برخلاف فلز پتاسیم، نسبتاً آرام است. معادله عمومی واکنش فلزهای قلیایی خاکی با آب به قرار زیر است:

برای مثال واکنش فلز کلسیم با آب چنین خواهد بود:



اکسیدهای فلزی این خانواده به فرمول کلی MO نیز از جمله بازهای قوی به شمار می‌آیند، اسیدها را خنثی می‌کنند و اغلب آنها با آب، هیدروکسید فلز به وجود می‌آورد.



(آهک زنده) (آهک مرده و آب آهک)

تمرین



۱ معادله واکنش فلزهای منیزیم و باریم را با آب بنویسید.

۲ فرمول شیمیایی منیزیم اکسید و باریم اکسید را بنویسید.

۳ واکنش منیزیم اکسید و باریم اکسید را با آب بنویسید.

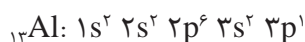
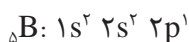
پرسش



۸/۷۶ گرم از یک فلز قلیایی خاکی مجهول با آب به شدت واکنش داده است. حجم گاز آزاد شده در شرایط دما و فشار استاندارد ۲/۲۴ لیتر است.

با استفاده از جدول تناوبی، نام این فلز، همچنین آرایش الکترونی آن را مشخص کنید.

**گروه IIIA (خانواده بور):** آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز انرژی  $ns^2 np^1$  ختم می‌شود. از این رو اتم‌های این عنصرها در لایه ظرفیت خود سه الکترون دارند. به بیان دیگر، انرژی‌های نخستین، دومین و سومین یونش آنها نسبتاً کم، اما انرژی چهارمین یونش آنها با جهش بزرگ همراه است. مهم‌ترین عنصر این گروه فلز آلومینیم است. آرایش الکترونی اتم‌های بور و آلومینیم به قرار زیر است:

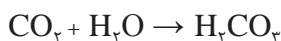


بور نخستین عنصر این گروه یک عنصر نافلزی است. آلومینیم یک عنصر فلزی است، اما خواص فلزی آن در مقایسه با منیزیم از گروه IIA به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر است و در واقع یک عنصر دوخصتی است. هم با اسیدها و هم با بازها واکنش می‌دهد.

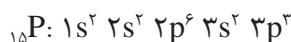
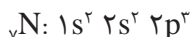


فرمول شیمیایی آلومینیم اکسید و بوراکسید را بنویسید.

**گروه ۱۴/IVA (گروه کربن):** آرایش الکترونی لایه ظرفیت عنصرهای این گروه به تراز انرژی  $ns^2 np^2$  ختم می‌شود. مثال آنها عنصر کربن با آرایش الکترونی  $1s^2 2s^2 2p^2$ ، C است. خصلت نافلزی در این گروه از عنصرها نسبت به گروه IIIA آشکارتر است. در عنصرهای پایین‌تر این گروه از خصلت نافلزی کاسته و بر خصلت فلزی افزوده می‌شود، به طوری که کربن نافلز، سیلیسیم و ژرمانیم شبه‌فلز، قلع و سرب فلز محسوب می‌شوند. کربن در اکسیژن می‌سوزد و  $CO_2$  تولید می‌کند که در آب خاصیت اسیدی دارد.



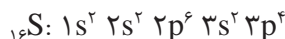
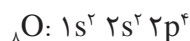
**گروه ۱۵/VA (گروه نیتروژن):** آرایش الکترونی لایه ظرفیت عنصرهای این گروه به  $ns^2 np^3$  ختم می‌شود. به آرایش الکترونی دو عنصر نیتروژن و فسفر در این گروه توجه شود:



در این گروه نسبت به گروه پیشین، خصلت نافلزی آشکارتر است.

فسفر دومین عنصر این گروه نیز خصلت نافلزی قابل توجهی دارد. بیسموت (Bi) پایین‌ترین عنصر این گروه را می‌توان فلز دانست.

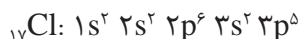
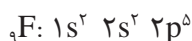
**گروه ۱۶/VI (گروه اکسیژن):** آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به  $ns^2 np^4$  ختم می‌شود مانند:



خصلت نافلزی عنصرهای این گروه در مقایسه با گروه‌های پیشین بیشتر است. به همین دلیل به آسانی با گرفتن ۲ الکترون ( $S^{2-}$ ،  $O^{2-}$ ) به آرایش الکترونی گاز نجیب بعدی می‌رسند.

شکل (۱۲-۲) توده بزرگی از گوگرد در انتظار ورود به مجتمع سولفوریک‌سازی. گوگرد اتمی سوزانند و  $SO_2$  پدید می‌آورند. این گاز را به کمک کاتالیزگر به  $SO_3$  و سپس به  $H_2SO_4$  تبدیل می‌کنند.

**گروه ۱۷/VIIA (خانواده هالوژن‌ها):** آرایش الکترونی لایه ظرفیت این عنصرها  $ns^2 np^5$  است مانند:



خصلت نافلزی این گروه از عنصرها نسبت به عنصرهای هم‌دوره آنها در گروه‌های قبلی بیشتر است. اتم این عنصرها با گرفتن یک الکترون از فلزها به آنیون‌هایی با نماد کلی  $X^-$  مانند  $Cl^-$  تبدیل می‌شوند. فلوئور را که نخستین عنصر این گروه است، می‌توان واکنش‌پذیرترین نافلز دانست.

**گروه ۱۸/VIIIA (گازهای نجیب):** آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به  $ns^2np^6$  ختم می‌شود (به جز هلیوم که  $ns^2$  است). به علت پر شدن لایه‌های الکترونی، عنصرهای این گروه تمایلی به گرفتن الکترون و تشکیل آنیون ندارند و به علت بالا بودن انرژی یونش برای واکنش با سایر عنصرها از خود تمایلی نشان نمی‌دهند. عنصرهای پایینی این گروه مانند زنون (Xe) با دشواری در برخی واکنش‌ها شرکت می‌کنند. (مثلاً زنون با فلئور ترکیبی به فرمول  $XeF_2$  پدید می‌آورد).

### عنصرهای واسطه d

همان‌طور که دیدید، در عنصرهای گروه‌های IA و IIA (در سمت چپ جدول)، تراز s لایه ظرفیت آنها در حال پر شدن است. در عنصرهای گروه‌های اصلی IIIA تا VIIIA نیز که در سمت راست جدول قرار دارند، تراز p لایه ظرفیت آنها در حال پر شدن است. در عنصرهای واسطه تراز d در حال پر شدن است. همه عنصرهای واسطه فلز هستند و کاربرد فراوانی در ساختن ابزار، ماشین‌آلات و دستگاه‌های صنایع شیمیایی دارند. مهم‌ترین ویژگی‌های مشترک عنصرهای واسطه d (به جز برخی محدودیت‌ها و استثناها) به شرح زیر است:

- ۱ چگالی آنها نسبتاً زیاد است. برای مثال، چگالی آهن که در ردیف اول این عنصرها (تناوب چهارم جدول) قرار دارد،  $7/86$  گرم بر سانتی‌متر مکعب است.
- ۲ دمای ذوب آنها نسبتاً بالاست. برای مثال، دمای ذوب آهن  $1535^\circ C$  است.
- ۳ این عنصرها اکثراً ترکیب‌های رنگین پدید می‌آورند (به جز ترکیب‌های عنصر روی).
- ۴ این عنصرها می‌توانند بیش از یک عدد ظرفیت داشته باشند. مانند آهن (II) و آهن (III) و یا مس (I) و مس (II).
- ۵ هم این فلزها و هم برخی از ترکیب‌های آنها اغلب نقش کاتالیزگر را در واکنش‌های شیمیایی بازی می‌کنند (مانند  $MnO_2$  در تهیه اکسیژن از  $Ni, H_2O_2$  در تبدیل روغن مایع به روغن نباتی جامد).

### تمرین



۱ تعداد الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها را برای هریک از اتم‌های  $^{40}_{18}Ar$ ،  $^{14}_7N$ ،  $^{31}_{15}P$ ،  $^{45}_{21}Sc$  مشخص کنید.

۲ با مراجعه به جدول تناوبی عنصرهای آرایش الکترونی اتم‌ها و یون‌های زیر را با استفاده از نمادهای p و s بنویسید.

|        |              |              |               |              |            |
|--------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------|
| Cl (ث) | $O^+$ (د)    | Na (ت)       | F (پ)         | Be (ب)       | B (الف)    |
|        | $S^{2-}$ (ذ) | $O^{2-}$ (خ) | $Mg^{2+}$ (ح) | $N^{3-}$ (چ) | $He^+$ (ج) |

۳ در اتم نئون براساس انرژی‌های یونش متوالی چند گروه الکترونی قابل تشخیص است؟ جهش‌های عمده انرژی‌های یونش در کدام الکترون‌ها اتفاق می‌افتد؟

۴ در تناوب چهارم چند عنصر وجود دارد؟ چه تعداد از آنها به عنوان عنصرهای واسطه شناخته می‌شوند؟ کدام عنصر این تناوب با از دست دادن سه الکترون به آرایش الکترونی یک گاز نجیب می‌رسد؟ (به جدول تناوبی مراجعه کنید).

- ۵ از واکنش فلز آلومینیم با گاز فلوئور چه محصولی به دست می‌آید؟ تشکیل این محصول را براساس آرایش الکترونی لایه ظرفیت دو عنصر توضیح دهید.
- ۶ آرایش الکترونی لایه ظرفیت چهار عنصر به شرح زیر است:
- الف)  $3s^1$       ب)  $3s^2 3p^2$       ج)  $2s^2 2p^5$       د)  $4s^2$
- بدون مراجعه به جدول تناوبی عناصرها  
الف) عدد اتمی هر عنصر را مشخص کنید.  
ب) هریک از این عناصرها در کدام گروه و کدام تناوب قرار دارد؟
- ۷ خواص عنصری با عدد اتمی ۱۰ با خواص کدام یک از عناصرهای با اعداد اتمی ۹، ۱۱، ۱۶ و ۱۸ مشابه است؟

### جدول ارزشیابی پودمان «مفاهیم پایه ساختار اتم»

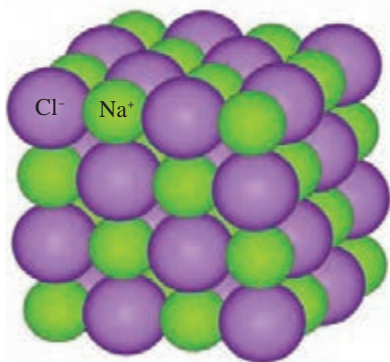
| نمره | شاخص تحقیق   | نتایج مورد انتظار     | استاندارد عملکرد (کیفیت)  | تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)                               | عنوان پودمان                        |
|------|--|-----------------------|---|--|-------------------------------------|
| ۳    | رسم مدل اتمی بور برای عناصر $(Z > 20)$ تعیین عدد اتمی و جرمی               | بالاتر از حد انتظار   | معرفی اتم و ساختار آن، تعیین عدد اتمی و عدد جرمی محاسبه جرم مولکولی             | ۱- تحلیل و بررسی ساختار اتم<br>۲- انرژی یونش<br>۳- جدول تناوبی | پودمان ۲:<br>مفاهیم پایه ساختار اتم |
| ۲    | تعیین عدد اتمی و عدد جرمی، محاسبه جرم مولکولی و رسم مدل اتمی $(Z \leq 20)$ | در حد انتظار          | مدل اتمی بور انرژی یونش و ترازهای فرعی و اصلی جدول تناوبی عناصر (معرفی گروه‌ها) |  |                                     |
| ۱    | بررسی ساختار اتم تعیین عدد اتمی و عدد جرمی                                 | پایین تر از حد انتظار |   |  |                                     |
|      |  |                       |   | نمره مستمر از ۵  |                                     |
|      |  |                       |   | نمره شایستگی پودمان  |                                     |
|      |  |                       |   | نمره پودمان از ۲۰  |                                     |





## پودمان ۳

### مفاهیم پایه ساختار مولکول



سدیم کلرید



گوگرد دی‌اکسید

سدیم کلرید به صورت آرایه‌ای از یون‌های سدیم و یون‌های کلرید وجود دارد در حالی که گوگرد دی‌اکسید به صورت مولکولی است و هر مولکول، مرکب از یک اتم گوگرد و دو اتم اکسیژن است.



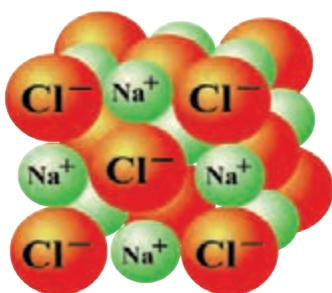
## ۳-۱- پیوندهای شیمیایی

بیشتر عنصرها به صورت ترکیب شیمیایی با عنصرهای دیگر وجود دارند، فقط عنصرهای محدودی به صورت آزاد در طبیعت یافت می‌شوند. گازهای نجیب هلیم (He)، نئون (Ne)، آرگون (Ar)، کریپتون (Kr)، زنون (Xe) و رادون (Rn) به صورت اتم‌های مجزا وجود دارند. اکسیژن (O)، نیتروژن (N) و گوگرد (S) علاوه بر ترکیب با سایر عنصرها، در متداول‌ترین شکل خود به صورت مولکول‌های  $O_2$ ،  $N_2$ ،  $S_8$  یافت می‌شوند. بعضی فلزات مانند مس (Cu)، نقره (Ag)، طلا (Au) و پلاتین (Pt) ممکن است به شکل ترکیب نشده با سایر عنصرها، وجود داشته باشند.

در تشکیل ترکیب‌ها الکترون‌های اتم‌های واکنش‌دهنده، به دو صورت کلی شرکت دارند:

- انتقال الکترون از اتم‌های یک عنصر به اتم‌های عنصر دیگر برای تشکیل ترکیب‌های یونی
- به اشتراک گذاشتن الکترون‌ها بین اتم‌های عنصرهای مختلف برای تشکیل ترکیب‌های کووالانسی

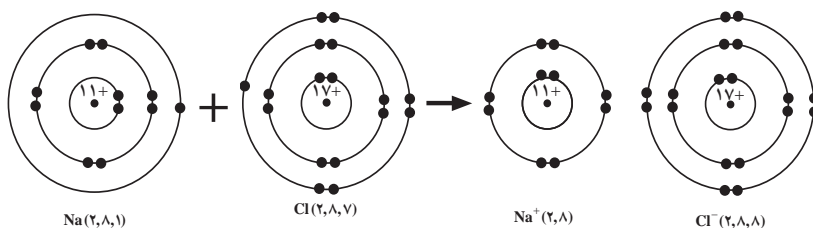
### پیوند یونی



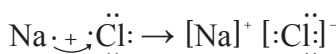
بلور سدیم کلرید

با توجه به آرایش الکترونی عنصرها می‌توان گفت فلزهای سمت چپ جدول تناوبی که انرژی یونش آنها به نسبت کم است، با نافلزهایی همچون فلوئور، کلر و اکسیژن در سمت راست جدول تناوبی که انرژی یونش آنها به نسبت زیاد است، ترکیب می‌شوند و نمک‌های متبلور تشکیل می‌دهند. برای مثال از واکنش سدیم که فلزی به شدت واکنش‌پذیر است با کلر که به صورت مولکول دو اتمی  $Cl_2$  و گازی سمی است جامدی سخت، متبلور و سفید رنگ

حاصل می‌شود که سدیم کلرید نام دارد و خواصی متفاوت با خواص هر یک از دو عنصر سازنده این نمک دارد. به عنوان مثال، از سدیم کلرید در صنایع غذایی البته به مقدار کم استفاده می‌شود. واکنش فلز سدیم با گاز کلر براساس مدل بور در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. در این واکنش اتم سدیم با از دست دادن تنها الکترون ظرفیت خود به صورت یون مثبت  $Na^+$  با آرایش الکترونی گاز نجیب نئون و اتم کلر با پذیرفتن یک الکترون از اتم سدیم به یون منفی  $Cl^-$  با آرایش الکترونی گاز نجیب آرگون تبدیل می‌شود. با تشکیل زوج یون  $Na^+Cl^-$ ، ترکیب سدیم کلرید به وجود می‌آید.



شکل (۳-۱) نمایش تشکیل زوج یون  $Na^+Cl^-$  بر اساس مدل سیاره‌ای بور



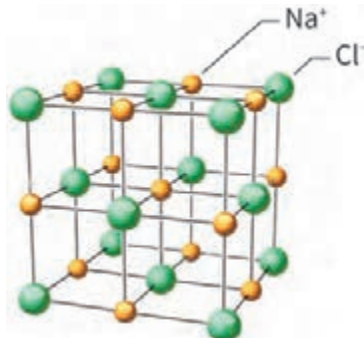
پیوند شیمیایی که به این روش تشکیل می‌شود، پیوند یونی نامیده می‌شود.

**ساختار بلور سدیم کلرید:** عکس برداری با پرتو ایکس نشان می‌دهد که بلور سدیم کلرید ساختار مکعبی دارد و در آن یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  به‌طور یک‌درمیان محل‌های ثابتی را در این ساختار سه‌بعدی اشغال کرده‌اند. چنانچه این یون‌ها را به‌صورت گوی‌های کروی و سختی تصوّر کنیم، می‌توان انباشتگی آنها را برای ایجاد یک ساختار مکعبی مطابق شکل ۲-۳ الف در نظر گرفت. چنین مدلی یک مدل فضا پُرکن نامیده می‌شود. مدل دیگری که موقعیت فضایی یون‌های مثبت و منفی را به‌طور واضح‌تری مجسم می‌کند، مدل گلوله و میله است که در شکل ۲-۳ ب نشان داده شده است.

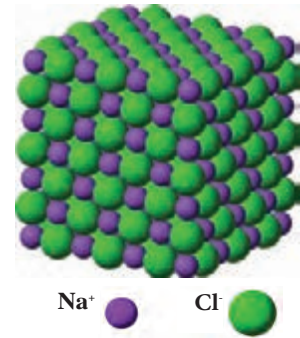
در ساختار مکعبی بلور سدیم کلرید هر یک از یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به خود به‌وسیله شش یون با بار مخالف احاطه شده است و این شش یون یک آرایش هندسی هشت‌وجهی منتظم شکل ۲-۳ ج را در اطراف یون مرکزی خود به‌وجود می‌آورند. یون‌های سدیم و کلرید در بلور سدیم کلرید به‌وسیله نیروهای جاذبه الکترواستاتیک قوی که پیوند یونی نامیده می‌شود، به‌یکدیگر متصل هستند و اثر این نیروهای جاذبه در کلیه جهت‌ها ظاهر می‌شود.



ج) نمایش آرایش هشت‌وجهی یون‌های کلرید در پیرامون یون سدیم.



ب) مدل گلوله و میله برای سدیم کلرید. یون‌های کلرید در اطراف یون سدیم آرایش هندسی هشت‌وجهی ایجاد می‌کنند. به‌همین ترتیب یون‌های سدیم در اطراف یون کلرید آرایش هشت‌وجهی دارند.



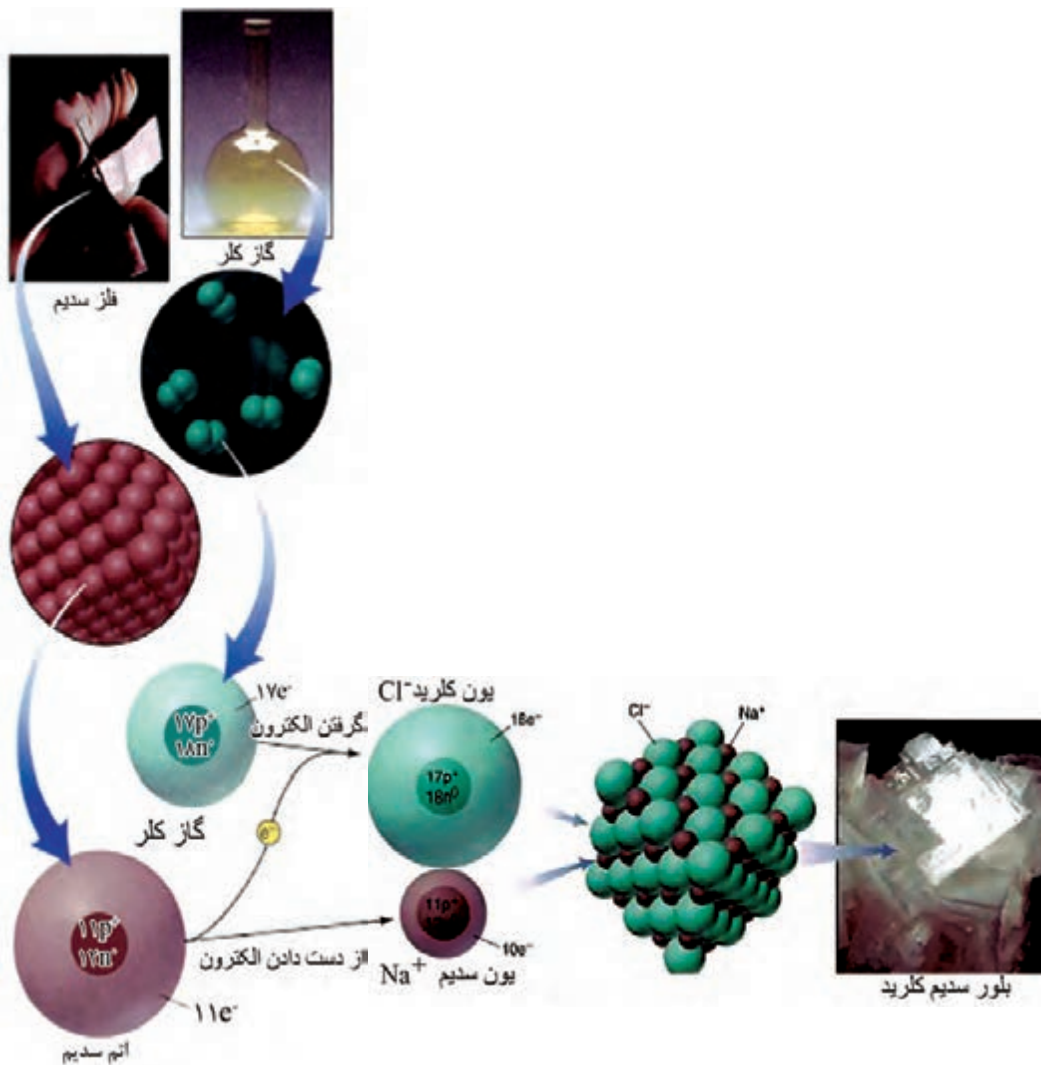
الف) مدل فضا پُرکن برای سدیم کلرید

شکل (۲-۳)

با مراجعه به کتاب‌های شیمی و منابع اینترنتی چند نمونه از ترکیبات یونی پرکاربرد در صنایع مختلف را نام برده و در مورد کاربردهای هر کدام اطلاعاتی جمع‌آوری کنید.

تحقیق کنید



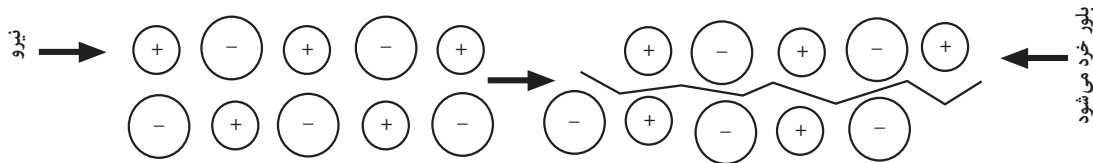


شکل (۳-۳) مراحل تشکیل سدیم کلرید از عناصر سدیم و کلر

**خواص فیزیکی سدیم کلرید:** از خواص فیزیکی سدیم کلرید، می‌توان به بالا بودن دمای ذوب، سخت و شکننده بودن آن و همچنین قابلیت هدایت الکتریکی به حالت مذاب و به صورت محلول آبی را ذکر کرد که این خواص براساس مدل یونی ارائه شده در بالا قابل توجیه است.

**۱ بالا بودن دمای ذوب:** در جامدهای یونی بین یون‌های با بار مخالف نیروهای جاذبه الکترواستاتیک قوی وجود دارد، برای غلبه بر این نیروها و جدا کردن یون‌ها از یکدیگر به طوری که بتوانند آزادی حرکت داشته باشند باید انرژی زیادی مصرف شود. از این رو دمای ذوب سدیم کلرید و دیگر جامدهای یونی بالاست. برای مثال، دمای ذوب سدیم کلرید  $808^{\circ}\text{C}$  و منیزیم اکسید (MgO)  $2800^{\circ}\text{C}$  است.

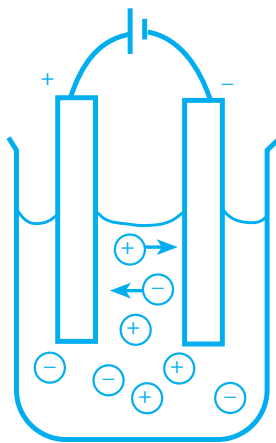
**۲ سخت و شکننده بودن:** با توجه به وجود نیروهای جاذبه الکترواستاتیک قوی بین یون‌ها برای درهم‌ریختن ساختار بلور سدیم کلرید باید نیروی زیادی به کار برد. یک تکه بلور سدیم کلرید به آسانی خط بر نمی‌دارد ولی با ضربه چکش به راحتی خرد می‌شود. چنانچه وضعیت یون‌های سدیم و کلرید را نسبت به یکدیگر در یک لایه از این یون‌ها در نظر بگیریم، ملاحظه می‌شود که با وارد شدن نیرو و جابه‌جا شدن یک ردیف از یون‌ها نسبت به ردیف دیگر، بارهای همانم یکدیگر قرار می‌گیرند و نیروی دافعه حاصل، موجب از هم پاشیدن بلور می‌شود (شکل ۳-۴).



شکل (۳-۴) بر اثر جابه‌جا شدن یک ردیف از یون‌ها، بارهای همانم یکدیگر را دفع می‌کنند و سبب فرو ریختن ساختار بلور می‌شوند.

### ۳ قابلیت هدایت الکتریکی سدیم کلرید به صورت

**مذاب و در محلول:** در سدیم کلرید جامد چون یون‌ها محل‌های ثابتی را اشغال کرده‌اند و جز حرکت ارتعاشی در محل‌های خود حرکت دیگری ندارند، نمی‌توانند حامل جریان برق باشند ولی در حالت مذاب، یون‌های مثبت و منفی به علت داشتن آزادی حرکت می‌توانند با برقرار شدن یک اختلاف سطح الکتریکی به سمت الکترودی که بار مخالف دارد، حرکت کنند و به این ترتیب هادی جریان برق باشند (شکل ۳-۵). در محلول آبی سدیم کلرید، یون‌ها به صورت آب پوشیده‌اند و می‌توانند آزادانه حرکت کنند و به این ترتیب هادی جریان برق هستند.



شکل (۳-۵) یون‌ها در سدیم کلرید مذاب بر اثر اختلاف سطح الکتریکی به سمت الکترودها هدایت می‌شوند.

پرسش

۱ بررسی کنید کدام یک از ترکیب‌های داده شده می‌توانند یونی باشند؟

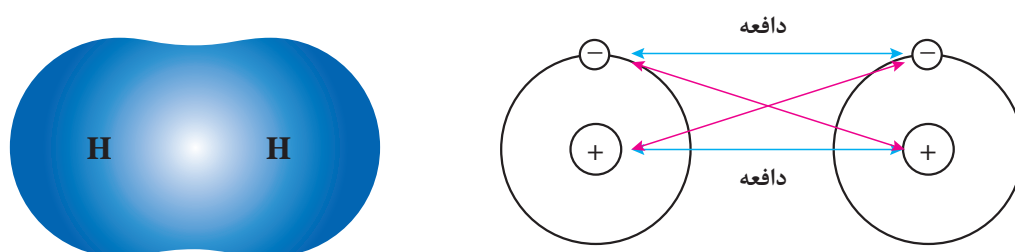
الف) LiF      ب) KCl      پ)  $\text{ccl}_4$       ت) NaI      ث)  $\text{CH}_4$       ج) KI

۲ یون‌های مثبت (کاتیون) و یون‌های منفی (آنیون) ترکیب‌های یونی پرسش ۱ را مشخص کنید.



## پیوند کووالانسی

ترکیب‌های کووالانسی وقتی تشکیل می‌شوند که عنصرها، الکترون به اشتراک بگذارند که معمولاً این عمل بین نافلزات رخ می‌دهد. گرچه تعداد نسبتاً کمی نافلز وجود دارد ولی این عنصرها با یکدیگر برهم کنش‌های متعددی انجام داده و تعداد بسیار زیادی از ترکیب‌های کووالانسی را تشکیل می‌دهند.



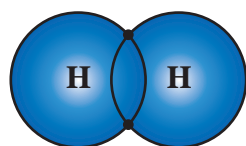
شکل (۳-۶) نمایش مفهوم نیروهای میان الکترون‌ها و هسته‌ها در یک مولکول دو اتمی ( $H_2$ )

در تشکیل پیوند بین دو اتم هیدروژن به نظر شما کدام اتم، الکترون از دست داده و کدام الکترون می‌پذیرد؟

بحث کلاسی



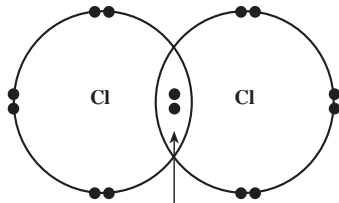
**مولکول هیدروژن ( $H_2$ ):** از دو اتم هیدروژن، هر یک شامل یک پروتون در هسته و یک الکترون ظرفیت، تشکیل شده است. در تشکیل نمک‌ها ملاحظه کردید که عنصر فلز، الکترون از دست می‌دهد و نافلز الکترون می‌پذیرد و بین یون‌های حاصل یک نیروی جاذبه الکترواستاتیک به وجود می‌آید. اما وقتی دو اتم هیدروژن به یکدیگر نزدیک می‌شوند، الکترون‌های ظرفیت این دو اتم با یکدیگر جفت شده، بین دو هسته اتم هیدروژن به طور مشترک قرار می‌گیرند. این جفت الکترون مشترک، نماینده یک پیوند کووالانسی بین این دو اتم است. چنین پیوندی که از اشتراک الکترون بین دو اتم ایجاد می‌شود، پیوند کووالانسی (اشتراکی) نامیده می‌شود.



نمایش مدل بور برای تشکیل پیوند در مولکول هیدروژن

نمایش الکترون - نقطه‌ای مولکول هیدروژن

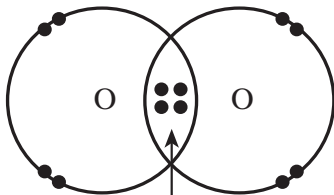
الکترون‌های ناپیوندی (سه جفت روی هر اتم کلر)



یک جفت الکترون پیوندی

شکل (۳-۷) آرایش الکترونی لایه ظرفیت در مولکول کلر

نیرویی که دو اتم کلر را به یکدیگر متصل می‌سازد، نیروی جاذبه الکترواستاتیک بین هسته‌های کلر و جفت الکترون مشترک است. در این مولکول فقط یک جفت الکترون بین دو اتم مشترک است که آنها را الکترون‌های پیوندی می‌نامند و بقیه الکترون‌ها (سه جفت روی هر اتم کلر) ناپیوندی هستند. این الکترون‌ها را همچنین به‌عنوان **جفت‌های تنها** می‌شناسند. الکترون‌های لایه‌های درونی در تشکیل پیوند شرکت ندارند، از این رو در نموداری که برای نمایش پیوند به کار برده می‌شود، فقط الکترون‌های ظرفیت را نشان می‌دهند. به طوری که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود، از راه اشتراک یک جفت الکترون بین دو اتم کلر، هر یک از اتم‌های کلر به آرایش الکترونی گاز نجیب آرگون رسیده است.



دو جفت الکترون پیوندی

شکل (۳-۸) آرایش الکترونی لایه ظرفیت در مولکول  $O_2$

**مولکول  $Cl_2$** : آرایش الکترونی اتم کلر به صورت ۲, ۸, ۷ است. تجربه نشان می‌دهد که در مولکول کلر، دو اتم کلر به وسیله پیوند یگانه به یکدیگر متصل اند (شکل ۳-۷).

**مولکول  $O_2$** : آرایش الکترونی اتم اکسیژن به صورت ۲, ۶ است. تجربه نشان می‌دهد که در مولکول اکسیژن، دو اتم اکسیژن به وسیله پیوند دوگانه به یکدیگر متصل اند شکل ۳-۸. در مولکول  $O_2$ ، با به اشتراک قرار گرفتن دو جفت الکترون بین دو اتم اکسیژن روی هر اتم اکسیژن دو جفت تنها باقی می‌ماند و به این ترتیب هر اتم اکسیژن به آرایش الکترونی هشتایی گاز نجیب نئون می‌رسد.

۱ آرایش الکترونی اتم نیتروژن به صورت ۲, ۵ است. آرایش الکترونی در لایه ظرفیت مولکول  $N_2$  را رسم کنید.

۲ نوع پیوند را در ترکیبات زیر مشخص کنید:

الف)  $H_2O$       ب)  $KI$       پ)  $NH_3$       ت)  $Na_2O$

پرسش



علاوه بر پیوندهای یونی و کووالانسی پیوندهای دیگری چون کوئوردینانس یا داتیو و پیوند فلزی نیز وجود دارد که در سال‌های آینده به این پیوندها خواهیم پرداخت.

## ۲-۳- انواع فرمول‌های شیمیایی

شیمی دان‌ها مواد شیمیایی را با فرمول شیمیایی معرفی می‌کنند. مثلاً برای کربن دی‌اکسید  $\text{CO}_2$ ، برای آب  $\text{H}_2\text{O}$  و برای آمونیاک  $\text{NH}_3$  می‌نویسند. هر یک از این فرمول‌ها نشان می‌دهد که در هر مورد چه عنصرهایی وجود دارند و این عناصر با چه نسبتی با هم ترکیب شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت: **فرمول شیمیایی یک ماده نشان‌دهنده نوع عناصر و تعداد اتم‌های هر عنصر در مولکول آن ماده است.** مثلاً در مولکول آب دو نوع عنصر هیدروژن و اکسیژن وجود دارد و در آن به ازای هر اتم اکسیژن دو اتم هیدروژن موجود است. در یک فرمول شیمیایی، علامت‌های عناصر و زیروند (اندیس) عددی نوع و تعداد هر اتم موجود در کوچک‌ترین واحد ماده را نشان می‌دهد. چند نوع فرمول شیمیایی برای ترکیب‌ها وجود دارند که عبارت‌اند از:

**۱ فرمول تجربی،** تعداد نسبی اتم‌های هر عنصر در ترکیب را نشان می‌دهد. این فرمول ساده‌ترین نوع است و از جرم‌های عناصر تشکیل‌دهنده مشتق می‌شود. برای مثال، در هیدروژن پروکسید ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )، یک قسمت جرمی هیدروژن برای هر ۱۶ قسمت جرمی اکسیژن وجود دارد. لذا، فرمول تجربی هیدروژن پروکسید  $\text{HO}$  است: یک اتم هیدروژن به ازای هر اتم اکسیژن.

**۲ فرمول مولکولی،** تعداد واقعی اتم‌های هر عنصر در مولکول ترکیب را نشان می‌دهد. فرمول مولکولی هیدروژن پروکسید  $\text{H}_2\text{O}_2$  است: دو اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن در مولکول وجود دارد.

**۳ فرمول ساختاری،** تعداد اتم‌ها و پیوندهای بین آنها را نشان می‌دهد؛ یعنی محل نسبی و ارتباط‌های اتم‌ها در مولکول را نمایان می‌سازد. فرمول ساختاری هیدروژن پراکسید  $\text{H-O-O-H}$  است. هر H به یک O پیوند شده و Oها به یکدیگر وصل شده‌اند.

تحقیق کنید

فرمول تجربی، مولکولی و ساختاری ترکیب‌های بنزن و گلوکز را تهیه کنید؟



## فرمول نویسی و نام‌گذاری

برای نوشتن فرمول شیمیایی مواد گوناگون باید از ظرفیت<sup>۱</sup> اتم عنصرهایی که در تشکیل یک جسم معین به کار رفته است آگاهی داشت برای مثال ظرفیت عنصرهای گروه قلبیایی، قلبیایی خاکی و هالوژن‌ها به ترتیب  $+1$ ،  $+2$  و  $-1$  است. با استفاده از نشانه‌های شیمیایی عناصر و رعایت ظرفیت آنها می‌توان فرمول شیمیایی ترکیب‌ها را نوشت. در جدول (۳-۱) نام‌ها و ظرفیت چند عنصر متداول داده شده است. در یک ترکیب یونی منظور از ظرفیت تعداد الکترون‌هایی است که یک اتم ضمن انجام واکنش از دست داده یا دریافت می‌کند، که به آن ظرفیت الکترووالانسی می‌گویند. از سوی دیگر در ترکیبات کووالانسی تعداد الکترون‌هایی را که هر اتم به اشتراک می‌گذارد، ظرفیت کووالانسی آن عنصر می‌نامند.

۱- ظرفیت (Valence) عددی است که مشخص می‌کند یک نوع اتم حداکثر با چند اتم دیگر می‌تواند پیوند برقرار کند.



جدول (۳-۱) ظرفیت کووالانسی چند اتم

| ترکیب            | ظرفیت کووالانسی | نماد شیمیایی | نام عنصر |
|------------------|-----------------|--------------|----------|
| CH <sub>۴</sub>  | ۴               | C            | کربن     |
| NH <sub>۳</sub>  | ۳               | N            | نیتروژن  |
| H <sub>۲</sub> O | ۲               | O            | اکسیژن   |
| SH <sub>۲</sub>  | ۲               | S            | گوگرد    |
| H <sub>۲</sub>   | ۱               | H            | هیدروژن  |
| Cl <sub>۲</sub>  | ۱               | Cl           | کلر      |
| I <sub>۲</sub>   | ۱               | I            | ید       |

در یک ترکیب مجموع ظرفیت‌های یک عنصر با مجموع ظرفیت‌های اتم‌های عنصر دیگر که با یکدیگر ترکیب شده‌اند، برابر است. برای مثال در ترکیب MgCl<sub>۲</sub> ظرفیت اتم منیزیم ۲ و ظرفیت اتم کلر برابر ۱ است و در مجموع ظرفیت یک اتم منیزیم برابر ظرفیت دو اتم کلر است.

### نام‌گذاری ترکیبات معدنی

**نام‌گذاری کاتیون‌های تک اتمی:** هنگامی که یک اتم یک یا چند الکترون از دست دهد به یون مثبت یا کاتیون تبدیل می‌شود. کاتیون‌های تک اتمی به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

پیشوند یون + نام اتم + بارالکتریکی کاتیون (با عدد رومی داخل پرانتز نوشته می‌شود).

○ مثال:

| نام کاتیون    | فرمول یون        | عنصر |
|---------------|------------------|------|
| یون آهن (II)  | Fe <sup>۲+</sup> | آهن  |
| یون آهن (III) | Fe <sup>۳+</sup> |      |
| یون مس (I)    | Cu <sup>+</sup>  | مس   |
| یون مس (II)   | Cu <sup>۲+</sup> |      |

۱ برای کاتیون‌های کبالت (۲+)، (۳+) و منگنز (۲+)، (۳+) جدول زیر را کامل کنید:

| نام کاتیون | فرمول یون | عنصر |
|------------|-----------|------|
|            |           |      |
|            |           |      |

تمرین



۲ نام هریک از کاتیون‌های زیر را بنویسید:

الف)  $\text{Sn}^{2+}$  (ب)  $\text{Mn}^{2+}$  (پ)  $\text{Al}^{3+}$  (ت)  $\text{Ca}^{2+}$

نام‌گذاری آنیون‌های تک اتمی: آنیون‌های تک اتمی از افزایش یک یا چند الکترون به یک اتم حاصل می‌شوند. برای نام‌گذاری آنیون‌ها از روش زیر استفاده می‌شود:

پیشوند یون + ریشه نام اتم + پسوند «ید» یا «اید»

○ مثال:

| عناصر   | فرمول یون       | نام یون      |
|---------|-----------------|--------------|
| هیدروژن | $\text{H}^-$    | یون هیدرید   |
| فلوئور  | $\text{F}^-$    | یون فلوئورید |
| کلر     | $\text{Cl}^-$   | یون کلرید    |
| گوگرد   | $\text{S}^{2-}$ | یون سولفید   |
| نیتروژن | $\text{N}^{3-}$ | یون نیتريد   |

تمرین

نام آنیون‌های زیر را بنویسید:

الف)  $\text{O}^{2-}$  (ب)  $\text{I}^-$  (پ)  $\text{Br}^-$  (ت)  $\text{F}^-$

نام‌گذاری ترکیب‌های یونی: ترکیب‌های یونی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها تشکیل شده‌اند. برای نام‌گذاری از روش زیر استفاده می‌شود:

نام کاتیون (فلز) + نام آنیون (نافلز)

اگر کاتیون با ظرفیت‌های متفاوتی با آنیون ترکیب شود ذکر عدد ظرفیت یا بار الکتریکی کاتیون با عدد رومی الزامی است.

○ مثال:

| فرمول ترکیب             | نام ترکیب       |
|-------------------------|-----------------|
| $\text{NaCl}$           | سدیم کلرید      |
| $\text{FeO}$            | آهن (II) اکسید  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | آهن (III) اکسید |

برای ترکیب‌هایی مانند سدیم کلرید و منیزیم برمید، که کاتیون فقط با یک ظرفیت در ترکیب وجود دارد لزومی به ذکر بار کاتیون با عدد رومی نیست.

تمرین

نام ترکیب‌های زیر را بنویسید:

الف)  $\text{FeCl}_3$  (ب)  $\text{NaOH}$  (پ)  $\text{KI}$  (ت)  $\text{SnCl}_4$

نام‌گذاری ترکیب‌های یونی با کاتیون‌ها و آنیون‌های چند اتمی: برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها از چند اتم تشکیل شده‌اند، مانند  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{NH}_4^+$ ،  $\text{PO}_4^{3-}$ . در جدول (۲-۳) تعدادی از یون‌های چند اتمی آورده شده.

جدول (۲-۳) یون‌های چند اتمی

| نام یون        | فرمول یون                    | نام یون          | فرمول یون                 |
|----------------|------------------------------|------------------|---------------------------|
| هیدروژن سولفات | $\text{HSO}_4^-$             | نیتрат           | $\text{NO}_3^-$           |
| کربنات         | $\text{CO}_3^{2-}$           | نیتريت           | $\text{NO}_2^-$           |
| هیدروژن کربنات | $\text{HCO}_3^-$             | فسفات            | $\text{PO}_4^{3-}$        |
| هیدروکسید      | $\text{OH}^-$                | سولفات           | $\text{SO}_4^{2-}$        |
| یون آمونیوم    | $\text{NH}_4^+$              | سولفیت           | $\text{SO}_3^{2-}$        |
| پرمنگنات       | $\text{MnO}_4^-$             | استات            | $\text{CH}_3\text{COO}^-$ |
| کرومات         | $\text{CrO}_4^{2-}$          | هیدروکسید        | $\text{OH}^-$             |
| دی کرومات      | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ | هیدرونیوم        | $\text{H}_3\text{O}^+$    |
| هیپوکلریت      | $\text{ClO}^-$               | سیانید           | $\text{CN}^-$             |
| کلریت          | $\text{ClO}_2^-$             | پراکسید          | $\text{O}_2^{2-}$         |
| کلرات          | $\text{ClO}_3^-$             | هیدروژن فسفات    | $\text{HPO}_4^{2-}$       |
| پرکلرات        | $\text{ClO}_4^-$             | دی‌هیدروژن فسفات | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ |

برای نام‌گذاری ترکیب‌های یونی چند اتمی از روش زیر استفاده می‌شود:

نام کاتیون (فلز) + نام آنیون (نافلز)

○ مثال:

| فرمول ترکیب                  | نام ترکیب       |
|------------------------------|-----------------|
| $\text{CuSO}_4$              | مس (II) سولفات  |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | آلومینیم سولفات |
| $\text{Cu}_2\text{SO}_4$     | مس (I) سولفات   |
| $\text{NH}_4\text{Cl}$       | آمونیم کلرید    |

۱ فرمول‌های شیمیایی ترکیب‌های یونی زیر را بنویسید:

(الف) آهن (III) فلوئورید  
(ب) منیزیم سولفات  
(پ) مس (II) کلرید  
(ت) نقره نیترات

۲ ترکیبات یونی زیر را نام‌گذاری کنید:

(الف)  $\text{FeSO}_4$   
(ب)  $\text{CaCl}_2$   
(ت)  $\text{BaCl}_2$   
(پ)  $\text{CaSO}_4$   
(ث)  $\text{PbO}_2$   
(ج)  $\text{KNO}_3$

تمرین





نام‌گذاری ترکیب‌های کووالانسی: ترکیب‌های کووالانسی معمولاً از دو نافلز، تشکیل می‌شوند. مانند آمونیاک ( $\text{NH}_3$ )، آب ( $\text{H}_2\text{O}$ )، کربن دی‌سولفید ( $\text{CS}_2$ )، فسفر پنتاکسید ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )، نیتروژن دی‌اکسید ( $\text{NO}_2$ )، دی‌نیتروژن تتراکسید ( $\text{N}_2\text{O}_4$ )

۱ ترکیبات کووالانسی زیر را نام‌گذاری کنید:

الف)  $\text{SO}_3$       ب)  $\text{SiO}_2$       ج)  $\text{PCl}_3$       د)  $\text{N}_2\text{O}_5$

۲ فرمول شیمیایی ترکیبات کووالانسی زیر را بنویسید:

الف) دی‌نیتروژن منوکسید      ب) سلنیم هگزا فلورید  
ج) دی‌کلرید هپتاکسید      د) تری‌کلرید

### نام‌گذاری اسیدها و بازها

اسیدها و بازها از ترکیب‌های مهم شیمیایی هستند که انواع مختلفی دارند. اسید ترکیبی است که در آب یون ( $\text{H}^+$ ) و باز ترکیبی است که در آب یون هیدروکسید ( $\text{OH}^-$ ) آزاد می‌کند. برای نام‌گذاری اسیدهای دوتایی HA که در آن A اتم هالوژن، گوگرد است، از روش زیر استفاده می‌شود.

پیشوند هیدرو + نام اتم + پسوند «ایک» + واژهٔ اسید

○ مثال:

| فرمول اسید | نام اسید           |
|------------|--------------------|
| HF         | هیدروفلوئوریک اسید |
| HCl        | هیدروکلریک اسید    |

برای نام‌گذاری بازها از روش زیر استفاده می‌شود:

نام کاتیون (فلز) + پیشوند «هیدرو» + واژهٔ اکسید

○ مثال:

| فرمول باز                | نام باز         |
|--------------------------|-----------------|
| LiOH                     | لیتیم هیدروکسید |
| NaOH                     | سدیم هیدروکسید  |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | کلسیم هیدروکسید |

### فرمول نویسی

برای نوشتن فرمول ترکیب‌های شیمیایی یا خواندن نام آنها می‌توان از دستور ساده زیر استفاده نمود:

۱ نشانه شیمیایی یون مثبت (کاتیون) در سمت چپ و نشانه شیمیایی یون منفی (آنیون) در سمت راست نوشته می‌شود. نشانه شیمیایی یون هیدروژن  $H^+$  نیز مانند کاتیون‌ها در سمت چپ نوشته می‌شود.

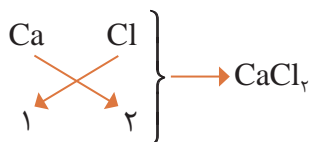
○ مثال: نام شیمیایی  $NaCl$  چیست؟

این ترکیب از دو جزء یون منفی کلرید و یون مثبت سدیم تشکیل شده است؛ بنابراین در خواندن نام ترکیب ابتدا نام یون مثبت، سپس نام یون منفی خوانده می‌شود. لذا نام ترکیب «سدیم + کلرید = سدیم کلرید» خواهد بود.

۲ ظرفیت یک عنصر را ضریب عنصر دیگر و به صورت زیروند قرار می‌دهند.

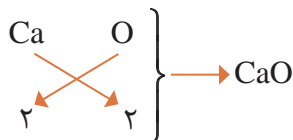
○ مثال: فرمول شیمیایی کلسیم کلرید را بنویسید.

نماد شیمیایی کلسیم  $Ca$  و ظرفیت آن ۲، نماد یون کلرید  $Cl$  و ظرفیت آن ۱ است. ابتدا یون مثبت از سمت چپ، سپس یون منفی نوشته شده و ظرفیت‌های آنها به یکدیگر داده می‌شود:



۳ چنانچه ضریب‌ها قابل ساده کردن باشند، آنها را ساده می‌کنند و از نوشتن ضریب (۱) خودداری می‌شود.

○ مثال: فرمول شیمیایی کلسیم اکسید را بنویسید.



۴ در صورتی که در ترکیب به جای یون مثبت یون هیدروژن باشد، ترکیب اسید بوده و به صورت زیر خوانده می‌شود.

○ مثال: نام شیمیایی  $HCl$  چیست؟

این ترکیب از دو جزء  $H^+$  و  $Cl^-$  تشکیل شده است: پیشوند هیدرو + کلر + پسوند «یک» + واژه اسید در نتیجه نام ترکیب «هیدرو کلریک اسید» خواهد بود.

۵ در صورتی که عنصری چند ظرفیت داشته باشد، در خواندن نام ترکیب باید ظرفیت آن نوشته شود.

○ مثال: نام شیمیایی  $FeCl_2$  چیست؟

نام یون مثبت + ظرفیت یون مثبت (عدد رومی) + نام یون منفی = آهن (II) کلرید

۱ با کمک جدول یون‌های مثبت و منفی در کتاب همراه دانش آموز، نام ترکیب‌های شیمیایی زیر را بنویسید.



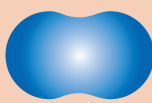
۲ فرمول شیمیایی ترکیب‌های زیر را بنویسید:

پتاسیم سولفید، کلسیم هیدروکسید، آلومینیم اکسید، سدیم اکسید، نقره نیترات، مس (II) سولفات، نیتریک اسید، منیزیم فسفات، باریم سولفات، آلومینیم نیترات، کلسیم سولفات

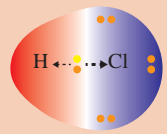
پرسش







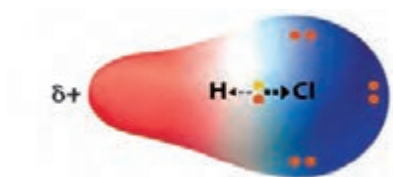
مولکول  $H_2$



مولکول HCl

هنگامی که دو اتم هیدروژن پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند، فاصله جفت الکترون مشترک از هسته دو اتم هیدروژن به یک اندازه است، در حالی که وقتی اتم هیدروژن و اتم کلر پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند فاصله جفت الکترون پیوندی از هسته دو اتم برابر نیست. علت آن چیست؟

هنگامی که دو اتم متفاوت، مانند هیدروژن و کلر، با پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل می‌شوند و مولکول دو اتمی هیدروژن کلرید به وجود می‌آید، فاصله جفت الکترون مشترک در این پیوند کووالانسی، از هسته‌های هیدروژن و کلر، به یک اندازه نیست.



شکل (۳-۹) توزیع چگالی ابرالکترونی بین کلر و هیدروژن

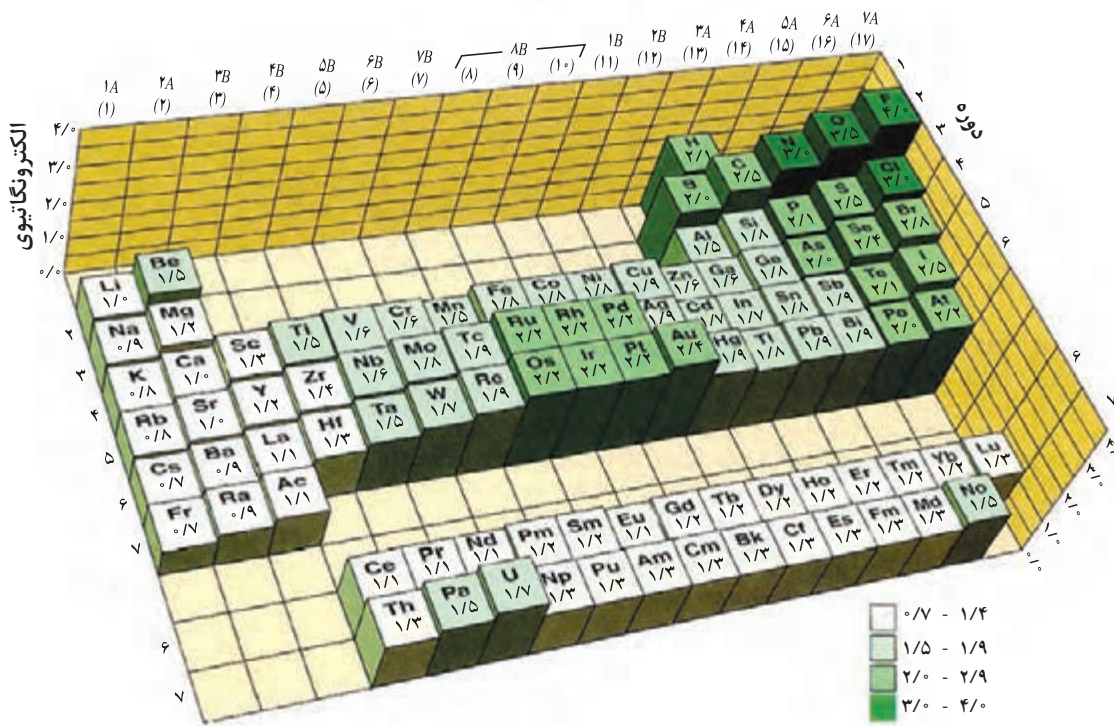
مشاهدات دقیق از مولکول هیدروژن کلرید نشان می‌دهد که هسته اتم کلر الکترون‌های پیوندی را بیش از هسته اتم هیدروژن به سوی خود جذب می‌کند. در نتیجه، چگالی ابر الکترونی مربوط به پیوند، روی هسته اتم کلر بیشتر و روی هسته اتم هیدروژن کمتر خواهد بود (شکل ۳-۹).

با بررسی مولکول‌های دو اتمی متفاوت به نظر می‌رسد که قابلیت اتم‌ها برای جذب الکترون‌های پیوندی، به هنگام رقابت با یک اتم دیگر یکسان نیست، برخی از اتم‌ها تمایل بیشتری برای جذب الکترون، نسبت به اتم دیگر دارند. قابلیت یک اتم برای جذب الکترون‌های پیوندی، به هنگام رقابت با یک اتم دیگر را الکترونگاتیوی آن اتم می‌نامند. هر چه قابلیت یک اتم برای جذب الکترون‌های پیوندی بیشتر باشد، آن اتم جفت الکترون‌های پیوندی را بیشتر به سمت خود جذب می‌کند که موجب توزیع نامتقارن بار الکترونی می‌شود.

الکترونگاتیوی یک عنصر به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست. تنها می‌توان الکترونگاتیوی یک عنصر را با الکترونگاتیوی یک عنصر دیگر مقایسه کرد. بنابراین الکترونگاتیوی یک کمیت نسبی است.

برای نخستین بار، مقدار عددی برای الکترونگاتیوی عنصرها توسط لینوس پاولینگ<sup>۱</sup> پیشنهاد شد. الکترونگاتیوی عنصرها از ۴/۰ برای الکترونگاتیوترین عنصر یعنی فلور، تا ۰/۷ برای سزیم که کمترین قابلیت را برای جذب الکترون دارد، تغییر می‌کند. الکترونگاتیوی نسبی تعدادی از عنصرها، به ترتیبی که در جدول تناوبی ظاهر می‌شوند، در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است. الکترونگاتیوی یک اتم تمایل نسبی اتم‌ها برای جذب جفت الکترون به سمت هسته خود است.

۱- Linus Pauling



شکل (۱۰-۳) الکترونگاتیوی نسبی عناصر در جدول تناوبی

- ۱ چرا در هر تناوب از جدول تناوبی، با افزایش عدد اتمی از چپ به راست، بر الکترونگاتیوی عناصر افزوده می‌شود؟
- ۲ در یک گروه از جدول تناوبی، از بالا به پایین، بر تعداد پروتون‌های هسته اضافه می‌شود، ولی، الکترونگاتیوی عناصر به تدریج کاهش می‌یابد. کدام عامل را در این روند مؤثر می‌دانید؟





## ۳-۴- مولکول‌های قطبی و ناقطبی

وقتی دو اتم از یک عنصر، مثلاً دو اتم هیدروژن، پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند، هر یک از آنها از الکترون‌های پیوندی سهم یکسان دریافت می‌کند، زیرا جاذبه آنها برای جفت الکترون مشترک در پیوند کووالانسی یکسان است. در این حالت، گفته می‌شود که پیوند بین این دو اتم ناقطبی است. پیوندهای موجود بین دو اتم اکسیژن در مولکول اکسیژن  $O=O$  و دو اتم نیتروژن در مولکول نیتروژن  $N \equiv N$  ناقطبی به شمار می‌آیند.

در مولکول H-Cl پیوند کووالانسی بین اتم هیدروژن و کلر تشکیل می‌شود. آیا مولکول HCl قطبی است یا ناقطبی؟

پرسش



هنگامی که اتم A با الکترونگاتیوی بیشتر و اتم B با الکترونگاتیوی کمتر، از طریق پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل می‌شوند، به علت بالاتر بودن الکترونگاتیوی اتم A، چگالی ابر الکترونی پیوند روی اتم A بیشتر و روی اتم B کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر، سهم اتم A از الکترون‌های پیوندی بیشتر از سهم اتم B است. در نتیجه، اتم A حامل جزئی بار منفی ( $\delta^-$ ) و اتم B حامل جزئی بار مثبت ( $\delta^+$ ) خواهد بود. این نوع پیوند را که دارای دو سر (دو قطب) مثبت و منفی است، پیوند قطبی می‌نامند.

نکته



اگر پیوند کووالانسی بین دو اتم مختلف تشکیل شود، پیوند قطبی خواهد بود.



با توجه به الکترونگاتیوی عنصرها در جدول تناوبی، قطبیت کدام یک از پیوندهای زیر بیشتر است؟ آنها را به ترتیب کاهش قطبیت از چپ به راست مرتب کنید (پیوندی را که قطبیت آن بیشتر است در سمت چپ بنویسید).

الف) Cl - F      ب) F - O      پ) Be - O      ت) H - N

پرسش



در میان مولکول‌های  $CO$ ،  $NO$ ،  $HBr$ ،  $Cl_2$  و  $Br_2$  کدام قطبی و کدام ناقطبی است؟ علت آن را بیان کنید.

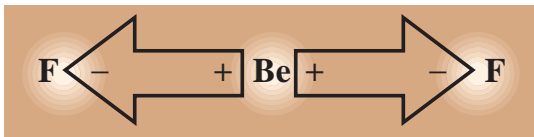
پرسش



آیا می‌توان یک قاعده کلی برای قطبی - ناقطبی بودن، در مولکول‌های دو اتمی بیان کرد؟  
 در مولکول‌های دو اتمی چنانچه .....

### مولکول‌های سه اتمی

در مولکول چنداتمی  $\text{BeF}_2$ ، به دلیل اختلاف الکترونگاتیوی اتم‌ها، پیوند بین دو اتم  $\text{Be}$  و  $\text{F}$  قطبی است. آیا می‌توان گفت مولکول هم قطبی است؟



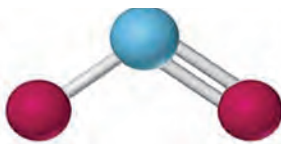
شکل (۱۱-۳) مولکول  $\text{BeF}_2$

همان‌طور که در شکل ۱۱-۳ مشاهده می‌کنید، مولکول  $\text{BeF}_2$  به صورت خطی بوده و اتم‌های سازنده آن در یک راستا قرار دارند، به علت اینکه قطبیت پیوندهای  $\text{Be-F}$  به یک اندازه است ولی در دو جهت مخالف قرار دارند،

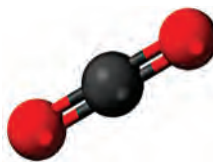
اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند و قطبیت مولکول صفر می‌شود. بنابراین در مولکول سه اتمی  $\text{BeF}_2$  با وجود اینکه پیوندها قطبی هستند، مولکول ناقطبی است.

مشخص کنید کدام یک از مولکول‌های زیر، قطبی و کدام ناقطبی هستند؟

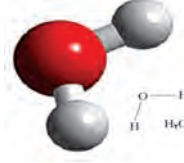
پرسش



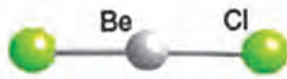
$\text{NO}_2$



$\text{CO}_2$



$\text{H}_2\text{O}$



$\text{BeCl}_2$

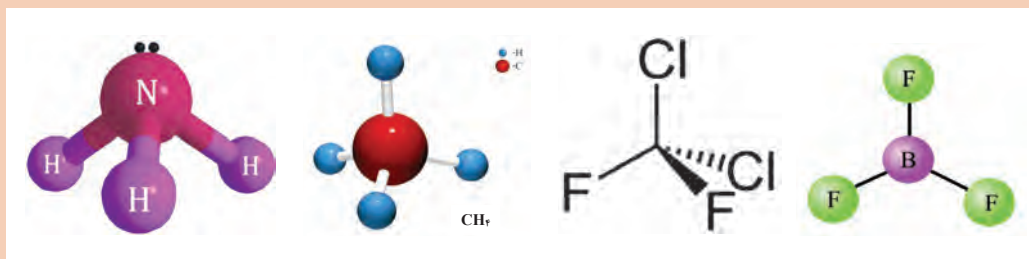


$\text{CS}_2$

آیا می‌توانید روش تشخیص قطبی بودن مولکول‌ها را با یک عبارت بیان کنید؟

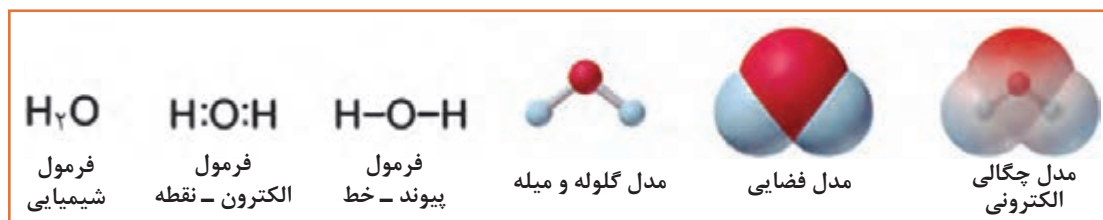


بررسی کنید هر یک از مولکول‌های زیر، قطبی هستند یا ناقطبی؟



### ۵-۳- نمایش مولکول‌ها

مولکول‌ها به روش‌های متنوع نمایش داده می‌شوند. یک فرمول شیمیایی فقط تعداد نسبی اتم‌ها را نشان می‌دهد. فرمول‌های الکترون-نقطه و پیوند-خط، پیوند بین اتم‌ها را به صورت یک جفت نقطه و یا خط ارائه می‌کنند. مدل گلوله‌ومیله، اتم‌ها را به صورت کره و پیوندها را به شکل میله، با زاویه‌های دقیق و اندازه نسبی نشان می‌دهد، ولی فاصله‌ها مبالغه‌آمیز می‌باشند. مدل فضا پر، شکل دقیق از یک مولکول است ولی پیوندها را نشان نمی‌دهد. شکل ۱۲-۳ مدل‌های مختلف مولکول آب را نشان می‌دهد. در مدل چگالی الکترون، نواحی بار الکترونی زیاد (قرمز) و بار الکترونی کم (آبی) می‌باشد.



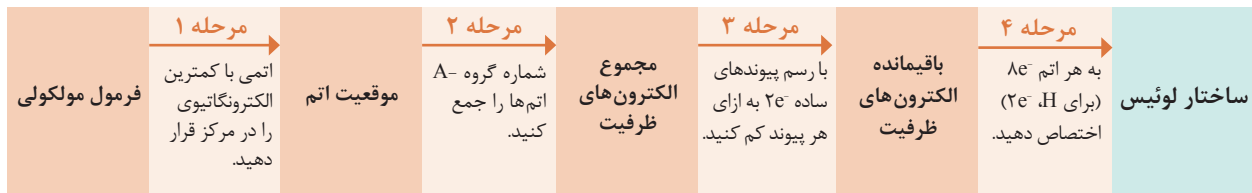
شکل (۱۲-۳) نمایش یک مولکول آب

### نمایش مولکول‌ها و یون‌ها با ساختار لوئیس

برای تجسم یک مولکول لازم است که فرمول مولکولی را به ساختار لوئیس (یا فرمول لوئیس) تبدیل کرد. این فرمول شامل نمادهای الکترون-نقطه برای هر اتم و اتم‌های مجاور آن، به شکل جفت‌های پیوندی (که اتم‌ها را به هم نگه داشته است) و جفت‌های ناپیوندی (که لایه بیرونی هر اتم را پر می‌کند)، می‌باشد. بر مبنای قاعده هشت‌تایی، اتم‌ها با تشکیل ترکیب تمایل دارند به آرایش هشت‌تایی یا همان آرایش گاز نجیب برسند. این قاعده در ترکیبات با پیوندهای یونی کووالانسی کاربرد دارد. قانون هشت‌تایی راهنمای مناسبی برای اختصاص دادن الکترون‌ها به اتم‌ها در ساختار لوئیس می‌باشد.

### ساختار لوئیس برای مولکول‌هایی با پیوند ساده

مراحل نوشتن ساختار لوئیس برای مولکول‌هایی که فقط پیوندهای ساده دارند مانند نیتروژن فلورید،  $NF_3$ . در شکل صفحه بعد آمده است.



شکل (۱۳-۳) مراحل تبدیل یک فرمول مولکولی به ساختار لوئیس

**مرحله ۱:** برای فرمول مولکولی  $AB_n$ ، اتمی با شماره گروه کمتر در جدول تناوبی (که معمولاً دارای الکترونگاتیوی کمتر است) را در مرکز قرار دهید. به عنوان مثال در مولکول  $NF_3$  اتم N (گروه VA،  $EN=3/0$ ) در ارایه ظرفیت پنج الکترون دارد و لذا به سه الکترون نیاز دارد، در حالی که هر اتم F (گروه VIIA،  $EN=4/0$ ) با داشتن هفت الکترون در لایه ظرفیت فقط یک الکترون نیاز دارد تا به آرایش گاز نجیب برسد. بنابراین اتم N در مرکز و اتم‌های F در اطراف آن قرار می‌گیرند.

- نکته
- اگر اتم‌ها در یک گروه باشند، مانند  $SO_3$  و  $ClF_3$ ، اتمی با دوره تناوبی بیشتر را در مرکز قرار دهید.
  - چون H فقط یک پیوند تشکیل می‌دهد هرگز در مرکز قرار نمی‌گیرد.

**مرحله ۲:** برای تعیین تعداد کل الکترون‌های ظرفیت، یک مولکول، لازم است تعداد الکترون‌های ظرفیت تمام اتم‌های آن را جمع کنید.

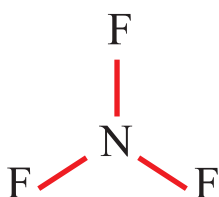
به خاطر داشته باشید تعداد الکترون‌های ظرفیت با شماره گروه‌های اصلی برابر است.

مثال: در مولکول  $NF_3$ ، تعداد الکترون‌های ظرفیت را محاسبه کنید.

پاسخ: اتم N پنج الکترون ظرفیت و هر اتم F هفت الکترون ظرفیت دارد.

$$[1 \times N(5e^-)] + [3 \times F(7e^-)] = 5e^- + 21e^- = 26 \quad \text{الکترون‌های ظرفیت}$$

در یون‌های چند اتمی، به ازای هر بار منفی، یک الکترون اضافه و به ازای هر بار مثبت یک الکترون کم کنید.

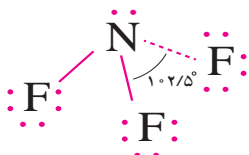


**مرحله ۳:** از اتم مرکزی به هر اتم مجاور آن یک پیوند ساده وصل کنید و به ازای هر پیوند ساده از کل تعداد الکترون‌های ظرفیت موجود (مرحله ۲)، دو الکترون کم کنید تا تعداد الکترون‌های باقیمانده به دست آید:

$$3(N - F) \times 2e^- = 6e^- \Rightarrow 26e^- - 6e^- = 20e^- \quad \text{الکترون‌های باقیمانده}$$

**مرحله ۴:** الکترون‌های باقیمانده را به صورت جفت بر روی اتم‌ها طوری توزیع کنید که هر اتم هشت الکترونی (برای H دو الکترونی) شود. ابتدا جفت‌های ناپیوندی (جفت الکترون‌هایی که در تشکیل هیچ پیوندی شرکت ندارند) را بر روی اتم‌های اطراف (با الکترونگاتیوی بیشتر) قرار دهید تا همه آنها هشت تایی شوند. اگر الکترونی باقی ماند آن را بر روی اتم مرکزی بگذارید؛ سپس مطمئن شوید که همه اتم‌ها  $8e^-$  دارند.

در مثال  $NF_3$ ، ۲۰ الکترون باقیمانده شامل ۱۰ جفت الکترون می‌شود. برای هر اتم F سه جفت الکترون نیاز دارد تا به هشت الکترون برسد. در نتیجه یک جفت الکترون باقی می‌ماند که آن را برای اتم مرکزی یعنی N و به صورت جفت غیرپیوندی در نظر بگیرید.



ساختار لوئیس  $NF_3$

همواره کنترل کنید که تعداد کل الکترون‌ها (پیوندی و ناپیوندی) با جمع الکترون‌های ظرفیت کلیه اتم‌های تشکیل‌دهنده مولکول برابر باشد.

نکته



با استفاده از این چهار مرحله می‌توان ساختار لوئیس هر مولکول با پیوندهای ساده که اتم مرکزی آن N, C یا O باشد، همچنین بعضی از مولکول‌های دیگر که اتم مرکزی تناوب بیشتری دارد را رسم کرد. به خاطر داشته باشید که تقریباً در تمام ترکیبات:

- اتم هیدروژن یک پیوند تشکیل می‌دهد.
- اتم کربن چهار پیوند دارد.
- نیتروژن سه پیوند تشکیل می‌دهد.
- اکسیژن دو پیوند دارد.
- هالوژن‌ها موقعی که در اطراف هستند و در یک مولکول نیستند یک پیوند تشکیل می‌دهند.
- فلئور همیشه در اطراف قرار می‌گیرد.

ساختار لوئیس مولکول‌های داده‌شده را رسم کنید.

الف)  $H_2S$       ب)  $OF_2$       پ)  $SCl_2$       ت)  $CCl_2F_2$       ث)  $PH_3$

پرسش



آیامی‌دانید



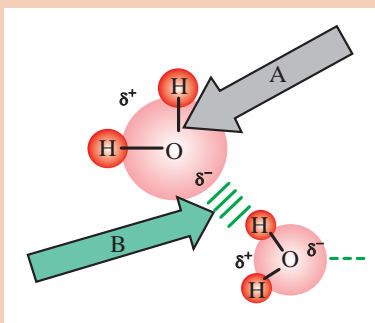
مولکول  $CCl_2F_2$  (کلرو فلئوروکربن) یکی از ترکیب‌هایی است که موجب از بین رفتن اوزن می‌شود.

## ۳-۶- نیروهای جاذبه بین مولکولی

بحث کلاسی



در تصویر زیر دقت کنید. چه نیروهایی در شکل مشاهده می کنید؟  
نیروهای A و B چه تفاوتی با هم دارند؟

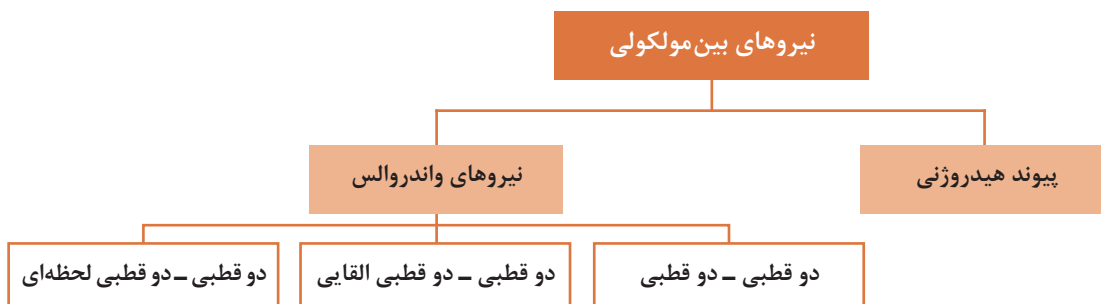


در قسمت‌های قبل با پیوندهای شیمیایی مانند پیوند یونی و کووالانسی آشنا شدید. پیوندهای شیمیایی نیروهای جاذبه‌ای هستند که موجب پیوستگی اتم‌ها به یکدیگر می‌شوند. حال این پرسش مطرح است که چه عاملی موجب می‌شود مولکول‌های یک ماده، در حالت‌های مختلف کنار یکدیگر قرار بگیرند؟ چرا برخی از مواد جامد، برخی مایع و برخی دیگر به شکل گازی هستند؟

بین مولکول‌های یک ماده یا مولکول‌های مواد گوناگون نیروی‌های جاذبه‌ای به وجود می‌آید که موجب می‌شود این مولکول‌ها به یکدیگر نزدیک شده و در کنار یکدیگر قرار گیرند. این نیروهای جاذبه را **نیروهای جاذبه بین مولکولی** می‌نامند. نیروهای جاذبه بین مولکولی انواع مختلفی دارند. از آنجا که نیروهای جاذبه واندروالسی و پیوند هیدروژنی از نیروهای جاذبه مهم به‌شمار می‌آیند، اکنون چگونگی پیدایش این نیروها و اثر آنها بر خواص برخی از مواد بررسی می‌شود.

پرسش

به نظر شما نیروی بین ذره‌ای در کدام حالت ماده بیشتر است، جامد، مایع یا گاز؟



شکل (۳-۱۴) نمودار انواع نیروهای بین مولکولی

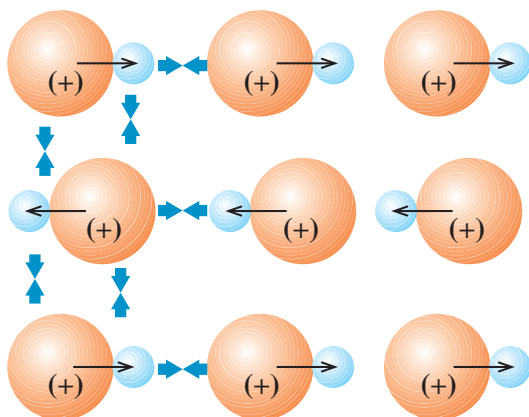
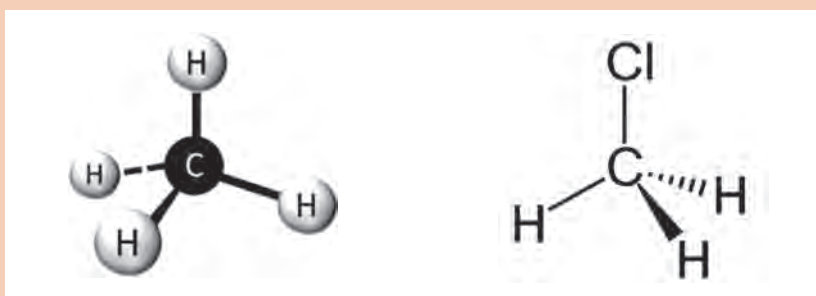
## نیروهای واندروالسی

واندروالس<sup>۱</sup>، دانشمند هلندی، در سال ۱۸۷۳، برای نخستین بار، مسئله وجود نیروهای جاذبه بین مولکول‌های مختلف را مطرح کرد. این نیروها که به‌عنوان نیروهای جاذبه واندروالسی شناخته شده‌اند، انواع مختلفی دارند. این نیروها ممکن است بین مولکول‌های قطبی، بین مولکول‌های قطبی و ناقطبی و یا بین مولکول‌های ناقطبی وجود داشته باشند که در ادامه شرح داده می‌شود.

پرسش



دمای جوش کلرومتان ( $\text{CH}_2\text{Cl}$ ) گازی شکل  $^{\circ}\text{C} (2/-24)$ ، در حالی که دمای جوش متان ( $\text{CH}_4$ ) برابر  $^{\circ}\text{C} (5/161)$  می‌باشد، علت اختلاف دمای جوش این دو ماده چیست؟ نیروهای بین مولکولی در کدام ماده بیشتر است؟



در موادی مانند یدکلرید،  $\text{ICl}$ ، که دارای مولکول‌های قطبی هستند، مولکول‌ها در دمای مناسب، به‌گونه‌ای در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که قطب یا سر مثبت ( $\delta^+$ ) یک مولکول در نزدیکی قطب یا سر منفی ( $\delta^-$ ) مولکول دیگر واقع شود. آرایش مولکول‌ها به این شکل نیروی جاذبه الکتریکی قابل توجهی به‌وجود می‌آورد که موجب مایع شدن یا جامد شدن آنها می‌شود. این نوع نیروهای جاذبه بین مولکولی را **نیروهای جاذبه دو قطبی - دو قطبی** می‌نامند. (شکل ۱۵-۳)

شکل (۱۵-۳) نیروهای دو قطبی - دو قطبی در مولکول ید کلرید

بین مولکول‌های مواد قطبی، نیروی جاذبه دو قطبی - دو قطبی وجود دارد که در بیشتر موارد، قوی‌ترین نیروی جاذبه بین مولکولی به‌شمار می‌آید.

<sup>۱</sup> Vander Waals



ترکیبات قطبی در حلال‌های قطبی می‌توانند حل شوند. علت این امر آن است که نیروهای جاذبه بین مولکولی در این ترکیبات تقریباً یکسان است. به عبارت دیگر دو ترکیب قطبی قادر هستند یکدیگر را جذب کنند و به هم متصل شوند. در واقع سر مثبت ترکیب قطبی به سمت قطب منفی مولکول حلال و سر منفی آن به سمت قطب مثبت حلال جذب می‌شود و به این ترتیب بین مولکول‌های ماده و حلال نیروهای دوقطبی - دوقطبی به وجود می‌آید.

پرسش



ید ( $I_2$ ) ماده‌ای ناقطبی و آب حلالی قطبی است. با این وجود ید در آب به میزان کم حل می‌شود. با توجه به نیروهای بین مولکولی، چگونه حل شدن ید در آب را می‌توان توجیه کرد؟

نوع دیگری از نیروهای جاذبه بین مولکولی، نیروی جاذبه‌ای است که می‌تواند بین یک مولکول قطبی و یک مولکول ناقطبی به وجود آید. هنگامی که یک مولکول قطبی به یک مولکول ناقطبی نزدیک می‌شود، بار جزئی مثبت یا منفی موجود در سرهای مثبت و منفی مولکول قطبی، الکترون‌های مولکول ناقطبی را جذب یا دفع می‌کند. برای مثال، اگر سر منفی یک مولکول قطبی به یک مولکول ناقطبی نزدیک شود، الکترون‌های مولکول ناقطبی به وسیله سر منفی مولکول قطبی دفع می‌شوند. ابر الکترونی مولکول ناقطبی از مولکول قطبی دور می‌شود و در نتیجه، مولکول ناقطبی، در این وضعیت، به یک مولکول قطبی تبدیل می‌شود. در این حالت قطبیت مولکول قطبی به مولکول ناقطبی القا شده است و چون مولکول ناقطبی به این شکل موقتاً قطبی شده است، به وسیله مولکول قطبی دائمی جذب می‌شود. این نوع نیروی جاذبه بین مولکولی را **نیروی جاذبه دوقطبی - دوقطبی القایی** می‌نامند. شکل (۱۶-۳)



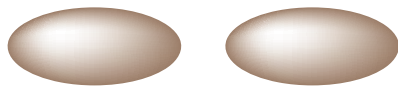
شکل (۱۶-۳) مولکول قطبی یک مولکول ناقطبی را به مولکولی با قطبیت القایی، تبدیل می‌کند.

پرسش

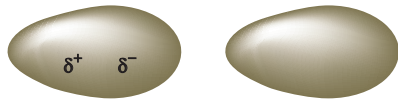


می‌دانید که مولکول‌های دو اتمی یکسان هسته، مولکول‌های ناقطبی هستند. چه نیرویی موجب می‌شود که مولکول‌های مواد ناقطبی مانند  $O_2$ ،  $N_2$ ،  $Cl_2$ ،  $I_2$  در کنار یکدیگر قرار گرفته و حالت گاز، مایع یا جامد داشته باشند؟

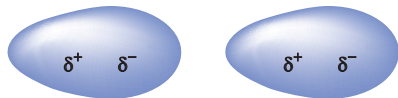
مولکول‌های بعضی از مواد، مانند ید  $I_2$ ، کربن تتراکلرید  $CCl_4$  قطبی نیستند، اما بعضی از آنها می‌توانند در شرایط معمولی یکدیگر را جذب کنند و به حالت‌های جامد یا مایع وجود داشته باشند.



هر دو مولکول ناقطبی



یک مولکول به طور لحظه‌ای قطبی شده است.



مولکول قطبی شده قطبیت خود را به مولکول دیگر القا کرده است.

شکل (۳-۱۷) پیدایش قطبیت لحظه‌ای در مولکول‌های ناقطبی

بررسی‌های لاندن دانشمند انگلیسی در سال ۱۹۳۰، دربارهٔ نیروی جاذبهٔ موجود بین مولکول‌های این دسته از مواد نشان داد که بعضی از مولکول‌ها به‌طور لحظه‌ای قطبی می‌شوند و قطبیت خود را به‌صورتی که در شکل (۳-۱۷) نشان داده شده است، به مولکول‌های مجاور القا می‌کنند. این نوع نیروهای جاذبهٔ بین‌مولکولی را که البته نیروهای ضعیفی هستند و در گروه نیروهای واندروالسی قرار می‌گیرند، **نیروهای لاندن** می‌نامند.

فکر کنید



- در شرایط عادی کلر  $Cl_2$  گازی شکل، برم  $Br_2$  مایع و ید  $I_2$  جامد است. نیروهای بین‌مولکولی در کدام یک بیشتر و در کدام یک کمتر است؟
- با توجه به جایگاه اتم‌های کلر، برم و ید در جدول تناوبی، آیا ارتباطی بین اندازهٔ مولکول‌ها و نیروی جاذبهٔ بین‌مولکولی در این مواد وجود دارد؟

به علت ضعیف بودن این نوع نیروهای جاذبهٔ بین‌مولکولی، موادی که بر اثر این نیروهای جاذبه (یعنی پیدایش قطبیت لحظه‌ای) به حالت مایع یا جامد باشند به آسانی تبخیر یا ذوب می‌شوند، یعنی دماهای ذوب و جوش نسبتاً پایینی دارند و در دسته مواد فرّار قرار می‌گیرند.

پرسش



آیا نیروهای لاندن فقط در مولکول‌های ناقطبی وجود دارند؟

عوامل مؤثر بر میزان نیروهای واندروالسی

شدت و ضعف نیروهای واندروالسی به چند عامل بستگی دارد که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

- قطبیت مولکول:** هر چه مولکول‌ها قطبی‌تر باشند، یکدیگر را با شدت بیشتری جذب می‌کنند و در نتیجه، نیروهای واندروالسی اهمیت بیشتری دارند.
- حجم یا جرم مولکول:** با افزایش حجم اتم‌ها یا مولکول‌ها، امکان برخورد آنها با یکدیگر بیشتر می‌شود، در نتیجه، میزان تأثیر آنها برهم افزایش می‌یابد و احتمال پیدایش قطبیت لحظه‌ای نیز افزایش می‌یابد.

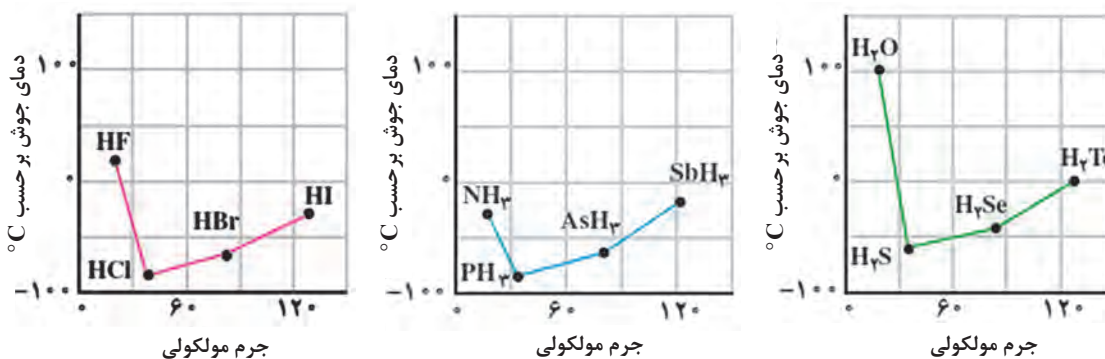
پیوند هیدروژنی

بحث کلاسی



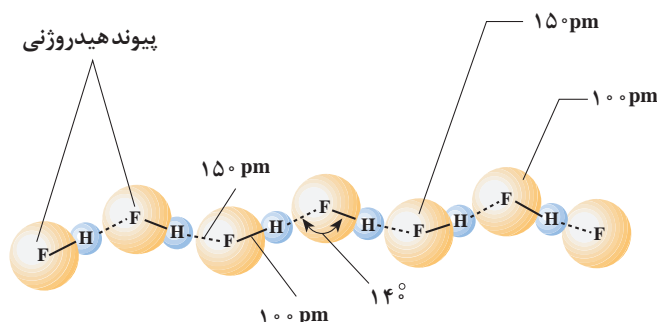
در مولکول‌های HF، HCl، HBr، HI چه نوع نیرویی بین مولکول‌ها وجود دارد؟ به نظر شما چه رابطه‌ای بین جرم مولی مواد و نقطه جوش آنها وجود دارد؟

همان‌طور که در شکل (۳-۱۸) ملاحظه می‌شود، دمای جوش HCl، HBr و HI با افزایش جرم مولکولی به‌طور منظم افزوده می‌شود. ولی دمای جوش HF از این روند پیروی نمی‌کند. جرم اتمی فلئور از هالوژن‌های دیگر کمتر است. بنابراین انتظار می‌رود که دمای جوش HF پایین‌تر از دمای جوش هیدروژن کلرید HCl باشد. ولی عملاً عکس این روند مشاهده می‌شود؛ یعنی دمای جوش HF (۱۹/۹°C) خیلی بالاتر از دمای جوش سه ترکیب دیگر است.

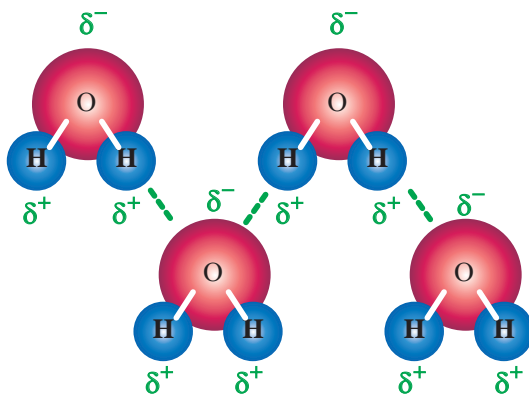


شکل (۳-۱۸) نمودارهای دمای جوش و جرم مولکولی

با توجه به نمودارهای داده شده، مشاهده می‌کنید که H<sub>2</sub>O و NH<sub>3</sub> نیز در مقایسه با ترکیبات هیدروژن دار دیگر عنصرهای گروه خود حالت استثنا دارند و نقطه جوش آنها به‌طور غیرعادی از ترکیبات اخیر خود بالاتر است. هیدروژن فلئورید، آب و آمونیاک یک ویژگی مشترک دارند. مولکول‌های این مواد قطبی هستند و در آنها هیدروژن به یک اتم بسیار الکترونگاتیو (F، O، N) با حجم نسبتاً کوچک متصل است. اگر مولکول‌های هیدروژن فلئورید را در کنار یکدیگر در نظر بگیریم، بین اتم فلئور از یک مولکول هیدروژن فلئورید و اتم هیدروژن از مولکول مجاور، نوعی پیوند به‌وجود می‌آید که آن را پیوند هیدروژنی می‌نامند. (در شکل ۳-۱۹)، پیوندهای هیدروژنی با خطوط بریده نشان داده شده‌اند.



شکل (۳-۱۹) نمایش پیوندهای هیدروژنی در مولکول HF



شکل (۳-۲۰) نمایش پیوندهای هیدروژنی در مولکول  $H_2O$

مولکول‌های آب نیز از دیدگاه تشکیل پیوندهای هیدروژنی وضعی شبیه به مولکول‌های هیدروژن فلوئورید دارند، با این تفاوت که هر مولکول آب، به علت داشتن دو پیوند  $H-O$  و دو جفت الکترون تنها روی اتم اکسیژن، می‌تواند با چهار مولکول مجاور خود پیوند هیدروژنی برقرار کند. چگونگی تشکیل پیوندهای هیدروژنی در آب، در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است.

فکر کنید



با توجه به دمای جوش مواد داده شده، نیروهای جاذبهٔ مولکولی را با هم مقایسه کرده و جاهای خالی را کامل کنید، سپس مواد فوق را به ترتیب افزایش نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی از چپ به راست بنویسید.

| نام ماده | جرم مولی | نوع نیروی بین مولکولی | دمای جوش $^{\circ}C$ |
|----------|----------|-----------------------|----------------------|
| $N_2$    | ۲۸       |                       | -۱۹۶                 |
| NO       | ۳۰       |                       | -۱۵۱                 |
| $H_2O$   | ۱۸       |                       | ۱۰۰                  |

..... < ..... < .....

### ۳-۷- توجیه خواص غیرعادی آب

- ۱ بالا بودن دمای انجماد و جوش آب، در مقایسه با ترکیب‌های مشابه: دمای انجماد و دمای جوش بالای آب را می‌توان به وجود نیروهای جاذبهٔ قوی بین مولکول‌های آن بر اثر تشکیل پیوندهای هیدروژنی، نسبت داد. به علت وجود این نیروهای جاذبهٔ قوی، دمای انجماد آب بالاست و چون فرار مولکول‌ها از سطح مایع نیز، به همین علت با دشواری صورت می‌گیرد، دمای جوش آب نیز به‌طور غیرعادی بالا خواهد بود.**
- ۲ بالا بودن گرمای ویژه<sup>۱</sup> آب: هرگاه به جسمی گرما داده شود، دمای آن بالا می‌رود و بر جنبش‌های مولکولی آن افزوده می‌شود. در مورد آب، چون بخشی از گرمای داده شده صرف شکستن پیوندهای هیدروژنی می‌شود، افزایش جنبش‌های مولکولی در آب، در مقایسه با مادهٔ مشابهی که پیوند هیدروژنی ندارد، کمتر خواهد بود. در نتیجه در شرایط یکسان دمای آب، بر اثر گرم کردن دیرتر بالا می‌رود.**
- ۳ بالا بودن گرمای نهان تبخیر آب: با افزایش دمای آب و زیاد شدن جنبش‌های مولکولی گرچه تعدادی از پیوندهای هیدروژنی موجود بین مولکول‌های آب، می‌شکنند ولی باز هم تعداد قابل توجهی از پیوندهای هیدروژنی، حتی در دمای جوش آب، باقی می‌مانند، که برای شکستن آنها و تبخیر آب به مقداری انرژی**

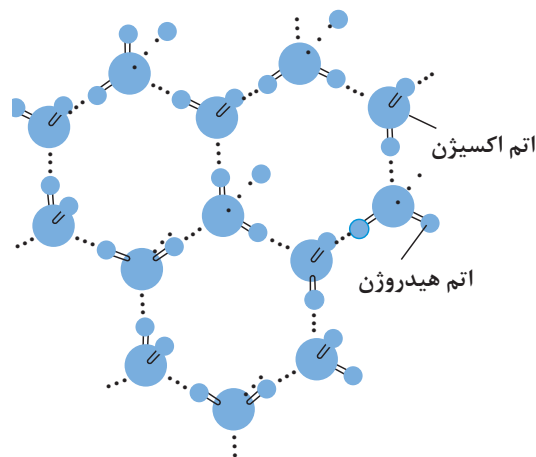
۱- ظرفیت گرمایی ویژه مقدار گرمایی است که کیلوگرم از ماده دریافت می‌کند تا درجهٔ حرارت آن  $1^{\circ}C$  افزایش یابد.

اضافی نیاز است. از این رو، گرمای نهان تبخیر آب، یعنی «مقدار گرمایی که لازم است که به یک گرم آب داده شود تا در دمای جوش از حالت مایع به حالت بخار تبدیل شود»، نسبت به بسیاری از مایعات دیگر بیشتر است.

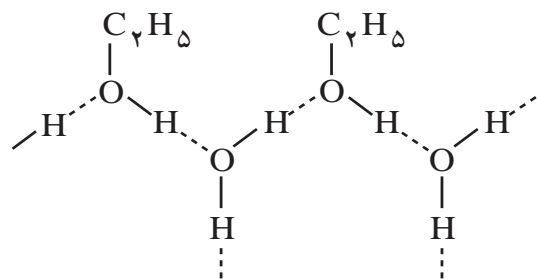
**۴ بالا بودن کشش سطحی آب:** اگر یک تیغه نازک فلزی با دقت بر سطح آب داخل ظرفی قرار گیرد، آب فشار تیغه را تحمل می کند و مانع غوطه ور شدن آن می شود. بی شک، صحنه جالب توجه نشستن بعضی حشره ها را بر سطح آب ملاحظه کرده اید. این پدیده به علت بالا بودن کشش سطحی آب است. به بیان دیگر به علت وجود پیوندهای هیدروژنی نسبتاً قوی بین مولکول های آب، پیوستگی مولکول ها با یکدیگر، در تمام قسمت های مایع، به ویژه در سطح آن زیاد است.

**۵ افزایش حجم آب بین  $0^{\circ}\text{C}$  و  $4^{\circ}\text{C}$ :** بیشتر مایعات هنگامی که سرد شوند به حالت جامد تغییر می یابند و حجم آنها کاهش می یابد. برای مثال، آهن مذاب که در ظرفی قرار دارد، بر اثر سرد شدن منجمد می شود، کاهش حجم پیدا می کند و از دیواره های ظرف دور می شود. در مورد آب، حجم آن بر اثر سرد شدن تا دمای  $4^{\circ}\text{C}$  کاهش می یابد اما، در پایین تر از این دما (از  $4^{\circ}\text{C}$  تا صفر درجه) شروع به منبسط شدن می کند، وقتی آب به یخ تبدیل می شود، حجم آن به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. عکس برداری به وسیله پرتو ایکس نشان می دهد که در بلور یخ، هر مولکول آب با چهار مولکول مجاور خود پیوند هیدروژنی برقرار کرده و مجموعه های چهاروجهی تشکیل داده اند (شکل ۲۱-۳).

هنگامی که یخ ذوب می شود بعضی از پیوندهای هیدروژنی موجود بین مولکول های آب می شکنند و در نتیجه، برخی از مولکول های آب که از بقیه جدا شده اند می توانند در حفره های خالی درون شبکه بلور یخ جای بگیرند و موجب کاهش حجم شوند. این تغییرات تا دمای  $4^{\circ}\text{C}$  ادامه می یابد و رفته رفته از حجم آب کم می شود. اگر دمای آب از  $4^{\circ}\text{C}$  بالاتر رود، به علت زیاد شدن جنبش های مولکولی و کمتر شدن نقش پیوندهای هیدروژنی، بر حجم آب افزوده می شود.



شکل (۲۱-۳) ساختار شبکه بلور یخ و آرایش مولکول های  $\text{H}_2\text{O}$  در آن



شکل (۳-۲۲) تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و اتیل‌الکل

آب به‌عنوان یک حلال خوب: حل شدن بعضی از مواد در آب را می‌توان با تکیه بر تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های مواد حل شده، توجیه کرد. برای مثال، الکل معمولی (اتیل الکل یا اتانول) به هر نسبت در آب حل می‌شود. در این فرایند، تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های الکل نقش اساسی را به عهده دارد. یادآوری می‌شود که پیوندهای هیدروژنی نه تنها بین مولکول‌های یک ماده، بلکه بین دو یا چند نوع مولکول نیز می‌توانند به وجود آیند. برای مثال، به شکل ۳-۲۲ که تشکیل پیوندهای هیدروژنی را بین مولکول‌های آب و الکل نشان می‌دهد، توجه کنید.

پرسش

دمای جوش متان، بر خلاف آب و آمونیاک، پایین است و به سختی مایع می‌شود. چگونه آن را توجیه می‌کنید؟



## ۳-۸ واکنش‌های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده برهم اثر می‌کنند و یک یا چند ماده متفاوت تولید می‌کنند. واکنش شیمیایی را می‌توان با یک معادله نشان داد. یک معادله شیمیایی نشان می‌دهد چه تغییراتی صورت گرفته است. مواد اولیه واکنش شیمیایی را واکنش دهنده‌ها و مواد حاصل از واکنش شیمیایی را محصولات واکنش می‌نامند. واکنش زیر را در نظر بگیرید:



این واکنش نشان می‌دهد که دو مولکول گاز هیدروژن و یک مولکول گاز اکسیژن با هم ترکیب می‌شوند و دو مولکول آب تولید می‌کنند.

برای نوشتن معادله‌ای که به درستی واکنش را نشان می‌دهد، سه مرحله زیر را باید انجام داد:

- ۱ واکنش دهنده‌ها و محصولات را مشخص کنید.
- ۲ فرمول‌های واکنش دهنده‌ها را در سمت چپ و فرمول‌های محصولات واکنش را در سمت راست معادله قرار دهید و با گذاشتن علامت پیکان ( $\rightarrow$ ) به هم مربوط کنید به طوری که جهت پیکان، جهت واکنش را نشان دهد.
- ۳ در معادله واکنش حالت‌های فیزیکی واکنش دهنده‌ها و محصولات را مشخص کنید، (g) برای گاز، (l) برای مایع، (s) برای جامد و (aq) برای محلول آبی به کار می‌روند.
- ۴ معادله را موازنه کنید. براساس قانون پایستگی جرم در واکنش‌های شیمیایی تغییر جرم ایجاد نمی‌شود، یعنی مقدار جرم مواد پیش و پس از واکنش برابر است. بنابراین تعداد و نوع اتم‌های موجود در دو طرف معادله باید یکسان باشد.



- موازنه اتم‌های هیدروژن و اکسیژن بعد از عنصرهای دیگر انجام شود.
- در موازنه ضریب‌های کسری به عددهای صحیح تبدیل شوند.

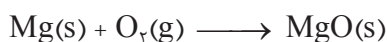
○ **مثال:** معادله واکنش سوختن فلز منیزیم در حضور اکسیژن و تولید منیزیم‌اکسید را بنویسید و موازنه کنید.  
**پاسخ:**

۱ فلز منیزیم و گاز اکسیژن واکنش دهنده و منیزیم‌اکسید محصول واکنش می‌باشد.

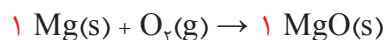
۲ نوشتن معادله واکنش شیمیایی

منیزیم‌اکسید  $\longrightarrow$  گاز اکسیژن + فلز منیزیم

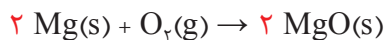
۳ معادله واکنش با فرمول‌های شیمیایی مواد و حالت فیزیکی آنها



۴ موازنه واکنش:



موازنه از منیزیم آغاز می‌شود یک مول<sup>۱</sup> منیزیم در سمت چپ معادله یک مول منیزیم‌اکسید در سمت راست می‌دهد. در این حال تعداد اتم‌های اکسیژن در دو طرف یکسان نیست. برای موازنه اتم‌های اکسیژن ضریب ۱ پیش از MgO را دو برابر کنید، سپس ضریب Mg در سمت چپ نیز دو برابر باید باشد تا موازنه کامل شود.



○ **مثال:** از سوختن گاز طبیعی متان با اکسیژن، کربن‌دیوکسید و آب تولید می‌شود. معادله واکنش سوختن متان را بنویسید و موازنه کنید.

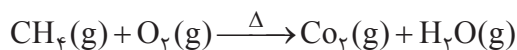
**پاسخ:**

۱ گازهای متان و اکسیژن واکنش دهنده، کربن‌دیوکسید و آب محصول‌های واکنش می‌باشند.

۲ نوشتن معادله واکنش شیمیایی:

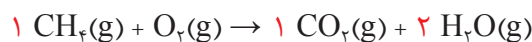
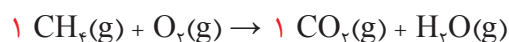
آب + کربن‌دیوکسید  $\xrightarrow{\text{حرارت}}$  گاز اکسیژن + گاز متان

۳ نوشتن معادله واکنش با فرمول‌های شیمیایی و حالت فیزیکی مواد:

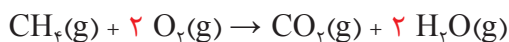


**توجه:** علامت  $\Delta$  نماد حرارت می‌باشد.

۴ موازنه واکنش: موازنه با اتم کربن آغاز می‌شود، سپس تعداد اتم‌های هیدروژن موازنه می‌شوند.



تعداد اتم‌های اکسیژن سمت راست چهار ولی در سمت چپ معادله دو است، بنابراین با گذاشتن ضریب ۲ پیش از اکسیژن در سمت چپ موازنه کامل می‌شود.







واکنش‌های زیر را موازنه کنید:

الف) گاز هیدروژن و گاز کلر واکنش می‌دهند و گاز هیدروژن کلرید را تولید می‌کنند.

ب) سدیم فلزی با آب واکنش می‌دهند، سدیم هیدروکسید و آب تولید می‌کنند.

پ) هرگاه مس (II) سولفات را حرارت دهید، مس (II) اکسید و گاز کربن دی‌اکسید تولید می‌شود.

ت) از واکنش محلول نیتрат با محلول سولفوریک اسید، نقره سولفات و نیتریک اسید تولید می‌شود.

ث) کلسیم کربنات به کلسیم اکسید و کربن دی‌اکسید تجزیه می‌شود.



واکنش‌های داده شده را موازنه کنید:

الف)  $\text{Cu(s)} + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CuCl}_2(\text{s})$

ب)  $\text{CS}_2(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g})$

پ)  $\text{Fe(s)} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{FeSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$

ت)  $\text{Fe(s)} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$

ث)  $\text{Na(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Na}_2\text{O(s)}$

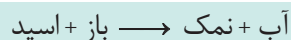
ج)  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g})$

## انواع واکنش‌های شیمیایی

واکنش‌های شیمیایی بین مواد را می‌توان در دو گروه کلی دسته‌بندی کرد. این گروه‌ها عبارت‌اند از واکنش‌های اسید و باز و اکسایش و کاهش

### واکنش‌های اسید-باز

واکنش‌های اسید-باز (خنثی‌سازی) زمانی رخ می‌دهد که یک اسید و یک باز واکنش می‌دهند، آب و نمک را تولید می‌کنند.



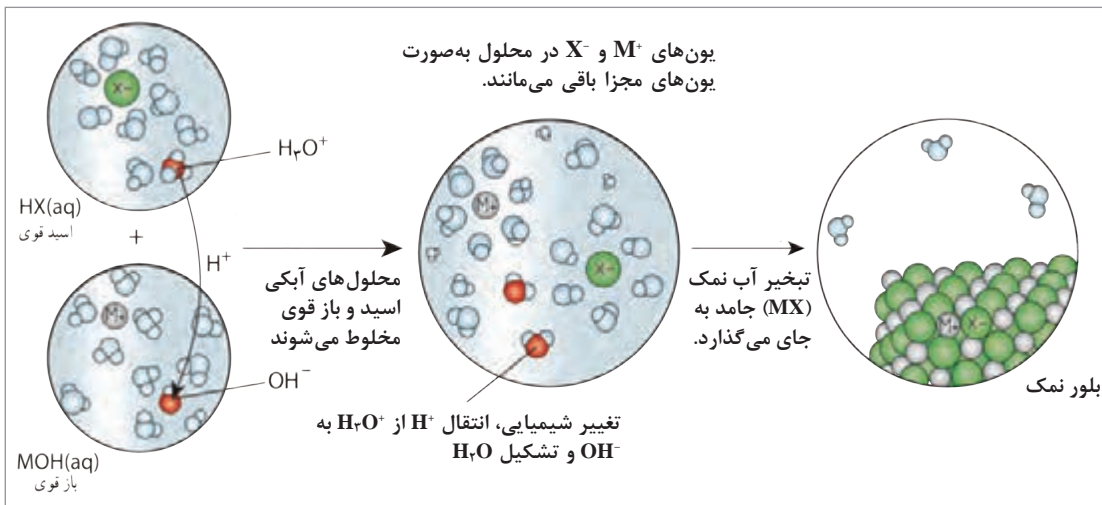
این واکنش‌ها در فرایندهای بسیار متنوع نظیر سنتز بیوشیمیایی پروتئین‌ها، تولید صنعتی کودها و بعضی از روش‌های مربوط به احیای دریاچه آسیب دیده با باران‌های اسیدی، صورت می‌گیرد.

تعریف‌های متعددی برای مفهوم اسید-باز وجود دارد براساس یکی از متداول‌ترین تعریف‌ها، اسید ماده‌ای است که وقتی در آب حل شود یون  $\text{H}^+$  ایجاد کند:



باز ماده‌ای است که وقتی در آب حل شود یون  $\text{OH}^-$  ایجاد کند:





شکل (۲۳-۳) یک واکنش اسید و باز

باید توجه داشت که این تعریف‌ها وقتی به کار می‌روند که در مورد یک اسید، یک اتم هیدروژن به یک اتم الکترون‌گاتیو متصل باشد تا بتواند به صورت  $H^+$  آزاد شود و در مورد باز هم وقتی این تعریف به کار می‌رود که گروه  $OH^-$  به یک اتم یا گروهی از اتم‌ها با حداقل خاصیت الکترون‌گاتیوی متصل باشد.

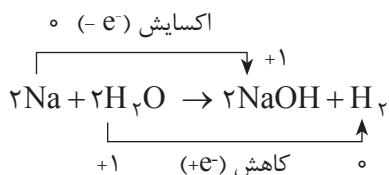
چه تعریف‌های دیگری برای اسید و باز وجود دارد. در مورد اختلاف این تعریف‌ها با یکدیگر و موارد کاربرد آنها بحث کنید.

تحقیق کنید



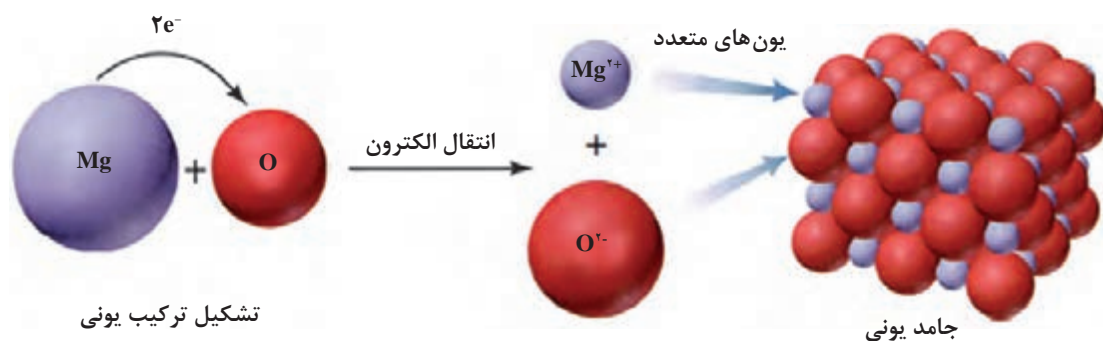
### واکنش‌های اکسایش ۱ - کاهش ۲

در واکنش‌های اکسایش و کاهش، انجام واکنش بین دو جزء با مبادله الکترون همراه است. این واکنش‌ها شامل تشکیل یک ترکیب از عناصرش (و برعکس) می‌باشد. برای مثال واکنش فلز سدیم و آب از نوع واکنش‌های اکسایش - کاهش است.



بسیاری از تغییرات شیمیایی مهم شامل واکنش‌های اکسایش و کاهش هستند. همه واکنش‌های سوختی، واکنش فلز با آب، حل شدن فلز در محلول‌های اسیدی، خوردگی فلزها، واکنش‌های انجام‌یافته در باتری‌ها و بسیاری از فرایندهای حیاتی، نمونه‌هایی از واکنش‌های اکسایش و کاهش می‌باشند.

برای مثال واکنش سوختن منیزیم را در نظر بگیرید شکل (۳-۲۴). فلز منیزیم با اکسیژن واکنش می‌دهد در این واکنش اتم منیزیم ۲ الکترون به اتم اکسیژن می‌دهد و در نتیجه، اتم منیزیم به یون مثبت و اتم اکسیژن به یون منفی تبدیل می‌شود. نیروی جاذبه قوی بین یون‌های مثبت و منفی موجب می‌شود که این یون‌ها در کنار هم قرار گرفته و منیزیم اکسید جامد را به وجود آورند. واکنش‌های ترکیب فلزها با نافلزها که منجر به تشکیل نمک‌ها می‌شود، مثال‌هایی از واکنش اکسایش و کاهش می‌باشند.



شکل (۳-۲۴) نمایش واکنش بین منیزیم و اکسیژن

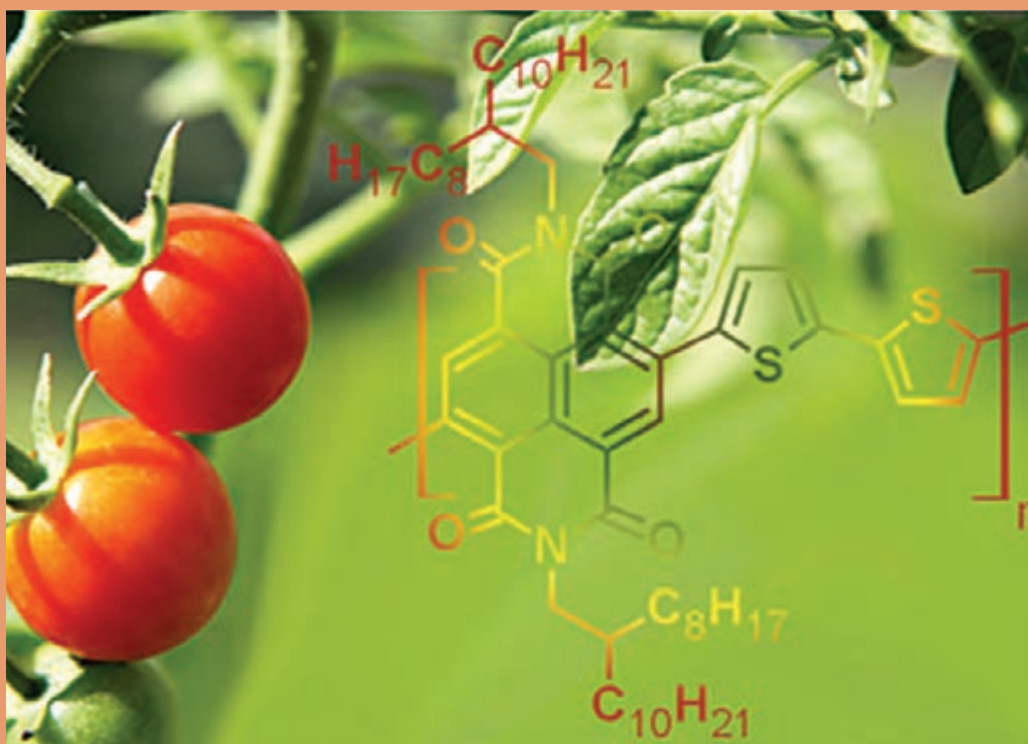
### جدول ارزشیابی پودمان ساختار مولکول

| نمره | شاخص تحقق  | نتایج مورد انتظار     | استاندارد عملکرد (کیفیت)  | تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)  | عنوان پودمان                        |
|------|--|-----------------------|---|---|-------------------------------------|
| ۳    | تعیین پیوندهای شیمیایی (یونی - کووالانسی - فلزی) روند ساختار لوئیس - تعیین نیروهای بین مولکولی - فرمول نویسی و نام گذاری | بالاتر از حد انتظار   | بررسی پیوندهای شیمیایی (یونی - کووالانسی) فرمول نویسی، نام گذاری ترکیبات معدنی (اسیدی و بازی نمک‌ها) مولکول‌های قطبی و ناقطبی نمایش مولکول‌ها به روش لوئیس نیروهای واندروالس، لاندن، پیوند هیدروژنی |   | پودمان ۳: مفاهیم پایه ساختار مولکول |
| ۲    | بررسی پیوندهای شیمیایی (یونی - کووالانسی) تعیین نیروهای بین مولکولی - فرمول نویسی و نامگذاری                             | در حد انتظار          |   | ۱- تحلیل پیوندهای شیمیایی<br>۲- فرمول نویسی و نام گذاری<br>۳- تعیین نیروهای بین مولکولی |                                     |
| ۱    | فرمول نویسی و نام گذاری - تعیین پیوندهای شیمیایی   | پایین تر از حد انتظار |   |   |                                     |
|      |  |                       |   | نمره مستمر از ۵   |                                     |
|      |  |                       |   | نمره شایستگی پودمان   |                                     |
|      |  |                       |   | نمره پودمان از ۲۰   |                                     |



## پودمان ۴

### شیمی ترکیبات آلی



شیمی آلی برای همهٔ قلمروهای زندگی ما اهمیت حیاتی دارد. لباس‌هایی که می‌پوشیم، انواع مواد غذایی و دارویی که مصرف می‌کنیم، رنگ‌ها، پاک‌کننده‌ها و بسیاری مواد بهداشتی معجزه‌گر، اسباب‌بازی‌ها و ظروف پلاستیکی، نوشابه‌ها، مواد دفع آفات همه از مواد آلی ساخته می‌شوند. تقریباً همه فعالیت‌های حیاتی در زندگی انسان و سایر مخلوقات، بر واکنش‌های ترکیب‌های آلی استوار است. هرگاه از این ترکیب‌ها و واکنش‌های آنها بر خوردار نبودیم، کرهٔ زمین نیز همچون کرهٔ ماه، سرزمینی فاقد حیات بود.

## ۱-۴- فراوانی ترکیب‌های آلی

شیمی آلی، شیمی ترکیب‌های کربن است. اتم کربن در میان بیش از یک صد عنصر جدول تناوبی ویژگی‌های بی‌نظیری از نظر گوناگونی و پیچیدگی ترکیب‌های خود دارد.

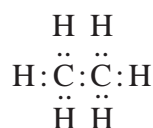
چرا عنصر کربن همچون سایر عنصرهای جدول تناوبی نیست؟ چرا این عنصر قادر به ایجاد انبوه مواد آلی با آن همه تفاوت در خواص است؟ پاسخ به این پرسش‌ها را می‌توان با مطالعه ساختار اتمی کربن که دارای ۴ الکترون ظرفیت است، همچنین کوچک بودن اندازه اتم و داشتن الکترونگاتیوی در حد میانه، توجیه کرد. این ویژگی‌ها موجب پیدایش دو خاصیت عمومی زیر است:

### امکان تشکیل پیوندهای محکم کربن - کربن

هر یک از الکترون‌های لایه ظرفیت کربن می‌توانند با عنصرهای دیگر از راه به اشتراک گذاشتن الکترون و تشکیل پیوند کووالانسی، لایه الکترونی خود را کامل کنند. هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن از جمله عنصرهایی هستند که قادرند، با کربن پیوند تشکیل دهند. یک اتم کربن می‌تواند در ترکیبات به تنهایی حداکثر چهار زوج الکترون به همراه داشته باشد. این اتم در ترکیب با ۴ اتم هیدروژن که هر یک از آنها یک الکترون دارند، می‌تواند ساده‌ترین و کوچک‌ترین مولکول آلی شامل یک کربن را به صورت متان ( $\text{CH}_4$ ) پدید آورد.



لیکن بارزترین ویژگی که اتم کربن را از بسیاری عنصرها متمایز می‌سازد، قابلیت به اشتراک گذاشتن الکترون با سایر اتم‌های کربن و ایجاد پیوندهای کووالانسی محکم کربن - کربن است. برای مثال، به ساختار دومین مولکول آلی از نظر سادگی، معروف به اتان ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) توجه کنید:



پدیده تشکیل پیوند ساده و محکم C - C، ممکن است ادامه یابد و مولکول‌هایی با زنجیرهای بلند پدید آورد که نمونه‌های آن‌را در خانواده بزرگی از ترکیب‌های آلی به نام آلکان مطالعه خواهید کرد. در عین حال، دو اتم کربن می‌توانند دو جفت الکترون به اشتراک بگذارند و پیوند کووالانسی دوگانه ( $\text{C}=\text{C}$ ) پدید آورند که در این حالت خانواده دیگری از ترکیب‌های آلی به نام «آلکن» تشکیل می‌شود.

همچنین دو اتم کربن، می‌توانند سه جفت الکترون به اشتراک گذاشته و پیوند کووالانسی سه گانه ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ) به وجود آورند که در این صورت خانواده آلکین‌ها را خواهیم داشت.



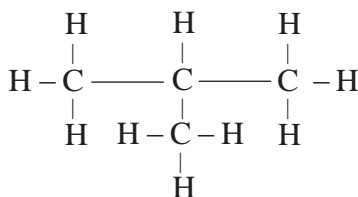
### امکان پیدایش ایزومرها

یک فرمول در شیمی معدنی، معمولاً نشان‌دهنده یک ماده با ویژگی‌های خاص آن است. مثلاً فرمول  $\text{H}_2\text{SO}_4$  فقط نماینده یک ماده به نام سولفوریک اسید است. در صورتی که یک فرمول مولکولی در شیمی آلی، معمولاً نشان‌دهنده یک یا چندین ترکیب با خواص مختلف است. برای مثال، آزمایش نشان می‌دهد که دو نوع ماده با فرمول مولکولی  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  وجود دارد که از نظر برخی خواص با یکدیگر تفاوت دارند. جدول (۱-۴)، برخی ویژگی‌های فیزیکی این دو ماده را نشان می‌دهد.

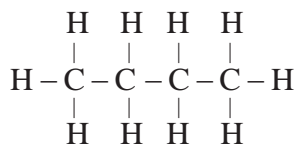
جدول (۴-۱) برخی خواص فیزیکی دو ماده با فرمول مولکولی  $C_4H_{10}$

| ماده شماره ۲<br>(فرمولی مولکولی $C_4H_{10}$ ) | ماده شماره ۱<br>(فرمولی مولکولی $C_4H_{10}$ ) | خاصیت فیزیکی                          |
|---|---|---------------------------------------|
| $-159^{\circ}C$                               | $-128^{\circ}C$                               | دمای ذوب                              |
| $-12^{\circ}C$                                | $-0/5^{\circ}C$                               | دمای جوش                              |
| $0/557^{\circ} g/cm^3$                        | $0/599^{\circ} g/cm^3$                        | چگالی مایع (در $20^{\circ}C$ )        |
| $1320 mL$                                     | $1813 mL$                                     | میزان حل شدن در $1000 mL$ الکل معمولی |

چگونه می‌توان این واقعیت‌ها را توجیه کرد؟ با توجه به تأثیر ساختار یک ماده بر خواص آن، آیا می‌توان چنین فرض کرد که این دو ماده ساختار متفاوت دارند؟ هرگاه درصد باشیم که آرایش‌های ممکن را برای مولکول  $C_4H_{10}$  به صورت گسترده روی کاغذ بیاوریم، مشاهده خواهیم کرد که ضمن رعایت ۴ ظرفیتی بودن کربن و یک ظرفیتی بودن هیدروژن، دو امکان وجود دارد:



طرح ساختاری ب

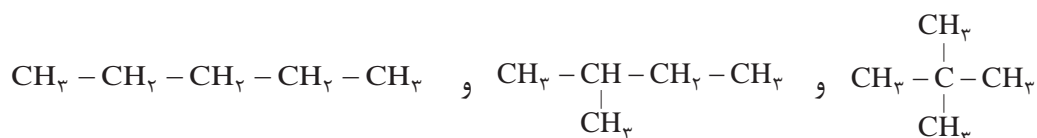


طرح ساختاری الف

با کم کردن یک اتم کربن از زنجیره بدون شاخه طرح «الف»، و تشکیل شاخه جانبی، طرح «ب» به وجود می‌آید. تحقیق تجربی، صحت وجود این دو طرح ساختاری را تأیید کرده و نشان می‌دهد که طرح ساختاری «الف» با فرمول ساختاری ماده شماره ۱ و طرح ساختاری «ب» با فرمول ساختاری ماده شماره ۲، در جدول مطابقت دارد. موادی که دارای فرمول مولکولی یکسان هستند، ولی دارای فرمول‌های ساختاری و خواص متفاوت می‌باشند، ایزومر یا همپار نامیده می‌شوند.

ترکیبات آلکان سه کربنه (پروپان)، ایزومر ندارد. ترکیبات آلکان چهار کربنه (بوتان)، ۲ ایزومر و ترکیبات آلکان پنج کربنه (پنتان)، ۳ ایزومر ساختاری دارد. هرچه بر تعداد اتم‌های کربن در مولکول، افزوده شود، تعداد ایزومرها بیشتر می‌شود.

ایزومرهای پنتان را می‌توان چنین رسم کرد:





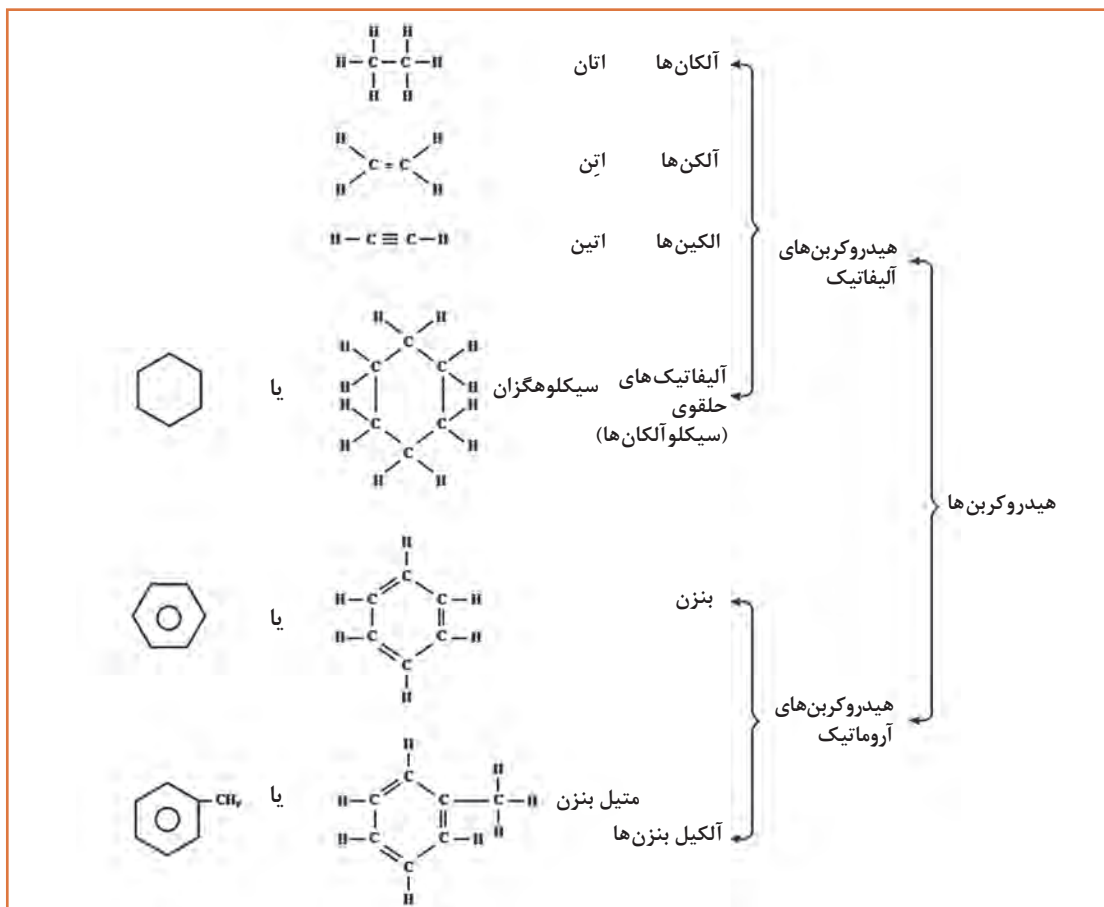
- ۱ چرا تعداد ترکیب‌های آلی به میلیون‌ها می‌رسد، در صورتی که تعداد عنصرهای تشکیل‌دهنده این مواد بسیار محدود است؟
- ۲ نام سه ماده آلی مهم موجود در محیط زندگی را که در طبیعت وجود دارند، و سه ماده دیگر را که به‌طور مصنوعی تهیه می‌شوند، نام ببرید.

## ۲-۴- طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

هیدروکربن‌ها گروه بزرگی از مواد آلی هستند که فقط شامل هیدروژن (هیدرو) و کربن می‌باشند. ملاک علمی طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها، براساس نوع پیوندهای کربن - کربن و شکل ساختاری مولکول‌های آنهاست. به‌طور کلی هیدروکربن‌ها به دو دسته بزرگ هیدروکربن‌های آلیفاتیک و هیدروکربن‌های آروماتیک تقسیم‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی کلی هیدروکربن‌ها، به‌صورت نمودار در شکل (۴-۱) ارائه شده است. (این نمودار صرفاً به‌منظور آشنایی هنرجویان است و نیاز به حفظ کردن آن نمی‌باشد).



با توجه به شکل (۴-۱) در مخلوط نفت خام کدام یک از هیدروکربن‌های نام‌برده وجود دارند؟



شکل (۴-۱) طبقه‌بندی کلی هیدروکربن‌ها



### ۳-۴- آلکان‌ها

آلکان‌ها، هیدروکربن‌هایی هستند که به صورت گاز، مایع و جامد در نفت خام وجود دارند. آلکان‌ها ترکیب‌هایی از هیدروژن و کربن هستند که هر اتم کربن در آنها به وسیله چهار پیوند کووالانسی ساده، و از طریق چهار جفت الکترون با چهار اتم دیگر پیوند دارند. از این رو به آلکان‌ها هیدروکربن‌های سیر شده اطلاق می‌شود. به مثال‌های زیر که مربوط به چهار آلکان اولیه است، توجه کنید:

| نام    | فرمول مولکولی <sup>۱</sup>     | فرمول ساختاری (پیوندها به صورت جفت الکترون مشترک)  | فرمول ساختاری <sup>۲</sup> (پیوندها به صورت خط فاصله)  |
|--------|--------------------------------|--|--|
| متان   | CH <sub>4</sub>                | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} : \ddot{\text{C}} : \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$  |
| اتان   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   |
| پروپان | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$   | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$  |
| بوتان  | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \ddot{\text{C}} : \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ |

در گاز طبیعی کدام یک از هیدروکربن‌های جدول بالا وجود دارد؟

تحقیق



۱- فرمول مولکولی: نشان‌دهنده نوع عنصرها و تعداد اتم‌های هر عنصر در یک مولکول است.  
 ۲- فرمول ساختاری: نشان‌دهنده نوع عنصرها و تعداد اتم‌های هر عنصر در یک مولکول است و هم نشان‌دهنده موقعیت اتم‌ها یا گروه‌های چند اتمی نسبت به یکدیگر در مولکول می‌باشد.

بررسی ساختار این هیدروکربن‌ها، ما را به چند ویژگی مهم می‌رساند:

۱ هر اتم کربن به وسیله چهار پیوند کووالانسی ساده با چهار اتم مجاور پیوند یافته است. چون هر چهار ظرفیت اتم کربن به وسیله چهار اتم دیگر اشغال شده، بنابراین، جایی برای ترکیب اضافی با اتم دیگر وجود ندارد. به همین دلیل، این هیدروکربن‌ها سیر شده یا اشباع شده<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند، و بنابر قرارداد، نام آلکان<sup>۲</sup> به آنها اطلاق می‌شود.

۲ تفاوت هر عضو از این مجموعه، با عضو قبلی یا بعدی در یک « $\text{CH}_2$ » است. این نوع ترکیب‌ها را که تفاوت آنها در یک یا چند « $\text{CH}_2$ » است، سری هم‌رده<sup>۳</sup> (هم‌رده) می‌نامند. چهار هیدروکربن متان، اتان، پروپان و بوتان هم‌رده یکدیگر هستند. هم‌رده‌ها (هم‌رده‌ها) در هر خانواده‌ای از ترکیب‌های آلی وجود دارند، و در هر مورد، هر عضوی با عضو بعدی یا قبلی خود، در یک  $\text{CH}_2$  اختلاف دارد.

۳ از آنجا که در این ترکیب‌ها، هر ترکیب با ترکیب قبلی و بعدی خود در یک گروه « $\text{CH}_2$ » تفاوت دارد، یعنی به ازای هر اتم کربن، دو اتم هیدروژن به هیدروکربن قبلی اضافه می‌شود، پس اگر تعداد اتم‌های کربن  $n$  باشد، تعداد هیدروژن‌ها  $2n$  خواهد بود. از طرفی چون متان که نخستین عضو این خانواده است، خود دو اتم هیدروژن بیشتر از  $\text{CH}_2$  دارد، پس می‌توان فرمول کلی هیدروکربن‌های این خانواده را  $(\text{CH}_2)_n + 2\text{H}$  نوشت. این فرمول را به سادگی به صورت  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  می‌نویسند. یعنی در این هیدروکربن‌ها، تعداد اتم‌های هیدروژن در هر مولکول، ۲ اتم بیشتر از ۲ برابر تعداد اتم‌های کربن است. با این ترتیب، در خانواده آلکان‌ها بعد از بوتان، ترکیبی به فرمول  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  خواهیم داشت ( $n=5$  است، پس  $H=2 \times 5 + 2 = 12$  خواهد بود) این هیدروکربن، پنتان نام دارد.

تمرین



۱ فرمول مولکولی آلکانی را که ۶ اتم کربن دارد، بنویسید و یک فرمول الکترون نقطه‌ای و همچنین فرمول ساختاری برای آن رسم کنید.

۲ فرمول مولکولی آلکان‌ها را از  $\text{C}_1$  تا  $\text{C}_7$  بنویسید.

یادآوری



برای صرفه‌جویی در کاغذ، همچنین آسان کردن فرمول‌نویسی، به جای فرمول ساختاری گسترده می‌توان فرمول این مواد را «به صورت متراکم» نوشت:

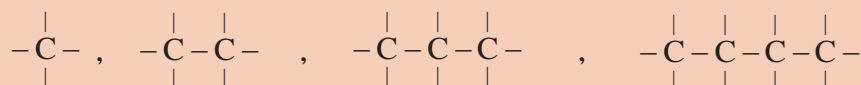


متان

اتان

پروپان

بوتان



## ۴-۴ نام‌گذاری آلکان‌ها

برای نام‌گذاری ترکیبات آلی قواعد کلی نام‌گذاری آلکان‌ها ارائه شده است، سپس این قواعد به سایر ترکیب‌های آلی تعمیم داده می‌شود. نام هر ترکیب آلی از سه بخش تشکیل شده است:

پیشوند + ریشه + پسوند

**ریشه:** ریشه تعداد اتم‌های کربن بلندترین زنجیر پیوسته در مولکول را مشخص می‌کند و بر مبنای اعداد یونانی بیان می‌شود. در جدول (۴-۲) ریشه ده الکان اولیه نشان داده شده است.

**جدول (۴-۲) نام و فرمول‌های ده الکان اولیه (ریشه)**

| نام آلکان | فرمول مولکولی                | فرمول ساختاری متراکم                          |
|-----------|------------------------------|---|
| متان      | $\text{CH}_4$                | $\text{CH}_4$                                 |
| اتان      | $\text{C}_2\text{H}_6$       | $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$                   |
| پروپان    | $\text{C}_3\text{H}_8$       | $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$     |
| بوتان     | $\text{C}_4\text{H}_{10}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}_3$ |
| پنتان     | $\text{C}_5\text{H}_{12}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{CH}_3$ |
| هگزان     | $\text{C}_6\text{H}_{14}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH}_3$ |
| هپتان     | $\text{C}_7\text{H}_{16}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_5 - \text{CH}_3$ |
| اکتان     | $\text{C}_8\text{H}_{18}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_6 - \text{CH}_3$ |
| نونان     | $\text{C}_9\text{H}_{20}$    | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_3$ |
| دکان      | $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ | $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_8 - \text{CH}_3$ |

**پسوند:** پسوند نوع ترکیب آلی مولکول را مشخص می‌سازد، یعنی گروه عاملی که مولکول دارد را تعیین می‌کند. پسوند بعد از ریشه می‌آید.

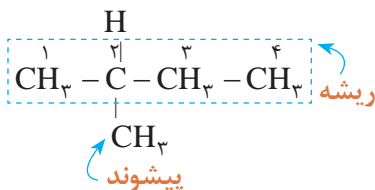
**پیشوند:** هر پیشوند یک گروه متصل به زنجیر اصلی و شماره کربنی را که به آن وصل شده است، مشخص می‌کند. پیشوندهایی که شاخه‌های هیدروکربنی را مشخص می‌سازند، با ریشه‌ها نام یکسانی داشته و در انتها «یل، yl» دارند (جدول ۴-۳). مانند متیل، اتیل، پروپیل.

جدول (۳-۴) نام ۸ آلکیل (پیشوندها)

| ریشه | تعداد اتم‌های کربن | نام آلکیل |
|------|--------------------|-----------|
| meth | ۱                  | متیل      |
| eth  | ۲                  | اتیل      |
| prop | ۳                  | پروپیل    |
| but  | ۴                  | بوتیل     |
| pent | ۵                  | پنتیل     |
| hex  | ۶                  | هگزیل     |
| hept | ۷                  | هپتیل     |
| oct  | ۸                  | اکتیل     |

روش نام‌گذاری ترکیب‌های آلی

- بلندترین زنجیر را نام‌گذاری کنید (ریشه).
- نوع ترکیب را مشخص کنید (پسوند).
- اگر ترکیب چند شاخه داشت، همه شاخه‌ها را نام‌گذاری کنید (پیشوند).
- برای خواندن از شیوه «پیشوند + ریشه + پسوند» استفاده کنید.
- اگر پیشوند (شاخه‌ها) بیش از یک مورد باشد از یک سر مولکول شماره‌گذاری کنید و به هر شاخه شماره‌ای اختصاص بدهید. توجه داشته باشید شماره‌گذاری را طوری انجام دهید که مجموع شماره‌های شاخه‌ها کوچک‌ترین حالت را داشته باشد.



- در خواندن نام پیشوندها از قانون الفبایی انگلیسی تبعیت کنید.

○ مثال: ترکیب روبه‌رو را نام‌گذاری کنید:

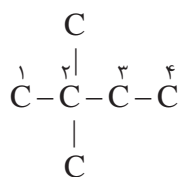
پاسخ:

- ریشه: بلندترین زنجیر دارای ۴ کربن است، بنابراین «بوت» نام دارد.
- پسوند: ترکیب یک آلکان است بنابراین پسوند ترکیب «آن» (ane) خواهد بود.
- پیشوند: یک شاخه با یک کربن دارد، بنابراین «متیل» نام خواهد داشت.
- شماره‌گذاری از جهتی انجام شود که به پیشوند (شاخه) شماره کوچک‌تری تعلق گیرد. بنابراین نام ترکیب به صورت زیر تعیین می‌شود:

«شماره و نام پیشوند + ریشه + پسوند»

متیل (پیشوند) + «بوت» ریشه + «آن (ane)» پسوند به عبارت دیگر نام ترکیب «۲-متیل بوتان» خواهد بود.

نکته

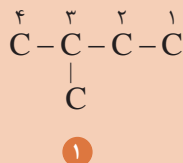
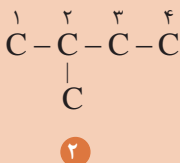


اگر دو یا تعداد بیشتری پیشوند مشابه در یک ترکیب باشد، برای خواندن نام ترکیب ابتدا شماره پیشوندها سپس تعداد آنها با اعداد یونانی (دی، تری و...) بیان می‌شود. مانند ۲،۲ - دی متیل بوتان

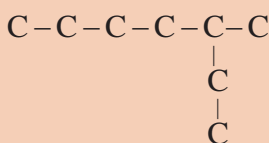
پرسش



۱ کدام شماره گذاری برای زنجیره جانبی ترکیبات زیر صحیح می‌باشد؟

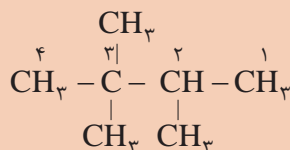
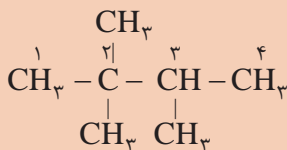


۲ کدام نام برای ترکیب زیر صحیح است؟



الف) ۲- اتیل، هگزان یا ب) ۳- متیل، هپتان

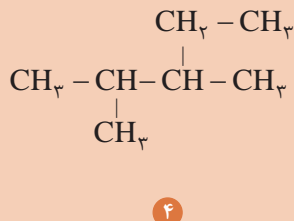
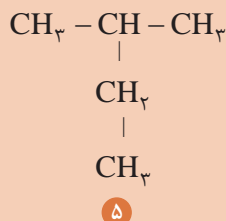
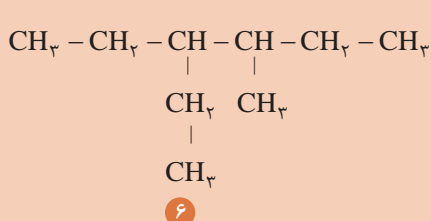
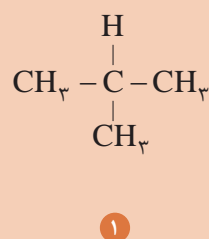
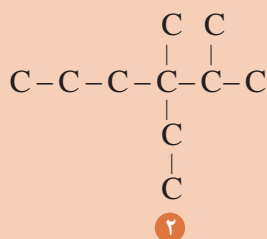
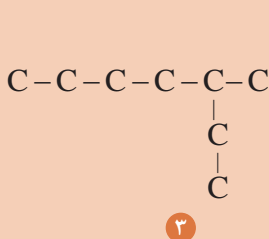
۳ کدام نام گذاری صحیح است؟



ب) ۲، ۲، ۳- تری متیل بوتان

الف) ۲، ۳، ۳- تری متیل بوتان

۴ نام ترکیب‌های داده شده را بنویسید.



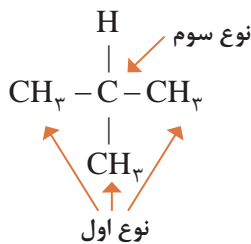
## ۴-۵- انواع اتم کربن

در شیمی آلی، با چهار واژه کربن نوع اول، کربن نوع دوم، کربن نوع سوم و کربن نوع چهارم مواجه می‌شویم که در ادامه تعریف آنها ارائه می‌شود:

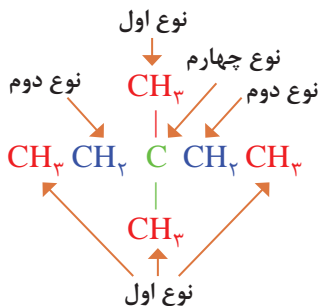
**کربن نوع اول:** هرگاه اتم کربن در یک مولکول، فقط با یک اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن را کربن نوع اول می‌نامند. برای مثال، در مولکول اتان  $C-C$ ، دو اتم کربن نوع اول وجود دارد، زیرا هر کربن به یک اتم کربن دیگر متصل است. (ضمناً اتم کربن در متان نیز استثناً نوع اول به‌شمار می‌رود).

**کربن نوع دوم:** هرگاه اتم کربن در یک مولکول، با دو اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن را اتم کربن نوع دوم می‌نامند. برای مثال در مولکول پروپان  $(-C-C-C-)$ ، اتم‌های کربن ۱ و ۳ از نوع اول و اتم کربن شماره ۲ از نوع دوم است.

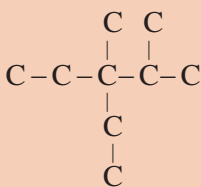
نوع اول      نوع دوم      نوع اول



**کربن نوع سوم:** هرگاه اتم کربن در یک مولکول، با سه اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن را کربن نوع سوم می‌نامند. برای مثال در مولکول ۲-متیل پروپان ۳ اتم کربن نوع اول و یک اتم کربن نوع سوم وجود دارد.



**کربن نوع چهارم:** هرگاه اتم کربن در یک مولکول، با چهار اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن را کربن نوع چهارم می‌نامند. برای مثال، در مولکول ۳، ۳-دی‌متیل پنتان، چهار اتم کربن نوع اول، دو اتم نوع دوم و یک اتم نوع چهارم وجود دارد.



نام ترکیب و نوع اتم‌های کربن را در مولکول زیر مشخص کنید.

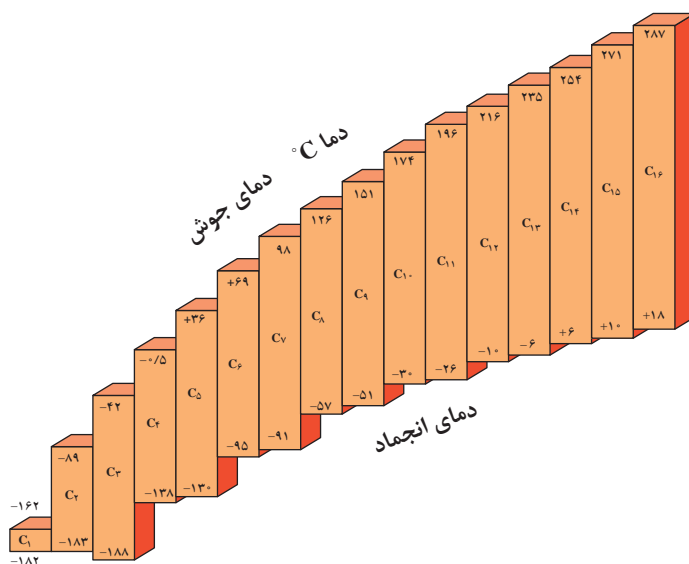
تمرین



## ۴-۶- خواص فیزیکی آلکان‌ها

### دمای جوش و ذوب آلکان‌ها

آلکان‌ها، تغییر تدریجی نسبتاً منظمی در خواص فیزیکی از خود نشان می‌دهند. در دمای اتاق، همرده‌های سبک‌تر به صورت گاز یا مایع بی‌رنگ هستند، در صورتی که همرده‌های سنگین‌تر جامدند. شکل (۴-۲) نمودار دماهای جوش و ذوب ۱۶ آلکان نرمال اولیه را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۲) نمودار دمای ذوب و جوش ۱۶ آلکان نرمال اولیه

با توجه به نمودار داده شده به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱ گاز بوتان که بخش اصلی گاز مایع را تشکیل می‌دهد، در فشار یک جو، در چه دمایی ممکن است مایع شود؟ چنانچه آن را در کپسول گاز تحت فشار وارد کنند، آیا زودتر مایع می‌شود یا دیرتر؟ چرا؟
- ۲ بخش اعظم گاز طبیعی که در شبکه لوله‌کشی گاز شهرها و روستاهای ایران جریان دارد، متان و مقداری نیز اتان است. چرا این گاز را نیز، مانند بوتان در استوانه تحت فشار به صورت گاز مایع پخش نمی‌کنند؟
- ۳ هرگاه بدانید که بنزین، شامل مولکول‌های C<sub>۸</sub> تا C<sub>۱۰</sub> است، حدود تقریبی دمای جوش بنزین چقدر است؟ (منظور از چه دمایی تا چه دمایی؟)
- ۴ هرگاه بدانید که نفت سفید مخلوطی از مولکول‌های C<sub>۹</sub> تا C<sub>۱۶</sub> است، اولاً: حدود تقریبی دمای جوش آن چقدر است؟ ثانیاً: چرا روشن کردن نفت سفید با یک چوب کبریت، دیرتر از بنزین صورت می‌گیرد؟
- ۵ نظام کلی مشاهده شده در مورد رابطه دماهای جوش با اندازه مولکول‌های آلکان و جرم آنها چیست؟
- ۶ میانگین افزایش دمای جوش، به ازای افزایش یک اتم کربن در مولکول‌های آلکان‌های C<sub>۸</sub> تا C<sub>۱۲</sub> چقدر است؟
- ۷ با توجه به شکل (۴-۲)، آیا می‌توان پیش‌بینی کرد که نفت سفید در یک روز زمستانی بسیار سرد ایران، منجمد شود یا نه؟ هگزان چگونه؟

پرسش



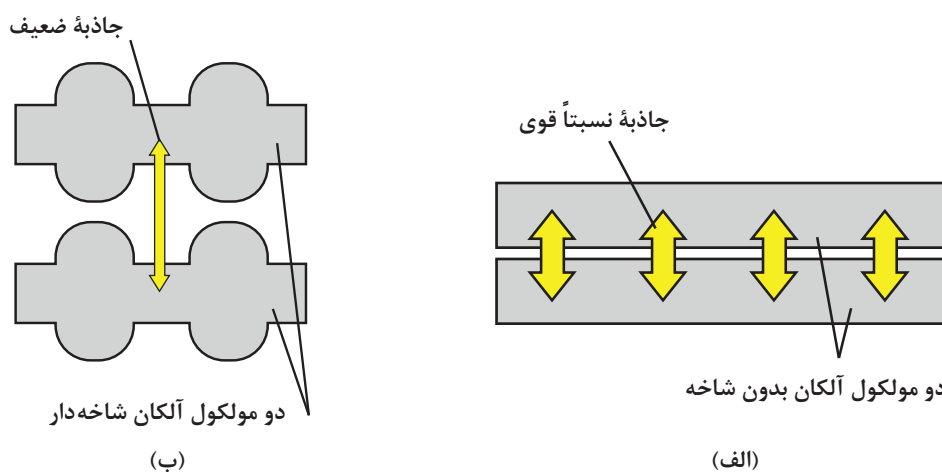


### نیروهای جاذبه و اندروالسی میان مولکول‌های آلکان‌ها

آلکان‌ها معمولاً ترکیب‌های ناقطبی هستند، بنابراین در حالت مایع و جامد، نیروهای جاذبه ضعیف و اندروالسی از نوع لاندن میان مولکول‌های آنها برقرار است. هرچه بر حجم و جرم مولکول‌ها افزوده شود، سطح تماس میان آنها بیشتر شده، میزان نیروهای جاذبه و اندروالسی افزوده می‌شود. نتیجه آنکه این مولکول‌ها نیاز به کسب انرژی گرمایی بیشتری دارند تا از حالت مایع به حالت گاز تبدیل شوند، و یا از حالت جامد به حالت مایع بروند. یک مورد کاربرد برای این نظام، آن است که هرچه مولکول آلکان مایع کوچک‌تر و سبک‌تر باشد مانند بنزین، فشار بخار و فرآریت آن بیشتر است. (بنزین خیلی زودتر از نفت سفید تبخیر می‌شود). به همین دلیل نگهداری آلکان‌های سبک در منزل و کارگاه‌ها با خطرات بیشتری همراه است. تبخیر سریع بنزین در فضای بسته، مخلوط قابل انفجاری با هوا پدید می‌آورد که فقط در انتظار یک جرقه کوچک است.

### مقایسه دمای جوش یک آلکان با دمای جوش یک ایزومر شاخه‌دار آن

در آلکان‌ها هرچه بر تعداد شاخه‌های فرعی مولکول آلکان افزوده شود، دمای جوش پایین‌تر می‌آید. شکل (۳-۴) الف الگویی برای نمایش دو مولکول آلکان نرمال مثلاً  $n$ - بوتان را نشان می‌دهد. به علت نبود شاخه، امکان تماس آنها در دو زنجیر مجاور بیشتر است. بنابراین، بر نیروهای جاذبه و اندروالسی افزوده می‌شود و دمای جوش آلکان اندکی بالا می‌رود. شکل (۳-۴) ب، الگویی برای نمایش دو آلکان شاخه‌دار است. در اینجا فاصله میان مولکول‌های مجاور بیشتر است و از نیروهای جاذبه و اندروالسی و دمای جوش کاسته می‌شود. برای اطمینان از صحت این نظام، در مورد ایزومرهای پنتان بررسی می‌شود. پیش‌بینی این است که هرچه بر تعداد شاخه‌ها افزوده شود، دمای جوش پایین‌تر می‌آید.



شکل (۳-۴) اتم‌ها در زنجیرهای بدون شاخه مجاور، خیلی به یکدیگر نزدیک هستند و در زنجیرهای شاخه‌دار، اندکی دورتر قرار دارند.

جدول (۴-۴) مقایسه دمای جوش ایزومرهای (همپارهای) پنتان

| نام فرمول            | فرمول متراکم  | فرمول ساختاری  | دمای جوش (°C) |
|----------------------|---|--|---------------|
| پنتان نرمال          | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$                         | <pre>       H H H H H                 H - C - C - C - C - C - H                       H H H H H                     </pre>   | +۳۶           |
| ۲-متیل بوتان         | $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_3$     | <pre>       H H H H               H - C - C - C - C - H                         H H   H   H                       H - C - H                               H                     </pre>                           | +۳۰           |
| ۲ و ۲-دی متیل پروپان | <pre>       CH3         CH3 - C - CH               CH3                     </pre> | <pre>       H         H - C - H                   H   H             H - C - C - C - H                       H   H   H                       H - C - H                               H                     </pre> | +۹/۵          |

دماهای جوش که به روش تجربی به دست آمده است، صحت پیش بینی ما را تأیید می کند.

### حل شدن آلکان ها در حلال ها

به طور کلی، قاعده «قطبی در قطبی و ناقطبی در ناقطبی حل می شود» کم و بیش، در آلکان ها صدق می کند. مولکول های آلکان ها، ناقطبی هستند. بنابراین در آب که یک مایع قطبی است، حل نمی شود. (نفت در آب حل نمی شود). ولی این مولکول ها در حلال های ناقطبی، کم و بیش حل می شوند (بنزین در نفت حل می شود قیر نیز در نفت حل می شود).

چرا تفکیک نفت از آب، به وسیله قیف جداکننده به آسانی انجام می گیرد؟ دو دلیل ارائه دهید.

تمرین

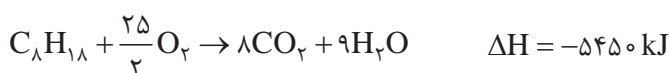


## ۴-۷- خواص شیمیایی آلکان‌ها

آلکان‌ها با اغلب واکنش‌گرها واکنشی انجام نمی‌دهند. به دلیل عدم تمایل آلکان‌ها برای شرکت در اغلب واکنش‌های شیمیایی در شرایط عادی، آنها را هیدروکربن‌های پارافینی می‌نامند. یک آلکان با سولفوریک اسید غلیظ، نیتریک اسید، سدیم هیدروکسید، پتاسیم پرمنگنات واکنش ندارد. با وجود این، آلکان‌ها کاملاً بی‌اثری نیستند و از دو ویژگی مهم قابلیت سوختن و ترکیب باهالوژن‌ها برخوردارند.

### سوختن آلکان‌ها در هوا و اکسیژن

آلکان‌ها به آسانی و به کمک شعله در هوا می‌سوزند و به شدت گرما آزاد می‌کنند. به همین دلیل، آلکان‌ها مهم‌ترین منبع سوخت و تولید انرژی هستند. واکنش سوختن اکتان نرمال به قرار زیر است:



سوختن هم‌رده‌های سبک‌تر مانند گاز مایع و یا سنگین‌تر مانند نفت سفید نیز، به همین شیوه است. سوختن ناقص متان: از سوختن ناقص متان در هوای محدود دوده تولید می‌شود.



### گرمای سوختن مولی و گرمای سوختن یک گرم از سوخت‌ها

انرژی که از سوختن یک مول ماده آزاد می‌شود، «گرمای سوختن مولی»، همچنین انرژی که از سوختن یک گرم از ماده آزاد می‌شود، گرمای سوختن یک گرم از سوخت‌ها گفته می‌شود. از آنجا که گرمای سوختن اکتان، ۵۴۵۰ کیلوژول بر مول است، می‌توان گرمای سوختن یک گرم آن را حساب کرد.

$$\text{C}_8\text{H}_{18} = 8 \times 12 + 18 = 114 \text{ گرم}$$

$$\text{گرمای سوختن یک گرم اکتان} = 5450 \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} \times \frac{1 \text{ mol اکتان}}{114 \text{ g}} = 47.8 \text{ kJg}^{-1}$$

هرگاه چگالی نوعی بنزین با این فرض که همه آن از اکتان تشکیل شده باشد، برابر ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد، گرمای سوختن یک لیتر بنزین را حساب کنید.

تمرین



جدول (۴-۵) گرمای مولی و گرمای سوختن یک گرم از چند آلکان

| فرمول مولکولی                  | گرمای سوختن یک گرم (Kj/g) | گرمای سوختن مولی (Kj/mol <sup>-1</sup> ) | هیدروکربن |
|--------------------------------|---------------------------|--|-----------|
| CH <sub>۴</sub>                | ۵۰/۶                      | ۸۱۰                                      | متان      |
| C <sub>۲</sub> H <sub>۶</sub>  | ۵۲                        | ۱۵۶۰                                     | اتان      |
| C <sub>۳</sub> H <sub>۸</sub>  | ۵۰                        | ۲۲۰۰                                     | پروپان    |
| C <sub>۴</sub> H <sub>۱۰</sub> | ۴۹/۳                      | ۲۸۵۹                                     | بوتان     |
| C <sub>۵</sub> H <sub>۱۲</sub> | ۴۸/۸                      | ۳۵۱۰                                     | پنتان     |
| C <sub>۶</sub> H <sub>۱۴</sub> | ۴۸/۲                      | ۴۱۴۱                                     | هگزان     |
| C <sub>۷</sub> H <sub>۱۶</sub> | ۴۸/۲                      | ۴۸۱۷                                     | هپتان     |
| C <sub>۸</sub> H <sub>۱۸</sub> | ۴۷/۸                      | ۵۴۵۰                                     | اکتان     |

تمرین

- ۱ در جدول (۴-۵) مقدار تقریبی گرمای سوختن یک گرم از انواع سوخت‌ها ارائه شده است، چه نظمی در آن مشاهده می‌کنید؟
- ۲ به نظر شما کدام هیدروکربن، سوخت بهتری است؟ شرایط را توضیح دهید.



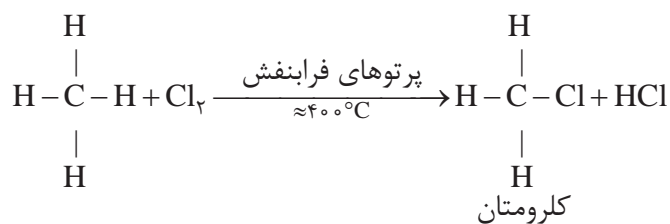
واکنش‌های جانشینی در آلکان‌ها



شکل (۴-۴) نمایش واکنش جانشینی در آلکان‌ها

در یک واکنش جانشینی، یک اتم (یا مجموعه‌ای از اتم‌ها) از مولکول اولیه جدا شده، و اتمی دیگر (یا مجموعه‌ای از اتم‌ها) جانشین آن می‌شود. اتم جدا شده در آلکان‌ها، هیدروژن است. شکل (۴-۴)، خروج یک اتم هیدروژن (سفید) و جانشین شدن آن به وسیله یک اتم کلر (سرخ) را نشان می‌دهد.

برای مثال واکنش گاز متان و کلر را در نظر می‌گیریم. در این واکنش یک اتم هیدروژن از متان جدا شده، و یک اتم کلر جانشین آن می‌شود. این واکنش در حضور پرتوهای فرابنفش و در دمای ۴۰۰°C انجام می‌شود.



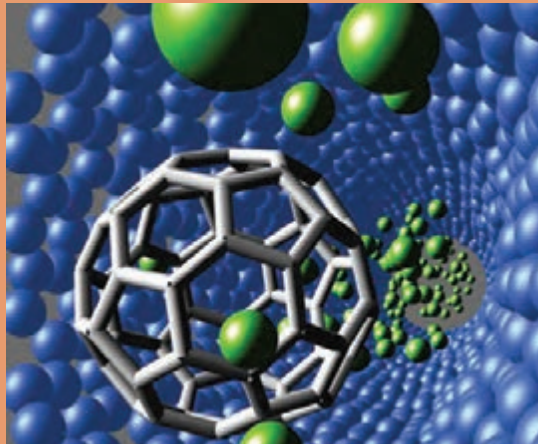
جدول ارزشیابی پودمان شیمی ترکیبات آلی

| نمره | شاخص تحقق  | نتایج مورد انتظار        | استاندارد عملکرد (کیفیت)  | تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)                                  | عنوان پودمان                     |
|------|--|--------------------------|---|---|----------------------------------|
| ۳    | طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها<br>نام‌گذاری ترکیب‌های آلی<br>و بررسی خواص آنها | بالاتر از حد<br>انتظار   | تحلیل فراوانی ترکیب‌های آلی<br>طبقه‌بندی ترکیبات آلی<br>بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی<br>آلکان‌ها<br>نام‌گذاری آلکان‌ها | ۱- دسته‌بندی ترکیب‌های آلی<br>۲- بررسی و تحلیل ساختار<br>آلکان‌ها | پودمان ۴:<br>شیمی<br>ترکیبات آلی |
| ۲    | طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها<br>نام‌گذاری آلکان‌ها و بررسی<br>خواص آنها      | در حد<br>انتظار          |   |   |                                  |
| ۱    | طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها   | پایین‌تر از<br>حد انتظار |   |   |                                  |
|      |  |                          | نمره مستمر از ۵   |   |                                  |
|      |  |                          | نمره شایستگی پودمان   |   |                                  |
|      |  |                          | نمره پودمان از ۲۰   |   |                                  |



## پودمان ۵

### فناوری و نوآوری‌ها



در نیمه دوم قرن بیستم، فناوری‌های جدیدی پدید آمد که در علم و صنعت و همچنین در زندگی انسان تأثیر بسیار گذاشت. از جمله این فناوری‌ها می‌توان فناوری نانو (نانوتکنولوژی)، فناوری زیستی (بیوتکنولوژی) و شیمی سبز را نام برد.

## ۵-۱- فناوری نانو

### تاریخچه فناوری نانو

در سال ۱۹۵۹ ریچارد فیمن، دانشمند و تئوری پرداز، با ارائه نظریاتش اولین قدم را به سمت فناوری نانو برداشت. از آن روز تاکنون، این فناوری همواره چه از جهت مفهوم و چه از جهت کاربرد در علوم و صنایع، موضوع پژوهش بسیاری از محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. نتایج کاربردی حاصل از این پژوهش‌ها، تحولات زیادی را در زمینه‌های مختلف نشان می‌دهد. خوشبختانه در سرزمین ما نیز ضرورت داشتن برنامه بلندمدت برای توسعه فناوری نانو مورد توجه مسئولان و متخصصان کشور واقع شده و «ستاد ویژه توسعه فناوری نانو» در پاییز ۱۳۸۲ با همین هدف تشکیل شده است. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو می‌کوشد تا از طریق ایجاد چشم‌انداز، ارائه تسهیلات، ایجاد بازار و رفع مشکلات، زمینه فعالیت تمام نهادها و تولید ثروت در جامعه را فراهم آورد.

[www.nano.ir](http://www.nano.ir)

● ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

[www.nanoclub.ir](http://www.nanoclub.ir)

● باشگاه دانش‌آموزی

### فناوری نانو چیست؟

در این بخش ابتدا با مفاهیم نانو، نانومتر و نانو ذرات آشنا شده؛ سپس تعریف «فناوری نانو» ارائه می‌شود.

#### جدول (۵-۱) اندازه متوسط چند نمونه

| ماده                    | اندازه (nm) |
|-------------------------|-------------|
| قطر یک تار مو           | ۵۰۰۰۰       |
| باکتری                  | ۱۰۰۰        |
| ویروس                   | ۱۰۰         |
| مولکول آسپرین           | ۱           |
| ۱۰ اتم هیدروژن در یک خط | ۱           |

نانو، نانومتر: پیشوند نانو یک کلمه یونانی است. در بحث اندازه‌گیری به معنی یک میلیاردم ( $10^{-9}$ ) است. بنابراین، یک نانومتر (۱nm)، یک میلیاردم متر ( $10^{-9}$ m) است. آیا این اندازه را می‌توانید تصور کنید؟ به جدول ۵-۱ نگاه کنید.



شکل (۵-۱) نسبت ابعاد یک نانومتر به یک توپ فوتبال مانند تناسب یک توپ فوتبال با کره زمین است.

**نانو ذرات:** نانو ذره و نانو فناوری نام‌های نسبتاً جدیدی هستند، اما مدت‌ها قبل از اینکه نامی برای آنها انتخاب شود، نانو ذرات وجود داشته و توسط بشر مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است. برای مثال بسیاری از رنگ‌های زیبای شیشه‌های رنگی پنجره‌ها، ناشی از وجود ذرات ریز اکسیدهای فلزی است. ذرات با اندازه‌های متفاوت، طول موج‌های مختلفی از نور را پراکنده می‌کنند که موجب به وجود آمدن رنگ‌های متنوع در شیشه می‌شود. ذرات کلوییدی ریز نقره جزئی از فرایند تشکیل عکس در عکاسی است. آب در دمای محیط شامل خوشه‌هایی<sup>۱</sup> از مولکول‌های آب با پیوند هیدروژنی است. معمولاً، نانو ذرات به تعدادی از اتم‌ها یا مولکول‌ها، که به هم متصل شده‌اند و شعاعی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند، اطلاق می‌شود.

**تعریف فناوری نانو و اهمیت آن:** تعریف‌های متعددی درباره فناوری نانو وجود دارد، که دو نمونه در ادامه بیان شده است:

(الف) فناوری نانو به معنای توسعه، ساخت، طراحی و استفاده از محصولاتی است که اندازه آنها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر قرار دارد.

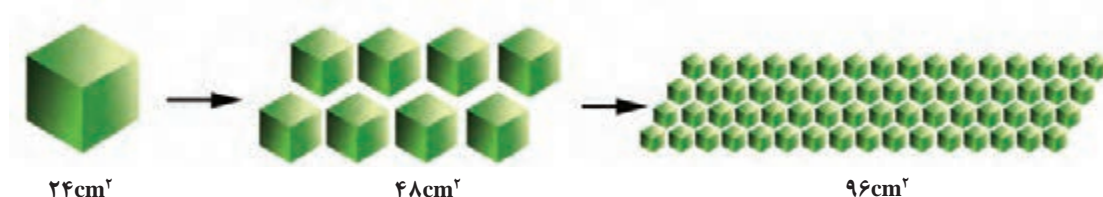
(ب) فناوری نانو به معنای قابلیت تولید مواد، ابزارها و سامانه‌های جدید با کنترل ماده در سطوح مولکولی و اتمی و بهره‌برداری از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شوند.

از این تعریف چنین برمی‌آید که فناوری نانو یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست. این فناوری می‌تواند در تمام صنایعی که بشر تاکنون به آنها دست یافته است، اثرگذار باشد. برای این فناوری کاربردهایی در زمینه‌های مختلف دارو، غذا، تشخیص پزشکی تا الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، انرژی، محیط‌زیست، مواد و هوا فضا برشمرده‌اند. از این رو، تحولات زیادی را در صنایع مختلف به وجود آورده و همچنین به وجود خواهد آورد.

تعریف فناوری نانو با توجه به ماهیت و زمینه‌های گسترده فعالیت آن، درعین سادگی بسیار دشوار است. شاید بتوان گفت هنوز تعریف جامعی، که بیان‌کننده تمام خصوصیات این پدیده باشد، ارائه نشده است.

## ۲-۵- ویژگی‌های نانو ذرات

با کاهش اندازه ذرات از میکرو به نانو، تعدادی از خواص فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی آن به دلایلی تغییر می‌کند. یکی از این تغییرات، افزایش مساحت کل سطح ذرات نسبت به حجم آنهاست. وقتی یک قطعه را چند قسمت کنید حجم کل ثابت می‌ماند یعنی حجم قطعه اولیه دقیقاً برابر با جمع حجم همه تکه‌هاست اما در طی این فرایند مجموع سطح بیرونی تکه‌ها چند برابر سطح بیرونی قطعه اولیه خواهد شد.





مکعبی به ضلع ۲ سانتی‌متر در نظر بگیرید. اگر آن را به مکعب‌هایی به ضلع ۱ سانتی‌متر تقسیم کنید ۸ مکعب کوچک‌تر به دست می‌آید:

$$S = 6 \times 2^2 = 24 \text{ سانتی‌متر مربع}$$

$$S' = 6 \times 1^2 = 6 \text{ سانتی‌متر مربع}$$

$$\text{سانتی‌متر مربع} = 48 = 8 \times 6 = \text{مساحت کل هشت قطعه کوچک‌تر}$$

مشاهده می‌کنید که با تبدیل یک مکعب به طول ۲cm به هشت مکعب به طول ۱cm مساحت کل دو برابر شده است.

پرسش

اگر ابعاد یک مکعب به طول ضلع  $n$  به مکعب‌های کوچک‌تری با ابعاد  $\frac{1}{n}$  تبدیل شود، سطح کلی آن چقدر تغییر می‌کند؟



از آنجا که بسیاری از تبادلات مهم شیمیایی و فیزیکی از طریق سطح انجام می‌گیرد، این ویژگی، واکنش‌پذیری نانو ذرات را به شدت افزایش می‌دهد. مثلاً نانو ذرات فلزی به محض قرار گرفتن در هوا به سرعت اکسید می‌شوند. علاوه بر این از دیدار در سطح خارجی ذرات مواد، عامل مهمی است و در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها یا در افزایش کارایی فناوری‌هایی همچون باتری‌ها نقش اساسی دارد.

برخی از نانو ذراتی که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارت‌اند از آهن (III) اکسید ( $Fe_2O_3$ )، سیلیسیم دی‌اکسید ( $SiO_2$ )، تیتانیوم دی‌اکسید ( $TiO_2$ )، روی (II) اکسید ( $ZnO$ ) و فلز نقره ( $Ag$ ).

نانو ذرات نقره به داشتن خصوصیت ضد میکروبی مشهور است. نانو نقره کاتالیست است و می‌تواند بر میکروب‌ها (باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها) اثر کند و آنها را از بین ببرد. در عین حال، حساسیت و آلرژی ایجاد نمی‌کند، ضد الکتریسیته ساکن است و برای انسان و محیط زیست ضرری ندارد. به همین دلیل کاربردهای گسترده‌ای در بخش پزشکی، مواد بهداشتی و آرایشی، نساجی، رنگ، کاشی، سرامیک و غیره برای آن وجود دارد.



پلیمر نایلون ۶ نانو ذرات نقره

شکل (۵-۲) برخی از موارد گسترده کاربرد نانو ذره نقره

۱- کاتالیزگر ماده‌ای است که اگر به مخلوط واکنشی اضافه شود، سرعت واکنش را بدون آنکه خود دستخوش تغییر شیمیایی شود، تغییر می‌دهد.

## نانو ساختارهای کربن

در بخش‌های قبلی با نقش مهم پیوندهای کربن-کربن در مولکول‌های آلی و ماهیت منحصر به فرد خود پیوند کربن، آشنا شدید. در واقع ماهیت متنوع این پیوند است که به کربن امکان می‌دهد نانو ساختارهایی به نام فولرن<sup>۱</sup>‌ها و نانو لوله کربنی<sup>۲</sup> داشته باشد.



**فولرن  $C_{60}$ :** در این مولکول ۶۰ اتم کربن در ساختاری شبیه توپ فوتبال گرد هم آمده‌اند. قطر آن کمتر از یک نانومتر است و کاربردهای فراوانی به‌ویژه در مصارف پزشکی، ابررساناها و به عنوان بخشی از سلول‌های تبدیل نور خورشید به الکتریسیته دارد.

شکل (۵-۳) فولرن ( $C_{60}$ ) ساختاری شبیه توپ فوتبال دارد

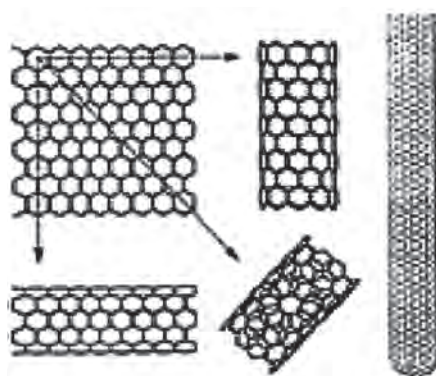
**نانو لوله‌های کربنی و خواص آنها:** ساختار نانو لوله کربنی مانند یک صفحه گرافیت است که به شکل یک لوله درآمده و دو طرف آن توسط پیوندهای موجود در انتهای صفحه بسته شده است (در واقع، نانو لوله‌های کربنی از صفحات گرافیت پیچیده شده ساخته نشده‌اند اما این روشی است که برای توصیف ساختارهای مختلف آن به کار می‌رود).

فعالیت



نانو لوله کاغذی بسازید:

- ۱ بر روی یک صفحه با رسم شش ضلعی‌های منتظم در کنار یکدیگر، یک صفحه گرافیتی بسازید.
- ۲ این صفحه را می‌توانید به سه شکل متفاوت به یکدیگر وصل کنید (با توجه به شکل ۵-۴) و هر شکل از این نانو لوله‌ها خواص متفاوتی نیز دارند.



شکل (۵-۴) نانو لوله‌های کربنی تک دیواره

نانو لوله‌های کربنی به صورت نانو لوله‌های تک‌دیواره<sup>۳</sup> و چنددیواره<sup>۴</sup> نیز وجود دارند. یک نانو لوله تک‌دیواره، قطری حدود چند نانومتر و طولی هزاران برابر بیشتر دارد (به‌طور مثال قطر ۲ nm و طول ۱۰ μm) و می‌تواند به یک ساختار تک بعدی تبدیل گردد، که به آن نانوسیم<sup>۵</sup> می‌گویند. نانو لوله‌های چنددیواره، استوانه‌های هم‌محور کربنی با قطرهای حدود (۱۰۰-۱۰ nm) را تشکیل می‌دهند.

۱- Fulleren

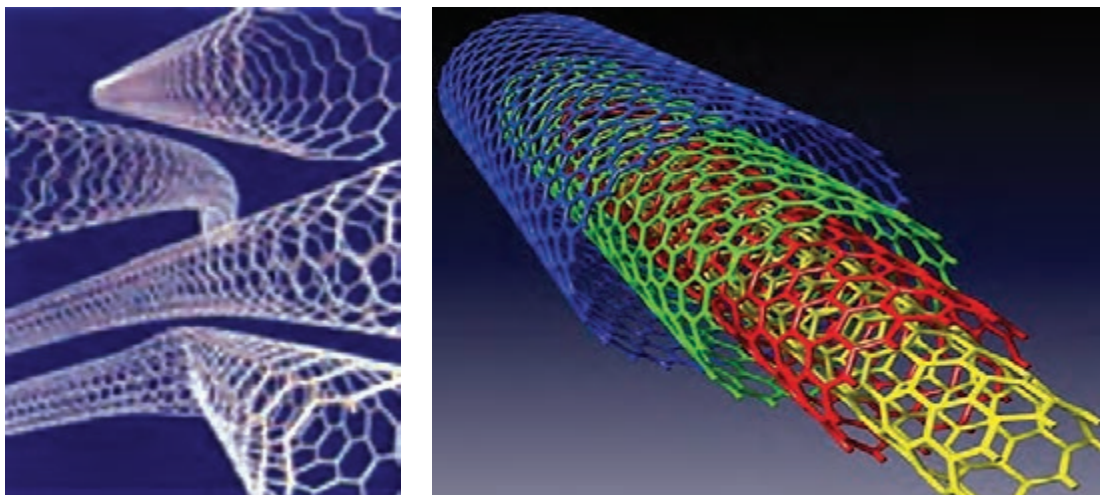
۲- Carbon nanotube

۳- SWNT: Single Wall Nano Tube

۴- MWNT: Multy Wall Nano Tube

۵- Nano Wire

این ساختارهای متعدّد (شکل ۵-۵) خواص متفاوتی نیز دارند. ولی به طور کلی این لوله‌های بسیار بلند و نازک ساختارهایی پایدار و مقاوم و انعطاف‌پذیر دارند. آنها مانند کاه هستند، کج می‌شوند اما نمی‌شکنند و می‌توانند بدون هرگونه آسیبی به حالت اول برگردند. استحکام (کششی و خمشی) نانو لوله‌های تک‌دیواره در حدود ۱۰۰ برابر فولاد است، در حالی که حدود ۶ برابر سبک‌ترند. رسانایی حرارتی آنها از الماس که بهترین هدایت گر حرارتی شناخته شده است، بیشتر است. ویژگی مهم دیگر نانو لوله‌ها خاصیت فلزی یا نیمه‌رسانا بودن آنهاست.



شکل (۵-۵) نانو لوله‌های چنددیواره و خمیده

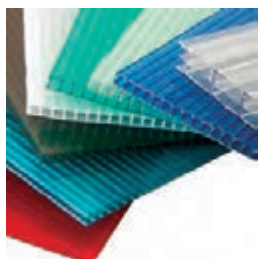
خواص شگفت‌انگیز نانو لوله‌های کربنی آنها را از کاربردهای گوناگونی برخوردار کرده است. برای مثال از آنها می‌توان در باتری‌ها، سلول‌های ذخیره‌کننده انرژی، الیاف و کابل‌ها و مصارف دارویی و پزشکی استفاده کرد.

تحقیق کنید

چرا به فولرن و نانو لوله‌های کربن، نانو ذره گفته می‌شود اما به الماس و گرافیت این عنوان تعلق نمی‌گیرد؟



## کامپوزیت‌ها



به منظور بهبود یا به دست آوردن خصوصیات جدید یک کالا، محصولی از ترکیب یا امتزاج دو یا چند جزء جدا از هم (مثل آلیاژ فلزات، سرامیک‌ها، بسپارها (پلیمرها) و مواد زیستی) به دست می‌آید، که به آن کامپوزیت<sup>۱</sup> گویند. اگر یک یا چند جزء از آن دارای اندازه متوسط کمتر از ۱۰۰ nm باشد نانو کامپوزیت نامیده می‌شود.

۱- Composite

گذشته از تمام خصوصیات ذاتی اجزا، نانو کامپوزیت‌ها می‌توانند از تک‌تک اجزای خود بهتر عمل کنند. با افزودن مقدار کمی نانو ساختار مناسب به محصول مورد نظر، می‌توان خواص مکانیکی، الکتریکی، نوری و حل‌پذیری را در محصول جدید به دلخواه تغییر داد. نانو کامپوزیت‌های تشکیل شده از نشاسته سیب‌زمینی و نانو ذرات کلسیم کربنات، مثالی در این خصوص است. این فوم نسبت به حرارت مقاومت خوبی دارد و سبک و زیست‌تخریب‌پذیر است و می‌تواند، در بسته‌بندی مواد غذایی به کار رود.

بسیارهای تقویت شده با نانو ذرات (نانو کامپوزیت‌ها) می‌توانند از نظر اقتصادی برای فلزات جایگزین مناسبی باشند. این محصولات، محکم‌تر، استوارتر، سفت‌تر و شکل‌پذیرتر از فلزات‌اند، حال آنکه وزنشان کمتر از فلزات است و در برابر خوردگی مقاومت بیشتری دارند.

**یک نمونه کاربردی:** نانورس‌ها<sup>۱</sup> پرکننده‌هایی هستند که در مواد کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی نانو کامپوزیت حاصل کاهش وزن آن (حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد) است. علاوه بر این در برابر نفوذ گازها مقاومت بیشتری پیدا می‌کنند. مثلاً نایلون ۶ با ۲ درصد نانو ذرات رس، در برابر نشت بنزین، پنج برابر بیشتر از نایلون ۶ معمولی مقاومت می‌کند. این فناوری برای ساخت باک بنزین و مخازن شیمیایی کاربرد دارد و قیمت مخازن را پایین می‌آورد.

اکثر شرکت‌های بزرگ بسیار در حال تحقیق روی فناوری‌های نانو کامپوزیت هستند تا به خواص جدیدی برای مصنوعات آینده برسند.

## ۳-۵- نانوفناوری و برخی کاربردهای آن



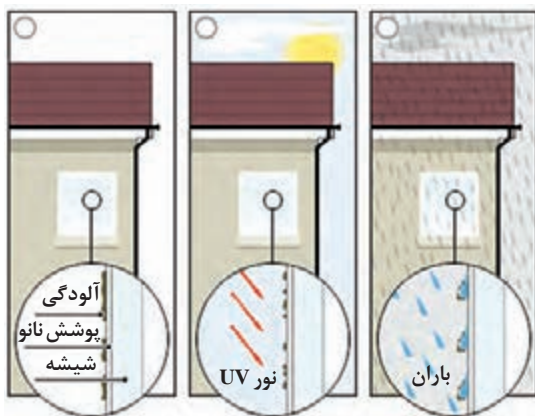
تا اینجا با چند نمونه از کاربردهای نانوفناوری آشنا شدید و دریافتید که دامنه تأثیر آن فقط به چند صنعت محدود نمی‌شود و حوزه گسترده‌ای از دانش‌ها و فناوری‌ها، مانند پزشکی، داروسازی، صنایع غذایی، مواد شیمیایی، انرژی، نساجی، الکترونیک، خودرو، لوازم بهداشتی و آرایشی و غیر آنها را در برمی‌گیرد. هم‌اکنون کالاهای مختلفی که در زندگی روزمره کاربرد دارند، با استفاده از فناوری نانو با کیفیت بهتر و با خواص متفاوت تولید می‌شوند. در ادامه به برخی دیگر از نمونه‌های کاربردی اشاره می‌شود.

۱- Nano clay



● **کاتالیزگرها:** با اضافه نمودن ماده‌ای به نام کاتالیزگر می‌توان سرعت انجام واکنش شیمیایی را افزایش داد. هرگاه دو یا چند واکنش شیمیایی به صورت متوالی یا هم‌زمان پیش روند، کاتالیزگر یکی از واکنش‌ها را به طور انتخابی نسبت به دیگری شتاب می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که خود کاتالیزگر در طی واکنش مصرف نمی‌شود. فعالیت یک کاتالیزگر با افزایش سطح کل در واحد حجم متناسب است. بنابراین، افزایش سطح نانو ذرات باعث می‌گردد تا عملکرد کاتالیزگری آنها به‌طور مؤثری بهبود یابد و سبب افزایش بازده واکنش شود. افزایش بازده نیز باعث می‌شود از راکتورهای کوچک‌تر و در نتیجه ارزان‌تری استفاده شود. کاتالیزگرها در بسیاری از صنایع از جمله داروسازی و صنعت نفت و پتروشیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

● **نانو روکش‌ها:** در اکثر صنایع، «پوشش‌دهی» آخرین مرحله تولید محصول است و این مرحله جهت ارتقای کیفیت محصول انجام می‌پذیرد. با افزودن افزودنی‌هایی در ابعاد نانو به مواد روکش‌ها، می‌توان نانو روکش‌هایی با ویژگی‌های جدید و جالب به‌دست آورد، مانند:



شکل (۵-۶) طرز کار شیشه خود تمیز شونده

● **شیشه‌های خود تمیز شونده:** پوشش شیشه با نوعی نانو روکش حساس به نور موجب می‌شود تا سطح آن به نحو مؤثری تمیز شود. به این ترتیب که تابش نور خورشید به آن باعث می‌شود ذرات آلی چسبندگی خود را به سطح شیشه از دست بدهند (خاصیت کاتالیزگری) و به این ترتیب به دلیل خاصیت آب دوستی از سطح شیشه شسته شوند.

### ● کاربرد های نانو ذره در نساجی



شکل (۵-۷) پارچه و پیراهن ضد لک و ضد چروک

این کاربردها را در سه بخش می‌توان خلاصه کرد: **لباس‌های ضد لک:** با اضافه نمودن ساختارهای مولکولی به الیاف پارچه، لباس‌های ضد لک، ضد آب و خود تمیز شونده تهیه می‌شود. این پارچه‌ها هیچ‌گونه آلودگی را جذب نمی‌کنند، مایعات بر روی آنها حرکت می‌کنند و جذب نمی‌شوند (مثل حرکت قطرات آب بر روی پره‌های غاز). لباس‌های دوخته شده با این پارچه‌ها چروک نمی‌شوند. در ایران نیز چند شرکت در این زمینه فعال هستند و محصول آنها تجاری شده است.

**منسوجات هوشمند:** تهیه منسوجات هوشمند

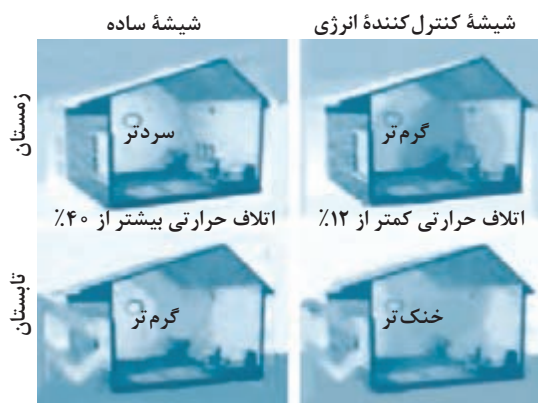
مراحل آزمایشی را می‌گذرانند. قابلیت الیاف آن به نحوی است که با حرارت یا برودت هوا تغییر ساختار می‌دهند و متناسب با تغییرات دمای هوا فشرده‌تر یا بازتر می‌شوند و پارچه را ضخیم‌تر یا نازک‌تر می‌کنند.



شکل (۸-۵) جوراب‌های حاوی نانو ذرات نقره، جهت جلوگیری از بوی بد پا و جلوگیری از عفونت پای افراد ورزشکار و دیابتی

**خاصیت ضد میکروبی:** اضافه نمودن نانو ذرات نقره به الیاف منسوجات آنها را از خاصیت ضد میکروبی مطلوبی برخوردار می‌کند. این منسوجات کاربری‌های مختلفی مانند منسوجات پزشکی و پوشاک عمومی دارند.

### ● انرژی



ورود گرما به داخل کمتر از ۲۰٪ ورود گرما به داخل بیشتر از ۷۵٪

شکل (۹-۵) شیشه‌های کنترل کننده انرژی

در باتری‌ها، استفاده از نانو لوله‌های کربن به جای گرافیت در الکترودها ظرفیت آن را تا چند برابر افزایش می‌دهد. وجود روکش‌های نانویی بر روی شیشه‌های ساختمان در زمستان، از هدر رفتن انرژی جلوگیری می‌کند و نیز باعث می‌شود از ورود حرارت در تابستان به داخل ساختمان کاسته شود. در نتیجه هزینه سامانه گرمایشی در زمستان و سرمایشی در تابستان کاهش می‌یابد. هرچه خودرو سنگین‌تر باشد سوخت بیشتری مصرف می‌کند. به همین جهت، استفاده از نانو کامپوزیت‌ها به جای فولاد (در ساخت خودرو) از وزن آن می‌کاهد و باعث می‌شود در مصرف سوخت خودروها صرفه‌جویی شود.

با ترکیب برخی نانو ذرات و فولرن با روغن‌های موتور معمول، خواص روان کاری روغن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه بازده انرژی افزایش می‌یابد.

### ● فناوری نانو در پزشکی و داروسازی

فناوری نانو قابلیت زیادی در تشخیص بهتر بیماری‌های موجود در بدن، به همراه درمان مؤثرتر دارد. همچنین، در ساخت دارو و رساندن آن به سلول‌های بیمار بسیار مؤثر است. برخی از کاربردهای نانو ذرات در پزشکی به شرح زیر می‌باشد:

- ✓ جهت درمان مؤثرتر سرطان، می‌توان از نانو ذراتی که حامل داروهای ضدسرطانی هستند استفاده کرد. یک تزریق ساده می‌تواند هزاران یا میلیون‌ها نانو ذره (نانو کپسول حامل دارو) را وارد جریان خون کند. این نانو ذرات درون سلول‌های سرطانی تجمع می‌کنند و داروی بیشتری در سلول بیمار قرار می‌دهند. در حالی که بر سلول‌های سالم اثری ندارند. به این ترتیب بازده درمانی آنها بسیار بالا می‌رود.
- ✓ اسپری‌ها و مواد ضد عفونی کننده مبتنی بر نانو ذرات نقره در زخم بندی و انواع پانسمان‌ها (به منظور جلوگیری از عفونت) و امور پزشکی و بهداشتی کاربرد وسیعی دارند.
- ✓ داروهای جدید با ساختار نانو، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی بر روی یک تراشه، نانو مولکول‌هایی برای رشد و ترمیم استخوان و بازسازی آنها، نمونه‌های دیگری از این فناوری است.



- ۱ دو مورد از فناوری‌های نوین که امروزه در دنیای علم بسیار مورد توجه هستند، نام ببرید.
- ۲ فناوری نانو را تعریف کنید.
- ۳ اهمیت فناوری نانو در چیست؟
- ۴ نانو ذره چیست؟ مثال بزنید.
- ۵ ساختارهای کربنی را که می‌شناسید، نام ببرید.
- ۶ ویژگی اصلی نانو ذرات چیست؟ این ویژگی چه تأثیر منحصر به فردی در خواص نانو ذرات دارد؟
- ۷ چند مورد از خواص نانو لوله‌های کربنی را بیان کنید.
- ۸ نانو کامپوزیت چیست؟
- ۹ چند نمونه از کاربردهای نانو فناوری که امروزه تجاری‌سازی شده‌اند را شرح دهید.
- ۱۰ یکی از علوم و صناعی را، که مورد علاقه شماست انتخاب نمایید و سپس:  
الف) در مورد کاربردهای فناوری نانو تحقیق کنید.  
ب) همچنین، چه طرح‌هایی به نظرتان می‌رسد که در آینده ممکن است به انجام رسد؟ نتایج را در کلاس ارائه دهید.

## ۴-۵- فناوری زیستی

واژه «بیوتکنولوژی<sup>۱</sup>» یا «فناوری زیستی» ترکیبی از دو کلمه «بیو» به معنای «زیست» و «تکنولوژی» به معنای «فناوری» است. قسمت اول واژه دلالت بر فرایندهای حیاتی و استفاده از عوامل زنده دارد و قسمت دوم آن به طیفی از ابزار و فنون و اصول مهندسی اشاره می‌کند. برای بیوتکنولوژی تعاریف متعددی ارائه شده است که به دلیل گستردگی دامنه فعالیت و کاربردهای آن هیچ‌کدام از این تعاریف کامل و جامع نیست. از جمله این تعاریف‌ها می‌توان به دو تعریف زیر که توسط مراجع و سازمان‌های بین‌المللی ارائه شده است اشاره کرد.

بیوتکنولوژی یعنی «استفاده از موجودات زنده برای ساخت فراورده‌های تجاری».

بیوتکنولوژی یعنی «کاربرد زیست‌شناسی، بیوشیمی، میکروبی‌شناسی و مهندسی شیمی در فرایندها، تولید فراورده‌های صنعتی و حذف آلودگی‌های محیط‌زیست».

همان‌طور که از این دو تعریف مشخص است بیوتکنولوژی یک علم مستقل نیست بلکه مجموعه‌ای منسجم و هماهنگ از علوم مختلف است. به عبارت دیگر بیوتکنولوژی علمی است چند پایه، به طوری که می‌توان آن را به تنه‌ی درختی شبیه کرد که ریشه‌های آن علوم مختلفی چون میکروبی‌شناسی، بیوشیمی، ژنتیک، شیمی، مهندسی شیمی، کامپیوتر، الکترونیک و ریاضیات است. شاخه‌ها و میوه‌های آن کاربردهای متعدد این علم در زمینه‌های مختلف زندگی بشر است، از قبیل پزشکی، داروسازی، صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، محیط‌زیست، کشاورزی، دام و آبزیان و معدن.

بیوتکنولوژی علم استفاده از ریزند/مکان در راستای منافع انسان است و به عبارتی کاربرد فنون مهندسی ژنتیک در تولید محصولات کشاورزی، صنعتی، درمانی و تشخیصی با کیفیت بالاتر، قیمت ارزان‌تر، محصول بیشتر و خطر کمتر است. این رشته حوزه‌ی مشترکی از رشته‌های بیوشیمی، ژنتیک، سلولی مولکولی، میکروبیولوژی، داروسازی و کامپیوتر را دربرمی‌گیرد.



شکل (۱۰-۵) درخت بیوتکنولوژی

## تاریخچه

بیوتکنولوژی قدمتی همپای بشر دارد. انسان از هزاران سال پیش تاکنون، بدون اینکه متوجه باشد از فرایندهای بیوتکنولوژی بهره برده است. تهیه ماست، پنیر و خمیر نان نمونه‌هایی از آن است. سپس با استفاده از روش‌های تخمیر و کشت *ریزاند/مکان* و تولید آنتی‌بیوتیک‌ها پیشرفت کرد و امروزه بیوتکنولوژیست‌ها با انتقال ژن‌هایی از یک *ریزاند/مک* به *ریزاند/مک* دیگر و ایجاد صفات جدید و مطلوب در آن که به نفع انسان و یا محیط زیست می‌باشد، این علم را به اوج رسانده‌اند. از جمله تولیدات بیوتکنولوژی در ایران عبارت‌اند از: سرم و واکسن، کشت بافت گیاهی، کود و سموم بیولوژیک، آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌ها، الکل، اوره، استون و اسیداستیک.

تاریخچه تکامل بیوتکنولوژی را براساس وقایع مهمی که در سیر تکاملی آن رخ داده است می‌توان به پنج دوره تقسیم کرد:

بیشتر بدانید



**الف) دوره قبل از پاستور:** این دوره سال‌های قبل از ۱۸۶۵ میلادی را دربرمی‌گیرد. در این دوره انسان بدون اینکه از نقش *ریزاند/مکان* و عوامل زیستی آگاهی داشته باشد از آنها استفاده می‌کرده است. از محصولات تخمیری این دوره می‌توان به تولید نوشابه‌های الکلی توسط بابلیان و سومریان (از ۶۰۰۰ سال قبل از میلاد)، استفاده از مخمر نان در میان مصریان (۴۰۰۰ سال قبل از میلاد) و تولید محصولات لبنی مانند ماست و پنیر و تولید سرکه، در همه جوامع، اشاره کرد.



ب) **دوره پاستور (۱۹۴۰-۱۸۶۵):** هر چند قبل از سال ۱۸۶۵ به وجود *ریزاند/مکان* پی برده شده بود ولی نقش آنها در فرایندهای تخمیری مشخص نبود تا اینکه در این سال با تلاش‌های لویی پاستور دانشمند مکتشف فرانسوی، نقش *ریزاند/مکان* در فرایندهای تخمیری به اثبات رسید و از آن پس انسان با آگاهی یافتن از نقش *ریزاند/مکان* و همچنین آگاهی از توانایی آنها، به استفاده آگاهانه از این عوامل همت گماشت. از فرایندهای تخمیری این دوره می‌توان به فرایند تولید گلیسرول در آلمان و تولید استون و بوتانول در انگلستان در خلال جنگ جهانی اول و نیز تولید میکروبی سیتریک اسید پس از جنگ جهانی اول اشاره کرد.

پ) **دوره آنتی‌بیوتیک‌ها (۱۹۶۴-۱۹۴۰):** آنتی‌بیوتیک‌ها موادی ضد میکروبی هستند که منشأ بیولوژیکی دارند. پنی‌سیلین که توسط کپک پنی‌سیلیوم تولید می‌شود اولین آنتی‌بیوتیکی است که خاصیت ضد میکروبی آن توسط الکساندر فلمینگ<sup>۱</sup> شناخته شد. در خلال جنگ جهانی دوم به دلیل نیاز شدید به تولید پنی‌سیلین تحقیقات گسترده‌ای برای تولید انبوه آن صورت گرفت و در نهایت منجر به توسعه بیوراکتورهای مخزنی همزن‌دار<sup>۲</sup> و کشت در شرایط سترون<sup>۳</sup> (استریل) شد. از خصوصیات مهم دوره آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده از علوم مهندسی در طراحی و ساخت مخازن کشت میکروبی (بیوراکتورها)، توسعه تخمیرهای سترون و افزایش مقیاس تولید می‌باشد. از موفقیت‌های دیگر این دوره می‌توان به توسعه و گسترش کشت سلول‌های حیوانی و گیاهی و تولید واکسن‌ها اشاره کرد که این امر به دنبال توسعه تکنیک‌های کشت سترون امکان‌پذیر شد.

ت) **دوره تولید پروتئین تک‌یاخته‌ای (۱۹۷۵-۱۹۶۴):** در اواخر دهه ۱۹۶۰، به واسطه چشم‌انداز استفاده از توده سلولی<sup>۴</sup> *ریزاند/مکان* به‌عنوان منبع پروتئینی که در اصطلاح پروتئین تک‌یاخته<sup>۵</sup> نامیده می‌شود، هیجان و تحرک قابل توجهی ایجاد شد. فرایندهای مختلفی در این زمینه، به‌ویژه با استفاده از منابع هیدروکربنی (به دلیل قیمت پایین نفت خام در آن زمان) توسعه داده شد. در این دوره تکامل تجهیزات کشت میکروبی و بیوراکتورها که از دوره قبل آغاز شده بود با توسعه انواع بیوراکتورها به اوج خود رسید.

ث) **دوره بیوتکنولوژی مولکولی<sup>۶</sup> یا مدرن:** این دوره از سال ۱۹۷۵ با ابداع روش‌های دست‌کاری ژنتیکی موجودات که در اصطلاح مهندسی ژنتیک خوانده می‌شود، آغاز گردید. با ابداع این روش، انسان قادر شد تغییرات آگاهانه‌ای در اطلاعات ژنتیکی موجودات زنده ایجاد کند و از این طریق ویژگی‌ها و صفات جدیدی را در آنها به وجود بیاورد و یا صفاتی را از یک موجود به موجود دیگر منتقل سازد. یکی از ویژگی‌های این دوره تولید محصولات محمولاتی است که *ریزاند/مکان* به‌طور طبیعی قادر به تولید آنها نیستند. از آن جمله می‌توان به تولید هورمون‌ها و پروتئین‌های انسانی توسط باکتری‌ها و مخمرها اشاره کرد.

۱- Alexandre Fleming

۲- Stirred Tank Bioreactor

۳- محیط سترون محیطی است که عاری از هرگونه میکروب باشد. کشت سترون نیز به کشتی اطلاق می‌شود که فقط میکروب مورد نظر را داشته باشد.

۴- Bio Mass

۵- Single Cell Protein (SCP)

۶- Molecular Biotechnology

## عوامل زیستی در فرایندهای تخمیری

عوامل زیستی، پایه و اساس تمام فرایندهای تخمیری را تشکیل می‌دهند. عوامل زیستی مورد استفاده در فرایندهای تخمیری شامل *ریز/ند/مکان*، سلول‌های جانوری و گیاهی و اجزای سلولی است. در این قسمت هرکدام از این عوامل به‌طور خیلی مختصر شرح داده می‌شود.

**ریز/ند/مکان:** *ریز/ند/مکان*، موجودات بسیار ریز و زنده‌ای هستند که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. از این‌رو وجود آنها تا قبل از اختراع میکروسکوپ برای انسان معلوم نبود. انواع *ریز/ند/مکان* عبارت‌اند از ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و تک‌یاختگان. برخلاف تصور عمومی که *ریز/ند/مکان* را موجوداتی زیان‌بار می‌داند و میکروب را مساوی با عامل بیماری تلقی می‌کند که در واقع چنین نیست، تنها تعداد بسیار اندکی از میکروب‌ها بیماری‌زا هستند و اکثر آنها، برعکس، برای بقای حیات بر روی کره زمین ضروری و مفیدند و در فرایندهای حیاتی نقش اساسی ایفا می‌کنند؛ به‌طوری‌که بدون وجود آنها حیات بر روی کره زمین میسر نخواهد بود. ویروس‌ها ساده‌ترین و کوچک‌ترین میکروب‌ها هستند که در مرز بین موجودات زنده و غیرزنده قرار دارند. ویروس‌ها به‌تنهایی قادر به انجام فعالیت‌های حیاتی نیستند و فقط در داخل یک سلول میزبان قادر به تکثیرند.

**باکتری‌ها:** ساده‌ترین موجودات زنده مستقل هستند و چنان کوچک‌اند که فقط با میکروسکوپ می‌توان آنها را دید. تکثیر باکتری‌ها به‌طور ساده با رشد آنها و سپس تقسیمشان به دو باکتری صورت می‌گیرد.

**قارچ‌ها:** گروه دیگری از *ریز/ند/مکان* هستند که پیچیده‌تر از باکتری‌ها می‌باشند. از نظر شکل و اندازه متنوع بوده، به‌طوری‌که برخی از آنها مانند قارچ‌های چتری با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند.

**جلبک‌ها:** گروه دیگری از *ریز/ند/مکان* هستند که با استفاده از انرژی نورانی خورشید و  $CO_2$  و سایر مواد معدنی، مواد مصرفی خود را می‌سازند.

### تک‌یاختگان<sup>۱</sup>

*ریز/ند/مکان* تک‌سلولی و متحرکی هستند که اغلب در محیط‌های آبی یافت می‌شوند. همه انواع *ریز/ند/مکان* دارای کاربردهایی در زیست‌فناوری هستند، با این حال کاربرد باکتری‌ها و قارچ‌ها در صنایع تخمیری بیشتر از دو گروه دیگر است. *ریز/ند/مکان* به‌دلیل سرعت رشد بسیار بالا، در مقایسه با سایر موجودات، از نظر کاربردهای صنعتی مناسب‌ترند. علاوه بر این نیازهای غذایی پیچیده‌ای ندارند و می‌توانند در محیط کشت‌های ساده رشد و تکثیر یابند.

قسمت اعظم وزن خشک *ریز/ند/مکان* از پروتئین تشکیل شده است، لذا با توجه به کمبود منابع غذایی می‌توانند به‌عنوان یک منبع غذایی بالقوه مورد توجه قرار گیرند. همچنین در طی فرایند رشد هواز، *ریز/ند/مکان* قادر به تبدیل مواد آلی به دی‌اکسیدکربن و آب هستند که از این توانایی آنها می‌توان در جذب مواد آلی زاید بهره برد. در صنایع شیمیایی، به‌خصوص صنایع پتروشیمی، نفت خام و مشتقات آن به‌عنوان مواد اولیه استفاده می‌شوند که از دسته مواد اولیه تجدیدناپذیرند، درحالی‌که *ریز/ند/مکان* از منابع تجدیدپذیر از قبیل ضایعات کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه برای تولید محصولات مفید استفاده می‌کنند. این امر مزیت مهمی در استفاده از فرایندهای تخمیری نسبت به فرایندهای شیمیایی مرسوم به‌شمار می‌رود. در نهایت باید گفت که فرایندهای تخمیری و زیستی از نظر سازگاری با محیط زیست مناسب‌تر از سایر روش‌ها هستند و اثرات نامطلوب کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند.

**سلول‌های جانوری و گیاهی:** اساس تعدادی از فرایندهای تخمیری استفاده از سلول‌های جانوری و گیاهی است. برخی از فراورده‌های شیمیایی تنها با استفاده از سلول‌های جانوری و گیاهی قابل تولیدند. کشت سلول‌های جانوری و گیاهی در مقایسه با کشت ریزند/مکان دارای دشواری‌های بیشتری است که از آن جمله می‌توان به نیازمندی‌های غذایی پیچیده و حساسیت در برابر آلودگی‌ها اشاره کرد.

کشت سلول‌های جانوری برای تولید واکنش‌های ویروسی مدت‌های طولانی رایج ولی محدود به ظروف کوچک آزمایشگاهی بود؛ اما پس از آنکه اصول عملیات سترون‌سازی و فرایندهای سترون در جریان تولید پنی‌سیلین توسعه یافت امکان کشت سلول‌های جانوری در مقیاس‌های بزرگ هم فراهم شد. امروزه از کشت سلول‌های جانوری در بیوراکتورها، علاوه بر تولید واکنش‌ها، در تولید پروتئین‌های دارویی استفاده می‌شود. کشت سلول‌های گیاهی نیز دارای کاربردهای مختص به خود می‌باشد که از آن جمله می‌توان به تولید برخی ترکیبات شیمیایی، تولید گیاهان عاری از عوامل بیماری‌زا و تکثیر گیاهان در مقیاس بزرگ اشاره کرد.

**آنزیم‌ها:** آنزیم‌ها از مهم‌ترین اجزای سلولی هستند که در فرایندهای تخمیری استفاده وسیعی دارند. آنزیم‌ها، در واقع، مولکول‌های بزرگ پروتئینی‌اند که وظیفه کاتالیز واکنش‌های بیوشیمیایی را بر عهده دارند. به عبارت دیگر، تمام واکنش‌های بیوشیمیایی که توسط سلول‌ها به‌وقوع می‌پیوندد به کمک آنزیم‌ها صورت می‌گیرد. آنزیم‌ها قادرند سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی را تا ده میلیون برابر افزایش دهند. به همین دلیل است که موجودات زنده می‌توانند تعداد زیادی واکنش شیمیایی را در داخل خود در دما و فشار معتدل انجام دهند. آنزیم‌ها که آنها را باید بیوکاتالیزگر به‌شمار آورد، دارای ویژگی‌هایی هستند که آنها را از کاتالیزگرهای شیمیایی متمایز می‌سازد.

یکی از خصوصیات مهم آنزیم‌ها این است که این عوامل به‌صورت اختصاصی عمل می‌کنند، به عبارت دیگر تنها انجام واکنش خاصی را بر روی یک ماده اولیه خاص امکان‌پذیر می‌کنند. درحالی‌که کاتالیزگرهای شیمیایی انجام طیفی از واکنش‌ها را میسر می‌سازند. خصوصیت قابل توجه دیگر آنزیم، فعالیت در دما و فشار معمولی است درحالی‌که کاتالیزگرهای شیمیایی معمولاً در دما و یا فشارهای بسیار بالا عمل می‌کنند. آنزیم‌ها در خارج از سلول نیز قادرند نقش اختصاصی خود را ایفا کنند. در نتیجه می‌توان از آنها در صنایع مختلف برای تسریع واکنش‌های شیمیایی نیز استفاده کرد.

## سلول، راکتوری با هزاران واکنش

یک میکروب ساده، مانند باکتری اشرشیاکلی<sup>۱</sup>، با استفاده از مواد اولیه بسیار ساده‌ای از قبیل یک قند ساده (مانند گلوکز)، یک منبع نیتروژن (آمونوم) و مواد معدنی ساده، قادر است ترکیبات شیمیایی متعددی را تولید کند. تعدادی از این ترکیبات از مواد شیمیایی مهم در صنایع مختلف هستند. درواقع یک سلول مانند یک مجتمع شیمیایی عظیم می‌تواند مواد شیمیایی متعددی را تولید کند. برای مثال، در قارچ پنی‌سیلیوم طبیعی، میزان تولید آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین بسیار کم است درحالی‌که میزان تولید قارچ پنی‌سیلیوم صنعتی که در اثر انجام اصلاحات ژنتیکی، طی چهل سال به‌دست آمده است بیش از ده هزار برابر قارچ طبیعی است.

۱- واکنشگاه: ظرفی که در آن دست‌کم یک واکنش شیمیایی انجام شود. بیوراکتور: واکنش‌هایی که در آن واکنش‌های زیست‌فناوری توسط ریزاندامکان صورت می‌گیرد.

## انواع فرآورده‌های تخمیری

محصولات تخمیری دارای تنوع گسترده‌ای هستند و آنها را می‌توان به چهار گروه اصلی زیر تقسیم کرد: **الف) توده سلولی کامل**؛ در برخی موارد، سلول‌های میکروبی خود به‌عنوان فرآورده نهایی یک فرایند تخمیری محسوب می‌شوند. توده سلولی ریزاند/مکان مختلف دارای کاربردهای متعددی هستند که به برخی از آنها در جدول ۵-۲ اشاره شده است.

جدول ۵-۲- برخی از کاربردهای سلول‌های کامل میکروبی

| کاربرد  | ارگانیزم   |
|---|--|
| حشره‌کش میکروبی                                 | باسیلوس تورینجسیس <sup>۲</sup> و میکروب‌های مربوط به آن        |
| مایه میکروبی برای تولید محصولات لبنی            | گونه‌های لاکتوباسیلوس <sup>۳</sup> و استرپتوکوکوس <sup>۴</sup> |
| خمیر مایه در نانوائی‌ها                         | ساکارومیسس سرویزیه <sup>۵</sup>                                |
| آغشته‌سازی بذر حبوبات برای تسهیل تثبیت نیتروژن  | گونه‌های ریزوبیوم <sup>۶</sup>                                 |
| پروتئین تک‌یاخته‌ای (SCP) برای تغذیه دام و طیور | ارگانیزم‌های مختلف   |

توجه

نیازی به حفظ کردن اسامی ریزاند/مکان نیست.

**ب) ترکیبات با جرم مولکولی کم:** در درون یک سلول هزاران واکنش بیوشیمیایی صورت می‌گیرد و مواد متعددی در این واکنش‌ها تولید و مصرف می‌شوند. به مجموع واکنش‌های درون یک سلول، متابولیسم<sup>۷</sup> و به مواد حاصل از این واکنش‌ها متابولیت<sup>۸</sup> گفته می‌شود.

**پ) ترکیبات با جرم مولکولی زیاد:** ریزاند/مکان برای تولید سه گروه از ترکیبات با جرم مولکولی زیاد (ماکرومولکول‌ها) به کار می‌روند. این ترکیبات شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها هستند.

۱- Biomass

۲- Bacillus Thuringiensis

۳- Lactobacillus SP.

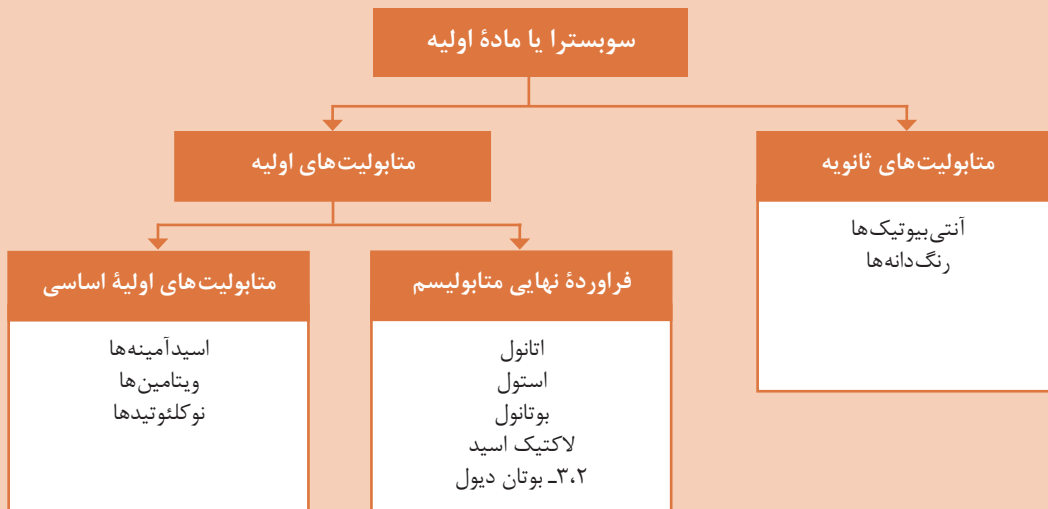
۴- Streptococcus SP.

۵- Saccharomyces Cerevisia

۶- Rhizobium SP.

۷- کلمه لاتین Metabolism

۸- کلمه لاتین Metabolite



گروه های مختلف ترکیبات با وزن مولکولی کم

پلی ساکاریدها در صنایع مختلفی مانند صنایع غذایی، تولید مواد بهداشتی-آرایشی، تولید پلاستیک های قابل تجزیه بیولوژیک<sup>۱</sup>، صنایع دارویی و صنعت نفت کاربرد دارند. به برخی از این ترکیبات و کاربردها در جدول ۳-۵ اشاره شده است.

جدول ۳-۵- مصرف تجاری پلی ساکاریدهایی که توسط ریزاندامکان تعبیه شده اند.

| پلی ساکارید              | مصارف   |
|--------------------------|---|
| صمغ گزانتان <sup>۲</sup> | صنایع غذایی، تولید خمیردندان، افزایش باز یافت نفت |
| ژلان <sup>۳</sup>        | جامد کردن فراورده های غذایی                       |
| امولسان <sup>۴</sup>     | افزایش باز یافت نفت                               |
| دکستران <sup>۵</sup>     | صنایع دارویی، تولید پلاسمای مصنوعی                |

متابولیت های سلولی به دو دسته متابولیت های اولیه و ثانویه تقسیم می شوند. متابولیت های اولیه: تولیدشان همراه با رشد سلول صورت می گیرد. متابولیت ثانویه: تولید آن در پایان مرحله رشد میکروارگانیسم صورت می گیرد.

۱- Biodegradable

۲- Xanthan gum

۳- Gellan

۴- Emulsan

۵- Dextran

برخی از لیپیدهایی که توسط ریزند/مکان تهیه می‌شوند (مانند پلی ۳- هیدروکسی توبرات) و سایر مواد مشابه در تولید ظروف یک‌بار مصرف کاربرد دارد. این ظروف قابل تجزیه بیولوژیکی هستند و انتظار می‌رود که در آینده جانشین مناسبی برای ظروف پلاستیکی که یکی از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست هستند باشند. پروتئین‌های حاصل از ریزند/مکان اغلب نقش آنزیمی دارند. برخی از آنزیم‌ها به صورت انبوه تولید می‌شوند و دارای کاربردهای مختلفی هستند (جدول ۴-۵) و بعضی دیگر در مقادیر اندک تولید شده و کاربردهای تشخیصی و دارویی دارند.

جدول ۴-۵- برخی از آنزیم‌های مهم صنعتی و کاربرد آنها

| کاربرد                | آنزیم          |
|-----------------------|----------------|
| تهیه شربت گلوکز       | آلفا - آمیلاز  |
| هیدرولیز نشاسته       | گلوکز آمیلاز   |
| تهیه شربت فروکتوز     | گلوکز ایزومراز |
| صاف کردن آب‌میوه‌ها   | پکتیناز        |
| حذف لاکتوز از آب پنیر | لاکتاز         |
| مواد شوینده           | پروتئاز قلیایی |

تعدادی از پروتئین‌ها نیز وجود دارند که در حالت طبیعی توسط میکروب تولید نمی‌شوند بلکه توان تولید آنها توسط روش‌های مهندسی ژنتیک به میکروب انتقال داده می‌شود. به این دسته، پروتئین‌های نو ترکیب<sup>۱</sup> می‌گویند.

ت) ترکیبات حاصل از تغییر و تبدیل زیست‌فناوری<sup>۲</sup> (بیولوژیکی): تغییر و تبدیل‌های بیولوژیکی فرایندهایی هستند که در آنها، یک میکروب ماده‌ای را به ماده دیگری، که از نظر ساختاری نزدیک به ماده اول است، تبدیل می‌کند. این فرایندها فقط شامل یک یا تعداد اندکی واکنش آنزیمی هستند. اگرچه تاکنون صدها تغییر و تبدیل بیولوژیکی متفاوت معرفی شده است اما این واکنش‌ها فقط در مواردی کاربرد صنعتی یافته‌اند که روش‌های شیمیایی معمول بسیار گران‌قیمت یا دشوار هستند. بهترین نمونه این فرایندها تولید کورتیزون است. برای تولید کورتیزون که باید ۳۷ مرحله واکنش شیمیایی انجام شود درحالی‌که با استفاده از واکنش‌های میکروبی تعداد آنها به ۱۱ مرحله کاهش می‌یابد.

۱- Recombinant Proteins

۲- Biotransformation

## تولید فراورده‌های تخمیری در مقیاس صنعتی

هدف اصلی در فرایندهای تخمیری، کشت میکروب‌ها در حجمی بزرگ (از چند لیتر تا چند صد مترمکعب) به منظور به دست آوردن توده سلولی و یا تولید فراورده مطلوب است. برای رسیدن به این هدف فعالیت‌های لازم را به سه بخش می‌توان تقسیم کرد.

**فرایندهای بالادستی<sup>۱</sup>:** اولین و مهم‌ترین فعالیت این بخش **انتخاب ریزاندامک مناسب و اصلاح آن** تا رسیدن به توان تولید یا تبدیل مطلوب است. به این‌گونه **ریزاندامکان، ریزاندامکان صنعتی** می‌گویند. برای مثال میزان تولید پنی‌سیلین توسط قارچ طبیعی حدود ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر است درحالی که میزان پنی‌سیلین تولید قارچ صنعتی بیش از ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. چنان‌که خواندید برای به دست آوردن روش تولید چنین ریزاندامکی نزدیک به چهل سال وقت صرف شده است. بنابراین حفظ و نگهداری **ریزاندامکان صنعتی** از اهمیت زیادی برخوردار است.

قدم بعدی، **انتخاب محیط کشت مناسب برای ریزاندامک** است، به طوری که این محیط بتواند نیازهای غذایی ریزاندامک را تأمین کند و شرایط مناسب را برای تولید محصول موردنظر فراهم سازد و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

فعالیت بعدی **سترون‌سازی<sup>۲</sup> محیط کشت، هوا و تجهیزات** است. آنچه در فرایندهای تخمیری از اهمیت بالایی برخوردار است خالص بودن کشت (یعنی عاری از هرگونه ریزاندامک به غیر از ریزاندامک مطلوب بودن) و حفظ و نگهداری تخمیر در حالت سترون تا پایان عملیات تولید است. خروج سیستم تخمیری از حالت سترون، به عبارت دیگر آلوده شدن فرایند تخمیر، موجب حرکت فرایند به سمت تولید محصولات ناخواسته و کاهش بازده تولید می‌شود. به همین دلیل سترون‌سازی بیوراکتور<sup>۳</sup> یا فرمنتور<sup>۴</sup> و کلیه تجهیزات که به نوعی با سیستم تخمیری در ارتباطند از یک سو، و سترون‌سازی محیط کشت (عاری از هر نوع ریزاندامک) و هوای ورودی و مواد افزودنی به بیوراکتور از سوی دیگر، بسیار حائز اهمیت است. برای سترون کردن بیوراکتور، تجهیزات و محیط کشت، از بخار آب استفاده می‌شود. زمان و دمای سترون‌سازی دو عامل کلیدی در این عمل هستند. زمان زیاد سترون‌سازی، ارزش غذایی محیط کشت را کاهش داده و موجب عوامل سمی در آن می‌شود. از این رو در سترون‌سازی محیط کشت استفاده از دمای بالا و زمان کم، مناسب‌ترین روش است. هوای ورودی به فرمنتور نیز با عبور از فیلترهای خاص سترون می‌شود.

فعالیت دیگری که در مرحله فرایندهای بالادستی انجام می‌شود **تهیه مقدار کافی بذر<sup>۵</sup> یا مایه تلقیح<sup>۶</sup>** است. بذر یا مایه تلقیح فرم زنده و مناسبی از ریزاندامک (سلول‌های رویشی یا اسپوری) است که برای شروع عملیات تخمیر به بیوراکتور اصلی اضافه می‌شود. معمولاً حجم مایه تلقیح بین ۳ تا ۱۰ درصد حجم کل محیط کشت است. بنابراین در عملیات صنعتی به تعدادی بیوراکتور یا فرمنتورهای کوچک‌تر نیاز است تا با انتقال متوالی مایه تلقیح، حجم آن را به حد مطلوب برسانیم. به این عمل توسعه تلقیح گفته می‌شود.

۱- Up Stream Processing

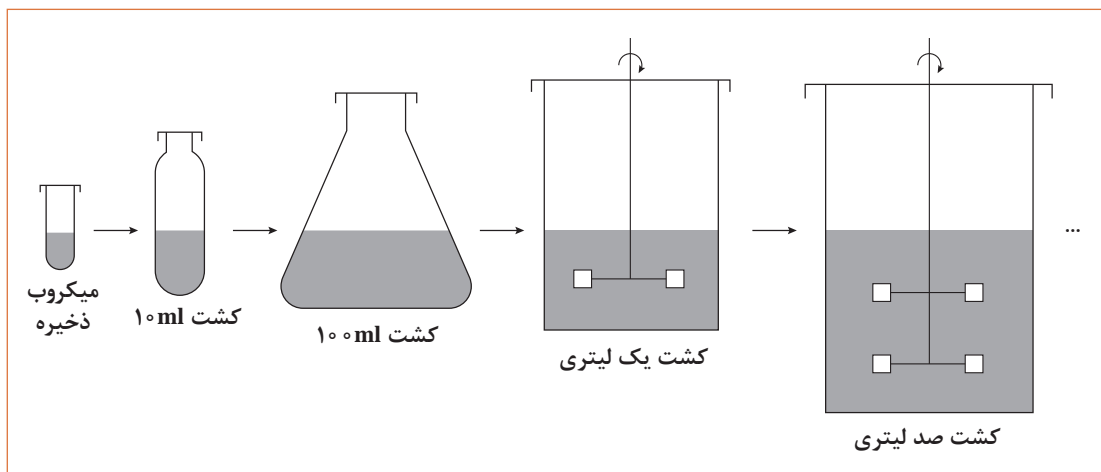
۲- Sterilization

۳- Bioreactor

۴- Fermentor

۵- Seed

۶- Inoculum



شکل ۱۱-۵- مراحل توسعه تلقیح برای تهیه حجم مناسبی مایه تلقیح

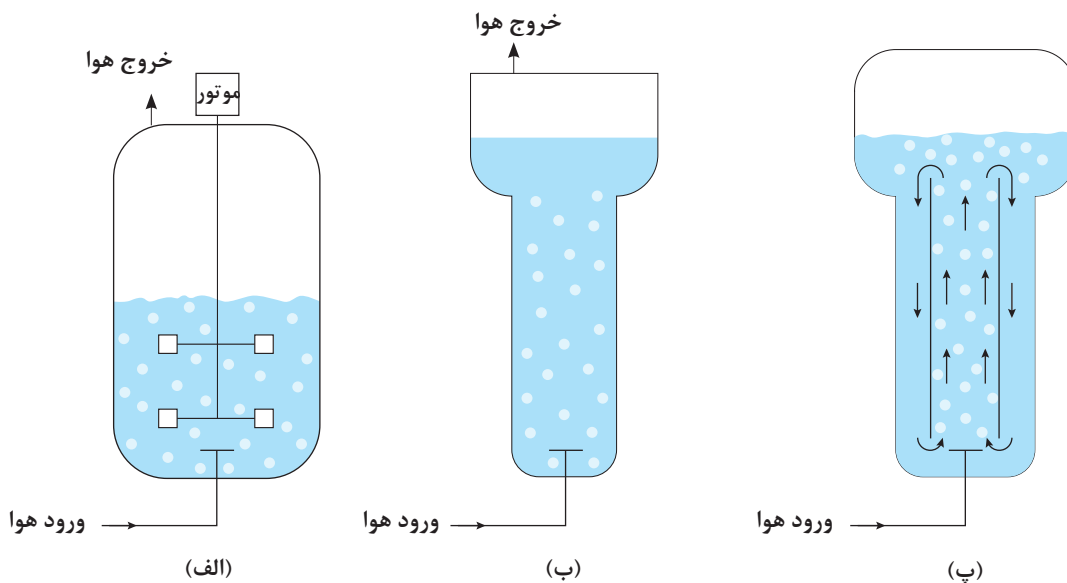
**فرایند تخمیر<sup>۱</sup>:** فرایند تخمیر با افزودن حجم مناسبی از مایه تلقیح به یک فرمنتور تمیز و سترون که حاوی محیط کشت سترون است شروع می‌شود. تأمین اکسیژن مورد نیاز در حین عملیات تخمیر یکی از مهم‌ترین مسایل فرایندهای هوازی است. ریزند/مکان هوازی، برای رشد خود نیاز به اکسیژن دارند و هرگونه محدودیت اکسیژن موجب توقف یا کندی رشد آنها می‌شود. گاز اکسیژن باید در محیط کشت به صورت محلول درآید تا بتواند مورد استفاده ریزند/مک قرار بگیرد. مشکل اصلی در تأمین اکسیژن محلول، این است که حلالیت این گاز در سیستم‌های آبی بسیار کم است.

برای بهبود اکسیژن‌رسانی در فرمنتورها از هم‌زدن شدید محیط کشت توسط یک هم‌زن استفاده می‌شود که این عمل علاوه بر کاهش اندازه حباب‌های هوا، سه مزیت دیگر نیز دارد؛ یکی آنکه مدت زمان اقامت حباب‌ها در محیط کشت را افزایش می‌دهد؛ زیرا در این حالت حباب‌ها در محیط کشت به جای عبور از یک مسیر مستقیم، مسیری پرپیچ و خم را طی خواهند کرد. دوم آن که هم‌زدن باعث تسهیل انتقال اکسیژن محلول از مایع به سطوح سلول‌ها می‌شود و سوم آن که هم‌زدن باعث یک‌نواخت شدن محیط کشت و جلوگیری از رسوب سلول‌ها می‌شود.

ابزار کلیدی در انجام عملیات تخمیر، فرمنتور یا بیوراکتور می‌باشد. بیوراکتور ظرف ویژه‌ای است که اولاً امکان انجام فرایندهای تخمیری را به صورت سترون فراهم می‌سازد و ثانیاً امکان کنترل عوامل مؤثر بر رشد ریزند/مکان را فراهم می‌کند. انواع مهم بیوراکتورهای مورد استفاده در صنایع تخمیری که از محیط کشت مایع استفاده می‌کنند شامل بیوراکتورهای مخزنی هم‌زن دار<sup>۲</sup>، بیوراکتورهای ستونی حباب دار<sup>۳</sup> و بیوراکتورهای هواگرد<sup>۴</sup> می‌باشند (شکل ۱۲-۵).

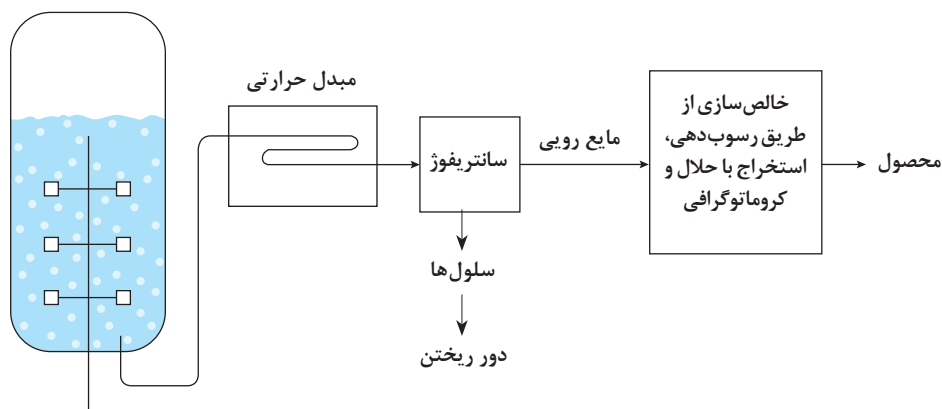
۱- Fermentation Processing  
 ۲- Stirred Tank Bioreactors  
 ۳- Bubble Column Bioreactors  
 ۴- Airlift Bioreactors





شکل ۱۲-۵- شکل ساده‌ای از انواع بیوراکتورها. الف) بیوراکتور مخزنی همزن دار ب) بیوراکتور ستونی حباب‌دار پ) بیوراکتور هواگرد

**فرایندهای پایین دستی<sup>۱</sup>:** پس از عملیات تخمیر، اقدام بعدی جداسازی و بازیافت محصول مورد نظر است. این مرحله شامل جداسازی سلول‌ها از محیط کشت و خالص‌سازی متابولیت مورد نظر با شکستن سلول (در مورد متابولیت‌های درون سلولی<sup>۲</sup>) و یا بدون آن (در مورد متابولیت‌های خارج سلولی<sup>۳</sup>) می‌باشد. برخی از سلول‌های میکروبی، پس از توقف هوادهی و هم‌زدن، به سرعت ته‌نشین می‌شوند. این عمل را می‌توان با افزودن مواد منعقدکننده تسریع کرد. چنانچه ته‌نشین کردن سلول‌ها، با این روش امکان‌پذیر نباشد، برای جدا کردن آنها از سانتریفیوژ یا فیلتر کردن استفاده می‌شود. مایع صاف شده حاصل از تخمیر حاوی متابولیت‌های میکروبی و آنزیم‌های خارج سلولی است و برای بازیافت آنها روش‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های رسوب‌دهی، استخراج با حلال و انواع روش‌های کروماتوگرافی اشاره کرد (شکل ۱۳-۵).



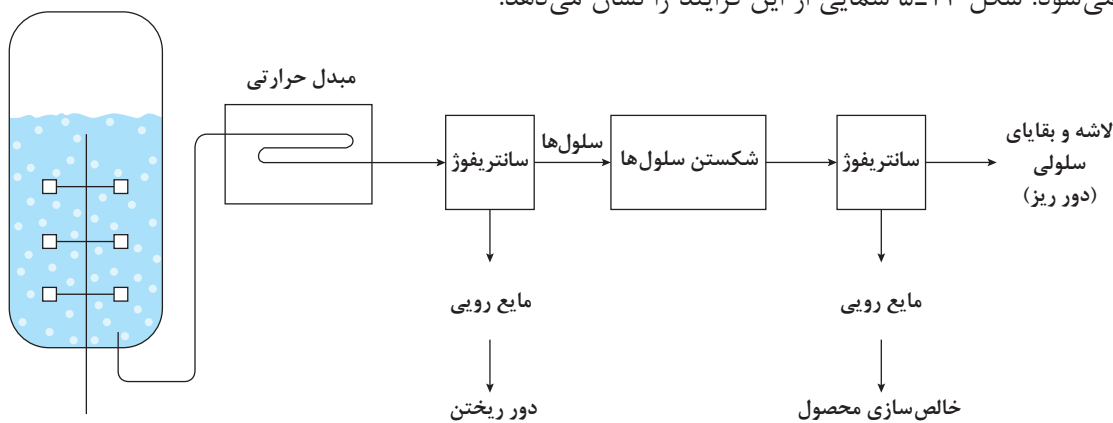
شکل ۱۳-۵- طرح ساده‌ای از فعالیت‌هایی که پس از فرایند تخمیر برای جداسازی آنزیم‌های برون سلولی انجام می‌شود.

۱- Downstream Processing

۲- Intracellular

۳- Extracellular

اگر فرآورده موردنظر درون سلولی باشد، برای آزاد کردن آن، شکستن سلول‌ها ضروری است. در آزمایشگاه از روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی می‌توان برای این کار استفاده کرد ولی اکثر این روش‌ها در مقیاس بزرگ و صنعتی قابل استفاده نیست. همگن‌سازی با فشار بالا<sup>۱</sup> و آسیاب‌های ساچمه‌ای با سرعت زیاد<sup>۲</sup> دو روشی هستند که در مقیاس‌های بزرگ استفاده می‌شوند. در روش شکستن سلول‌ها با استفاده از فشار بالا، سوسپانسیون میکروبی را، از محیطی با فشار بالا، از طریق منفذ ریزی وارد محیطی با فشار کم می‌کنند، در نتیجه سلول‌ها در اثر کاهش فشار می‌شکنند. پس از شکستن سلول‌ها، اجساد سلولی را باید از محیط خارج کرد که برای انجام این عمل نیز از سانتریفوژ و یا فیلتر کردن استفاده می‌شود. پس از این عمل محصول درون سلولی با روش‌های ذکر شده برای محصولات برون سلولی خالص‌سازی می‌شود. فعالیت‌های پس از خالص‌سازی محصول، شامل تبدیل محصول به فرم مطلوب، بسته‌بندی آن، انبارداری و بازاریابی و فروش است که به مجموعه این عملیات و همچنین تصفیه پساب‌های حاصل مجموعاً فرایندهای پایین‌دستی گفته می‌شود. شکل ۱۴-۵ شمایی از این فرایند را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۵- طرح ساده‌ای از فعالیت‌هایی که پس از فرایند تخمیر برای جداسازی آنزیم‌های درون سلولی انجام می‌شود.

## زیست فناوری برای توسعه پایدار

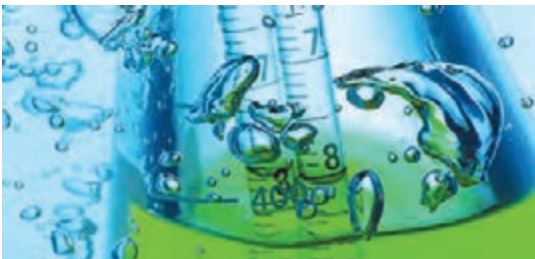
با توجه به اینکه منابع زیستی بخشی از کره زمین می‌باشد، حفاظت و حمایت از منابع طبیعی کشور و اشاعه فرهنگ زیست‌محیطی وظیفه ملی و دینی هر ایرانی است. یکی از ابزارهای کاربردی جهت رسیدن به توسعه پایدار، استفاده از فناوری‌های نوین بخصوص بیوتکنولوژی می‌باشد. از آنجا که کاربردهای بیوتکنولوژی در کلیه شئون زندگی بشر نقش آفرین شده است، بنابراین بیوتکنولوژی علاوه بر اینکه می‌تواند ابزار مناسب و قدرتمندی برای دستیابی به توسعه پایدار به‌شمار آید، کاربرد وسیع آن در بخش‌های مختلف نشانگر گستره وسیع این علم می‌باشد. برخی از کاربردهای آن عبارت‌اند از:

- تولید فراورده‌های غذایی
- تولید آنزیم‌های گوناگون با کاربرد در صنایع غذایی و دارویی
- تولید انرژی
- تولید فراورده‌های ویژه دارویی (آنتی‌بیوتیک‌ها و پروتئین‌ها) که از طرق عادی امکان تولید آنها میسر نیست.
- تصفیه بیولوژیکی آب‌های آلوده و پساب‌ها



- ۱ مفهوم واژه بیوتکنولوژی چیست؟
- ۲ دلایل استفاده از ریزند/مکان در صنایع تخمیری چیست؟
- ۳ کدام گروه از ریزند/مکان کاربرد بیشتری در صنایع تخمیری دارند؟
- ۴ دو مورد از کاربردهای سلول‌های جانوری در صنایع تخمیری را نام ببرید.
- ۵ تفاوت آنزیم‌ها با کاتالیزگرهای شیمیایی چیست؟
- ۶ منظور از متابولیت چیست؟
- ۷ چهار فعالیت اصلی را در فرایندهای بالادستی نام ببرید.
- ۸ مزایای هم‌زدن محیط کشت در بیوراکتورها چیست؟
- ۹ نقش بیوراکتور در فرایند تخمیر چیست؟
- ۱۰ تفاوت محصولات درون سلولی و برون سلولی در مرحله خالص سازی چیست؟
- ۱۱ دو مورد از روش‌های بازیافت محصول را نام ببرید.

## ۵-۵- شیمی سبز چیست؟



بارها از آسیب‌های مواد شیمیایی به بدن آدمی و محیط زیست شنیده و خوانده‌اید. آیا دوری و پرهیز از به‌کارگیری مواد شیمیایی می‌تواند به ما کمک کند، تا چه اندازه‌ای می‌توانید از آنها دوری کنید؟ کدام یک از فراورده‌های شیمیایی را می‌توان یافت که با آسیب به سلامت آدمی یا محیط زیست همراه

نباشد؟ داروهایی که سلامتی ما به آنها بستگی زیادی دارد، با آسیب‌هایی به بدن ما نیز همراهند. آیا می‌توان آنها را به‌کار نبرد؟ آیا می‌توان آب تصفیه شده با مواد شیمیایی را استفاده نکرد؟

بی‌گمان هر اندازه که بتوان از به‌کارگیری مواد شیمیایی در زندگی خود پرهیز کرد یا از رها شدن این‌گونه مواد در طبیعت جلوگیری شود، به سلامت خود و محیط زیست کمک کرده‌ایم. اما به نظر می‌رسد که در این راهکارهای پیشگیرانه، که تاکنون کارآمد چشمگیری از خود نشان نداده‌اند، باید به راه‌هایی کارآمدتر نیز اندیشید که دگرگونی در شیوه ساختن مواد شیمیایی در راستای کاهش آسیب‌های آنها به آدمی و محیط زیست یکی از این راه‌ها است. امروزه، از این رویکرد نوین با عنوان شیمی سبز یاد می‌شود که عبارت است از: طراحی فراورده‌ها و فرایندهای شیمیایی که به‌کارگیری و تولید مواد آسیب‌رسان به سلامت آدمی و محیط زیست را کاهش می‌دهند، یا از بین می‌برند.

در علم شیمی انقلابی سبز در حال شکل‌گیری است که نه تنها پایداری محیط و سودبخشی را به ارمغان می‌آورد بلکه از خطرات فاجعه‌های صنعتی نیز می‌کاهد.

شیمی سبز عبارت است از تولید محصولات جدید با استفاده از روش‌های جدیدی که متناسب با هدف‌های سه‌گانه «محیط زیست پایدار - اقتصاد پایدار - و جامعه پایدار» است.

استفاده از شیمی سبز به طور کلی با کاستن مخارج همراه است که کاهش یا حذف کلی مخارج از بین بردن پسماندهای شیمی جزئی از آن است و نیز پیامدها و اثرات منفی زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند این دو عامل، رقابت‌پذیری بیشتری برای شرکت‌ها ایجاد می‌نماید. شیمی سبز کره زمین را تمیزتر، ایمن‌تر و بهره‌ورتر می‌نماید. شیمی سبز وجدان علم شیمی و راه آینده است.

### معرفی اصول شیمی سبز

شیمی دان‌ها می‌توانند با یافتن راه‌هایی برای کاهش مصرف و حذف تولید یا کاربرد مواد سمی (در فرایندهای شیمیایی) به حفظ سلامت بشر و استانداردهای زیست‌محیطی کمک کنند. شیمی سبز از دوازده اصل تشکیل می‌شود که هشت اصل آن عبارت است از:

**اصل اول –** پیشگیری از آلودگی: بهتر است به جای رفع آلودگی صنعتی پس از تشکیل در جریان یک فرایند صنعتی فرایندهای شیمیایی را چنان طراحی کرد که به‌طور کلی آلاینده نباشند.

**اصل دوم –** کارایی بهینه اتم‌ها: روش‌های سنتزی باید طوری طراحی شوند که حداکثر تعداد اتم‌های واکنش‌دهنده در یک واکنش مورد مصرف قرار گیرند.

**اصل سوم –** واکنش با آلاینده‌گی کمتر: تا آنجا که ممکن است باید روش‌های تولید طوری انتخاب شوند که در آنها کمترین استفاده از مواد شیمیایی سمی به‌عمل آید و همچنین محصول واکنش‌ها سمی نباشد.

**اصل چهارم –** تولید فرآورده‌های شیمیایی غیرسمی: محصولات شیمیایی باید در صورت امکان کمترین اثرات سمی را به همراه داشته باشند.

**اصل پنجم –** استفاده از حلال‌ها و مواد کمکی با سمیت کمتر: باید در فرایندهای جانبی مربوط به یک واکنش شیمیایی صنعتی مانند انحلال و استخراج تا حد ممکن از مواد غیرسمی استفاده شود.

**اصل ششم –** کارایی بیشتر انرژی: ملاحظات مربوط به انرژی باید برای کلیه بخش‌های یک فرایند مورد توجه قرار گیرد تا آن فرایند با صرف حداقل میزان انرژی و ایجاد کمترین اثرات منفی زیست‌محیطی انجام شود. در یک فرایند شیمیایی کاربردهای انرژی به شکل‌های مختلف مشاهده می‌شود که برخی از آنها عبارت‌اند از: حرارت دادن، سرد کردن، ایجاد سر و صدا، افزایش فشار، ایجاد خلأ و نیز انرژی مورد نیاز برای جداسازی و خالص‌سازی محصولات واکنش.

**اصل هفتم –** کاتالیز واکنش‌ها: کاتالیزورها به دلیل نقشی که در سرعت بخشیدن به واکنش‌ها دارند مورد استفاده فراوان هستند. همچنین در بسیاری از موارد، افزایش گزینش‌پذیری واکنش‌ها سبب کاهش تشکیل محصولات جانبی و افزایش درجه خلوص محصول می‌شود.

**اصل هشتم –** تجزیه‌پذیری محصولات: فرایندهای شیمیایی باید چنان طراحی شوند که محصولات نهایی آنها در طبیعت موادی تجزیه‌پذیر باشند.

۱ به نظر شما تفاوت اصول شیمی سبز با ملاحظات زیست‌محیطی چیست؟

۲ برخی از کاربردهای شیمی سبز را نام ببرید؟

پرسش



تحقیق کنید



چهار اصل باقیمانده شیمی سبز را بنویسید و برای هر یک از اصول شیمی سبز یک مثال واقعی بیاورید.

## جدول ارزشیابی پودمان فناوری‌ها و نوآوری‌ها

| نمره | شاخص تحقیق  | نتایج مورد انتظار     | استاندارد عملکرد (کیفیت)   | تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)                             | عنوان پودمان                    |
|------|---|-----------------------|--|--|---------------------------------|
| ۳    | بررسی ویژگی و ساختار و کاربرد نانو در اتم فناوری زیستی، بیان ۱۲ اصل شیمی سبز      | بالتر از حد انتظار    | بررسی ویژگی نانو ذرات و ساختار آن - دسته‌بندی کاربردهای نانو - بررسی فناوری زیستی - بررسی شیمی سبز و اصول شیمی سبز | ۱- بررسی فناوری نانو<br>۲- فناوری زیستی<br>۳- بررسی شیمی سبز | پودمان ۵: فناوری‌ها و نوآوری‌ها |
| ۲    | بررسی ویژگی و ساختار و کاربرد نانو در اتم، بررسی فناوری زیستی بیان ۸ اصل شیمی سبز | در حد انتظار          |  |  |                                 |
| ۱    | بررسی ویژگی نانو در اتم - بررسی ناقص فناوری زیستی                                 | پایین تر از حد انتظار |  |  |                                 |
|      |   |                       |  | نمره مستمر از ۵  |                                 |
|      |   |                       |  | نمره شایستگی پودمان  |                                 |
|      |   |                       |  | نمره پودمان از ۲۰  |                                 |

## منابع

- ۱ برنامه درسی درس دانش فنی پایه رشته صنایع شیمیایی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴.
- ۲ سیلبربرگ مارتین، اصول شیمی عمومی، جلد اول و دوم، ترجمه میرمحمد صادقی مجید، پارسا غلام‌عباس، سعیدی محمدرضا، مرکز نشر نوپردازان، ۱۳۹۳.
- ۳ پارسا غلام‌عباس، شفیع افشین، جلالی هروی مهدی، و...، شیمی با نگرش تحلیلی، جلد اول و دوم، مؤسسه فرهنگی فاطمی، ۱۳۸۸.
- ۴ اسمیت اسموت پرایس، شیمی عمومی با نگرش کاربردی جلد اول، دوم و سوم، ترجمه خواجه نصیری احمد، سیدی علی، عابدینی منصور، مؤسسه فرهنگی فاطمی، ۱۳۸۳.
- ۵ مورتیمر چارلز، شیمی عمومی، ترجمه خواجه نصیر طوسی احمد، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۳.
- ۶ جوستن ملوین، جانستن دیوید، ترجمه خواجه نصیر طوسی احمد، انتشارات فاطمی.
- ۷ شیمی عمومی، رشته صنایع شیمیایی، سال دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
- ۸ شیمی آلی، رشته صنایع شیمیایی، سال دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
- ۹ شناخت صنایع شیمیایی، رشته صنایع شیمیایی، سال دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
- ۱۰ شیمی معدنی، رشته صنایع شیمیایی، سال دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
- ۱۱ فرایندهای شیمی عمومی، رشته صنایع شیمیایی، سال دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
- ۱۲ کنشلو، طیبه و همکاران، راهنمای انتخاب رشته، انتشارات مدرسه، ۱۳۸۸.
- ۱۳ دیوید ویلیام، آرتور شارپ، فرهنگ شیمی، ترجمه یوری عیسی، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.

