بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلىٰ مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی پایه

رشتهٔ صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی پایه (رشتهٔ صنایع شیمیایی) ـ ۲۱۰۵۲۰

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: طیبه کنشلو، بهرام قنبری، رابعه شیخ‌زاده، قاسم حاجی‌قاسمی، اعظم صفاری و سیدرضا سیف‌محدثی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
رابعه شیخ‌زاده، طیبه کنشلو، اعظم صفاری (اعضای گروه تألیف) ـ بهرام قنبری (ویراستار علمی)

مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ سوروش سعادتمندی (صفحه‌آرا) ـ سمیه نصری (طراح جلد) ـ سید مرتضی میرمجیدی (رسام)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی) تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ یازدهم ۱۴۰۵

کلیهٔ 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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، 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.

شابک ۶- ۲۶۵۷ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2657 – 6**

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 (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان ۱: کلیات ۱

پودمان ۲: مفاهیم پایه ساختار اتم ۹

پودمان ۳: مفاهیم پایه ساختار مولکول ۳۱

پودمان ۴: شیمی ترکیبات آلی ۶۳

پودمان ۵: فناوری و نوآوری‌ها ۷۹

منابع ۱۰۲

سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجّه 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، هویّت خویش را تثبیت کرده و زمینهٔ ارتقای وجودی خویش را مهیّا 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 توسعه‌یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزهٔ دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخهٔ فنی‌وحرفه‌ای 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 رشتهٔ تحصیلی است که هنرجویان در پایهٔ دهم و در آغاز ورود به رشتهٔ تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامهٔ تحصیل در رشتهٔ خود کسب نمایند. درس دانش‌فنی تخصصی که در پایهٔ دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصیِ حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامهٔ تحصیل و توسعهٔ حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.

لازم به یادآوری است که کتاب دانش فنی‌پایه 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 پایهٔ نهم به تحریر درآمده است. محتوای آموزشی کتاب دانش‌فنی پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش‌نظری تأمین می‌کند.

تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعّال صورت می‌گیرد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

نظرسنجی کتاب درسی

سخنی با هنرجویان عزیز

درس دانش‌فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانشِ‌فنی‌پایه در گروه مواد و فراوری و رشتهٔ تحصیلی صنایع شیمیایی برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش‌فنی‌پایه، موضوعاتی مانند تاریخچهٔ رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشتهٔ تحصیلی، نقش رشتهٔ شما در توسعهٔ 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 مؤثّر فنی و مستندسازی، زبان‌فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشتهٔ 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 وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

کلیات

با توجّه به توانایی‌های کشور جمهوری اسلامی ایران در زمینهٔ نفت و گاز و مواد معدنی گوناگون توسعهٔ صنایع شیمیایی در کشور ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

اهمیّت 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 توجّه به گسترش این صنایع به ویژه صنایع پتروشیمی در کشورمان نیاز به متخصصین و تکنسین‌های فنی در این رشته روزبه‌روز بیشتر احساس می‌گردد.

دورهٔ سه سالهٔ متوسطه رشتهٔ صنایع شیمیایی به گونه‌ای طراحی شده است که نیازهای این صنعت را به دیپلمه‌های فنی متبحر برطرف نماید. باید توجّه 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. منطقهٔ عسلویه به‌عنوان قطب اصلی صنعت گاز کشور پتانسیل‌های زیادی جهت توسعه دارد که امید است به تدریج در آینده این توانمندی‌های بالقوّه به فعل تبدیل شود. بنابراین اگر صنایع شیمیایی کشور جایگاه شایستهٔ خود را پیدا نماید، توسعهٔ رشته صنایع شیمیایی در مقطع متوسطه و کاردانی جهت آموزش تکنسین‌های کارآزموده 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 تهیّهٔ مواد آلی، دارویی، بهداشتی و آرایشی، رنگ‌ها، رزین‌ها و تهیّه و خالص‌سازی مواد معدنی مشغول به‌کار شوند. همچنین در صورت تمایل می‌توانند در مقاطع بالاتر ادامهٔ 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 تهیهٔ مواد ویژه و کارآمد برای صنایع متنوع امروزی و تولید محصولات با کیفیّت بالاتر می‌باشد، از این‌رو صنایع شیمیایی ارتباطی تنگاتنگ با علوم مهندسی دارد.

از شاخه‌های رشتهٔ 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 رشتهٔ صنایع شیمیایی می‌توانند جهت اشتغال در شاخه‌های مختلف صنایع‌شیمیایی 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، روغن‌نباتی 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 مادّهٔ 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 مهمّی را در ساخت‌وساز و فعالیت‌های عمرانی جوامع به عهده دارند.

نمایش فیلم

صنایع شیمیایی معدنی

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 توسعهٔ 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 فراورده‌های شیمیایی مختلف تبدیل می‌گردند. امروزه صنایع نفت و پتروشیمی تأمین‌کنندهٔ مواد و نیازهای بسیاری از صنایع دیگر بوده و در تأمین انرژی و توسعه جوامع صنعتی نقش مهمّی دارند. صنایع نفت، گاز و پتروشیمی با بسیاری از شاخه‌های دیگر صنایع شیمیایی مرتبط بوده و به‌ویژه در کشورهای دارندهٔ 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 توجّه 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 موادغذایی، که شامل طراحی فرایند، طراحی خطوط آماده‌سازی، فراوری و بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد، مورد توجّه قرار می‌گیرد بدین منظور از سایر علوم و فناوری‌های مهندسی استفاده می‌گردد.

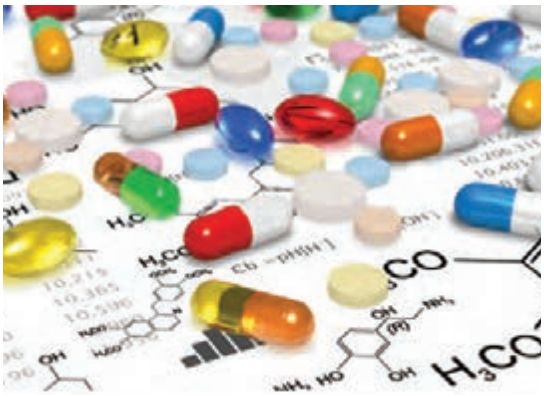
نمایش فیلم

صنایع غذایی

تحقیق کنید

پنج مادهٔ 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 رشتهٔ صنایع شیمیایی توانایی انجام کار در مراکز داروسازی را دارا می‌باشند.

نمایش فیلم

صنایع دارویی

شیمی محیط‌زیست

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

نمایش فیلم

شیمی محیط‌زیست

صنعت تصفیهٔ آب و فاضلاب

امروزه حفظ منابع آب، یعنی حیاتی‌ترین مادّه‌ای که بشر به آن نیاز دارد، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجّه مجامع مختلف بین‌المللی قرار گرفته است. رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه بهره‌برداری بیش ازحد از منابع محدود آب از یک طرف و آلوده شدن آنها به‌سبب 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 کیفیّت فیزیکی و شیمیایی و زیست‌شناختی منابع آب سرلوحهٔ فعالیت بسیاری از سازمان‌هایی است که به نحوی با این منابع سروکار دارند.

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

نمایش فیلم

تصفیه آب و فاضلاب

وظایف شاغلین در رشتهٔ صنایع شیمیایی

۱ انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی
۲ کنترل کیفی مواد اولیه، میانی و محصولات و نظارت بر فرایند تولید
۳ کار با دستگاه‌های فنّی 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 بلورش
- دستگاه‌های احتراقی
- توربین‌ها، شیرها، پمپ‌ها و کوره‌ها

۷ کار در واحدهای سرویس برق و بخار و تصفیهٔ 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
- صنعت چوب و کاغذ
- صنایع غذایی
- مواد 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 گستردهٔ 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 زمینهٔ توسعهٔ صنایع شیمیایی به‌عنوان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است و رشد صنایع شیمیایی در کشور نسبت به گذشته روبه جلو است. سهم کشور در صادرات محصولات شیمیایی در جهان محدود بوده و به‌رغم ظرفیت‌های بالایی که این صنعت در کشور دارد از پتانسیل‌ها آن‌گونه 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 به‌عنوان تغذیه‌کننده سایر بخش‌های صنعت می‌تواند به‌عنوان موتور حرکت اقتصاد کشورهای درحال توسعه نقش اساسی را ایفا نماید. از امتیازات مهمّ صنعت پتروشیمی که دارای مزیّت نسبی است، تأمین مواد اولیهٔ آن در داخل کشور است. با گسترش صنعت پتروشیمی ضمن اینکه بسیاری از نیازهای داخلی رفع می‌شود، ارزش افزودهٔ مادّهٔ خام نیز به داخل کشور بازمی‌گردد و باعث رونق هرچه بیشتر اقتصاد می‌شود.

تحقیق کنید

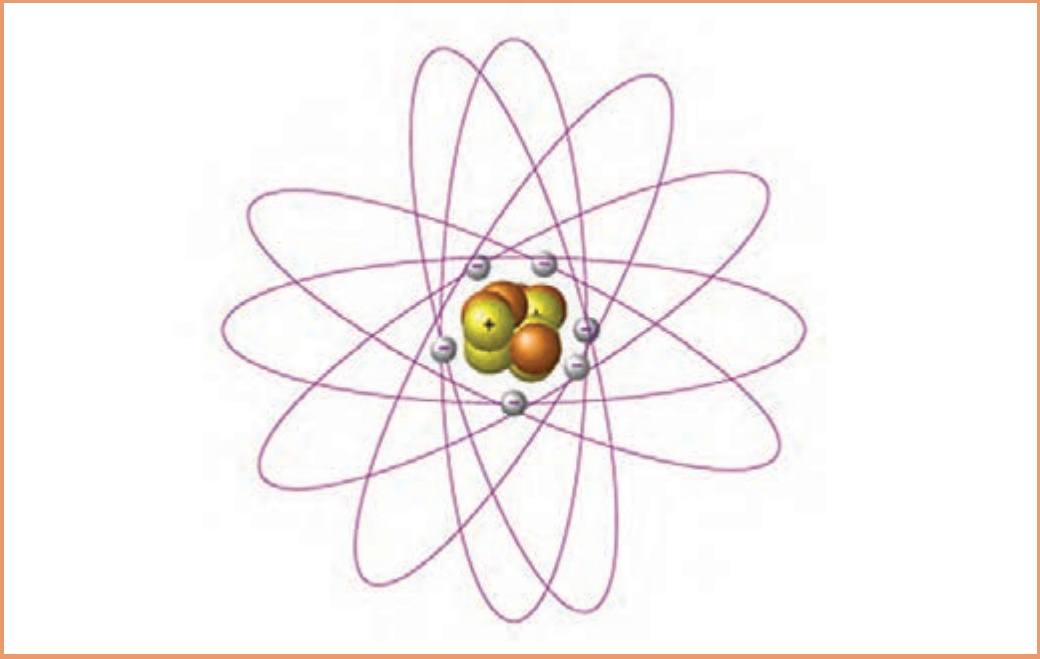
صنایع مرتبط با صنایع شیمیایی که در استان شما وجود دارد را شناسایی کنید و گزارشی در مورد آن تهیه و در کلاس ارائه دهید.

جدول ارزشیابی پودمان کلیات

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

پودمان ۲

مفاهیم پایه ساختار اتم



شیمی با مطالعهٔ مادّه و تغییرات آن سروکار دارد. از آنجا که مادّه 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.

۱ـ۲ـ معرفی اتم

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 ذرّات بسیار کوچکی که او آنها را «اتم» نامید. وی می‌پنداشت که اتم‌ها کوچک‌ترین ذرّات ممکن ماده‌اند و هر یک از مواد موجود در جهان، اتم‌های متفاوتی دارند.

مدّتی پس از دموکریتوس ارسطو این نظر را مطرح کرد که ماده پیوسته و یکپارچه است و از ذرّات 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 عنصرها 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.) اظهارنظر وی این بود که در واکنش‌های شیمیایی معمولی، ماده تغییرات بسیاری می‌کند، اما خلق یا نابود نمی‌شود.

شیمی‌دان فرانسوی «ژوزف پروست[1]» 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 (۱۸۴۴ـ۱۷۶۶)

نظریهٔ اتمی دالتون: جان دالتون[2] با توجّه 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:

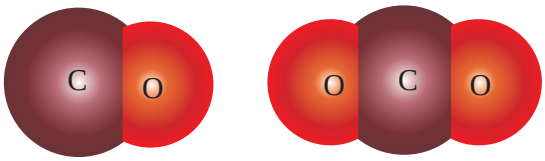
۱ همهٔ مواد از ذرّه‌های بسیار ریز به نام اتم تشکیل شده‌اند. و اتم‌های یک عنصر غیرقابل تقسیم هستند.

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 هرترکیب 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 معیّن نسبت تعداد اتم‌ها همواره ثابت است. مثلاً در جیوه (II) اکسید HgO نسبت تعداد اتم‌های جیوه به اکسیژن همواره ۱:۱ است.

۱ـ Joseph Proust
۲ـ Gohon Dalton



شکل (۱ـ۲) مولکول‌های CO_2 و CO

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

- قانون نسبت‌های معیّن می‌گوید که ترکیب خالص همواره شامل عنصرهای یکسان با نسبت جرمی یکسان است. اصل چهارم نظریهٔ دالتون بیانگر این قانون است.
- طبق بند ۲ اتم‌های یک عنصر جرم یکسانی دارند و طبق بند ۴ اتم عنصرهای مختلف با نسبت‌های معیّنی 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 اهمیّت بسیاری دارد و به «**قانون نسبت‌های چندگانه**» معروف است.

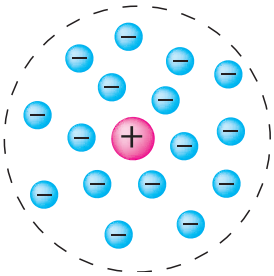
برای درک قانون نسبت‌های چند گانه به شکل (۱ـ۲) توجّه کنید:
کربن‌منوکسید CO از یک اتم کربن و یک اتم اکسیژن و کربن‌دیوکسید CO_2 از یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن تشکیل شده است. از قانون نسبت‌های چندگانهٔ دالتون می‌توان نتیجه گرفت که نسبت جرم اکسیژن در کربن‌دیوکسید به جرم اکسیژن در کربن‌منوکسید باید نسبت دو عدد صحیح کوچک باشد، که در این مثال نسبت ۲ به ۱ است.
گرچه نکات اساسی مربوط به نظریهٔ اتمی دالتون به قوّت خود باقی است، ولی با پیشرفت علم امروزه می‌دانیم که در مورد بند ۱، اتم‌های یک عنصر از ذرّه‌های زیر اتمی[1] کوچک‌تری تشکیل شده‌اند و در مورد بند ۲، اتم‌های یک عنصر می‌توانند جرم‌های متفاوت که ایزوتوپ[2]های آن عنصر است را، داشته باشند.

۲ـ۲ـ ساختار اتم

در سال‌های قبل از ۱۹۰۹ میلادی با تلاش دانشمندان مختلف به وجود دو ذرّهٔ زیر اتمی الکترون و پروتون پی بردند. در این سال تامسون مدلی برای اتم به شکل کره‌ای در نظر گرفت که پروتون‌ها در همهٔ 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 دانشمندانی چون ارنست رادرفورد، و در پی آن جیمز چادویک منجر به ارائهٔ مدلی برای اتم شد. در این مدل پیشنهادی اتم به شکل کره‌ای در نظر گرفته شده است که دارای هسته‌ای با بارمثبت که با یک یا چند الکترون با بار منفی احاطه گردیده است. الکترون‌ها به سرعت در فضای اتمی موجود حرکت می‌کنند و از طریق جاذبهٔ هسته نگهداری می‌شوند. هسته فوق‌العاده متراکم، فشرده و بیشترین وزن اتم را تشکیل می‌دهد.

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

هستهٔ اتم از پروتون‌ها و نوترون تشکیل شده است (تنها استثنا هستهٔ 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.



مدل اتمی رادرفورد

فکرکنید

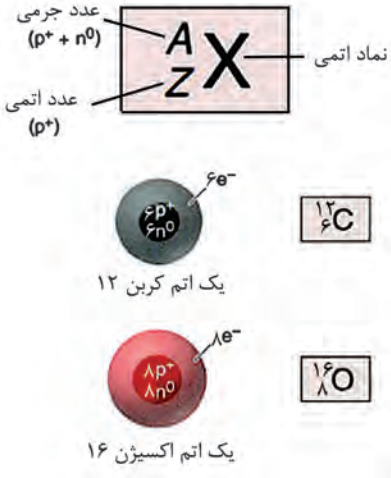
اگر بپذیریم که در یک اتم الکترون‌ها در اطراف پروتون‌ها می‌چرخند، به نظر شما چه نیرویی این دو ذره را در کنار هم نگه می‌دارد؟

جدول (۱ـ۲) خواص سه ذره بنیادی الکترون، پروتون و نوترون

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

عدد اتمی و عدد جرمی

هستهٔ 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 هستهٔ 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) به‌صورت زیروند در سمت چپ نماد شیمیایی و عدد جرمی (A) به‌صورت بالا وند در سمت چپ نماد شیمیایی نوشته می‌شود (شکل ۲ـ۲).



شکل (۲ـ۲) نمادشیمیایی اتم‌ها

پرسش

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

$^{20}_{10}Ne$، $^{24}_{12}Mg$، $^{65}_{30}Zn$، $^{56}_{26}Fe$، $^{19}_{9}F$، $^{40}_{18}Ar$، $^{27}_{13}Al$، $^{7}_{3}Li$

۲ اگر تعداد الکترون‌های اتمی ۱۷ و تعداد نوترون‌های هستهٔ اتم ۱۸ باشد، عدد اتمی و عدد جرمی آن را به‌دست آورید.

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

ایزوتوپ

همان‌طور که گفته شد عدد اتمی برابر تعداد پروتون‌های هستهٔ اتم و عدد جرمی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست. همهٔ اتم‌های یک عنصر عدد اتمی یکسان دارند، امّا 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 ۲ـ۲ آمده است.

جدول (۲ـ۲) درصد فراوانی ایزوتوپ های اتم کربن

ایزوتوپ‌ها	عدد اتمی Z	عدد جرمی A	تعداد نوترون‌ها	درصد فراوانی
^{12}C	۶	۱۲	۶	۹۸/۸۹
^{13}C	۶	۱۳	۷	۱/۱۱
^{14}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 (۲ـ۲) جمع‌آوری کنید.

.....

پرسش

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

محاسبهٔ جرم اتمی میانگین

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

مطابق معادلهٔ زیر:

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

یکای جرم اتمی (amu[1]): 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)، $\frac{۱}{۱۲}$ جرم یک اتم کربن ۱۲ است.

مثال:

ایزوتوپ‌های طبیعی نئون، ^{۲۰}Ne، ^{۲۱}Ne و ^{۲۲}Ne به ترتیب، درصد فراوانی ۹۰/۵، ۰/۳ و ۹/۲ دارند. جرم اتمی این عنصر را به دست آورید؟

$$\text{جرم اتمی Ne} = \frac{(۲۰\times۹۰/۵)+(۲۱\times۰/۳)+(۲۲\times۹/۲)}{۱۰۰} = ۲۰/۱۸۷\,amu$$

پرسش

۱ جرم اتمی میانگین نقره را معین کنید، هرگاه اتم‌های نقره موجود در طبیعت ۱۰۶/۹۰۵ amu و از اتم‌ها ۱۰۸/۹۰۵amu جرم داشته باشند.

۲ هرگاه ۹۲/۲۱٪ اتم‌های سیلیسیم جرم ۲۹/۷۷۷amu، ۴/۷۰٪ جرم ۲۸/۹۷۶ amu و ۳/۰۹٪ جرم ۲۹/۹۷۴amu داشته باشند، جرم اتمی سیلیسیم چقدر خواهد بود؟

۳ عنصر بور دارای دو ایزوتوپ طبیعی به جرم‌های اتمی ^{۱۰}B=۱۰/۰۱۲۹ amu و ^{۱۱}B=۱۱/۰۰۹۳ amu است. با در نظر گرفتن جرم اتمی بور که معادل ۱۰/۸۱ amu است، فراوانی نسبی ایزوتوپ‌های ^{۱۰}B و ^{۱۱}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؟

محاسبهٔ جرم مولکولی

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

جرم مولکولی = مجموع جرم‌های اتمی

۱ـ atomic mass unit

جرم مولکولی آب (با استفاده از جرم اتمی، تا چهار رقم معنی‌دار)، از جدول تناوبی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

جرم مولکولی H_2O = (جرم اتمی H × ۲) + (جرم اتمی O × ۱)

= (۲ × ۱/۰۰۸ amu) + ۱۶/۰۰ amu = ۱۸/۰۲ amu

ترکیب‌های یونی نیز به‌همین صورت در نظر گرفته می‌شوند، ولی چون آنها شامل مولکول نیستند، اصطلاح جرم فرمولی را برای ترکیب‌های یونی به‌کار می‌بریم. برای محاسبهٔ جرم فرمولی، تعداد اتم‌های هر عنصر در پرانتز، در زیروند خارج پرانتز ضرب می‌شود. برای باریم نیترات $Ba(NO_3)_2$ به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

جرم فرمولی $Ba(NO_3)_2$

= (جرم اتمی Ba × ۱) + (جرم اتمی N × ۲) + (جرم اتمی O × ۶)

= ۱۳۷/۳ amu + (۲×۱۴/۰۱ amu) + (۶×۱۶/۰۰ amu) = ۲۶۱/۳ amu

در مورد ترکیب‌های آلی به‌سادگی می‌توان جرم مولکولی را از ضرب کردن تعداد هر عنصر در جرم اتمی آن و جمع بستن مجموع آنها، محاسبه نمود.

تمرین

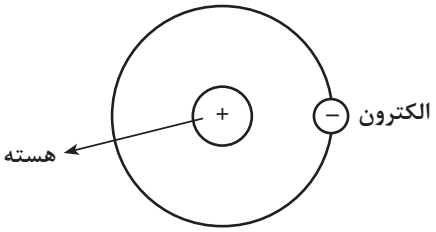
با استفاده از داده‌های جدول تناوبی، جرم مولکولی ترکیب‌های زیر را محاسبه کنید.

الف) سولفوریک‌اسید:	H_2SO_4	ب) آمونیوم‌نیترات:	NH_4NO_3
پ) سدیم‌هیدروکسید:	NaOH	ت) سدیم‌کربنات:	Na_2CO_3
ث) پتاسیم‌کلرید:	KCl	ج) هیدروکلریک‌اسید:	HCl

۳ـ۲ـ مدل اتمی بور

نظریه‌های علمی دیگری پس از دالتون مطرح و مورد پژوهش و آزمایش قرار گرفتند. از جمله نظریهٔ بور (نیلز بور[1] ۱۹۶۲ـ۱۸۸۵) که پیشنهاد کرد اتم هیدروژن دارای یک الکترون و هسته‌ای متشکل از یک پروتون است شکل (۳ـ۲).

طبق نظریهٔ بور، در اطراف هستهٔ هر اتم چندین مدار یا سطح انرژی در فاصله‌های معین وجود دارند و الکترون‌ها تنها مجازند در این مدارها یا سطوح انرژی به دور هسته بچرخند شکل (۴ـ۲).



شکل (۳ـ۲) مدل اتمی بور برای اتم هیدروژن

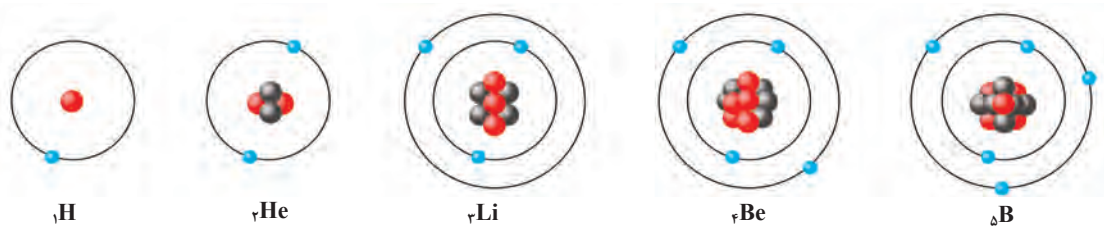
شکل (۴ـ۲) مدل اتمی بور و لایه‌های الکترونی

۱ـ Niels Bohr

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 هرسطح 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.

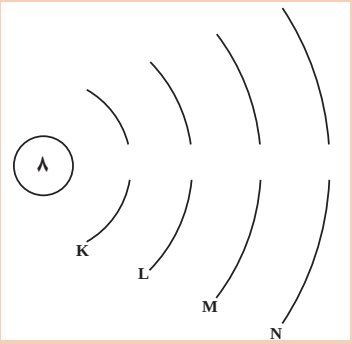
شکل (۵ـ۲) مدل بور را برای اتم‌های هیدروژن، هلیم، لیتیم، بریلیم و بور نشان می‌دهد.



شکل (۵ـ۲) مدل اتمی بور برای اتم‌های هیدروژن، هلیوم، لیتیم، بریلیم و بور

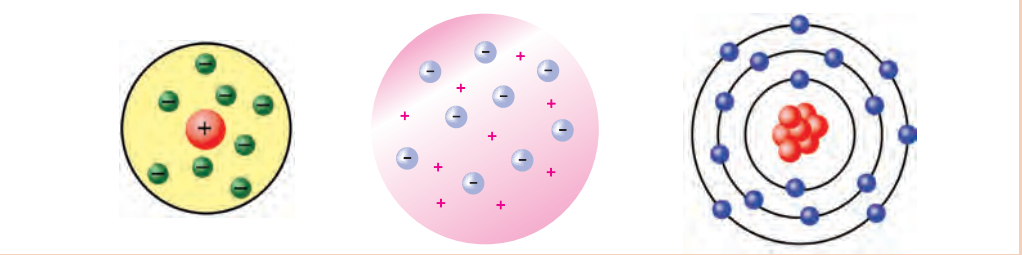
پرسش

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



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

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



تحقیق کنید

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

۴ـ۲ـ انرژی متوالی یونش آرایش الکترون‌ها در اتم

از آنجا که تعداد پروتون‌ها در هستهٔ 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[۱] می‌گویند. مانند:

$$Na\ (\text{گاز}) + E_1 \rightarrow Na^+\ (\text{گاز}) + e^-$$

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 ۲+ تبدیل کرد:

$$Na^+\ (\text{گاز}) + E_2 \rightarrow Na^{2+}\ (\text{گاز}) + e^-$$

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 ۱+ به کار می‌رود و هنوز مفهوم «مول» گفته نشده است، باید انرژی بیشتری صرف شود.

مقدار انرژی یونش برحسب کیلوژول برای جدا کردن یک مول‌الکترون[۲] بیان می‌شود. برای مثال، انرژی نخستین یونش سدیم E_1=۴۹۰ kJ/mol و انرژی دومین یونش آن E_2=۴۵۶۰ kJ/mol است.

تحقیق دربارهٔ گروه‌های الکترونی اتم با استفاده از جدول انرژی‌های یونش

از روی انرژی‌های یونش متوالی می‌توان دربارهٔ آرایش الکترونی اتم اطلاعاتی به‌دست آورد. برای این منظور انرژی‌های یونش متوالی اتم سدیم را در نظر می‌گیریم. انرژی‌های یونش متوالی لیتیم تا سدیم برحسب مگاژول[۳] بر مول (MJ/mol) در جدول ۳ـ۲ 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 ۶ـ۲). جهش اول از E_1 به E_2 است.

$$(E = ۴/۵۶ - ۰/۴۹ = ۴/۰۷\ MJ/mol\ ,\ E_1 \rightarrow E_2)$$

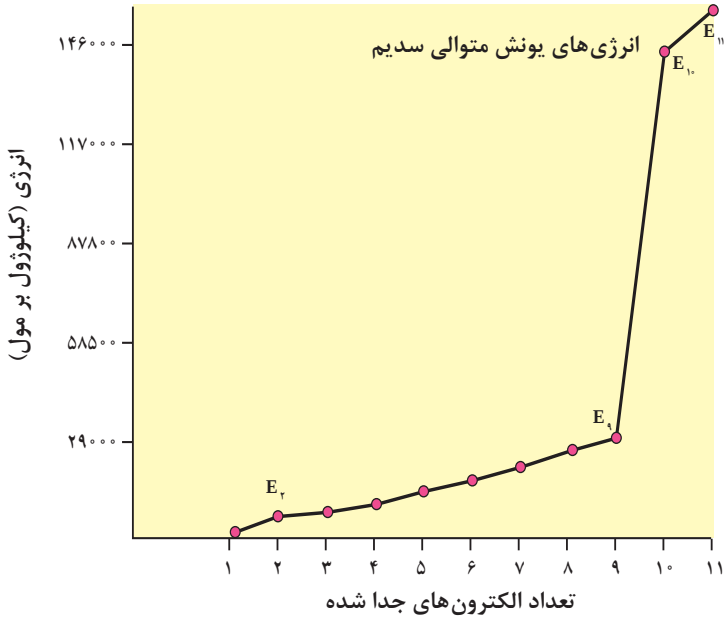
و جهش دوم از E_9 به E_{10} است.

$$(E = ۱۴۱/۳۷ - ۲۸/۹۳ = ۱۱۲/۴۴\ MJ/mol\ ,\ E_9 \rightarrow E_{10})$$

۱ـ First ionization energy

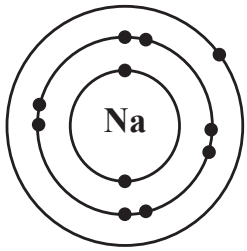
۲ـ یک مول الکترون برابر $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ الکترون است. به $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ عدد آووگادرو گفته می‌شود.

۳ـ مگا (M)=$۱۰^۶$، برای تبدیل مگاژول به کیلوژول آن را در ۱۰۰۰ ضرب می‌کنند.

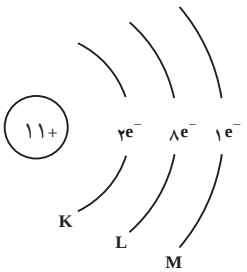


شکل (۶ـ۲) نمودار جهش‌های مشاهده شده در انرژی‌های یونش متوالی اتم سدیم

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 بیرونی‌ترین لایهٔ الکترونی اتم سدیم را تشکیل می‌دهد. گروه دوم شامل هشت الکترون است (انرژی‌های یونش E_2 تا E_9) که انرژی‌های یونش مربوط به آنها با توجّه به زیاد شدن متوالی بار یون‌ها یک افزایش مداوم را نشان می‌دهد. درونی‌ترین لایهٔ الکترونی در اتم سدیم شامل دو الکترون است که انرژی‌های یونش مربوط به آنها E_{10} و E_{11} است و به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود انرژی فوق‌العاده زیادی برای جدا کردن آنها لازم است. با توجّه به اینکه در هستهٔ اتم سدیم ۱۱ پروتون وجود دارد، هرچه الکترون‌ها به هستهٔ اتم نزدیک‌تر باشند، تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ الکتروستاتیک بیشتری قرار می‌گیرند و در نتیجه انرژی زیادتری هم برای جدا کردن آنها لازم می‌شود. دو الکترون آخر که جدا کردن آنها از سایر الکترون‌ها دشوارتر است، به هستهٔ اتم نزدیک‌ترند و گفته می‌شود که پایین‌ترین سطح انرژی را اشغال کرده‌اند. این سطح انرژی را که همان سطح انرژی K است، آن را با $n=1$ مشخص می‌کنند.



دومین سطح انرژی (سطح انرژی L)، همان‌طور که اشاره شد شامل هشت الکترون است و آن را با $n=2$ مشخص می‌کنند. بیرونی‌ترین سطح انرژی در اتم سدیم که بیشترین فاصله را نسبت به هستهٔ اتم سدیم دارد، فقط شامل یک الکترون است. سومین سطح انرژی (سطح انرژی M) را با $n=3$ مشخص می‌کنند. به این ترتیب آرایش الکترونی اتم سدیم مطابق مدل سیاره‌ای بور به صورتی است که در شکل ۷ـ۲ نشان داده شده است.



شکل (۷ـ۲) نمایش مدل بور اتم سدیم

پرسش

با توجّه به انرژی‌های یونش اتم بریلیم چند الکترون باید از اتم بریلیم (Z = ۴) برداریم تا با نخستین جهش بزرگ در انرژی یونش مواجه شویم؟ در اتم بور چطور؟

فعالیت‌گروهی

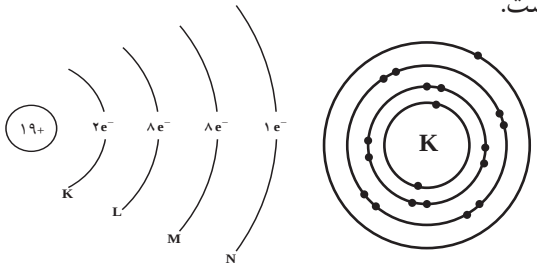
با استفاده از ستون $E_۱$ در جدول ۳ـ۲ تحقیق کنید که آیا انرژی نخستین یونش عنصرهای Z=۳ تا Z=۱۰ به طور منظم افزایش دارد؟ در کدام عنصرها بی‌نظمی دیده می‌شود؟

جدول (۳ـ۲) انرژی‌های یونش متوالی (MJ/mol)* عنصرهای لیتیم تا سدیم

Z	عنصر	تعداد الکترون‌های ظرفیت	$E_۱$	$E_۲$	$E_۳$	$E_۴$	$E_۵$	$E_۶$	$E_۷$	$E_۸$	$E_۹$	$E_{۱۰}$	$E_{۱۱}$
۳	L_i	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			الکترون‌های درونی			
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) = $۱۰^۶$

با توجّه 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 تعلّق دارد و در تناوب چهارم (n=۴) 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 لایهٔ الکترونی که چهارمین سطح انرژی (n=۴) 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 ۸ـ۲ نمایش داده شده است.



شکل (۸ـ۲) نمایش مدل بور اتم پتاسیم

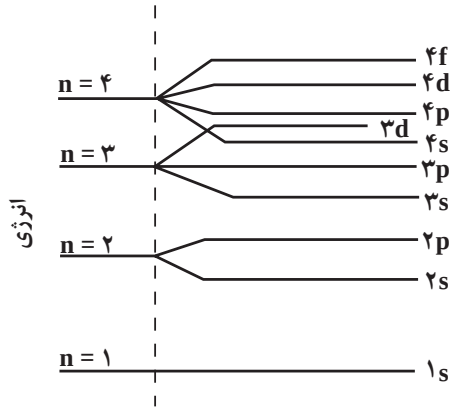
ترازهای فرعی انرژی

انرژی نخستین یونش (E_1) در یک تناوب به‌طوری که انتظار می‌رود با افزایش بار هستهٔ اتم‌ها افزایش می‌یابد. امّا بررسی دقیق‌تر انرژی نخستین یونش عنصرهای تناوب دوم جدول تناوبی نشان می‌دهد که از بریلیم به بور با اینکه بار هسته یک واحد اضافه شده است ولی انرژی نخستین یون $_5B$ (۸۰۰ kJ/mol) کمتر از انرژی نخستین یونش $_4Be$ (۹۰۰ kJ/mol) است (به فعالیت گروهی مراجعه شود). این تفاوت نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که الکترون پنجم در اتم بور نسبت به الکترون‌های سوم و چهارم در فاصله دورتری نسبت به هسته قرار گرفته است. در نتیجه می‌توان گفت که سطح انرژی دوم (n=۲) خود، شامل دو تراز فرعی انرژی است که آنها را ترازهای فرعی ۲s و ۲p می‌نامند. تراز فرعی ۲s می‌تواند حداکثر دو الکترون در خود جای دهد حال آنکه تراز فرعی ۲p حداکثر تا ۶ الکترون می‌پذیرد. تراز فرعی ۲p در فاصلهٔ دورتری نسبت به تراز فرعی ۲s از هستهٔ اتم قرار دارد. شایان ذکر است که در این تناوب همچنین از $_7N$ (E_1=۱۴۰۰ kJ/mol) به $_8O$ (E_1=۱۳۱۰ kJ/mol) انرژی نخستین یونش برخلاف انتظار کاهش می‌یابد. دلیل آن را ضمن بررسی ترتیب پر شدن ترازهای انرژی در اتم‌ها توضیح خواهیم داد.

تحقیقات تجربی نشان می‌دهد که سطح انرژی سوم (n=۳) خود شامل ترازهای فرعی ۳s، ۳p و ۳d است. وجود ترازهای فرعی ۳s و ۳p، مشابه ترازهای فرعی ۲s و ۲p، نیز با توجّه به کاهش انرژی نخستین یونش قابل تشخیص است. در تناوب دوم، انرژی نخستین یونش از $_4Be$ به $_5B$ کاهش یافت، در تناوب سوم نیز انرژی نخستین یونش از $_{12}Mg$ به $_{13}Al$ کاهش می‌یابد ($_{12}Mg$، E_1=۷۳۸ kJ/mol و $_{13}Al$، E_1=۵۷۸ kJ/mol). در تناوب سوم نیز تغییری را که بین $_7N$ و $_8O$ در تناوب دوم مشاهده کردیم، از $_{15}P$ (E_1=۱۰۱۲ kJ/mol) به $_{16}S$ (E_1=۱۰۰۰ kJ/mol) ملاحظه می‌کنیم. تحقیقات همچنین نشان می‌دهد که سطح انرژی چهارم (n=۴) نیز شامل چهار تراز فرعی است که آنها را به‌عنوان ترازهای فرعی ۴s، ۴p، ۴d و ۴f می‌شناسیم. 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 ۹ـ۲ ترتیب پر شدن عدّه‌ای از ترازهای فرعی انرژی نشان داده شده است. برای به‌دست آوردن آرایش الکترونی اتم‌ها، الکترون‌های مربوط به هر اتم را در ترازهای فرعی انرژی قرار می‌دهیم. به این ترتیب که از پایین‌ترین تراز فرعی در n=۱ شروع می‌کنیم و به‌تدریج به سمت ترازهای فرعی بالاتر در سطح‌های n=۲، n=۳ و... پیش می‌رویم.



شکل (۹ـ۲) سطح‌های انرژی اصلی و ترازهای فرعی آنها

چنانکه قبلاً اشاره شد در سطح انرژی n=۱ که همان تراز ۱s است و درونی‌ترین لایهٔ الکترونی اتم را تشکیل می‌دهد، حداکثر دو الکترون قرار می‌گیرد. در سطح انرژی دوم (n=۲) پس از پر شدن تراز فرعی ۲s با دو الکترون، الکترون‌های بعدی در تراز فرعی ۲p قرار می‌گیرند. در سطح انرژی سوم (n=۳) ابتدا تراز فرعی ۳s و سپس تراز فرعی ۳p به‌وسیلهٔ الکترون‌ها اشغال می‌شوند. اما همان‌طور که در شکل ۹ـ۲ دیده می‌شود، تراز فرعی ۴s پایین‌تر از تراز فرعی ۳d قرار دارد و از این‌رو پس از اتم آرگون (Z=۱۸) که آخرین لایهٔ الکترونی آن به صورت $۳s^{۲}۳p^{۶}$ است، تناوب چهارم با وارد شدن نوزدهمین الکترون در تراز فرعی ۴s آغاز می‌شود که همان عنصر پتاسیم باشد. تراز فرعی ۴s در عنصر کلسیم (Z=۲۰) کامل می‌شود و آن‌گاه ده الکترون بعدی از الکترون بیست و یک تا الکترون سی در تراز فرعی ۳d قرار می‌گیرند و سری عنصرهای واسطه از اسکاندیم تا روی را به وجود می‌آورند. پس از کامل شدن تراز فرعی ۳d نوبت به تراز فرعی ۴p می‌رسد و این تراز فرعی نیز با دریافت شش الکترون در عنصر کریپتون (Z=۳۶) کامل می‌شود. ترتیب پر شدن ترازهای فرعی انرژی بالاتر مطابق الگوی شکل ۹ـ۲ 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 ۲۰عنصر اول جدول تناوبی عنصرها است که در جدول ۴ـ۲ آمده است.

جدول (۴ـ۲) آرایش الکترونی ۲۰ عنصر اول جدول تناوبی عنصرها

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

۵ـ۲ـ جدول تناوبی عناصر

شکل (۱۰ـ۲) مندلیف (۱۹۰۷ـ۱۸۳۴)

در گذشته شیمی‌دانان 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 توجّه، 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 توسعهٔ 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[1] 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 اِکا[2] 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 هستهٔ اتم) در سال ۱۹۱۳ توسط مُزلی معلوم شد که استفاده از عدد اتمی هر عنصر که مقدار معیّن 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 Te	۱۲۶/۹ I
عدد اتمی ←	۵۲	۵۳

۱ـ Dimitri Ivanovich Mendeleev

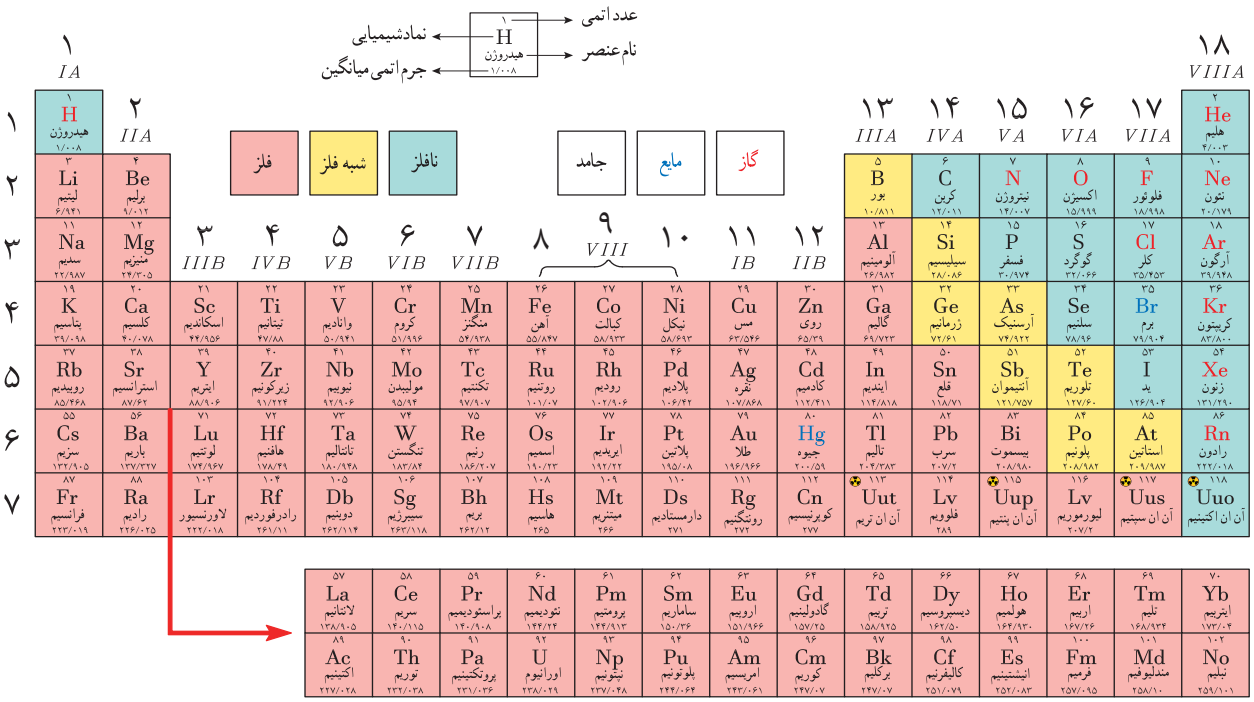
۲ـ اِکا به زبان روسی معنی زیر می‌دهد.

۶ـ۲ـ ساختار جدول تناوبی و برخی ویژگی‌های عنصرهای آن

بعد از مطالعهٔ چگونگی پیدایش جدول تناوبی به بررسی برخی ویژگی‌ها و امتیازات جدول می‌پردازیم. منظور از جدول تناوبی در حال حاضر، جدول ارائه شده در شکل ۱۱ـ۲ 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 دربارهٔ 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 هلیم (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 شیوهٔ خاصّی 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).



شکل (۱۱ـ۲) جدول تناوبی عنصرها

■ تناوب هفتم ناقص است و درصورتی‌که 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 توجّه 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 لایهٔ ظرفیت و موقعیت عنصر در جدول تناوبی نقش اساسی دارد. جدول (۵ـ۲) آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت گروه‌های هشت‌گانهٔ اصلی را نشان می‌دهد.

جدول (۵ـ۲) عنصرهای اصلی جدول تناوبی و آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت آنها

گروه	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
تعداد الکترون‌ها در لایهٔ بیرونی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	(به استثنای He) 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 (خانوادهٔ فلزهای قلیایی یا گروه لیتیم): آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز ns^1 ختم می‌شود. نماد n نشان‌دهندهٔ شمارهٔ آخرین لایهٔ الکترونی (لایهٔ ظرفیت) است. به سه مثال زیر توجّه کنید:

$_{3}Li: 1s^2\ 2s^1$

$_{11}Na: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

$_{19}K: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

لایهٔ 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. همان‌طور که آموختید، مقدار انرژی یونش لازم برای جدا کردن تنها الکترون موجود در لایهٔ ns فلزهای قلیایی نسبتاً کم است و این عنصرها در واکنش با عنصرهای دیگری همچون کلر، این الکترون را به آسانی از دست می‌دهند و به یونی با بار +۱ تبدیل می‌شوند. خواص فلزی قوی این عنصرها و واکنش‌پذیری شدید آنها نیز دلالت بر آمادگی زیاد برای تبدیل شدن به یون M^+ (Li^+، K^+ و Na^+) دارد. برای مثال این فلزها به شدّت با آب واکنش می‌دهند و $\frac{۱}{۲}$ مول گاز $H_۲$ به ازای مصرف یک مول فلز M پدید می‌آورند. معادلهٔ عمومی واکنش فلزهای این خانواده با آب و برای مثال واکنش سدیم با آب به قرار زیر است:

$$۲M + ۲H_۲O \rightarrow H_۲ + ۲MOH$$

$$۲Na + ۲H_۲O \rightarrow H_۲ + ۲NaOH$$

معادلهٔ 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.

$$M_۲O + H_۲O \rightarrow ۲MOH$$

$$Na_۲O + H_۲O \rightarrow ۲NaOH$$

تمرین

۱ فرمول شیمیایی پتاسیم‌اکسید لیتیم‌اکسید را بنویسید.

۲ واکنش پتاسیم‌اکسید و لیتیم‌اکسید را با آب بنویسید.

مثال:

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

پاسخ:

$$۰/۳۹g \times \frac{۱mol\ \text{فلز}}{M_w} \times \frac{۱mol\ H_۲}{۲mol\ \text{فلز}} \times \frac{۲۲۴۰۰cm^۳}{۱mol\ H_۲} = ۱۱۲cm^۳$$

$$\Rightarrow M_w = \frac{۰/۳۹g \times ۲۲۴۰۰cm^۳}{۲ \times ۱۱۲cm^۳} = ۳۹g \ \text{جرم اتمی عنصر}$$

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.

$$K: 1s^۲/۲s^۲,۲p^۶/۳s^۲,۳p^۶/۴s^۱$$

۱ـ هر مول گازی در شرایط استاندارد دما و فشار ($P=۱atm$, $T=۰^\circ C$) ۲۲/۴ لیتر حجم دارد.

گروه IIA (خانوادهٔ فلزهای قلیایی‌خاکی یا گروه بریلیم): آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز انرژی $ns^{۲}$ ختم می‌شود. چون در لایهٔ 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 لایهٔ ظرفیت خود را به راحتی از دست می‌دهند و به یون +۲ 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. معادلهٔ عمومی واکنش فلزهای قلیایی خاکی با آب به قرار زیر است:

برای مثال واکنش فلز کلسیم با آب چنین خواهد بود:

$$M + ۲H_۲O \rightarrow H_۲ + M(OH)_۲$$

$$Ca + ۲H_۲O \rightarrow H_۲ + Ca(OH)_۲$$

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

$$MO + H_۲O \rightarrow M(OH)_۲$$

$$CaO + H_۲O \rightarrow Ca(OH)_۲$$

(آهک زنده) (آهک مرده و آب آهک)

تمرین

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

۲ فرمول شیمیایی منیزیم‌اکسید و باریم‌اکسید را بنویسید.

۳ واکنش منیزیم‌اکسید و باریم‌اکسید را با آب بنویسید.

پرسش

۸/۷۶ گرم از یک فلز قلیایی خاکی مجهول با آب به شدّت 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 (خانوادهٔ بور): آرایش الکترونی عنصرهای این گروه به تراز انرژی $ns^{۲}np^{۱}$ ختم می‌شود. از این‌رو اتم‌های این عنصرها در لایهٔ 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:

$$_{۵}B: ۱s^{۲}\ ۲s^{۲}\ ۲p^{۱}$$

$$_{۱۳}Al: ۱s^{۲}\ ۲s^{۲}\ ۲p^{۶}\ ۳s^{۲}\ ۳p^{۱}$$

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 دوخصلتی است. هم با اسیدها و هم با بازها واکنش می‌دهد.

تمرین

فرمول شیمیایی آلومینیم‌اکسید و بوراکسید را بنویسید.

گروه ۱۴/IVA (گروه کربن): آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت عنصرهای این گروه به تراز انرژی ns^2np^2 ختم می‌شود. مثال آنها عنصر کربن با آرایش الکترونی $_6C: 1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ 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، به‌طوری‌که 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.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

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

$_7N: 1s^2\ 2s^2\ 2p^3$

$_{15}P: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$

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

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

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

$_8O: 1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

$_{16}S: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

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

شکل (۱۲ـ۲) تودهٔ بزرگی از گوگرد در انتظار ورود به مجتمع سولفوریک‌سازی. گوگرد را می‌سوزانند 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 (خانوادهٔ هالوژن‌ها): آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت این عنصرها ns^2np^5 است مانند:

$_9F: 1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

$_{17}Cl: 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

خصلت نافلزی این گروه از عنصرها نسبت به عنصرهای هم‌دورهٔ 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 (به‌جز هلیم که ns^2 است). به علّت پر شدن لایه‌های الکترونی، عنصرهای این گروه تمایلی به گرفتن الکترون و تشکیل آنیون ندارند و به علّت 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 فلوئور 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 لایهٔ ظرفیت آنها در حال پُر شدن است. در عنصرهای گروه‌های اصلی IIIA تا VIIIA نیز که در سمت راست جدول قرار دارند، تراز p لایهٔ ظرفیت آنها در حال پُر شدن است. در عنصرهای واسطه تراز d در حال پُر 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 (به‌جز 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، ۷/۸۶ 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 (به‌جز 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 تهیهٔ اکسیژن از H_2O_2، Ni در تبدیل روغن مایع به روغن نباتی جامد).

تمرین

۱ تعداد الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها را برای هریک از اتم‌های $^{45}_{21}Sc$، $^{31}_{15}P$، $^{14}_{7}N$، $^{40}_{18}Ar$ مشخّص کنید.

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

الف) B　ب) Be　پ) F　ت) Na　د) O^+　ث) Cl

ج) He^+　چ) N^{3-}　ح) Mg^{2+}　خ) O^{2-}　ذ) S^{2-}

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 به‌عنوان 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 لایهٔ ظرفیت دو عنصر توضیح دهید.

۶ آرایش الکترونی لایهٔ 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 عنصرها

الف) عدد اتمی هر عنصر را مشخص کنید.

ب) هریک از این عنصرها در کدام گروه و کدام تناوب قرار دارد؟

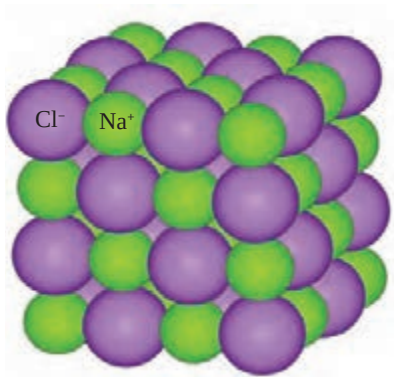
۷ خواص عنصری با عدد اتمی ۱۰ با خواص کدام‌یک از عنصرهای با اعداد اتمی ۹، ۱۱، ۱۶ و ۱۸ مشابه است؟

جدول ارزشیابی پودمان «مفاهیم پایه ساختار اتم»

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۲: مفاهیم پایه ساختار اتم	۱ـ تحلیل و بررسی ساختار اتم ۲ـ انرژی یونش ۳ـ جدول تناوبی	معرفی اتم و ساختار آن، تعیین عدد اتمی و عدد جرمی محاسبه جرم مولکولی مدل اتمی بور انرژی یونش و ترازهای فرعی و اصلی جدول تناوبی عناصر (معرفی گروه‌ها)	بالاتر از حد انتظار	رسم مدل اتمی بور برای عناصر ($Z>20$ عدد اتمی) تعیین عدد اتمی و جرمی	۳
			در حد انتظار	تعیین عدد اتمی و عدد جرمی، محاسبه جرم مولکولی و رسم مدل اتمی ($Z\leq20$)	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	بررسی ساختار اتم تعیین عدد اتمی و عدد جرمی	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

پودمان ۳

مفاهیم پایه ساختار مولکول



سدیم کلرید

گوگرد دیوکسید

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

۱ـ۳ـ پیوندهای شیمیایی

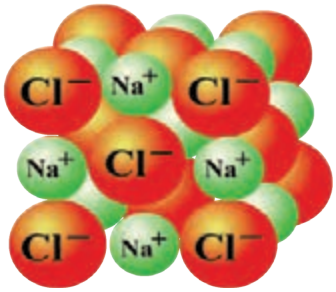
بیشتر عنصرها به صورت ترکیب شیمیایی با عنصرهای دیگر وجود دارند، فقط عنصرهای محدودی به صورت آزاد در طبیعت یافت می‌شوند. گازهای نجیب هلیم (He)، نئون (Ne)، آرگون (Ar)، کریپتون (Kr)، زنون (Xe) و رادون (Rn) به‌صورت اتم‌های مجزا وجود دارند. اکسیژن (O)، نیتروژن (N) و گوگرد (S) علاوه بر ترکیب با سایر عنصرها، 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:

۱ انتقال الکترون از اتم‌های یک عنصر به اتم‌های عنصر دیگر برای تشکیل ترکیب‌های یونی

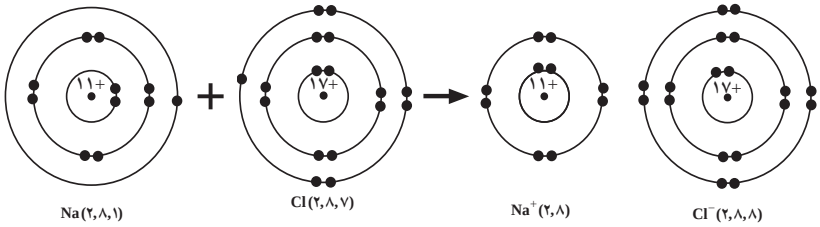
۲ به اشتراک گذاشتن الکترون‌ها بین اتم‌های عنصرهای مختلف برای تشکیل ترکیب‌های کووالانسی

پیوند یونی



بلور سدیم کلرید

با توجّه 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 به‌صورت مولکول دو اتمی Cl_2 و گازی سمّی است جامدی سخت، متبلور و سفید رنگ حاصل می‌شود که سدیم کلرید نام دارد و خواصّی متفاوت با خواص هر یک از دو عنصر سازندهٔ این نمک دارد. به‌عنوان مثال، از سدیم‌کلرید در صنایع غذایی البته به مقدار کم استفاده می‌شود. واکنش فلز سدیم با گاز کلر براساس مدل بور در شکل ۱ـ۳ نشان داده شده است. در این واکنش اتم سدیم با از دست دادن تنها الکترون ظرفیت خود به‌صورت 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 به‌وجود می‌آید.



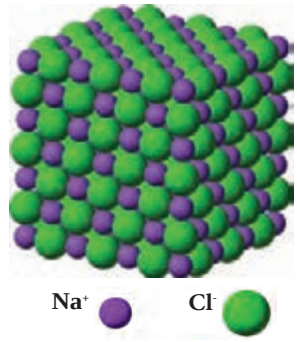
شکل (۱ـ۳) نمایش تشکیل زوج یون Na^+Cl^- بر اساس مدل سیاره‌ای بور

$$Na\cdot + :\ddot{Cl}: \rightarrow [Na]^+ [:\ddot{Cl}:]^-$$

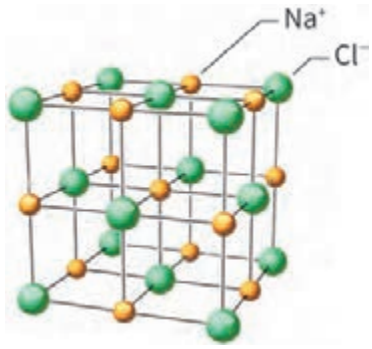
پیوند شیمیایی که به این روش تشکیل می‌شود، پیوند یونی نامیده می‌شود.

ساختار بلور سدیم‌کلرید: عکس‌برداری با پرتو ایکس نشان می‌دهد که بلور سدیم‌کلرید ساختار مکعبی دارد و در آن یون‌های Na^+ و Cl^- به‌طور یک‌درمیان محل‌های ثابتی را در این ساختار سه‌بُعدی اشغال کرده‌اند. چنانچه این یون‌ها را به‌صورت گوی‌های کروی و سختی تصوّر کنیم، می‌توان انباشتگی آنها را برای ایجاد یک ساختار مکعبی مطابق شکل ۲ـ۳ـ الف در نظر گرفت. چنین مدلی یک مدل فضا پُرکُن نامیده می‌شود. مدل دیگری که موقعیت فضایی یون‌های مثبت و منفی را به‌طور واضح‌تری مجسم می‌کند، مدل گلوله و میله است که در شکل ۲ـ۳ـ ب نشان داده شده است.

در ساختار مکعبی بلور سدیم‌کلرید هر یک از یون‌های Na^+ و Cl^- در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به خود به‌وسیلهٔ شش یون با بار مخالف احاطه شده است و این شش یون یک آرایش هندسی هشت‌وجهی منتظم شکل ۲ـ۳ـ ج را در اطراف یون مرکزی خود به‌وجود می‌آورند. یون‌های سدیم و کلرید در بلور سدیم‌کلرید به‌وسیلهٔ نیروهای جاذبهٔ الکترواستاتیک قوی که پیوند یونی نامیده می‌شود، به‌یکدیگر متصل هستند و اثر این نیروهای جاذبه در کلیه جهت‌ها ظاهر می‌شود.



الف) مدل فضا پُرکُن برای سدیم‌کلرید



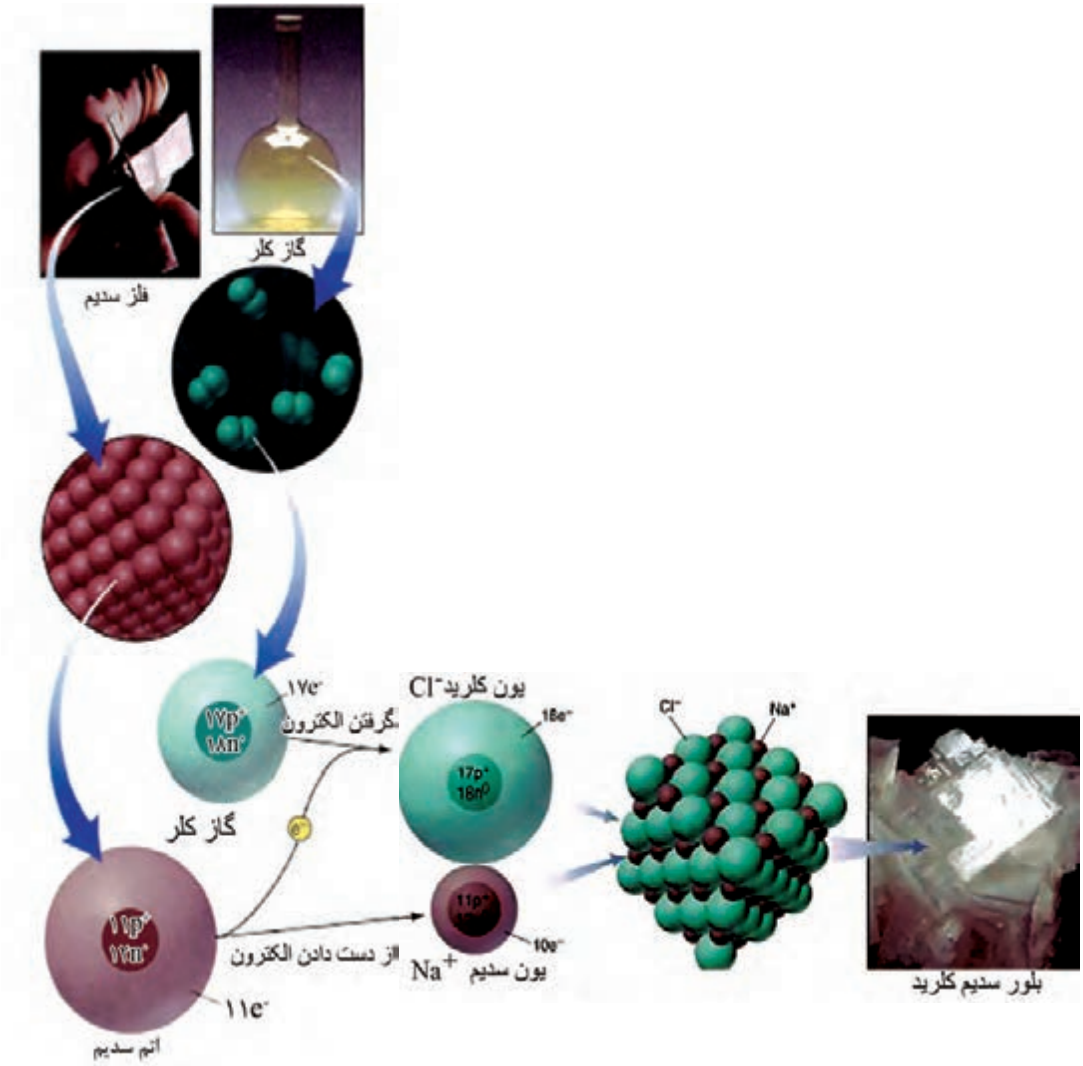
ب) مدل گلوله و میله برای سدیم‌کلرید. یون‌های کلرید در اطراف یون سدیم آرایش هندسی هشت‌وجهی ایجاد می‌کنند. به‌همین ترتیب یون‌های سدیم در اطراف یون کلرید آرایش هشت‌وجهی دارند.

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

شکل (۲ـ۳)

تحقیق کنید

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

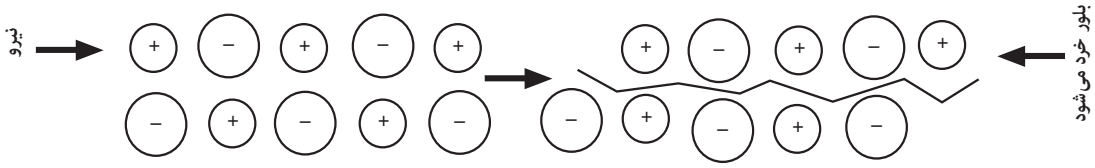


شکل (۳ـ۳) مراحل تشکیل سدیم‌کلرید از عناصر سدیم و کلر

خواص فیزیکی سدیم‌کلرید: از خواص فیزیکی سدیم‌کلرید، می‌توان به بالابودن دمای ذوب، سخت و شکننده‌بودن آن و همچنین قابلیت هدایت الکتریکی به حالت مذاب و به‌صورت محلول آبی را ذکر کرد که این خواص براساس مدل یونی ارائه شده در بالا قابل توجیه است.

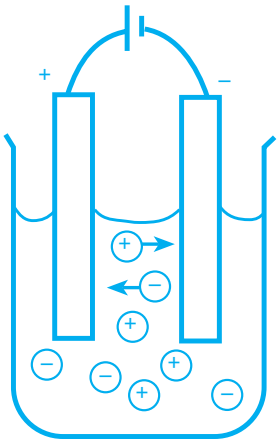
۱ **بالا بودن دمای ذوب:** در جامدهای یونی بین یون‌های با بار مخالف نیروهای جاذبهٔ الکترواستاتیک قوی وجود دارد، برای غلبه بر این نیروها و جدا کردن یون‌ها از یکدیگر به‌طوری که بتوانند آزادی حرکت داشته باشند باید انرژی زیادی مصرف شود. از این‌رو دمای ذوب سدیم‌کلرید و دیگر جامدهای یونی بالاست. برای مثال، دمای ذوب سدیم‌کلرید $۸۰۸^{\circ}C$ و منیزیم‌اکسید (MgO) $۲۸۰۰^{\circ}C$ است.

۲ **سخت و شکننده بودن:** با توجّه به وجود نیروهای جاذبهٔ الکترواستاتیک قوی بین یون‌ها برای درهم‌ریختن ساختار بلور سدیم‌کلرید باید نیروی زیادی به کار برد. یک تکه بلور سدیم‌کلرید به آسانی خط برنمی‌دارد ولی با ضربهٔ چکش به راحتی خُرد 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 همنام در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و نیروی دافعهٔ حاصل، موجب از هم پاشیدن بلور می‌شود (شکل ۴ـ۳).



شکل (۴ـ۳) بر اثر جابه‌جا شدن یک ردیف از یون‌ها، بارهای همنام یکدیگر را دفع می‌کنند و سبب فرو ریختن ساختار بلور می‌شوند.

۳ **قابلیت هدایت الکتریکی سدیم‌کلرید به‌صورت مذاب و در محلول:** در سدیم‌کلرید 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 علّت 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 ۵ـ۳). در محلول آبی سدیم‌کلرید، یون‌ها به‌صورت آب پوشیده‌اند و می‌توانند آزادانه حرکت کنند و به این ترتیب هادی جریان برق هستند.



شکل (۵ـ۳) یون‌ها در سدیم کلرید مذاب بر اثر اختلاف سطح الکتریکی به سمت الکترودها هدایت می‌شوند.

پرسش

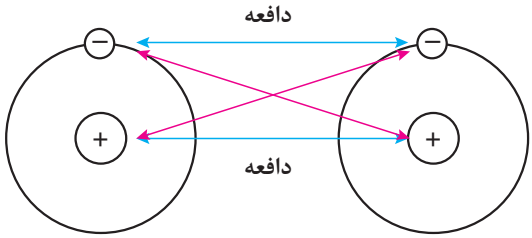
۱ بررسی کنید کدام‌یک از ترکیب‌های داده شده می‌توانند یونی باشند؟

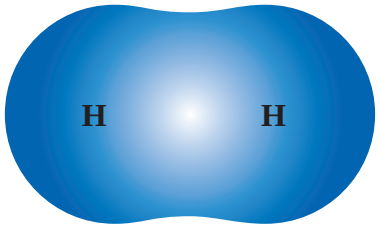
الف) Lif ب) KCl پ) ccl_4 ت) NaI ث) CH_4 ج) KI

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 کمی‌نافلز وجود دارد ولی این عنصرها با یکدیگر برهم کنش‌های متعددی انجام داده و تعداد بسیار زیادی از ترکیب‌های کووالانسی را تشکیل می‌دهند.





شکل (۶ـ۳) نمایش مفهوم نیروهای میان الکترون‌ها و هسته‌ها در یک مولکول دو اتمی (H_2)

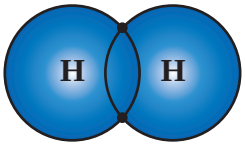
بحث کلاسی

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

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 جاذبهٔ الکترواستاتیک به‌وجود می‌آید. اما وقتی دو اتم هیدروژن به یکدیگر نزدیک می‌شوند، الکترون‌های ظرفیت این دو اتم با یکدیگر جفت شده، بین دو هستهٔ اتم هیدروژن به‌طور مشترک قرار می‌گیرند. این جفت الکترون مشترک، نمایندهٔ یک پیوند کووالانسی بین این دو اتم است. چنین پیوندی که از اشتراک الکترون بین دو اتم ایجاد می‌شود، پیوند کووالانسی (اشتراکی) نامیده می‌شود.

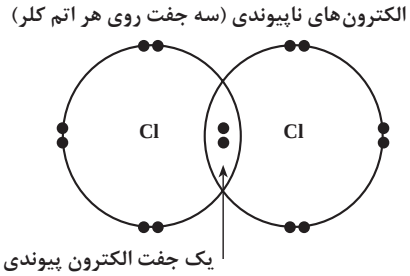
H : H

نمایش الکترون ـ نقطه‌ای مولکول هیدروژن



نمایش مدل بور برای تشکیل پیوند در مولکول هیدروژن

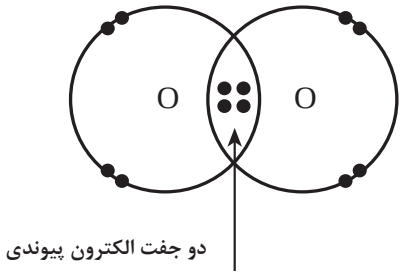
مولکول Cl_2: آرایش الکترونی اتم کلر به‌صورت ۲,۸,۷ است. تجربه نشان می‌دهد که در مولکول کلر، دو اتم کلر به‌وسیلهٔ پیوند یگانه به یکدیگر متصل‌اند (شکل ۷ـ۳).



شکل (۷ـ۳) آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت در مولکول کلر

نیرویی که دو اتم کلر را به یکدیگر متصل می‌سازد، نیروی جاذبهٔ 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**[1] 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. به‌طوری که در شکل ۷ـ۳ 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.

مولکول O_2: آرایش الکترونی اتم اکسیژن به‌صورت ۲,۶ است. تجربه نشان می‌دهد که در مولکول اکسیژن، دو اتم اکسیژن به‌وسیلهٔ پیوند دوگانه به یکدیگر متصل‌اند شکل ۸ـ۳. 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.



شکل (۸ـ۳) آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت در مولکول O_2

پرسش

۱ آرایش الکترونی اتم نیتروژن به‌صورت ۲,۵ است. آرایش الکترونی در لایهٔ 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

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.

۱ـ Lone pair

۲ـ۳ـ انواع فرمول‌های شیمیایی

شیمی‌دان‌ها مواد شیمیایی را با فرمول شیمیایی معرفی می‌کنند. مثلاً برای کربن‌دیوکسید CO_2، برای آب H_2O و برای آمونیاک NH_3 می‌نویسند. هر یک از این فرمول‌ها نشان می‌دهد که در هر مورد چه عنصرهایی وجود دارند و این عنصرها با چه نسبتی با هم ترکیب شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت: **فرمول شیمیایی یک ماده نشان‌دهنده نوع عنصرها 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 عنصرها 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 (H_2O_2)، یک قسمت جرمی‌هیدروژن برای هر ۱۶ قسمت جرمی‌اکسیژن وجود دارد. لذا، فرمول تجربی هیدروژن پروکسید 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 H_2O_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 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[1] اتم عنصرهایی که در تشکیل یک جسم معین به‌کار رفته است آگاهی داشت برای مثال ظرفیت عنصرهای گروه قلیایی، قلیایی خاکی و هالوژن‌ها به ترتیب ۱+، ۲+ و ۱- است. با استفاده از نشانه‌های شیمیایی عنصرها و رعایت ظرفیت آنها می‌توان فرمول شیمیایی ترکیب‌ها را نوشت. در جدول (۱ـ۳) 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 الکتروالانسی می‌گویند. از سوی دیگر در ترکیبات کووالانسی تعداد الکترون‌هایی را که هر اتم به اشتراک می‌گذارد، ظرفیت کووالانسی آن عنصر می‌نامند.

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

جدول (۱ـ۳) ظرفیت کووالانسی چند اتم

نام عنصر	نماد شیمیایی	ظرفیت کووالانسی	ترکیب
کربن	C	۴	CH_4
نیتروژن	N	۳	NH_3
اکسیژن	O	۲	H_2O
گوگرد	S	۲	SH_2
هیدروژن	H	۱	H_2
کلر	Cl	۱	Cl_2
ید	I	۱	I_2

در یک ترکیب مجموع ظرفیت‌های یک عنصر با مجموع ظرفیت‌های اتم‌های عنصر دیگر که با یکدیگر ترکیب شده‌اند، برابر است. برای مثال در ترکیب $MgCl_2$ 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 اتمی‌به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

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

مثال:

عنصر	فرمول یون	نام کاتیون
آهن	Fe^{2+}	یون آهن (II)
	Fe^{3+}	یون آهن (III)
مس	Cu^{+}	یون مس (I)
	Cu^{2+}	یون مس (II)

تمرین

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

عنصر	فرمول یون	نام کاتیون

۲ نام هریک از کاتیون‌های زیر را بنویسید:

الف) Sn^{2+} ب) Mn^{2+} پ) Al^{3+} ت) 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 «ide»

مثال:

عنصر	فرمول یون	نام یون
هیدروژن	H^-	یون هیدرید
فلوئور	F^-	یون فلوئورید
کلر	Cl^-	یون کلرید
گوگرد	S^{2-}	یون سولفید
نیتروژن	N^{3-}	یون نیترید

تمرین

نام آنیون‌های زیر را بنویسید:

الف) O^{2-} ب) I^- پ) Br^- ت) 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:

نام ترکیب	فرمول ترکیب
سدیم‌کلرید	$NaCl$
آهن (II) اکسید	FeO
آهن (III) اکسید	Fe_2O_3

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) $FeCl_3$ ب) $NaOH$ پ) KI ت) $SnCl_4$

نام‌گذاری ترکیب‌های یونی با کاتیون‌ها و آنیون‌های چند اتمی: برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها از چند اتم تشکیل شده‌اند، مانند SO_4^{2-}، NH_4^+، PO_4^{3-}. در جدول (۲ـ۳) تعدای از یون‌های چند اتمی آورده شده.

جدول (۲ـ۳) یون‌های چنداتمی

فرمول یون	نام یون	فرمول یون	نام یون
NO_3^-	نیترات	HSO_4^-	هیدروژن سولفات
NO_2^-	نیتریت	CO_3^{2-}	کربنات
PO_4^{3-}	فسفات	HCO_3^-	هیدروژن کربنات
SO_4^{2-}	سولفات	OH^-	هیدروکسید
SO_3^{3-}	سولفیت	NH_4^+	یون آمونیوم
CH_3COO^-	استات	MnO_4^-	پرمنگنات
OH^-	هیدروکسید	CrO_4^{2-}	کرومات
H_3O^+	هیدرونیوم	$Cr_2O_7^{2-}$	دی کرومات
CN^-	سیانید	ClO^-	هیپوکلریت
O_2^{2-}	پراکسید	ClO_2^-	کلریت
HPO_4^{2-}	هیدروژن فسفات	ClO_3^-	کلرات
$H_2PO_4^-$	دی‌هیدروژن فسفات	ClO_4^-	پرکلرات

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

نام کاتیون (فلز) + نام آنیون (نافلز)

مثال:

نام ترکیب	فرمول ترکیب
مس (II) سولفات	$CuSO_4$
آلومینیم سولفات	$Al_2(SO_4)_3$
مس (I) سولفات	Cu_2SO_4
آمونیوم کلرید	NH_4Cl

تمرین

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) $FeSO_4$　　ب) $CaCl_2$　　پ) $CaSO_4$

ت) $BaCl_2$　　ث) PbO_2　　ج) KNO_3

نام‌گذاری ترکیب‌های کووالانسی: ترکیب‌های کووالانسی معمولاً از دو نافلز، تشکیل می‌شوند. مانند آمونیاک (NH_3)، آب (H_2O)، کربن‌دی‌سولفید (CS_2)، فسفر پنتاکسید (P_2O_5)، نیتروژن دیوکسید (NO_2)، دی‌نیتروژن تتراکسید (N_2O_4)

تمرین

۱ ترکیبات کووالانسی زیر را نام‌گذاری کنید:

الف) SO_3 ب) SiO_2 ج) PCl_3 د) N_2O_5

۲ فرمول شیمیایی ترکیبات کووالانسی زیر را بنویسید:

الف) دی‌نیتروژن منوکسید ب) سلنیم هگزا فلورید

ج) دی‌کلرید هپتاکسید د) تری‌کلربرمید

نام‌گذاری اسیدها و بازها

اسیدها و بازها از ترکیب‌های مهمّ شیمیایی هستند که انواع مختلفی دارند. اسید ترکیبی است که در آب یون (H^+) و باز ترکیبی است که در آب یون هیدروکسید (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:

نام اسید	فرمول اسید
هیدروفلوئوریک اسید	HF
هیدروکلریک اسید	HCl

برای نام‌گذاری بازها از روش زیر استفاده می‌شود:

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

مثال:

نام باز	فرمول باز
لیتیم هیدروکسید	LiOH
سدیم هیدروکسید	NaOH
کلسیم هیدروکسید	$Ca(OH)_2$

فرمول‌نویسی

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

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

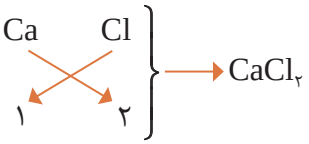
○ **مثال: نام شیمیایی NaCl چیست؟**

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= سدیم‌کلرید» خواهد بود.

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

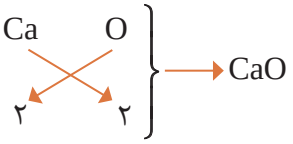
○ **مثال: فرمول شیمیایی کلسیم کلرید را بنویسید.**

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 به‌صورت زیر خوانده می‌شود.

○ **مثال: نام شیمیایی HCl چیست؟**

این ترکیب از دو جزء Cl^- و H^+ تشکیل شده است: پیشوند هیدرو + کلر+ پسوند «ایک »+ واژهٔ 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 $FeCl_۲$ چیست؟**

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

پرسش

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

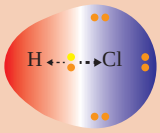
HBr ، $MgCl_۲$ ، KCl ، $Ca(OH)_۲$ ، $FeCl_۳$ ، MgO

۲ فرمول شیمیایی ترکیب‌های زیر را بنویسید:

پتاسیم‌سولفید، کلسیم‌هیدروکسید، آلومینیم‌اکسید، سدیم‌اکسید، نقره‌نیترات، مس (II) سولفات، نیتریک اسید، منیزیم‌فسفات، باریم‌سولفات، آلومینیم‌نیترات، کلسیم‌سولفیت

۳ـ۳ـ الکترونگاتیوی عناصر

بحث کلاسی



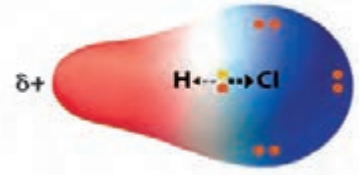
هنگامی‌که دو اتم هیدروژن پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند، فاصلهٔ جفت الکترون مشترک از هستهٔ دو اتم هیدروژن به یک اندازه است، در حالی که وقتی اتم هیدروژن و اتم کلر پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند فاصلهٔ جفت الکترون پیوندی از هسته دو اتم برابر نیست. علّت آن چیست؟

مولکول H_2

مولکول HCl

هنگامی‌که دو اتم متفاوت، مانند هیدروژن و کلر، با پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل می‌شوند و مولکول دو اتمی‌هیدروژن‌کلرید به‌وجود می‌آید، فاصلهٔ جفت الکترون مشترک در این پیوند کووالانسی، از هسته‌های هیدروژن و کلر، به یک اندازه نیست.

مشاهدات دقیق از مولکول هیدروژن‌کلرید نشان می‌دهد که هستهٔ اتم کلر الکترون‌های پیوندی را بیش از هستهٔ اتم هیدروژن به سوی خود جذب می‌کند. در نتیجه، چگالی ابر الکترونی مربوط به پیوند، روی هستهٔ اتم کلر بیشتر و روی هستهٔ اتم هیدروژن کمتر خواهد بود (شکل ۹ـ۳).



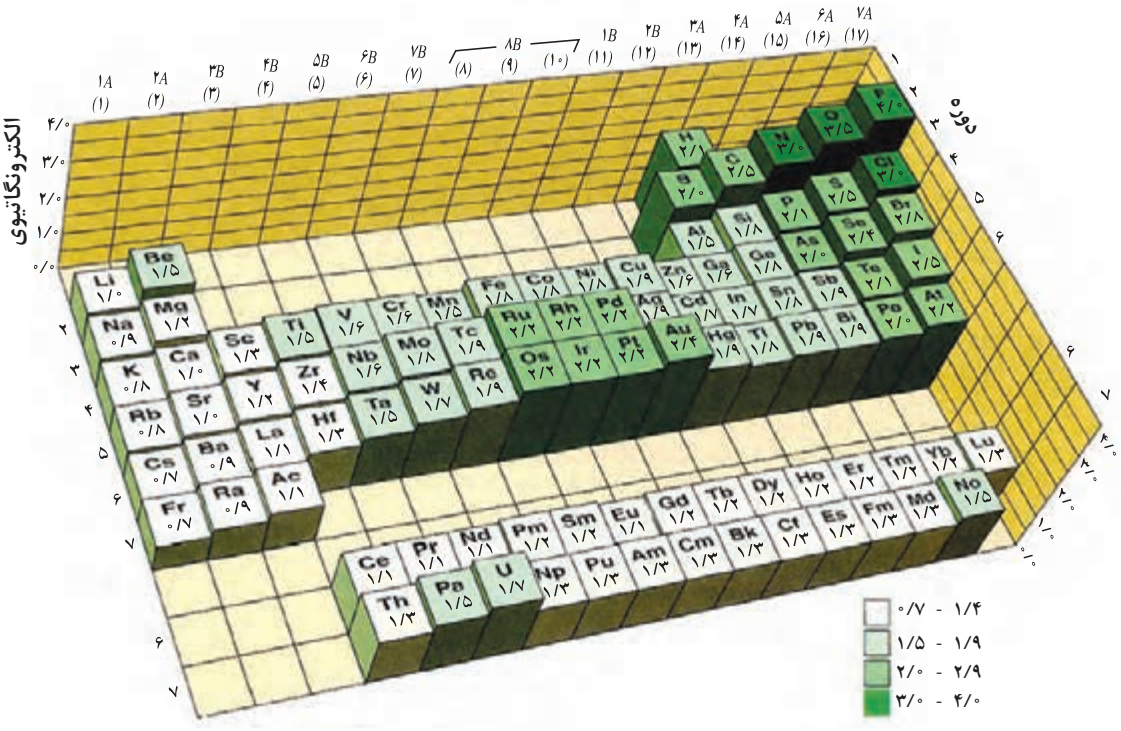
شکل (۹ـ۳) توزیع چگالی ابرالکترونی بین کلر و هیدروژن

با بررسی مولکول‌های دو اتمی متفاوت به‌نظر 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 به‌طور 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[1] پیشنهاد شد. الکترونگاتیوی عنصرها از ۴/۰ برای الکترونگاتیوترین عنصر یعنی فلوئور، 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 (۱۰ـ۳) نشان داده شده است. الکترونگاتیوی یک اتم تمایل نسبی اتم‌ها برای جذب جفت الکترون به سمت هستهٔ خود است.

۱ـ Linus Pauling



شکل (۱۰ـ۳) الکترونگاتیوی نسبی عنصرها در جدول تناوبی

فکرکنید

۱ چرا در هر تناوب از جدول تناوبی، با افزایش عدد اتمی از چپ به راست، بر الکترونگاتیوی عنصرها افزوده می‌شود؟

۲ در یک گروه از جدول تناوبی، از بالا به پایین، بر تعداد پروتون‌های هسته اضافه می‌شود، ولی، الکترونگاتیوی عنصرها به تدریج کاهش می‌یابد. کدام عامل را در این روند مؤثر می‌دانید؟

۴ـ۳ـ 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 جاذبهٔ 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 ≡ N ناقطبی به‌شمار می‌آیند.

پرسش

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

هنگامی‌که اتم A با الکترونگاتیوی بیشتر و اتم B با الکترونگاتیوهای کمتر، از طریق پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل می‌شوند، به علّت 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 (δ^-) و اتم B حامل جزئی بار مثبت (δ^+) 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.

پرسش

با توجّه به الکترونگاتیوی عنصرها در جدول تناوبی، قطبیت کدام یک از پیوندهای زیر بیشتر است؟
آنها را به ترتیب کاهش قطبیت از چپ به راست مرتّب 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 Cl_2، HBr، NO، CO و Br_2 کدام قطبی و کدام ناقطبی است؟ علّت آن را بیان کنید.

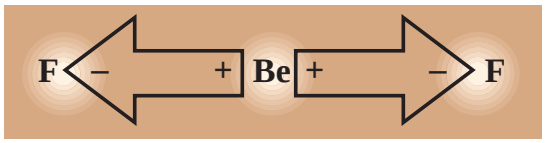
آیا می‌توان یک قاعدهٔ کلی برای قطبی ـ ناقطبی بودن، در مولکول‌های دو اتمی بیان کرد؟

در مولکول‌های دو اتمی چنانچه .....

.....

مولکول‌های سه‌اتمی

در مولکول چنداتمی BeF_2، به دلیل اختلاف الکترونگاتیوی اتم‌ها، پیوند بین دو اتم Be و F قطبی است. آیا می‌توان گفت مولکول هم قطبی است؟

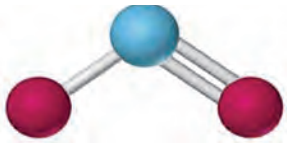


شکل (۱۱ـ۳) مولکول BeF_2

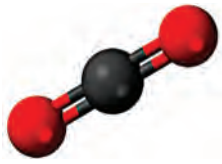
همان‌طور که در شکل ۱۱ـ۳ مشاهده می‌کنید، مولکول BeF_2 به صورت خطی بوده و اتم‌های سازندهٔ آن در یک راستا قرار دارند، به علّت اینکه قطبیت پیوندهای Be–F به یک اندازه است ولی در دو جهت مخالف قرار دارند، اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند و قطبیت مولکول صفر می‌شود. بنابراین در مولکول سه اتمی BeF_2 با وجود اینکه پیوندها قطبی هستند، مولکول ناقطبی است.

پرسش

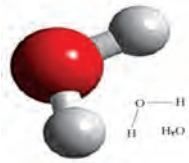
مشخّص کنید کدام یک از مولکول‌های زیر، قطبی و کدام ناقطبی هستند؟



NO_2



CO_2



H_2O

$BeCl_2$

CS_2

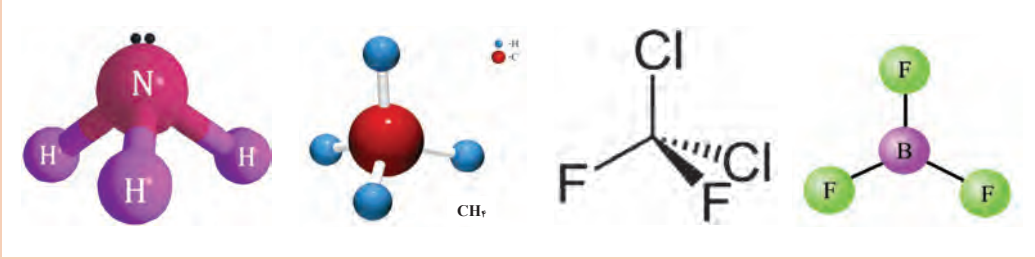
آیا می‌توانید روش تشخیص قطبی بودن مولکول‌ها را با یک عبارت بیان کنید؟

.....

.....

پرسش

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



۵ـ۳ـ نمایش مولکول‌ها

مولکول‌ها به روش‌های متنوع نمایش داده می‌شوند. یک فرمول شیمیایی فقط تعداد نسبی اتم‌ها را نشان می‌دهد. فرمول‌های الکترون ـ نقطه و پیوند ـ خط، پیوند بین اتم‌ها را به‌صورت یک جفت نقطه و یا خط ارائه می‌کنند. مدل گلوله‌ومیله، اتم‌ها را به‌صورت کره و پیوندها را به شکل میله، با زاویه‌های دقیق و اندازهٔ نسبی نشان می‌دهد، ولی فاصله‌ها مبالغه‌آمیز می‌باشند. مدل فضا پر، شکل دقیق از یک مولکول است ولی پیوندها را نشان نمی‌دهد. شکل ۱۲ـ۳ مدل‌های مختلف مولکول آب را نشان می‌دهد. در مدل چگالی الکترون، نواحی بار الکترونی زیاد (قرمز) و بار الکترونی کم (آبی) می‌باشد.

شکل (۱۲ـ۳) نمایش یک مولکول آب

نمایش مولکول‌ها و یون‌ها با ساختار لوئیس

برای تجسّم یک مولکول لازم است که فرمول مولکولی را به ساختار لوئیس (یا فرمول لوئیس) تبدیل کرد. این فرمول شامل نمادهای الکترون‌ـنقطه برای هر اتم و اتم‌های مجاور آن، به شکل جفت‌های پیوندی (که اتم‌ها را به هم نگه داشته است) و جفت‌های ناپیوندی (که لایهٔ بیرونی هر اتم را پر می‌کند)، می‌باشد.

بر مبنای قاعده هشت‌تایی[1]، 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 اختصاص‌دادن 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 نیتروژن‌فلورید، NF_3، در شکل صفحهٔ بعد آمده است.

۱ـ Octet Rule

ساختار لوئیس	مرحله ۴	باقیمانده الکترون‌های ظرفیت	مرحله ۳	مجموع الکترون‌های ظرفیت	مرحله ۲	موقعیت اتم	مرحله ۱	فرمول مولکولی
	به هر اتم $8e^-$ (برای H، $2e^-$) اختصاص دهید.		با رسم پیوندهای ساده $2e^-$ به ازای هر پیوند کم کنید.		شماره گروه A- اتم‌ها را جمع کنید.		اتمی با کمترین الکترونگاتیوی را در مرکز قرار دهید.	

شکل (۱۳ـ۳) مراحل تبدیل یک فرمول مولکولی به ساختار لوئیس

مرحلهٔ 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. به‌عنوان مثال در مولکول NF_3 اتم N (گروه VA، EN=۳/۰) در ارائهٔ ظرفیت پنج الکترون دارد و لذا به سه الکترون نیاز دارد، درحالی‌که هر اتم F (گروه VIIA; EN=۴/۰) با داشتن هفت الکترون در لایهٔ 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

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

مرحلهٔ 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 شمارهٔ 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.

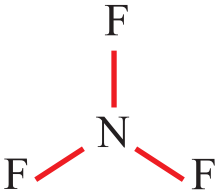
الکترون‌های ظرفیت $[1\times N(5e^-)]+[3\times F(7e^-)]=5e^-+21e^-=26$

نکته

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

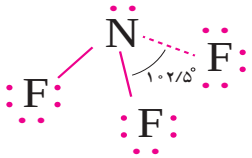
مرحلهٔ ۳: از اتم مرکزی به هر اتم مجاور آن یک پیوند ساده وصل کنید و به‌ازای هر پیوند ساده از کل تعداد الکترون‌های ظرفیت موجود (مرحلهٔ ۲)، دو الکترون کم کنید تا تعداد الکترون‌های باقیمانده به‌دست آید:

الکترون‌های باقیمانده $26e^- - 6e^- = 20e^- \Leftarrow 3(N-F)$ پیوند $\times 2e^- = 6e^-$



مرحلهٔ ۴: الکترون‌های باقیمانده را به‌صورت 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 همهٔ آنها هشت‌تایی شوند. اگر الکترونی باقی ماند آن را بر روی اتم مرکزی بگذارید؛ سپس مطمئن شوید که همهٔ 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 به‌صورت جفت غیرپیوندی در نظر بگیرید.



ساختار لوئیس NF_3

نکته

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

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 دیگرکه 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.
- فلوئور همیشه در اطراف قرار می‌گیرد.

پرسش

ساختار لوئیس مولکول‌های داده‌شده را رسم کنید.

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

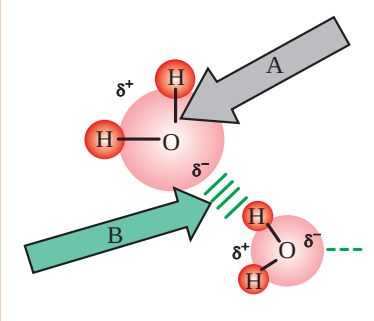
آیا می‌دانید

مولکول CCl_2F_2 (کلرو فلوئوروکربن) یکی از ترکیب‌هایی است که موجب از بین رفتن اُوزن می‌شود.

۶ـ۳ـ نیروهای جاذبهٔ بین‌مولکولی

بحث کلاسی

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

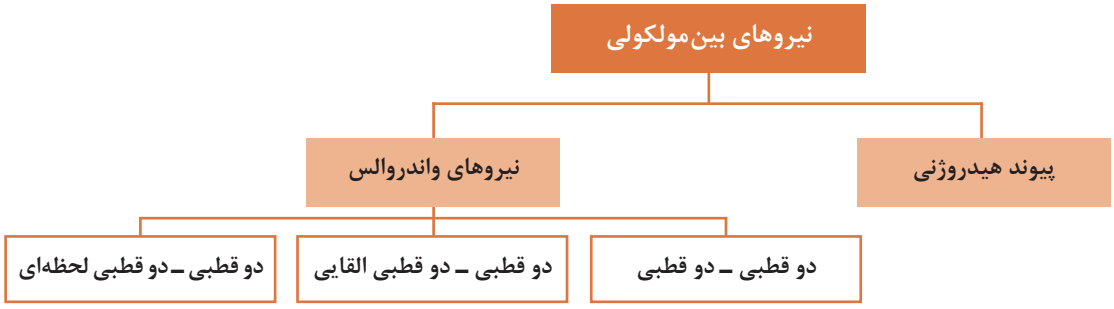


در قسمت‌های قبل با پیوندهای شیمیایی مانند پیوند یونی و کووالانسی آشنا شدید. پیوندهای شیمیایی نیروهای جاذبه‌ای هستند که موجب پیوستگی اتم‌ها به یکدیگر می‌شوند. حال این پرسش مطرح است که چه عاملی موجب می‌شود مولکول‌های یک ماده، در حالت‌های مختلف کنار یکدیگر قرار بگیرند؟ چرا برخی از مواد جامد، برخی مایع و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

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

پرسش

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



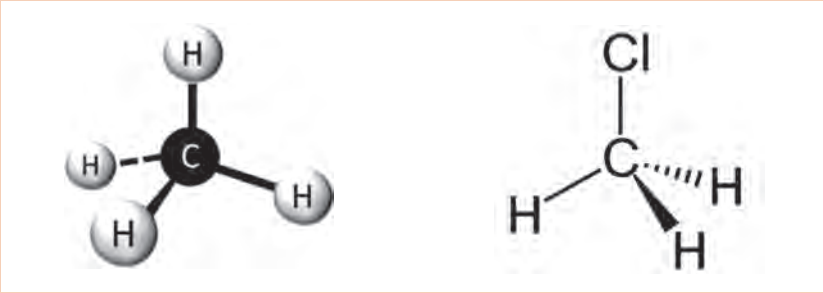
شکل (۱۴ـ۳) نمودار انواع نیروهای بین‌مولکولی

نیروهای واندروالسی

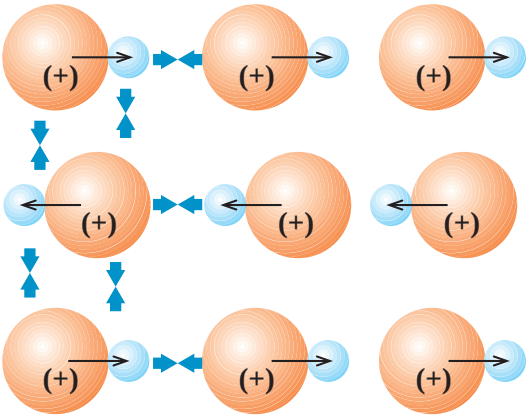
واندروالس[1]، دانشمند هلندی، در سال ۱۸۷۳، برای نخستین بار، مسئلهٔ وجود نیروهای جاذبهٔ بین مولکول‌های مختلف را مطرح کرد. این نیروها که به‌عنوان نیروهای جاذبهٔ واندروالسی شناخته شده‌اند، انواع مختلفی دارند. این نیروها ممکن است بین مولکول‌های قطبی، بین مولکول‌های قطبی و ناقطبی و یا بین مولکول‌های ناقطبی وجود داشته باشند که در ادامه شرح داده می‌شود.

پرسش

دمای جوش کلرومتان (CH_3Cl) گازی شکل $-24/2^{\circ}C$، در حالی که دمای جوش متان (CH_4) برابر $-161/5^{\circ}C$ می‌باشد، علّت اختلاف دمای جوش این دو مادّه چیست؟ نیروهای بین مولکولی در کدام مادّه بیشتر است؟



در موادی مانند یدکلرید، ICl، که دارای مولکول‌های قطبی هستند، مولکول‌ها در دمای مناسب، به‌گونه‌ای در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که قطب یا سر مثبت (δ^+) یک مولکول در نزدیکی قطب یا سر منفی (δ^-) مولکول دیگر واقع شود. آرایش مولکول‌ها به‌این شکل نیروی جاذبهٔ الکتریکی قابل توجّهی به‌وجود می‌آورد که موجب مایع شدن یا جامد شدن آنها می‌شود. این نوع نیروهای جاذبهٔ بین‌مولکولی را **نیروهای جاذبهٔ دو قطبی ـ دو قطبی** می‌نامند. (شکل ۱۵ـ۳)



شکل (۱۵ـ۳) نیروهای دوقطبی ـ دو قطبی در مولکول ید کلرید

بین مولکول‌های مواد قطبی، نیروی جاذبهٔ دوقطبی ـ دوقطبی وجود دارد که در بیشتر موارد، قوی‌ترین نیروی جاذبهٔ بین‌مولکولی به شمار می‌آید.

۱ـ Vander Waals

ترکیبات قطبی در حلّال‌های قطبی می‌توانند حل شوند. علّت این امر آن است که نیروهای جاذبه بین‌مولکولی در این ترکیبات تقریباً یکسان است. به‌عبارت دیگر دو ترکیب قطبی قادر هستند یکدیگر را جذب کنند و به هم متصّل شوند. در واقع سر مثبت ترکیب قطبی به سمت قطب منفی مولکول حلّال و سر منفی آن به سمت قطب مثبت حلّال جذب می‌شود و به این ترتیب بین مولکول‌های ماده و حلّال نیروهای دوقطبی ـ دوقطبی به‌وجود می‌آید.

پرسش

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

نوع دیگری از نیروهای جاذبهٔ بین‌مولکولی، نیروی جاذبه‌ای است که می‌تواند بین یک مولکول قطبی و یک مولکول ناقطبی به‌وجود 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 به‌وسیلهٔ سرمنفی 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 به‌این شکل موقتاً قطبی شده است، به وسیلهٔ مولکول قطبی دائمی جذب می‌شود. این نوع نیروی جاذبهٔ بین‌مولکولی را **نیروی جاذبهٔ دوقطبی ـ دوقطبی القایی** می‌نامند. شکل (۱۶ـ۳)

مولکول ناقطبی　　مولکول قطبی　　مولکول قطبی القایی　　مولکول قطبی

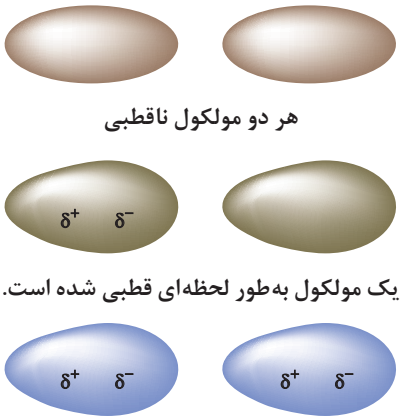
شکل (۱۶ـ۳) مولکول قطبی یک مولکول ناقطبی را به مولکولی با قطبیت القایی، تبدیل می‌کند.

پرسش

می‌دانید که مولکول‌های دو اتمی‌یکسان 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.

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 (۱۷ـ۳) 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.



هر دو مولکول ناقطبی

یک مولکول به‌طور لحظه‌ای قطبی شده است.

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

شکل (۱۷ـ۳) پیدایش قطبیت لحظه‌ای در مولکول های ناقطبی

فکرکنید

۱ در شرایط عادی کلر Cl_2 گازی شکل، برم Br_2 مایع و ید I_2 جامد است. نیروهای بین‌مولکولی در کدام‌یک بیشتر و در کدام‌یک کمتر است؟

۲ با توجّه 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 علّت 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

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

۱ **قطبیت مولکول:** هر چه مولکول‌ها قطبی‌تر باشند، یکدیگر را با شدّت بیشتری جذب می‌کنند و در نتیجه، نیروهای واندروالسی اهمیت بیشتری دارند.

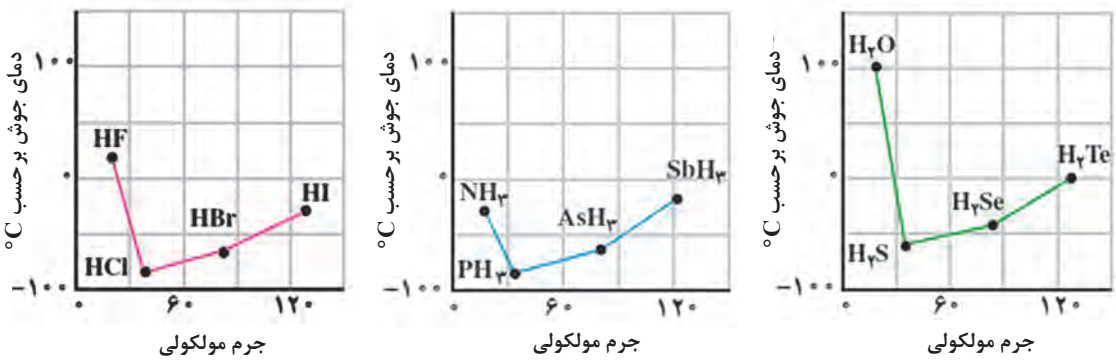
۲ **حجم یا جرم مولکول:** با افزایش حجم اتم‌ها یا مولکول‌ها، امکان برخورد آنها با یکدیگر بیشتر می‌شود، در نتیجه، میزان تأثیر آنها برهم افزایش می‌یابد و احتمال پیدایش قطبیت لحظه‌ای نیز افزایش می‌یابد.

پیوند هیدروژنی

بحث کلاسی

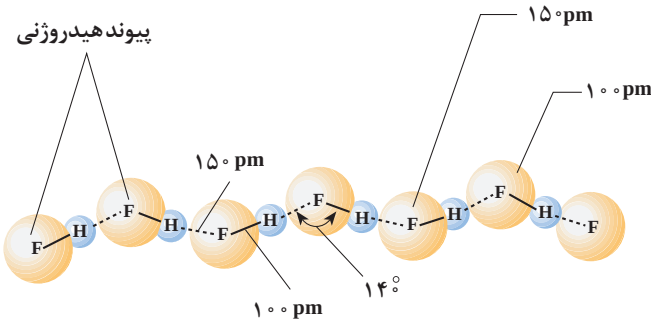
در مولکول‌های HF، HCl، HBr، HI چه نوع نیرویی بین مولکول‌ها وجود دارد؟
به نظر شما چه رابطه‌ای بین جرم مولی مواد و نقطه جوش آنها وجود دارد؟

همان‌طور که در شکل (۱۸ـ۳) ملاحظه می‌شود، دمای جوش HCl، HBr و HI، با افزایش جرم مولکولی به‌طور منظّم افزوده می‌شود. ولی دمای جوش HF از این روند پیروی نمی‌کند. جرم اتمی فلوئور 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.



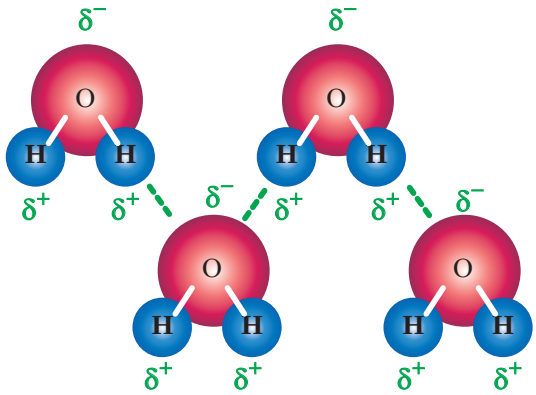
شکل (۱۸ـ۳) نمودارهای دمای جوش و جرم مولکولی

با توجّه به نمودارهای داده شده، مشاهده می‌کنید که H_2O و NH_3 نیز در مقایسه با ترکیبات هیدروژن‌دار دیگر عنصرهای گروه خود حالت استثنا دارند و نقطهٔ جوش آنها به‌طور غیرعادی از ترکیبات اخیر خود بالاتر است.
هیدروژن‌فلوئورید، آب و آمونیاک یک ویژگی مشترک دارند. مولکول‌های این مواد قطبی هستند و در آنها هیدروژن به یک اتم بسیار الکترونگاتیو (F، O و N) با حجم نسبتاً کوچک متصّل است.
اگر مولکول‌های هیدروژن‌فلوئورید را در کنار یکدیگر در نظر بگیریم، بین اتم فلوئور از یک مولکول هیدروژن فلوئورید و اتم هیدروژن از مولکول مجاور، نوعی پیوند به‌وجود می‌آید که آن را پیوند هیدروژنی می‌نامند. (در شکل ۱۹ـ۳)، پیوندهای هیدروژنی با خطوط بریده نشان داده شده‌اند.



شکل (۱۹ـ۳) نمایش پیوندهای هیدروژنی درمولکول HF

مولکول‌های آب نیز از دیدگاه تشکیل پیوندهای هیدروژنی وضعی شبیه به مولکول‌های هیدروژن فلوئورید دارند، با این تفاوت که هر مولکول آب، به علّت 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 (۲۰ـ۳) نشان داده شده است.



شکل (۲۰ـ۳) نمایش پیوندهای هیدروژنی درمولکول H_2O

فکرکنید

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

نام ماده	جرم مولی	نوع نیروی بین مولکولی	دمای جوش °C
N_2	۲۸		-۱۹۶
NO	۳۰		-۱۵۱
H_2O	۱۸		۱۰۰

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

۷ـ۳ـ 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 علّت وجود این نیروهای جاذبهٔ قوی، دمای انجماد آب بالاست و چون فرار مولکول‌ها از سطح مایع نیز، به همین علّت با دشواری صورت می‌گیرد، دمای جوش آب نیز به‌طور غیرعادی بالا خواهد بود.

۲ **بالا بودن گرمای ویژه[1] 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 توجّهی از پیوندهای هیدروژنی، حتّی در دمای جوش آب، باقی می‌مانند، که برای شکستن آنها و تبخیر آب به مقداری انرژی

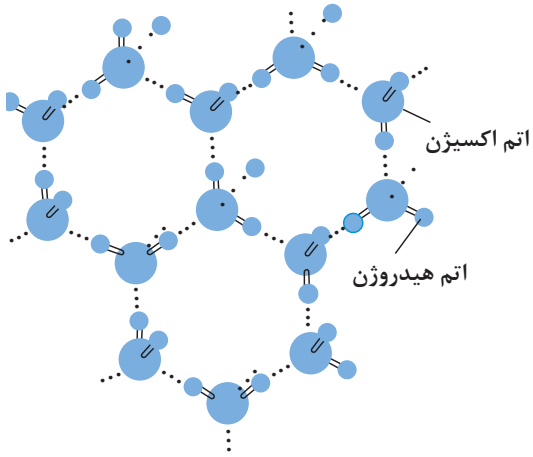
۱ـ ظرفیت گرمایی ویژه مقدار گرمایی است که کیلوگرم از ماده دریافت می‌کند تا درجهٔ حرارت آن ۱°C افزایش یابد.

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 تیغهٔ نازک فلزی با دقّت بر سطح آب داخل ظرفی قرار گیرد، آب فشار تیغه را تحمّل می‌کند و مانع غوطه‌ور شدن آن می‌شود. بی‌شک، صحنهٔ جالب توجّه نشستن بعضی حشره‌ها را بر سطح آب ملاحظه کرده‌اید. این پدیده به علّت بالا بودن کشش سطحی آب است. به بیان دیگر به علّت وجود پیوندهای هیدروژنی نسبتاً قوی بین مولکول‌های آب، پیوستگی مولکول‌ها با یکدیگر، در تمام قسمت‌های مایع، به‌ویژه در سطح آن زیاد است.

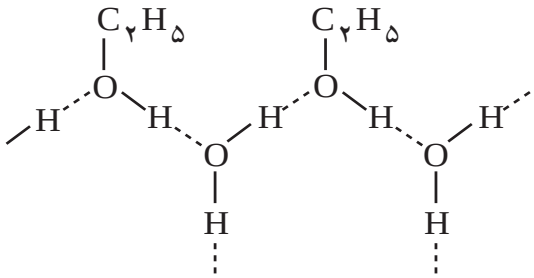
۵ **افزایش حجم آب بین $0^\circ C$ و $4^\circ C$:** بیشتر مایعات هنگامی که سرد شوند به حالت جامد تغییر می‌یابند و حجم آنها کاهش می‌یابد. برای مثال، آهن مذاب که در ظرفی قرار دارد، بر اثر سرد شدن منجمد می‌شود، کاهش حجم پیدا می‌کند و از دیواره‌های ظرف دور می‌شود. در مورد آب، حجم آن بر اثر سرد شدن تا دمای $4^\circ C$ کاهش می‌یابد امّا، در پایین‌تر از این دما (از $4^\circ C$ تا صفر درجه) شروع به منبسط شدن می‌کند، وقتی آب به یخ تبدیل می‌شود، حجم آن به مقدار قابل توجّهی افزایش می‌یابد. عکس‌برداری به‌وسیلهٔ پرتو ایکس نشان می‌دهد که در بلور یخ، هر مولکول آب با چهار مولکول مجاور خود پیوند هیدروژنی برقرار کرده و مجموعه‌های چهاروجهی تشکیل داده‌اند (شکل ۲۱ـ۳).

هنگامی که یخ ذوب می‌شود بعضی از پیوندهای هیدروژنی موجود بین مولکول‌های آب می‌شکنند و در نتیجه، برخی از مولکول‌های آب که از بقیه جدا شده‌اند می‌توانند در حفره‌های خالی درون شبکهٔ بلور یخ جای بگیرند و موجب کاهش حجم شوند. این تغییرات تا دمای $4^\circ C$ ادامه می‌یابد و رفته‌رفته از حجم آب کم می‌شود. اگر دمای آب از $4^\circ C$ بالاتر رود، به علت زیاد شدن جنبش‌های مولکولی و کمتر شدن نقش پیوندهای هیدروژنی، بر حجم آب افزوده می‌شود.



شکل (۲۱ـ۳) ساختار شبکهٔ بلور یخ و آرایش مولکول‌های H_2O در آن

۶ **آب به‌عنوان یک حلال خوب:** حل‌شدن بعضی از مواد در آب را می‌توان با تکیه بر تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های مواد حل‌شده، 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 به‌وجود آیند. برای مثال، به شکل ۲۲ـ۳ که تشکیل پیوندهای هیدروژنی را بین مولکول‌های آب و الکل نشان می‌دهد، توجّه کنید.



شکل (۲۲ـ۳) تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و اتیل الکل

پرسش

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

۸ـ۳ـ واکنش‌های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده برهم اثر می‌کنند و یک یا چند مادهٔ متفاوت تولید می‌کنند. واکنش شیمیایی را می‌توان با یک معادله نشان داد. یک معادلهٔ شیمیایی نشان می‌دهد چه تغییراتی صورت گرفته است. مواد اولیهٔ واکنش شیمیایی را واکنش‌دهنده‌ها و مواد حاصل از واکنش شیمیایی را محصولات واکنش می‌نامند.

واکنش زیر را درنظر بگیرید:

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

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 به‌درستی واکنش را نشان می‌دهد، سه مرحلهٔ زیر را باید انجام داد:

۱ واکنش‌دهنده‌ها و محصولات را مشخص کنید.

۲ فرمول‌های واکنش‌دهنده‌ها را در سمت چپ و فرمول‌های محصولات واکنش را در سمت راست معادله قرار دهید و با گذاشتن علامت پیکان (→) به‌هم مربوط کنید به‌طوری که جهت پیکان، جهت واکنش را نشان دهد.

۳ در معادلهٔ واکنش حالت‌های فیزیکی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات را مشخص کنید، (g) برای گاز، (L) برای مایع، (S) برای جامد و (aq) برای محلول آبی به‌کار 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.

نکته

- موازنهٔ 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 واکنش‌دهنده و منیزیم‌اکسید محصول واکنش می‌باشد.

۲ نوشتن معادلهٔ واکنش شیمیایی

فلز منیزیم + گاز اکسیژن ⟶ منیزیم‌اکسید

۳ معادلهٔ واکنش با فرمول‌های شیمیایی مواد و حالت فیزیکی آنها

$$Mg(s) + O_2(g) \longrightarrow MgO(s)$$

۴ موازنهٔ واکنش:

$$1\ Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 1\ MgO(s)$$

موازنه از منیزیم آغاز می‌شود یک مول[1] منیزیم در سمت چپ معادله یک مول منیزیم‌اکسید در سمت راست می‌دهد. در این‌حال تعداد اتم‌های اکسیژن در دو طرف یکسان نیست. برای موازنهٔ اتم‌های اکسیژن ضریب ۱ پیش از MgO را دوبرابر کنید، سپس ضریب Mg در سمت چپ نیز دوبرابر باید باشد تا موازنه کامل شود.

$$2\ Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ MgO(s)$$

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

پاسخ:

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

۲ نوشتن معادلهٔ واکنش شیمیایی:

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

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

$$CH_4(g) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} Co_2(g) + H_2O(g)$$

توجه: علامت Δ نماد حرارت می‌باشد.

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

$$1\ CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow 1\ CO_2(g) + H_2O(g)$$

$$1\ CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow 1\ CO_2(g) + 2\ H_2O(g)$$

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.

$$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(g)$$

۱ـ مفهوم مول در کتاب عملیات آزمایشگاهی در صنایع شیمیایی پایه دهم آورده شده است.

تمرین

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 دیوکسید تولید می‌شود.

ت) از واکنش محلول نقره نیترات با محلول سولفوریک‌اسید، نقره سولفات و نیتریک‌اسید تولید می‌شود.

ث) کلسیم‌کربنات به کلسیم‌اکسید و کربن‌دیوکسید تجزیه می‌شود.

تمرین

واکنش‌های داده شده را موازنه کنید:

الف) $Cu(s) + Cl_2(g) \rightarrow CuCl_2(s)$

ب) $CS_2(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + SO_2(g)$

پ) $Fe(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow FeSO_4(aq) + H_2(g)$

ت) $Fe(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3(aq) + H_2(g)$

ث) $Na(s) + O_2(g) \rightarrow Na_2O(s)$

ج) $N_2(g) + H_2(g) \rightarrow NH_3(g)$

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 ـ باز

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

اسید + باز $\longrightarrow$ نمک + آب

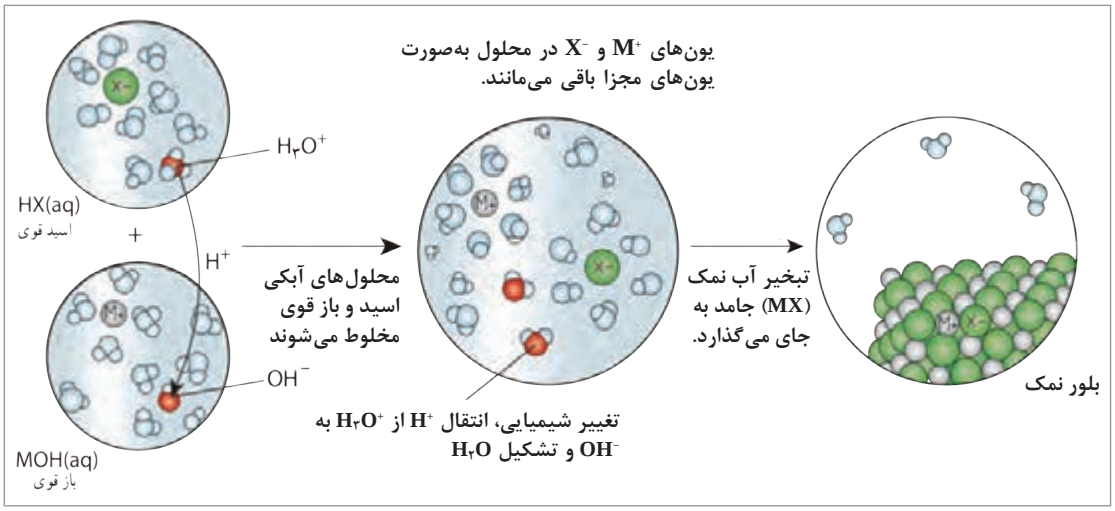
این واکنش‌ها در فرایندهای بسیار متنوع نظیر سنتز بیوشیمیایی پروتئین‌ها، تولید صنعتی کودها و بعضی از روش‌های مربوط به احیای دریاچه آسیب دیده با باران‌های اسیدی، صورت می‌گیرد.

تعریف‌های متعدّدی برای مفهوم اسید ـ باز وجود دارد براساس یکی از متداول‌ترین تعریف‌ها، اسید مادّه‌ای است که وقتی در آب حل شود یون H^+ ایجاد کند:

$$HX \xrightarrow{H_2O} H^+(aq) + X^-(aq)$$

باز مادّه‌ای است که وقتی در آب حل شود یون OH^- ایجاد کند:

$$MOH \xrightarrow{H_2O} M^+(aq) + OH^-(aq)$$



شکل (۲۳ـ۳) یک واکنش اسید و باز

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

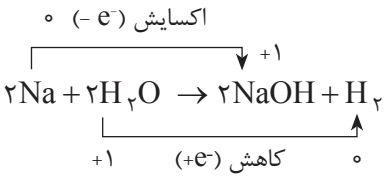
تحقیق کنید

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

واکنش‌های اکسایش[1] ـ کاهش[2]

در واکنش‌های اکسایش و کاهش، انجام واکنش بین دو جزء با مبادلهٔ الکترون همراه است. این واکنش‌ها شامل تشکیل یک ترکیب از عناصرش (و برعکس) می‌باشد.

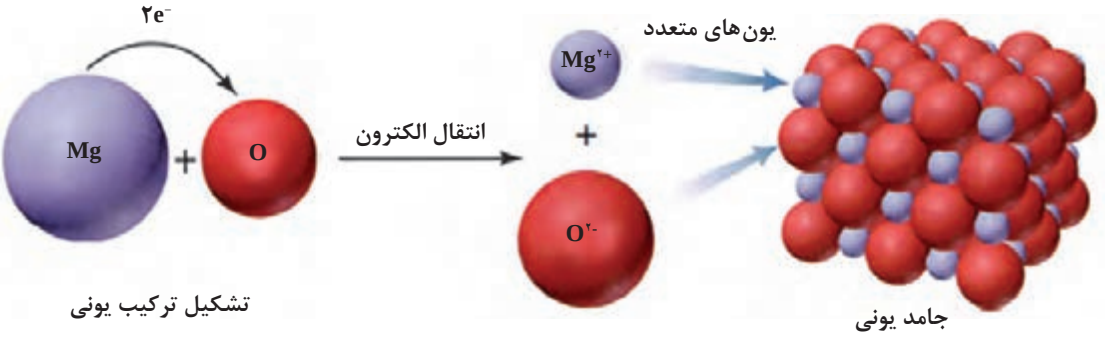
برای مثال واکنش فلز سدیم و آب از نوع واکنش‌های اکسایش ـ کاهش است.



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

۱ـ Oxidation
۲ـ Reduction

برای مثال واکنش سوختن منیزیم را در نظر بگیرید شکل (۲۴ـ۳). 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 جاذبهٔ قوی بین یون‌های مثبت و منفی موجب می‌شود که این یون‌ها در کنار هم قرار گرفته و منیزیم اکسید جامد را به‌وجود آورند.
واکنش‌های ترکیب فلزها با نافلزها که منجر به تشکیل نمک‌ها می‌شود، مثال‌هایی از واکنش اکسایش‌وکاهش می‌باشند.



شکل (۲۴ـ۳) نمایش واکنش بین منیزیم و اکسیژن

جدول ارزشیابی پودمان ساختار مولکول

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق	نمره
پودمان ۳: مفاهیم پایه ساختار مولکول	۱ـ تحلیل پیوندهای شیمیایی ۲ـ فرمول‌نویسی و نام‌گذاری ۳ـ تعیین نیروهای بین‌مولکولی	بررسی پیوندهای شیمیایی (یونی ـ کووالانسی) فرمول‌نویسی، نام‌گذاری ترکیبات معدنی (اسیدی و بازی نمک‌ها) الکترونگاتیوی عناصر مولکول‌های قطبی و ناقطبی نمایش مولکول‌ها به روش لوئیس نیروهای واندروالس، لاندن، پیوند هیدروژنی	بالاتر از حد انتظار	تعیین پیوندهای شیمیایی (یونی ـ کووالانسی ـ فلزی) روند ساختار لوئیس ـ تعیین نیروهای بین‌مولکولی ـ فرمول‌نویسی و نام‌گذاری	۳
			در حد انتظار	بررسی پیوندهای شیمیایی (یونی ـ کووالانسی) تعیین نیروهای بین‌مولکولی ـ فرمول‌نویسی و نامگذاری	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	فرمول‌نویسی و نام‌گذاری ـ تعیین پیوندهای شیمیایی	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

پودمان ۴

شیمی ترکیبات آلی

شیمی آلی برای همهٔ قلمروهای زندگی ما اهمیّت حیاتی دارد. لباس‌هایی که می‌پوشیم، انواع موادغذایی 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 برخوردار نبودیم، کرهٔ زمین نیز همچون کرهٔ ماه، سرزمینی فاقد حیات بود.

۱ـ۴ـ فراوانی ترکیب‌های آلی

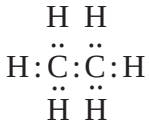
شیمی‌آلی، شیمی‌ترکیب‌های کربن است. اتم کربن در میان بیش از یک‌صد عنصر جدول تناوبی ویژگی‌های بی‌نظیری از نظر گوناگونی و پیچیدگی ترکیب‌های خود دارد.

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 کوچک‌بودن اندازهٔ اتم و داشتن الکترونگاتیوی در حد میانه، توجیه کرد. این ویژگی‌ها موجب پیدایش دو خاصیت عمومی‌زیر است:

امکان تشکیل پیوندهای محکم کربن ـ کربن

هر یک از الکترون‌های لایهٔ ظرفیت کربن می‌توانند با عنصرهای دیگر از راه به اشتراک گذاشتن الکترون و تشکیل پیوند کووالانسی، لایهٔ 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 به‌صورت متان (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 ـ کربن است. برای مثال، به ساختار دومین مولکول آلی از نظر سادگی، معروف به اتان (C_2H_6) توجّه کنید:



پدیدهٔ تشکیل پیوند ساده و محکم C ـ C، ممکن است ادامه یابد و مولکول‌هایی با زنجیرهای بلند پدید آورد که نمونه‌های آن‌را در خانوادهٔ 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 (C=C) پدید آورند که در این حالت خانوادهٔ دیگری ازترکیب‌های آلی به نام «آلکن» تشکیل می‌شود.

همچنین دو اتم کربن، می‌توانند سه جفت الکترون به اشتراک گذاشته و پیوند کووالانسی سه گانه (C≡C) به‌وجود آورند که در این‌صورت خانوادهٔ آلکین‌ها را خواهیم داشت.

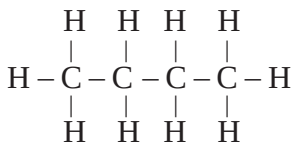
امکان پیدایش ایزومرها

یک فرمول در شیمی‌معدنی، معمولاً نشان‌دهندهٔ یک ماده با ویژگی‌های خاص آن است. مثلاً فرمول H_2SO_4 فقط نمایندهٔ یک ماده به نام سولفوریک‌اسید است. درصورتی که یک فرمول مولکولی در شیمی‌آلی، معمولاً نشان‌دهندهٔ یک یا چندین ترکیب با خواص مختلف است. برای مثال، آزمایش نشان می‌دهد که دو نوع ماده با فرمول مولکولی C_4H_{10} وجود دارد که از نظر برخی خواص با یکدیگر تفاوت دارند. جدول (۱ـ۴)، برخی ویژگی‌های فیزیکی این دو ماده را نشان می‌دهد.

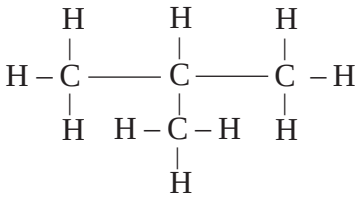
جدول (۱ـ۴) برخی خواص فیزیکی دو ماده با فرمول مولکولی $C_۴H_{۱۰}$

خاصیت فیزیکی	مادهٔ شماره ۱ (فرمولی مولکولی $C_۴H_{۱۰}$)	مادهٔ شماره ۲ (فرمولی مولکولی $C_۴H_{۱۰}$)
دمای ذوب	ـ۱۲۸° C	ـ۱۵۹° C
دمای جوش	ـ۰/۵° C	ـ۱۲° C
چگالی مایع (در ـ۲۰° C)	۰/۵۹۹° g/cm^۳	۰/۵۵۷° g/cm^۳
میزان حل شدن در ۱۰۰۰ mL الکل معمولی	۱۸۱۳ mL	۱۳۲۰ mL

چگونه می‌توان این واقعیت‌ها را توجیه کرد؟ با توجّه به تأثیر ساختار یک ماده بر خواص آن، آیا می‌توان چنین فرض کرد که این دو ماده ساختار متفاوت دارند؟ هرگاه درصدد باشیم که آرایش‌های ممکن را برای مولکول $C_۴H_{۱۰}$ به‌صورت 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 الف



طرح ساختاری ب

با کم‌کردن یک اتم کربن از زنجیرهٔ بدون شاخه طرح «الف»، و تشکیل شاخهٔ جانبی، طرح «ب» به‌وجود می‌آید. تحقیق تجربی، صحت وجود این دو طرح ساختاری را تأیید کرده و نشان می‌دهد که طرح ساختاری «الف» با فرمول ساختاری مادهٔ شماره ۱ و طرح ساختاری «ب» با فرمول ساختاری مادهٔ شماره ۲، در جدول مطابقت دارد. **موادی که دارای فرمول مولکولی یکسان هستند، ولی دارای فرمول‌های ساختاری و خواص متفاوت می‌باشند، ایزومر یا همپار[۱] 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:

$$CH_۳-CH_۲-CH_۲-CH_۲-CH_۳ \quad \text{و} \quad CH_۳-\underset{\underset{CH_۳}{|}}{CH}-CH_۲-CH_۳ \quad \text{و} \quad CH_۳-\overset{\overset{CH_۳}{|}}{\underset{\underset{CH_۳}{|}}{C}}-CH_۳$$

۱ـ Isomer

پرسش

۱ چرا تعداد ترکیب‌های آلی به میلیون‌ها می‌رسد، در صورتی که تعداد عنصرهای تشکیل‌دهندهٔ این مواد بسیار محدود است؟

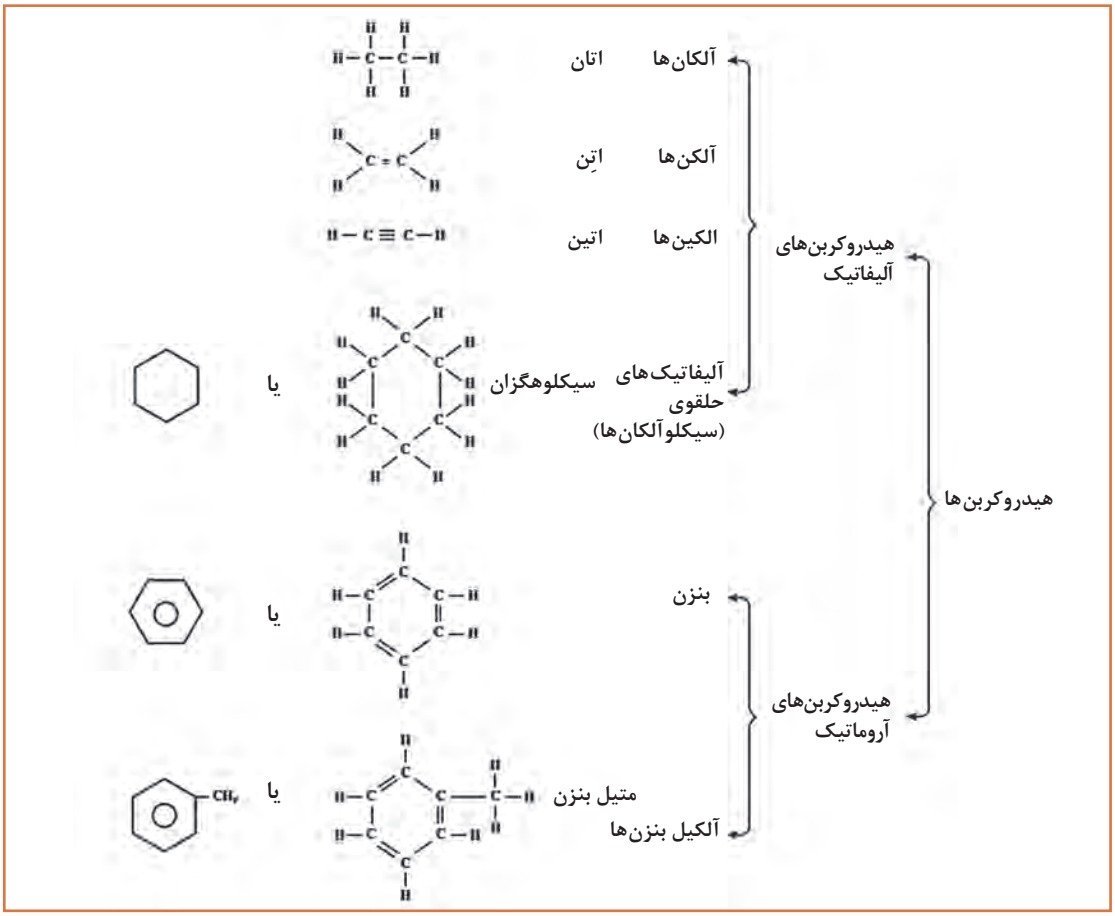
۲ نام سه مادهٔ آلی مهّم موجود در محیط زندگی را که در طبیعت وجود دارند، و سه مادهٔ دیگر را که به‌طور مصنوعی تهّیه می‌شوند، نام ببرید.

۲ـ۴ـ 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 ـ کربن و شکل ساختاری مولکول‌های آنهاست. به‌طور کلی هیدروکربن‌ها به دو دستهٔ بزرگ هیدروکربن‌های آلیفاتیک و هیدروکربن‌های آروماتیک تقسیم‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی کلی هیدروکربن‌ها، به‌صورت نمودار در شکل (۱ـ۴) ارائه شده است. (این نمودار صرفاً به‌منظور آشنایی هنرجویان است و نیاز به حفظ کردن آن نمی‌باشد).

تحقیق کنید

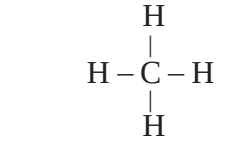
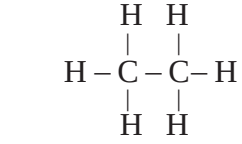
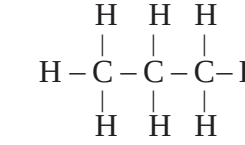
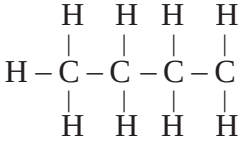
با توجّه به شکل (۱ـ۴) در مخلوط نفت خام کدام‌یک از هیدروکربن‌های نام‌برده وجود دارند؟



شکل (۱ـ۴) طبقه‌بندی کلی هیدروکربن‌ها

۳ـ۴ـ آلکان‌ها

آلکان‌ها، هیدروکربن‌هایی هستند که به‌صورت گاز، مایع و جامد در نفت خام وجود دارند. آلکان‌ها ترکیب‌هایی از هیدروژن و کربن هستند که هر اتم کربن در آنها به‌وسیلهٔ چهار پیوند کووالانسی ساده، و از طریق چهار جفت الکترون با چهار اتم دیگر پیوند دارند. از این‌رو به آلکان‌ها هیدروکربن‌های سیرشده اطلاق می‌شود. به مثال‌های زیر که مربوط به چهار آلکان اولیه است، توجّه کنید:

نام	فرمول مولکولی[1]	فرمول ساختاری (پیوندها به‌صورت جفت الکترون مشترک)	فرمول ساختاری[2] (پیوندها به‌صورت خط فاصله)
متان	CH_4		
اتان	C_2H_6		
پروپان	C_3H_8		
بوتان	C_4H_{10}		

تحقیق

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

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

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

۱ هر اتم کربن به‌وسیله چهار پیوند کووالانسی ساده با چهار اتم مجاور پیوند یافته است. چون هر چهار ظرفیت اتم کربن به‌وسیلهٔ چهار اتم دیگر اشغال شده، بنابراین، جایی برای ترکیب اضافی با اتم دیگر وجود ندارد. به همین دلیل، این هیدروکربن‌ها سیرشده یا اشباع‌شده[۱] نامیده می‌شوند، و بنابر قرارداد، نام آلکان[۲] به آنها اطلاق می‌شود.

۲ تفاوت هر عضو از این مجموعه، با عضو قبلی یا بعدی در یک «$-CH_2-$» است. این نوع ترکیب‌ها را که تفاوت آنها در یک یا چند ($-CH_2-$) است، سری هم‌رده[۳] می‌نامند. چهار هیدروکربن متان، اتان، پروپان و بوتان هم‌رده یکدیگر هستند. هم‌رده‌ها در هر خانواده‌ای از ترکیب‌های آلی وجود دارند، و در هر مورد، هر عضوی با عضو بعدی یا قبلی خود، در یک $-CH_2-$ اختلاف دارد.

۳ از آنجا که در این ترکیب‌ها، هر ترکیب با ترکیب قبلی و بعدی خود در یک گروه «$-CH_2-$» 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 ۲n خواهد بود. از طرفی چون متان که نخستین عضو این خانواده است، خود دو اتم هیدروژن بیشتر از $-CH_2-$ دارد، پس می‌توان فرمول کلی هیدروکربن‌های این خانواده را $(CH_2)_n+2H$ نوشت. این فرمول را به‌سادگی به‌صورت C_nH_{2n+2} می‌نویسند. یعنی در این هیدروکربن‌ها، تعداد اتم‌های هیدروژن در هر مولکول، ۲ اتم بیشتر از ۲ برابر تعدا اتم‌های کربن است. با این ترتیب، در خانوادهٔ آلکان‌ها بعد از بوتان، ترکیبی به فرمول C_5H_{12} خواهیم داشت (n=۵ است، پس $H=2\times5+2=12$ 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 C_7 تا C_{10} بنویسید.

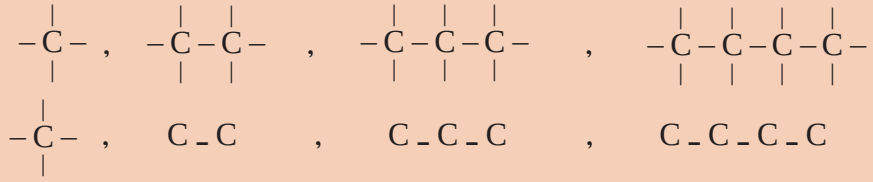
یادآوری

برای صرفه‌جویی در کاغذ، همچنین آسان‌کردن فرمول‌نویسی، به‌جای فرمول ساختاری گسترده می‌توان فرمول این مواد را «به‌صورت متراکم» نوشت:

CH_4 , CH_3-CH_3 , $CH_3-CH_2-CH_3$, $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$

CH_4 , CH_3CH_3 , $CH_3CH_2CH_3$, $CH_3CH_2CH_2CH_3$ یا $CH_3(CH_2)_2CH_3$

متان اتان پروپان بوتان



۱ـ Saturated Hydrocarbons ۲ـ Allkanes ۳ـ Homologous Series

۴ـ۴ـ 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 (۲ـ۴) ریشه ده آلکان اولیه نشان داده شده است.

جدول (۲ـ۴) نام و فرمول‌های ده آلکان اولیه (ریشه)

نام آلکان	فرمول مولکولی	فرمول ساختاری متراکم
متان	$CH_۴$	$CH_۴$
اتان	$C_۲H_۶$	$CH_۳ - CH_۳$
پروپان	$C_۳H_۸$	$CH_۳ - CH_۲ - CH_۳$
بوتان	$C_۴H_{۱۰}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۲ - CH_۳$
پنتان	$C_۵H_{۱۲}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۳ - CH_۳$
هگزان	$C_۶H_{۱۴}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۴ - CH_۳$
هپتان	$C_۷H_{۱۶}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۵ - CH_۳$
اکتان	$C_۸H_{۱۸}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۶ - CH_۳$
نونان	$C_۹H_{۲۰}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۷ - CH_۳$
دکان	$C_{۱۰}H_{۲۲}$	$CH_۳ - (CH_۲)_۸ - CH_۳$

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 شمارهٔ 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 ۳ـ۴). مانند متیل، اتیل، پروپیل.

جدول (۳ـ۴) نام ۸ آلکیل (پیشوندها)

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

روش نام‌گذاری ترکیب‌های آلی

۱ بلندترین زنجیر را نام‌گذاری کنید (ریشه).

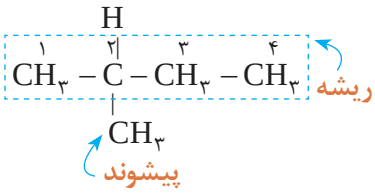
۲ نوع ترکیب را مشخص کنید (پسوند).

۳ اگر ترکیب چند شاخه داشت، همهٔ شاخه‌ها را نام‌گذاری کنید (پیشوند).

۴ برای خواندن از شیوهٔ «پیشوند + ریشه + پسوند» استفاده کنید.

۵ اگر پیشوند (شاخه‌ها) بیش از یک مورد باشد از یک سر مولکول شماره‌گذاری کنید و به هر شاخه شماره‌ای اختصاص بدهید. توجّه داشته باشید شماره‌گذاری را طوری انجام دهید که مجموع شماره‌های شاخه‌ها کوچک‌ترین حالت را داشته باشد.

۶ 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.

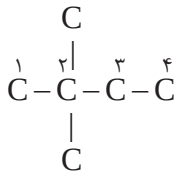
شماره‌گذاری از جهتی انجام شود که به پیشوند (شاخه) شمارهٔ کوچک‌تری تعلّق گیرد. بنابراین نام ترکیب به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

«شماره و نام پیشوند + ریشه + پسوند»

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

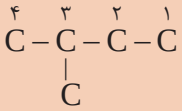
نکته

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

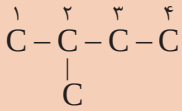


پرسش

۱ کدام شماره‌گذاری برای زنجیرهٔ جانبی ترکیبات زیر صحیح می‌باشد؟

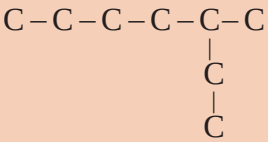


۱



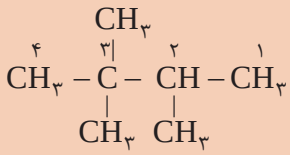
۲

۲ کدام نام برای ترکیب زیر صحیح است؟

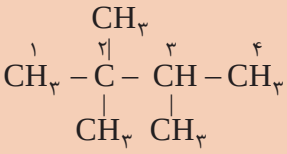


الف) ۲ـ اتیل، هگزان یا ب) ۳ـ متیل، هپتان

۳ کدام نام‌گذاری صحیح است؟

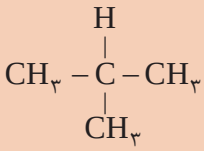


الف) ۲، ۳، ۳ـ تری‌متیل بوتان

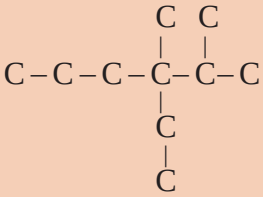


ب) ۲، ۲، ۳ـ تری‌متیل بوتان

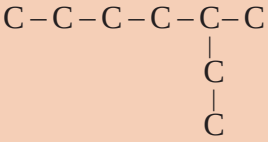
۴ نام ترکیب‌های داده شده را بنویسید.



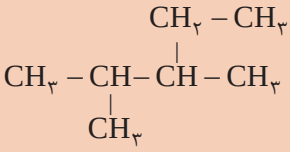
۱



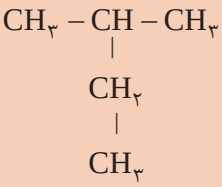
۲



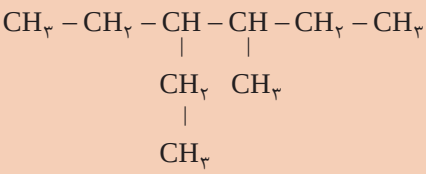
۳



۴



۵



۶

۵ـ۴ـ انواع اتم کربن

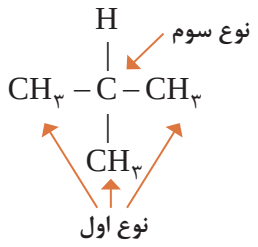
در شیمی آلی، با چهار واژهٔ کربن نوع اول، کربن نوع دوم، کربن نوع سوم و کربن نوع چهارم مواجه می‌شویم که در ادامه تعریف آنها ارائه می‌شود:

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

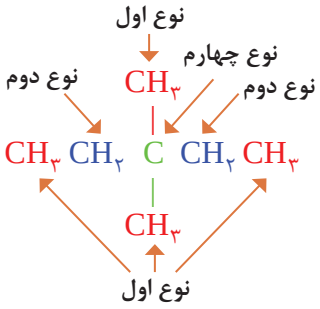
کربن نوع دوم: هرگاه اتم کربن در یک مولکول، با دو اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن‌را اتم کربن نوع دوم می‌نامند. برای مثال در مولکول پروپان (ـ C ـ C ـ C ـ)، اتم‌های کربن ۱ و ۳ از نوع اول و اتم کربن شماره ۲ از نوع دوم است.

نوع اول نوع دوم نوع اول

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

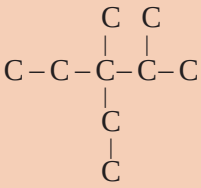


کربن نوع چهارم: هرگاه اتم کربن در یک مولکول، با چهار اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد، آن‌را کربن نوع چهارم می‌نامند. برای مثال، در مولکول ۳، ۳ـ دی‌متیل پنتان، چهار اتم کربن نوع اول، دو اتم نوع دوم و یک اتم نوع چهارم وجود دارد.



تمرین

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

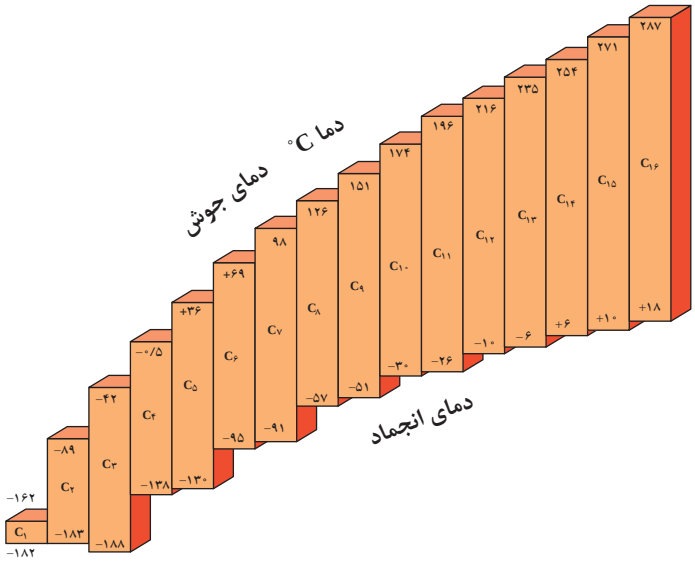


۶ـ۴ـ خواص فیزیکی آلکان‌ها

دمای جوش و ذوب آلکان‌ها

آلکان‌ها، تغییر تدریجی نسبتاً منظمی‌در خواص فیزیکی از خود نشان می‌دهند. در دمای اتاق، همرده‌های سبک‌تر به‌صورت گاز یا مایع بی‌رنگ هستند، درصورتی که همرده‌های سنگین‌تر جامدند.

شکل (۲ـ۴) نمودار دماهای جوش و ذوب ۱۶ آلکان نرمال اولیه را نشان می‌دهد.



شکل (۲ـ۴) نمودار دمای ذوب و جوش ۱۶ آلکان نرمال اولیه

پرسش

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 آن‌را در کپسول گاز تحت فشار وارد کنند، آیا زودتر مایع می‌شود یا دیرتر؟ چرا؟

۲ بخش اعظم گاز طبیعی که در شبکهٔ 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 به‌صورت گاز مایع پخش نمی‌کنند؟

۳ هرگاه بدانید که بنزین، شامل مولکول‌های $C_{۸}$ تا $C_{۱۰}$ است، حدود تقریبی دمای جوش بنزین چقدر است؟ (منظور از چه دمایی تا چه دمایی؟)

۴ هرگاه بدانید که نفت سفید مخلوطی از مولکول‌های $C_{۹}$ تا $C_{۱۶}$ 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 رابطهٔ دماهای جوش با اندازهٔ مولکول‌های آلکان و جرم آنها چیست؟

۶ میانگین افزایش دمای جوش، به ازای افزایش یک اتم کربن در مولکول‌های آلکان‌های $C_{۸}$ تا $C_{۱۲}$ چقدر است؟

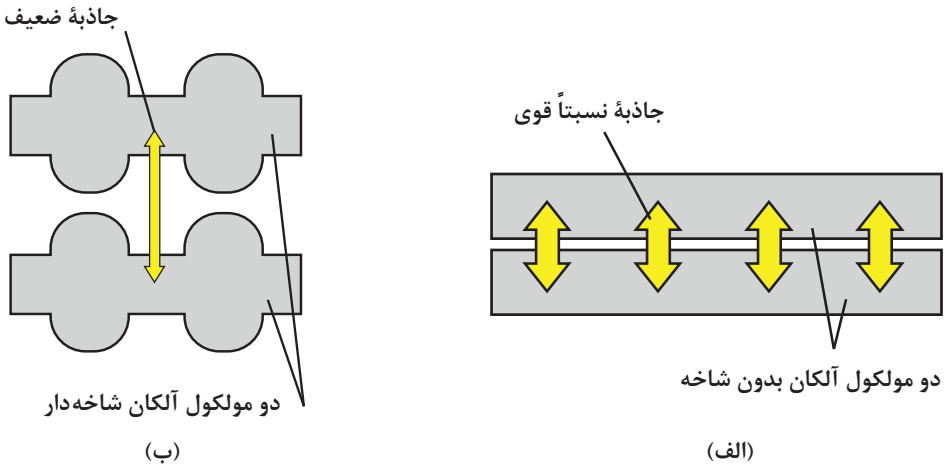
۷ با توجه به شکل (۲ـ۴)، آیا می‌توان پیش‌بینی کرد که نفت سفید در یک روز زمستانی بسیار سرد ایران، منجمد شود یا نه؟ هگزان چطور؟

نیروهای جاذبهٔ واندروالسی میان مولکول‌های آلکان‌ها

آلکان‌ها معمولاً ترکیب‌های ناقطبی هستند، بنابراین در حالت مایع و جامد، نیروهای جاذبهٔ ضعیف واندروالسی از نوع لاندن میان مولکول‌های آنها برقرار است. هرچه بر حجم و جرم مولکول‌ها افزوده شود، سطح تماس میان آنها بیشتر شده، میزان نیروهای جاذبهٔ واندروالسی 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 فرّاریت آن بیشتر است. (بنزین خیلی زودتر از نفت سفید تبخیر می‌شود). به‌همین 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 جرقهٔ کوچک است.

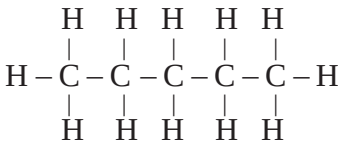
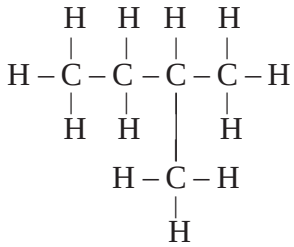
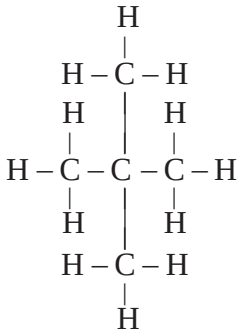
مقایسهٔ دمای جوش یک آلکان با دمای جوش یک ایزومر شاخه‌دار آن

در آلکان‌ها هرچه بر تعداد شاخه‌های فرعی مولکول آلکان افزوده شود، دمای جوش پایین‌تر می‌آید. شکل(۳ـ۴) الف الگویی برای نمایش دو مولکول آلکان نرمال مثلاً n ـ بوتان را نشان می‌دهد. به علّت نبود شاخه، امکان تماس اتم‌ها در دو زنجیر مجاور بیشتر است. بنابراین، بر نیروهای جاذبهٔ واندروالسی افزوده می‌شود و دمای جوش آلکان اندکی بالا می‌رود. شکل (۳ ـ۴) ب، الگویی برای نمایش دو آلکان شاخه‌دار است. در اینجا فاصله میان مولکول‌های مجاور بیشتر است و از نیروهای جاذبهٔ واندروالسی 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 پایین می‌آید.



شکل (۳ـ۴) اتم‌ها در زنجیرهای بدون شاخهٔ مجاور، خیلی به یکدیگر نزدیک هستند و در زنجیرهای شاخه‌دار، اندکی دورتر قرار دارند.

جدول (۴ـ۴) مقایسه دمای جوش ایزومرهای (همپارهای) پنتان

نام فرمول	فرمول متراکم	فرمول ساختاری	دمای جوش (°C)
پنتان نرمال	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$		+۳۶
۲ـ متیل بوتان	$CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$		+۳۰
۲ و ۲ـ دی‌متیل پروپان	$CH_3-C(CH_3)_2-CH$		+۹/۵

دماهای جوش که به روش تجربی به‌دست آمده است، صحت پیش‌بینی ما را تأیید می‌کند.

حل شدن آلکان‌ها در حلال‌ها

به‌طور کلی، قاعدهٔ «قطبی در قطبی و ناقطبی در ناقطبی حل می‌شود» کم و بیش، در آلکان‌ها صدق می‌کند. مولکول‌های آلکان‌ها، ناقطبی هستند. بنابراین در آب که یک مایع قطبی است، حل نمی‌شود. (نفت در آب حل نمی‌شود). ولی این مولکول‌ها در حلّال‌های ناقطبی، کم و بیش حل می‌شوند (بنزین در نفت حل می‌شود قیر نیز در نفت حل می‌شود.)

تمرین

چرا تفکیک نفت از آب، به‌وسیلهٔ قیف جداکننده به‌آسانی انجام می‌گیرد؟ دو دلیل ارائه دهید.

۷ـ۴ـ خواص شیمیایی آلکان‌ها

آلکان‌ها با اغلب واکنش‌گرها واکنشی انجام نمی‌دهند. به‌دلیل عدم تمایل آلکان‌ها برای شرکت در اغلب واکنش‌های شیمیایی در شرایط عادی، آنها را هیدروکربن‌های پارافینی می‌نامند. یک آلکان با سولفوریک‌اسید غلیظ، نیتریک‌اسید، سدیم‌هیدروکسید، پتاسیم‌پرمنگنات واکنش ندارد. با وجود این، آلکان‌ها مواد 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 اُکتان نرمال به قرار زیر است:

$$C_۸H_{۱۸} + \frac{۲۵}{۲}O_۲ \rightarrow ۸CO_۲ + ۹H_۲O \qquad \Delta H = -۵۴۵۰\,kJ$$

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.

$$CH_۴ + O_۲ \rightarrow ۲H_۲O + C \text{ (دوده)}$$

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.

$$C_۸H_{۱۸} = ۸\times۱۲ + ۱۸ = ۱۱۴ \text{ گرم}$$

$$\text{گرمای سوختن یک گرم اُکتان} = ۵۴۵۰(kJ\,mol^{-۱}) \times \frac{۱mol \text{ اُکتان}}{۱۱۴g} = ۴۷/۸\,kJg^{-۱}$$

تمرین

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

جدول (۵ـ۴) گرمای مولی و گرمای سوختن یک گرم از چند آلکان

هیدروکربن	فرمول مولکولی	گرمای سوخت یک گرم (Kj/g)	گرمای سوختن مولی (Kj/mol^{-1})
متان	$CH_۴$	۵۰/۶	۸۱۰
اتان	$C_۲H_۶$	۵۲	۱۵۶۰
پروپان	$C_۳H_۸$	۵۰	۲۲۰۰
بوتان	$C_۴H_{۱۰}$	۴۹/۳	۲۸۵۹
پنتان	$C_۵H_{۱۲}$	۴۸/۸	۳۵۱۰
هگزان	$C_۶H_{۱۴}$	۴۸/۲	۴۱۴۱
هپتان	$C_۷H_{۱۶}$	۴۸/۲	۴۸۱۷
اکتان	$C_۸H_{۱۸}$	۴۷/۸	۵۴۵۰

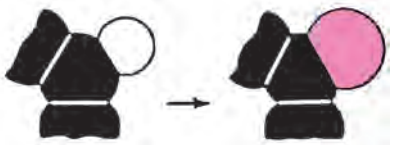
تمرین

۱ در جدول (۵ـ۴) 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

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 (۴ـ۴)، خروج یک اتم هیدروژن (سفید) و جانشین شدن آن به وسیله یک اتم کلر (سرخ) را نشان می‌دهد.



شکل (۴ـ۴) نمایش واکنش جانشینی در آلکان‌ها

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 حضورپرتوهای فرابنفش و در دمای ۴۰۰°C انجام می‌شود.

$$H-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}}-H + Cl_۲ \xrightarrow[\approx ۴۰۰°C]{\text{پرتوهای فرابنفش}} H-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}}-Cl + HCl$$

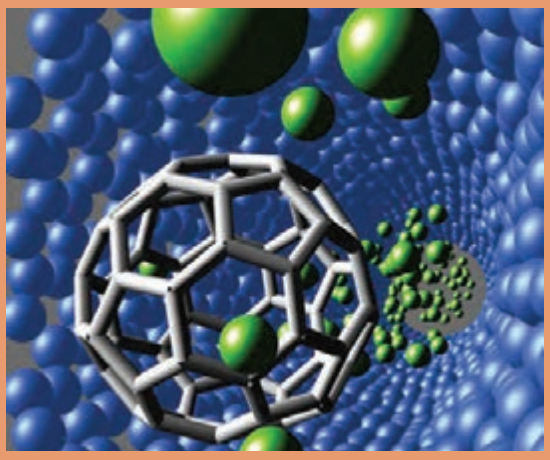
کلرومتان

جدول ارزشیابی پودمان شیمی ترکیبات آلی

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

پودمان ۵

فناوری و نوآوری‌ها



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

۱ـ۵ـ فناوری نانو

تاریخچهٔ فناوری نانو

در سال ۱۹۵۹ ریچارد فینمن، دانشمند و تئوری‌پرداز، 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 برنامهٔ بلندمدّت برای توسعهٔ فناوری نانو مورد توجه مسئولان و متخصّصان کشور واقع شده و «ستاد ویژه توسعهٔ فناوری نانو» در پاییز ۱۳۸۲ با همین هدف تشکیل شده است.

ستاد ویژهٔ توسعهٔ 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.

● ستاد ویژهٔ توسعهٔ فناوری نانو	www.nano.ir
● باشگاه دانش‌آموزی	www.nanoclub.ir

فناوری نانو چیست؟

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

نانو، نانومتر: پیشوند نانو یک کلمهٔ یونانی است. در بحث اندازه‌گیری به معنی یک میلیاردم (10^{-9}) است. بنابراین، یک نانومتر (1nm)، یک میلیاردم متر (10^{-9}m) است. آیا این اندازه را می‌توانید تصوّر کنید؟ به جدول ۱ـ۵ نگاه کنید.

جدول (۱ـ۵) اندازهٔ متوسط چند نمونه

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

شکل (۱ـ۵) نسبت ابعاد یک نانومتر به یک توپ فوتبال مانند تناسب یک توپ فوتبال با کرهٔ زمین است.

نانو ذرّات: نانو ذرّه و نانو فناوری نام‌های نسبتاً جدیدی هستند، امّا مدّت‌ها قبل از اینکه نامی‌برای آنها انتخاب شود، نانو ذرّات وجود داشته و توسط بشر مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است. برای مثال بسیاری از رنگ‌های زیبای شیشه‌های رنگی پنجره‌ها، ناشی از وجود ذرّات ریز اکسیدهای فلزی است. ذرّات با اندازه‌های متفاوت، طول موج‌های مختلفی از نور را پراکنده می‌کنند که موجب به وجود آمدن رنگ‌های متنوّع در شیشه می‌شود. ذرّات کلوییدی ریز نقره جزئی از فرایند تشکیل عکس در عکاسی است. آب در دمای محیط شامل خوشه‌هایی[1] از مولکول‌های آب با پیوند هیدروژنی است. معمولاً، نانو ذرّات به تعدادی از اتم‌ها یا مولکول‌ها، که به هم متصّل شده‌اند و شعاعی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند، اطلاق می‌شود.

تعریف فناوری نانو و اهمیّت آن: تعریف‌های متعددی دربارهٔ 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 که‌اندازهٔ 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 رشتهٔ 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، تحوّلات زیادی را در صنایع مختلف به‌وجود آورده و همچنین به‌وجود خواهد آورد.

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

۲ـ۵ـ ویژگی‌های نانو ذرّات

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

$۲۴cm^۲$ $۴۸cm^۲$ $۹۶cm^۲$

۱ـ Cluster

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

مساحت کل قطعه بزرگ‌تر $S = ۶ \times ۲^۲ = ۲۴$ سانتی‌متر مربع

مساحت کل یک قطعه کوچک‌تر $S' = ۶ \times ۱^۲ = ۶$ سانتی‌متر مربع

مساحت کل هشت قطعه کوچک‌تر = ۸×۶ = ۴۸ سانتی‌متر مربع

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

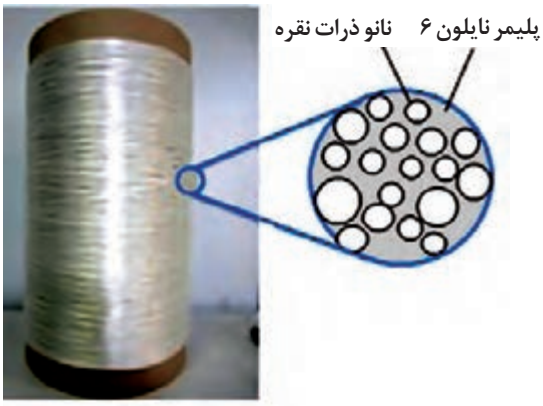
پرسش

اگر ابعاد یک مکعب به طول ضلع n به مکعب‌های کوچک‌تری با ابعاد $\frac{۱}{n}$ تبدیل شود، سطح کلی آن چقدر تغییر می‌کند؟

از آنجا که بسیاری از تبادلات مهمّ شیمیایی و فیزیکی از طریق سطح انجام می‌گیرد، این ویژگی، واکنش‌پذیری نانو ذرّات را به شدّت افزایش می‌دهد. مثلاً نانو ذرّات فلزی به محض قرارگرفتن در هوا به سرعت اکسید می‌شوند. علاوه بر این ازدیاد در سطح خارجی ذرّات مواد، عامل مهمّی است و در کارکرد کاتالیزگر[۱]ها و ساختارهایی همچون الکترودها یا در افزایش کارایی فناوری‌هایی همچون باتری‌ها نقش اساسی دارد.

برخی از نانو ذرّاتی که تاکنون مورد استفاده قرارگرفته‌اند، عبارت‌اند از آهن (III) اکسید ($Fe_۲O_۳$)، سیلیسیم دیوکسید ($SiO_۲$)، تیتانیم دیوکسید ($TiO_۲$)، روی (II) اکسید (ZnO) و فلز نقره (Ag).

نانو ذرّات نقره به داشتن خصوصیت ضدمیکروبی 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، ضدالکتریسیتهٔ ساکن است و برای انسان و محیط‌زیست ضرری ندارد. به همین دلیل کاربردهای گسترده‌ای در بخش پزشکی، مواد بهداشتی و آرایشی، نسّاجی، رنگ، کاشی، سرامیک و غیره برای آن وجود دارد.



شکل (۲ـ۵) برخی از موارد گستردهٔ کاربرد نانو ذرهٔ نقره

۱ـ 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 مهمّ پیوندهای کربن-کربن در مولکول‌های آلی و ماهیت منحصر به فرد خود پیوند کربن، آشنا شدید. در واقع ماهیت متنوّع این پیوند است که به کربن امکان می‌دهد نانو ساختارهایی به نام فولرن[1]ها و نانو لوله کربنی[2] داشته باشد.

فولرن $C_{۶۰}$: 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 (۳ـ۵) فولرن ($C_{۶۰}$) ساختاری شبیه توپ فوتبال دارد

نانو لوله‌های کربنی و خواص آنها: ساختار نانو لولهٔ کربنی مانند یک صفحهٔ 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 به‌کار می‌رود).

فعالیت

نانو لوله کاغذی بسازید:

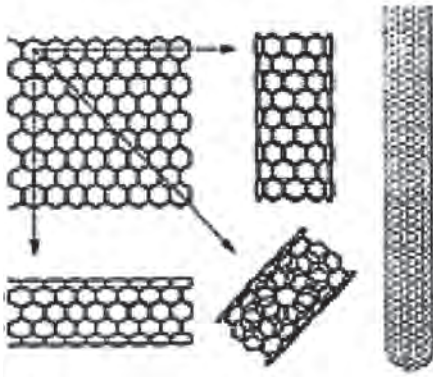
۱ بر روی یک صفحه با رسم شش ضلعی‌های منتظم در کنار یکدیگر، یک صفحهٔ گرافیتی بسازید.

۲ این صفحه را می‌توانید به سه شکل متفاوت به یکدیگر وصل کنید (با توجّه به شکل ۴ـ۵) و هر شکل از این نانو لوله‌ها خواص متفاوتی نیز دارند.

نانو لوله‌های کربنی به‌صورت نانو لوله‌های تک‌دیواره[3] و چنددیواره[4] نیز وجود دارند.

یک نانو لولهٔ تک‌دیواره، قطری حدود چند نانومتر و طولی هزاران برابر بیشتر دارد (به‌طور مثال قطر ۲nm و طول ۱۰μm) و می‌تواند به یک ساختار تک بعدی تبدیل گردد، که به آن نانوسیم[5] می‌گویند.

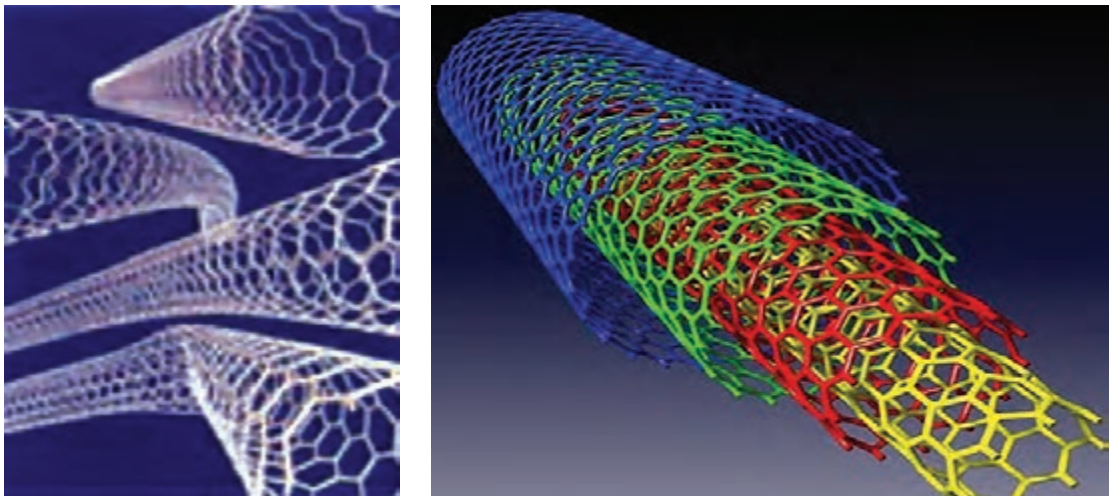
نانو لوله‌های چنددیواره، استوانه‌های هم‌محور کربنی با قطرهای حدود (۱۰ـ۱۰۰nm) را تشکیل می‌دهند.



شکل (۴ـ۵) نانو لوله‌های کربنی تک دیواره

۱ـ Fulleren
۲ـ Carbon nanotube
۳ـ SWNT: Single Wall Nano Tube
۴ـ MWNT: Multy Wall Nano Tube
۵ـ Nano Wire

این ساختارهای متعدّد (شکل۵ـ۵) خواص متفاوتی نیز دارند. ولی به‌طور 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 هدایت‌گر حرارتی شناخته شده است، بیشتر است. ویژگی مهمّ دیگر نانو لوله‌ها خاصیت فلزی یا نیمه‌رسانا بودن آنهاست.



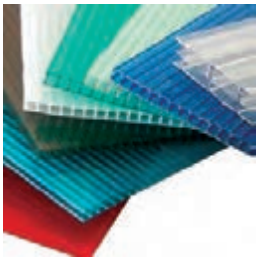
شکل (۵ـ۵) نانو لوله‌های چنددیواره و خمیده

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 ذرّه گفته می‌شود اما به الماس و گرافیت این عنوان تعلق نمی‌گیرد؟

کامپوزیت‌ها



به‌منظور بهبود یا به‌دست 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[1] گویند. اگر یک یا چند جزء از آن دارای اندازهٔ متوسط کمتر از ۱۰۰nm باشد نانو کامپوزیت نامیده می‌شود.

۱ـ Composite

گذشته از تمام خصوصیات ذاتی اجزا، نانو کامپوزیت‌ها می‌توانند از تک‌تک اجزای خود بهتر عمل کنند. با افزودن مقدار کمی‌نانو 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 نشاستهٔ سیب‌زمینی و نانو ذرّات کلسیم‌کربنات، 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.

بسپارهای تقویت شده با نانو ذرّات (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 نمونهٔ کاربردی: نانورُس‌ها[1] پُرکننده‌هایی 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 ذرّات رُس، 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 بسپار در حال تحقیق روی فناوری‌های نانوکامپوزیت هستند تا به خواص جدیدی برای مصنوعات آینده برسند.

۳ـ۵ـ نانوفناوری و برخی کاربردهای آن

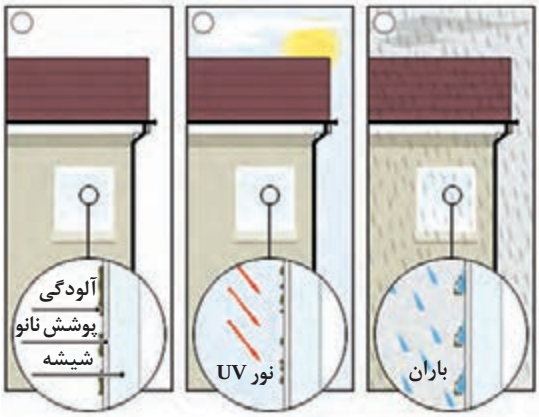
تا اینجا با چند نمونه از کاربردهای نانوفناوری آشنا شدید و دریافتید که دامنهٔ تأثیر آن فقط به چند صنعت محدود نمی‌شود و حوزهٔ گسترده‌ای از دانش‌ها و فناوری‌ها، مانند پزشکی، داروسازی، صنایع غذایی، مواد شیمیایی، انرژی، نساجی، الکترونیک، خودرو، لوازم بهداشتی و آرایشی و غیر آنها را در برمی‌گیرد. هم‌اکنون کالاهای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

۱ـ 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 ذرّات باعث می‌گردد تا عملکرد کاتالیزگری آنها به‌طور مؤثری بهبود یابد و سبب افزایش بازدهٔ 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 اهمیّت ویژه‌ای برخوردارند.

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

● **شیشه‌های خود تمیزشونده:** 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 ذرّات 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.



شکل (۶ـ۵) طرز کار شیشهٔ خود تمیز شونده

● **کاربردهای نانو ذرّه در نساجی**

این کاربردها را در سه بخش می‌توان خلاصه کرد:

لباس‌های ضدلک: با اضافه نمودن ساختارهای مولکولی به الیاف پارچه، لباس‌های ضدلک، ضدآب و خودتمیزشونده تهیّه می‌شود. این پارچه‌ها هیچ‌گونه آلودگی را جذب نمی‌کنند، مایعات بر روی آنها حرکت می‌کنند و جذب نمی‌شوند (مثل حرکت قطرات آب بر روی پرهای غاز). لباس‌های دوخته شده با این پارچه‌ها چروک نمی‌شوند. در ایران نیز چند شرکت در این زمینهٔ فعّال هستند و محصول آنها تجاری شده است.

شکل (۷ـ۵) پارچه و پیراهن ضدلک و ضدچروک

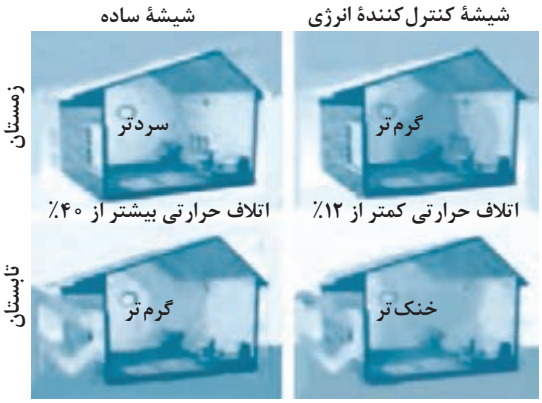
منسوجات هوشمند: تهیّهٔ منسوجات هوشمند مراحل آزمایشی را می‌گذراند. قابلیت الیاف آن به نحوی است که با حرارت یا برودت هوا تغییر ساختار می‌دهند و متناسب با تغییرات دمای هوا فشرده‌تر یا بازتر می‌شوند و پارچه را ضخیم‌تر یا نازک‌تر می‌کنند.

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

شکل (۸ـ۵) جوراب‌های حاوی نانو ذرّات نقره، جهت جلوگیری از بوی بد پا و جلوگیری از عفونت پای افراد ورزشکار و دیابتی

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 هزینهٔ سامانهٔ 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.



شکل (۹ـ۵) شیشه‌های کنترل‌کنندهٔ انرژی

با ترکیب برخی نانو ذرّات و فولرن با روغن‌های موتور معمول، خواص روان‌کاری روغن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه بازدهٔ 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 ذرّات در پزشکی به شرح زیر می‌باشد:

✓ جهت درمان مؤثرتر سرطان، می‌توان از نانو ذرّاتی که حامل داروهای ضدسرطانی هستند استفاده کرد. یک تزریق ساده می‌تواند هزاران یا میلیون‌ها نانو ذرّه (نانو کپسول حامل دارو) را وارد جریان خون کند. این نانو ذرّات درون سلول‌های سرطانی تجمّع می‌کنند و داروی بیشتری در سلول بیمار قرار می‌دهند. در حالی که بر سلول‌های سالم اثری ندارند. به این ترتیب بازدهٔ درمانی آنها بسیار بالا می‌رود.

✓ اسپری‌ها و مواد ضدعفونی کننده مبتنی بر نانو ذرّات 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.

پرسش

۱ دو مورد از فناوری‌های نوین که امروزه در دنیای علم بسیار مورد توجّه هستند، نام ببرید.
۲ فناوری نانو را تعریف کنید.
۳ اهمیّت فناوری نانو در چیست؟
۴ نانو ذرّه چیست؟ مثال بزنید.
۵ ساختارهای کربنی را که می‌شناسید، نام ببرید.
۶ ویژگی اصلی نانو ذرّات چیست؟ این ویژگی چه تأثیر منحصر به فردی در خواص نانو ذرّات 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 صنایعی 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.

۴ـ۵ـ فناوری زیستی

واژهٔ «بیوتکنولوژی[1]» 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 تعریف‌ها می‌توان به دو تعریف زیر که توسط مراجع و سازمان‌های بین المللی ارائه شده است اشاره کرد.
بیوتکنولوژی یعنی «استفاده از موجودات زنده برای ساخت فراورده‌های تجاری».
بیوتکنولوژی یعنی «کاربرد زیست‌شناسی، بیوشیمی، میکروب‌شناسی و مهندس 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، به‌طوری‌که می‌توان آن را به تنهٔ درختی شبیه کرد که ریشه‌های آن علوم مختلفی چون میکروب شناسی، 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 *ریزاندامکان* 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 حوزهٔ مشترکی از رشته‌های بیوشیمی، ژنتیک، سلولی‌مولکولی، میکروبیولوژی، داروسازی و کامپیوتر را دربرمی‌گیرد.

۱ـ Biotechnology

شکل (۱۰ـ۵) درخت بیوتکنولوژی

تاریخچه

بیوتکنولوژی قدمتی همپای بشر دارد. انسان از هزاران سال پیش تاکنون، بدون اینکه خود متوجّه باشد از فرایندهای بیوتکنولوژی بهره برده است. تهیّهٔ ماست، پنیر و خمیر نان نمونه‌هایی از آن است. سپس با استفاده از روش‌های تخمیر و کشت *ریزاندامکان* و تولید آنتی‌بیوتیک‌ها پیشرفت کرد و امروزه بیوتکنولوژیست‌ها با انتقال ژن‌هایی از یک *ریزاندامک* به *ریزاندامک* دیگر و ایجاد صفات جدید و مطلوب درآن 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.

بیشتربدانید

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

الف) دورهٔ قبل از پاستور: این دوره سال‌های قبل از ۱۸۶۵ میلادی را دربرمی‌گیرد. در این دوره انسان بدون اینکه از نقش *ریزاندامکان* 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) دورهٔ پاستور (۱۹۴۰ـ۱۸۶۵): هر چند قبل از سال ۱۸۶۵ به وجود *ریزاندامکان* 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 *ریزاندامکان* در فرایندهای تخمیری به اثبات رسید و از آن پس انسان با آگاهی یافتن از نقش *ریزاندامکان* و همچنین آگاهی از توانایی آنها، به استفادهٔ آگاهانه از این عوامل همّت گماشت. از فرایندهای تخمیری این دوره می‌توان به فرایند تولید گلیسرول در آلمان و تولید استون و بوتانول در انگلستان در خلال جنگ جهانی اوّل و نیز تولید میکروبی سیتریک اسید پس از جنگ جهانی اوّل اشاره کرد.

پ) دورهٔ آنتی‌بیوتیک‌ها (۱۹۶۴ـ۱۹۴۰): آنتی‌بیوتیک‌ها موادی ضدمیکروبی هستند که منشأ بیولوژیکی دارند. پنی‌سیلین که توسط کپک پنی‌سیلیوم تولید می‌شود اوّلین آنتی‌بیوتیکی است که خاصیت ضدمیکروبی آن توسط الکساندر فلمینگ[۱] شناخته شد. در خلال جنگ جهانی دوّم به دلیل نیاز شدید به تولید پنی‌سیلین تحقیقات گسترده‌ای برای تولید انبوه آن صورت گرفت و در نهایت منجر به توسعهٔ بیوراکتورهای مخزنی همزن‌دار[۲] و کشت در شرایط سترون[۳] (استریل) شد.

از خصوصیات مهمّ دورهٔ آنتی بیوتیک‌ها استفاده از علوم مهندسی در طراحی و ساخت مخازن کشت میکروبی (بیوراکتورها)، توسعهٔ تخمیرهای سترون و افزایش مقیاس تولید می‌باشد. از موفقیّت‌های دیگر این دوره می‌توان به توسعه و گسترش کشت سلول‌های حیوانی و گیاهی و تولید واکسن‌ها اشاره کرد که‌این امر به دنبال توسعهٔ تکنیک‌های کشت سترون امکان‌پذیر شد.

ت) دورهٔ تولید پروتئین تک‌یاخته‌ای (۱۹۷۵ـ۱۹۶۴): در اواخر دههٔ ۱۹۶۰، به واسطهٔ چشم‌انداز استفاده از تودهٔ سلولی[۴] *ریزاندامکان* به‌عنوان منبع پروتئینی که در اصطلاح پروتئین تک‌یاخته[۵] نامیده می‌شود، هیجان و تحرّک قابل‌توجّهی 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 دورهٔ قبل آغاز شده بود با توسعهٔ انواع بیوراکتورها به اوج خودرسید.

ث) دورهٔ بیوتکنولوژی مولکولی[۶] 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 محصولاتی است که *ریزاندامکان* به‌طور طبیعی قادر به تولید آنها نیستند. از آن جمله می‌توان به تولید هورمون‌ها و پروتئین‌های انسانی توسط باکتری‌ها و مخمرها اشاره کرد.

۱ـ Alexandre Fleming

۲ـ Stired Tank Bioreactor

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

۴ـ Bio Mass

۵ـ Single Cell Protein (SCP)

۶ـ 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 *ریزاندامکان*، سلول‌های جانوری و گیاهی و اجزای سلولی است. در این قسمت هرکدام از این عوامل به‌طور خیلی مختصر شرح داده می‌شود.

ریزاندامکان: *ریزاندامکان*، موجودات بسیار ریز و زنده‌ای هستند که با چشم غیرمسلّح دیده نمی‌شوند. از این‌رو وجود آنها تا قبل از اختراع میکروسکوپ برای انسان معلوم نبود. انواع *ریزاندامکان* عبارت‌اند از ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و تک‌یاختگان. برخلاف تصور عمومی که *ریزاندامکان* 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 کرهٔ زمین ضروری و مفیدند و در فرایندهای حیاتی نقش اساسی ایفا می‌کنند؛ به‌طوری‌که بدون وجود آنها حیات بر روی کرهٔ زمین میسّر 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 زندهٔ 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 *ریزاندامکان* 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 *ریزاندامکان* هستند که با استفاده از انرژی نورانی خورشید و CO_2 و سایر مواد معدنی، مواد مصرفی خود را می‌سازند.

تک‌یاختگان[1]

ریزاندامکان تک‌سلولی و متحرکی هستند که اغلب در محیط‌های آبی یافت می‌شوند.

همهٔ انواع *ریزاندامکان* دارای کاربردهایی در زیست‌فناوری هستند، با این حال کاربرد باکتری‌ها و قارچ‌ها در صنایع تخمیری بیشتر از دو گروه دیگر است. *ریزاندامکان* 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 *ریزاندامکان* از پروتئین تشکیل شده است، لذا با توجه به کمبود منابع غذایی می‌توانند به‌عنوان یک منبع غذایی بالقوّه مورد توجه قرار گیرند. همچنین در طی فرایند رشد هوازی، *ریزاندامکان* 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 دستهٔ مواد اولیهٔ تجدیدناپذیرند، درحالی‌که *ریزاندامکان* از منابع تجدیدپذیر از قبیل ضایعات کشاورزی به‌عنوان مادهٔ 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 محیط‌زیست مناسب‌تر از سایر روش‌ها هستند و اثرات نامطلوب کمتری در محیط‌زیست ایجاد می‌کنند.

۱ـ Protozoa

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 *ریزاندامکان* 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 واکسن‌های 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 واکسن‌ها، 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 استفادهٔ وسیعی دارند. آنزیم‌ها، درواقع، مولکول‌های بزرگ پروتئینی‌اند که وظیفهٔ 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 مادهٔ اولیهٔ خاص امکان‌پذیر می‌کنند. درحالی‌که کاتالیزگرهای شیمیایی انجام طیفی از واکنش‌ها را میسر می‌سازند. خصوصیت قابل‌توجه 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[1] با هزاران واکنش

یک میکروب ساده، مانند باکتری اشرشیاکلی[2]، با استفاده از مواد اولیهٔ بسیار ساده‌ای از قبیل یک قند ساده (مانند گلوکز)، یک منبع نیتروژن (آمونیوم) 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.

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

۲ـ Escherichia Coli

انواع فراورده‌های تخمیری

محصولات تخمیری دارای تنوع گسترده‌ای هستند و آنها را می‌توان به چهار گروه اصلی زیر تقسیم کرد:

الف) تودهٔ سلولی کامل[1]: در برخی موارد، سلول‌های میکروبی خود به‌عنوان فراوردهٔ نهایی یک فرایند تخمیری محسوب می‌شوند. تودهٔ سلولی *ریزاندامکان* مختلف دارای کاربردهای متعددی هستند که به برخی از آنها در جدول ۲ـ۵ اشاره شده است.

جدول ۲ـ۵ـ برخی از کاربردهای سلول‌های کامل میکروبی

ارگانیسم	کاربرد
باسیلوس تورینجسیس[2] و میکروب‌های مربوط به آن	حشره‌کش میکروبی
گونه‌های لاکتوباسیلوس[3] و استرپتوکوکوس[4]	مایهٔ میکروبی برای تولید محصولات لبنی
ساکارومیسس سرویزیه[5]	خمیر مایه در نانوایی‌ها
گونه‌های ریزوبیوم[6]	آغشته‌سازی بذر حبوبات برای تسهیل تثبیت نیتروژن
ارگانیسم‌های مختلف	پروتئین تک‌یاخته‌ای (SCP) برای تغذیهٔ دام و طیور

توجه

نیازی به حفظ کردن اسامی *ریزاندامکان* نیست.

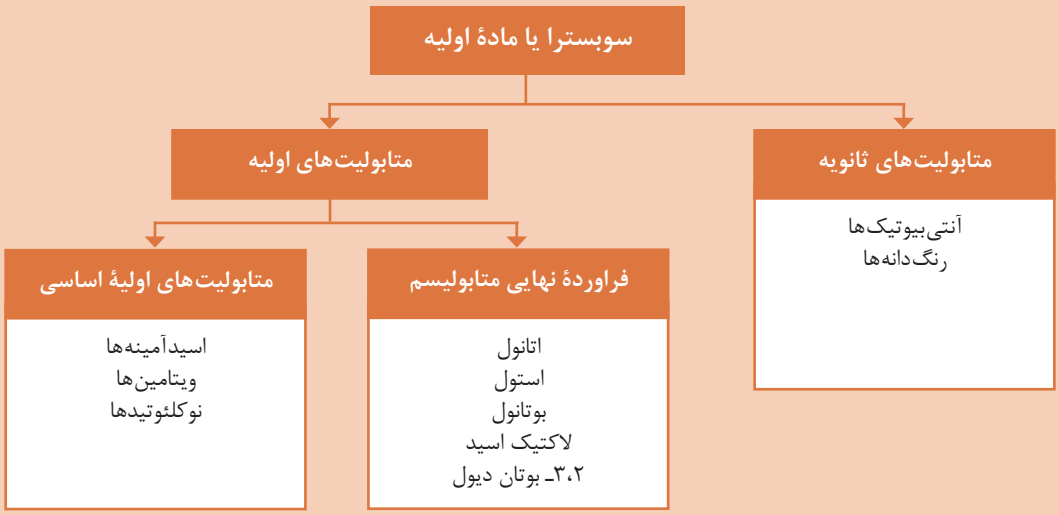
ب) ترکیبات با جرم مولکولی کم: در درون یک سلول هزاران واکنش بیوشیمیایی صورت می‌گیرد و مواد متعددی در این واکنش‌ها تولید و مصرف می‌شوند. به مجموع واکنش‌های درون یک سلول، متابولیسم[7] و به مواد حاصل از این واکنش‌ها متابولیت[8] گفته می‌شود.

پ) ترکیبات با جرم مولکولی زیاد: *ریزاندامکان* برای تولید سه گروه از ترکیبات با جرم مولکولی زیاد (ماکرومولکول‌ها) به‌کار می‌روند. این ترکیبات شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها هستند.

۱ـ Biomass
۲ـ Bacillus Thuringiensis
۳ـ Lactobacillus SP.
۴ـ Streptococcus SP.
۵ـ Saccharomyces Cerevisia
۶ـ Rhizobium SP.

۷ـ کلمه لاتین Metabolism
۸ـ کلمه لاتین Metabolite

بیشتربدانید



گروه‌های مختلف ترکیبات با وزن مولکولی کم

پلی‌ساکاریدها در صنایع مختلفی مانند صنایع غذایی، تولید مواد بهداشتی ـ آرایشی، تولید پلاستیک‌های قابل تجزیهٔ بیولوژیک[1]، صنایع دارویی و صنعت نفت کاربرد دارند. به برخی از این ترکیبات و کاربردشان در جدول ۳ـ۵ اشاره شده است.

جدول ۳ـ۵ـ مصرف تجاری پلی‌ساکاریدهایی که توسط *ریزاندامکان* تعبیه شده‌اند.

پلی‌ساکارید	مصارف
صمغ گزانتان[2]	صنایع غذایی، تولید خمیردندان، افزایش بازیافت نفت
ژلان[3]	جامد کردن فراورده‌های غذایی
امولسان[4]	افزایش بازیافت نفت
دکستران[5]	صنایع دارویی، تولید پلاسمای مصنوعی

متابولیت‌های سلولی به دو دسته متابولیت‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند.
متابولیت‌های اولیه: تولیدشان همراه با رشد سلول صورت می‌گیرد.
متابولیت ثانویه: تولید آن در پایان مرحله رشد میکروارگانیسم صورت می‌گیرد.

۱ـ Biodegradable
۲ـ Xanthan gum
۳ـ Gellan
۴ـ Emulsan
۵ـ Dextran

برخی از لیپیدهایی که توسط *ریزاندامکان* تهیه می‌شوند (مانند پلی ۳ـ هیدروکسی توبیرات) و سایر مواد مشابه در تولید ظروف یک‌بار مصرف کاربرد دارد. این ظروف قابل تجزیهٔ بیولوژیکی هستند و انتظار می‌رود که در آینده جانشین مناسبی برای ظروف پلاستیکی که یکی از آلاینده‌های مهم محیط‌زیست هستند باشند. پروتئین‌های حاصل از *ریزاندامکان* اغلب نقش آنزیمی دارند.
برخی از آنزیم‌ها به‌صورت انبوه تولید می‌شوند و دارای کاربردهای مختلفی هستند (جدول ۴ـ۵) و بعضی دیگر در مقادیر اندک تولید شده و کاربردهای تشخیصی و دارویی دارند.

جدول ۴ـ۵ـ برخی از آنزیم‌های مهم صنعتی و کاربرد آنها

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

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 نوترکیب[1] می‌گویند.

ت) ترکیبات حاصل از تغییر و تبدیل زیست‌فناوری[2] (بیولوژیکی): تغییر و تبدیل‌های بیولوژیکی فرایندهایی هستند که در آنها، یک میکروب ماده‌ای را به مادهٔ دیگری، که از نظر ساختاری نزدیک به مادهٔ 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 نمونهٔ 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.

۱ـ Recombinant Proteins
۲ـ 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 به‌دست آوردن تودهٔ سلولی و یا تولید فراوردهٔ مطلوب است. برای رسیدن به این هدف فعالیت‌های لازم را به سه بخش می‌توان تقسیم کرد.

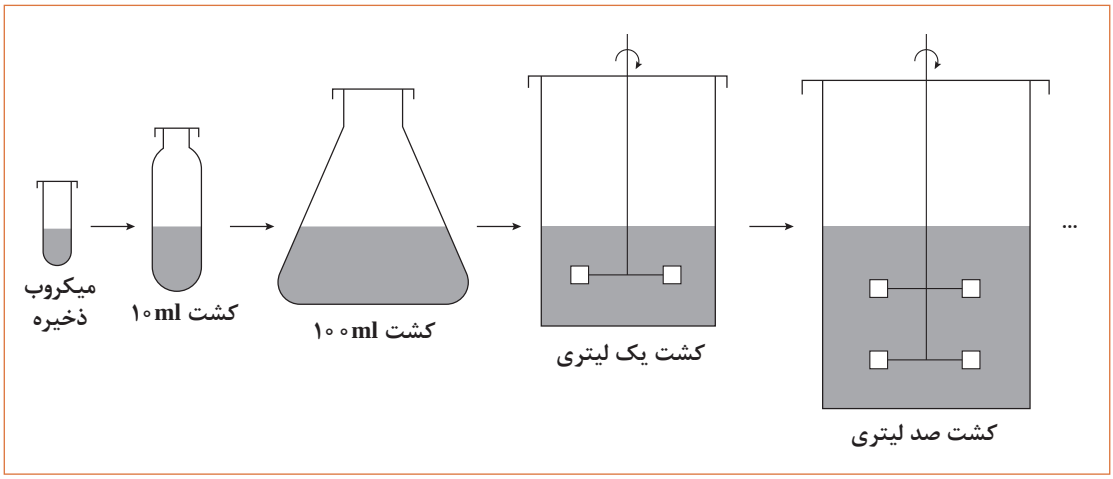
فرایندهای بالادستی[1]: اولین و مهم‌ترین فعالیت این بخش **انتخاب ریزاندامک مناسب** و اصلاح آن تا رسیدن به توان تولید یا تبدیل مطلوب است. به این‌گونه *ریزاندامکان*، *ریزاندامکان* صنعتی می‌گویند. برای مثال میزان تولید پنی‌سیلین توسط قارچ طبیعی حدود ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر است درحالی که میزان پنی‌سیلین تولید قارچ صنعتی بیش از ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. چنان‌که خواندید برای به‌دست 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، به‌طوری 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 به‌صرفه باشد.

فعالیت بعدی **سترون‌سازی**[2] **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[3] یا فرمنتور[4] و کلیهٔ تجهیزات که به نوعی با سیستم تخمیری در ارتباط‌اند از یک‌سو، 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 سمّی در آن می‌شود. از این‌رو در سترون‌سازی محیط‌کشت 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 مرحلهٔ فرایندهای بالادستی انجام می‌شود **تهیهٔ مقدار کافی بذر**[5] **یا مایهٔ تلقیح**[6] است. بذر یا مایهٔ تلقیح فرم زنده و مناسبی از ریزاندامک (سلول‌های رویشی یا اسپوری) است که برای شروع عملیات تخمیر به بیوراکتور اصلی اضافه می‌شود. معمولاً حجم مایهٔ تلقیح بین ۳ تا ۱۰ درصد حجم کل محیط‌کشت است. بنابراین در عملیّات صنعتی به تعدادی بیوراکتور یا فرمنتورهای کوچک‌تر نیاز است تا با انتقال متوالی مایهٔ تلقیح، حجم آن را به حد مطلوب برسانیم. به این عمل توسعهٔ تلقیح گفته می‌شود.

۱ـ Up Stream Processing
۲ـ Sterilization
۳ـ Bioreactor
۴ـ Fermentor
۵ـ Seed
۶ـ Inoculum



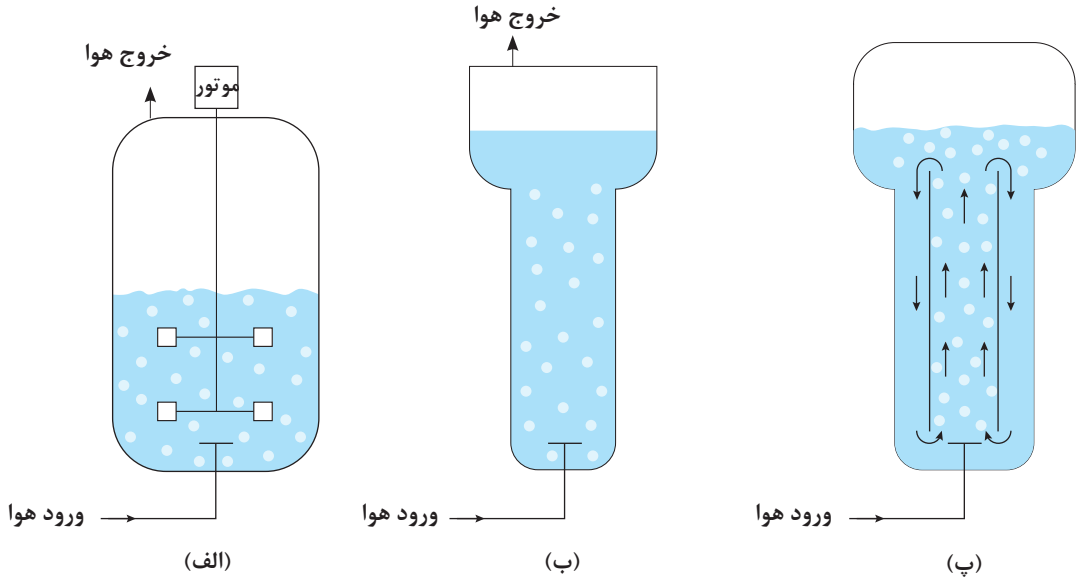
شکل ۱۱ـ۵ـ مراحل توسعهٔ تلقیح برای تهیهٔ حجم مناسبی مایهٔ تلقیح

فرایند تخمیر[1]: فرایند تخمیر با افزودن حجم مناسبی از مایهٔ 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. *ریزاندامکان* 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 به‌صورت محلول درآید تا بتواند مورد استفادهٔ *ریزاندامک* 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 اندازهٔ 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 به‌جای عبور از یک مسیر مستقیم، مسیری پرپیچ و خم را طی خواهند کرد. دوم آن‌که هم‌زدن باعث تسهیل انتقال اکسیژن محلول از مایع به سطوح سلول‌ها می‌شود و سوم آن‌که 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 به‌صورت سترون فراهم می‌سازد و ثانیاً امکان کنترل عوامل مؤثر بر رشد *ریزاندامکان* را فراهم می‌کند. انواع مهم بیوراکتورهای مورداستفاده در صنایع تخمیری که از محیط کشت مایع استفاده می‌کنند شامل بیوراکتورهای مخزنی همزن‌دار[2]، بیوراکتورهای ستونی حباب‌دار[3] و بیوراکتورهای هواگرد[4] می‌باشند (شکل ۱۲ـ۵).

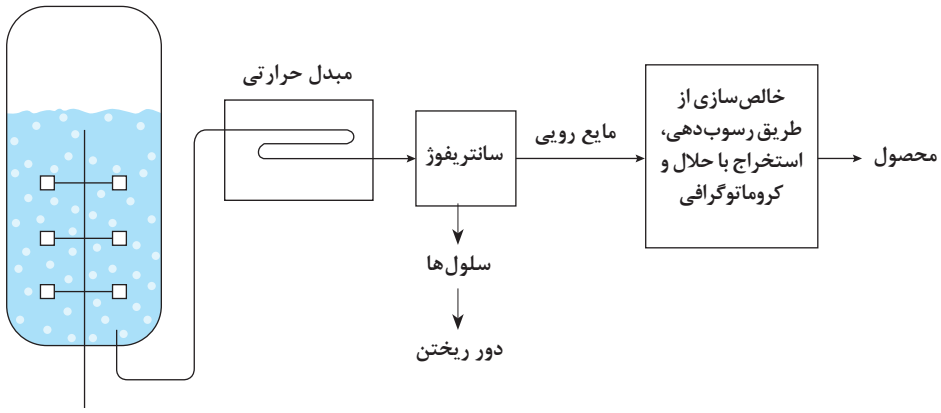
۱ـ Fermentation Processing
۲ـ Stirred Tank Bioreactors
۳ـ Bubble Column Bioreactors
۴ـ Airlift Bioreactors



شکل ۱۲ـ۵ـ شکل ساده‌ای از انواع بیوراکتورها. الف) بیوراکتور مخزنی همزن‌دار ب) بیوراکتور ستونی حباب‌دار پ) بیوراکتور هواگرد

فرایندهای پایین‌دستی[1]: پس از عملیّات تخمیر، اقدام بعدی جداسازی و بازیافت محصول موردنظر است. این مرحله شامل جداسازی سلول‌ها از محیط کشت و خالص‌سازی متابولیت موردنظر با شکستن سلول (در مورد متابولیت‌های درون‌سلولی[2]) و یا بدون آن (در مورد متابولیت‌های خارج‌سلولی[3]) می‌باشد.

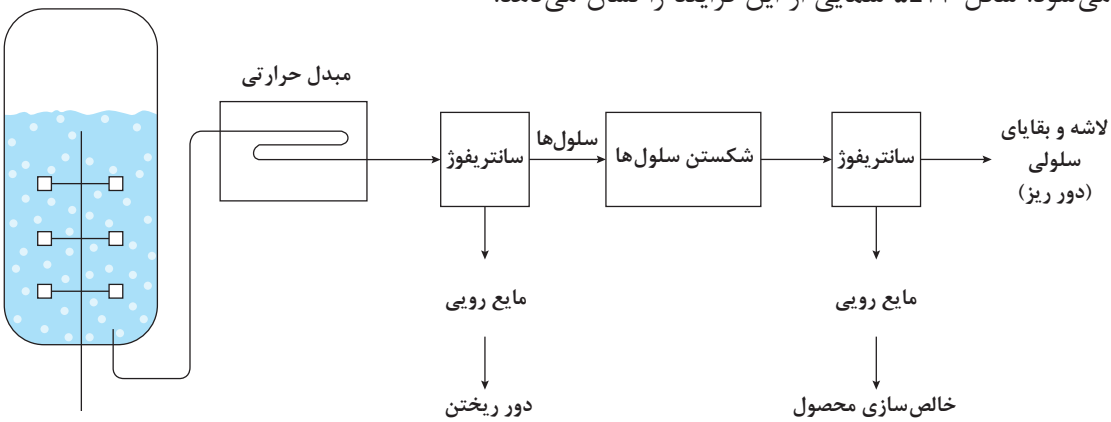
برخی از سلول‌های میکروبی، پس از توقف هوادهی و هم‌زدن، به سرعت ته‌نشین می‌شوند. این عمل را می‌توان با افزودن مواد منعقدکننده تسریع کرد. چنانچه ته‌نشین کردن سلول‌ها، با این روش امکان‌پذیر نباشد، برای جدا کردن آنها از سانتریفوژ یا فیلتر کردن استفاده می‌شود. مایع صاف شدهٔ حاصل از تخمیر حاوی متابولیت‌های میکروبی و آنزیم‌های خارج‌سلولی 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 ۱۳ـ۵).



شکل ۱۳ـ۵ـ طرح ساده‌ای از فعالیت‌هایی که پس از فرایند تخمیر برای جداسازی آنزیم‌های برون سلولی انجام می‌شود.

۱ـ Downstream Processing
۲ـ Intracellular
۳ـ Extracellular

اگر فرآوردهٔ موردنظر درون سلولی باشد، برای آزاد کردن آن، شکستن سلول‌ها ضروری است. در آزمایشگاه از روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی می‌توان برای این‌کار استفاده کرد ولی اکثر این روش‌ها در مقیاس بزرگ و صنعتی قابل استفاده نیست. همگن‌سازی با فشار بالا[1] و آسیاب‌های ساچمه‌ای با سرعت زیاد[2] 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، درنتیجه 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 برون‌سلولی خالص‌سازی می‌شود. فعالیت‌های پس از خالص‌سازی محصول، شامل تبدیل محصول به فرم مطلوب، بسته‌بندی آن، انبارداری و بازاریابی و فروش است که به مجموعهٔ این عملیات و همچنین تصفیهٔ پساب‌های حاصل مجموعاً فرایندهای پایین‌دستی گفته می‌شود. شکل ۱۴ـ۵ شمایی از این فرایند را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴ـ۵ـ طرح ساده‌ای از فعالیت‌هایی که پس از فرایند تخمیر برای جداسازی آنزیم‌های درون سلولی انجام می‌شود.

زیست فناوری برای توسعهٔ پایدار

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

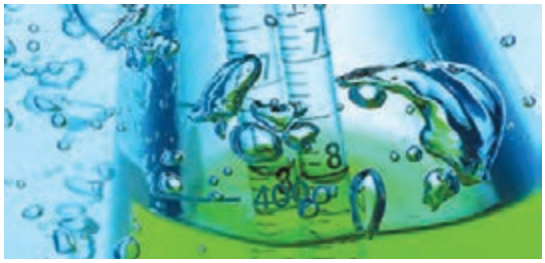
- تولید فراورده‌های غذایی
- تولید آنزیم‌های گوناگون با کاربرد در صنایع غذایی و دارویی
- تولید انرژی
- تولید فراورده‌های ویژهٔ دارویی (آنتی‌بیوتیک‌ها و پروتئین‌ها) که از طرق عادی امکان تولید آنها میسر نیست.
- تصفیهٔ بیولوژیکی آب‌های آلوده و پساب‌ها

۱ـ High - Pressure Homogenization
۲ـ High Speed beed mills

پرسش

۱ مفهوم واژهٔ بیوتکنولوژی چیست؟
۲ دلایل استفاده از *ریزاندامکان* در صنایع تخمیری چیست؟
۳ کدام گروه از *ریزاندامکان* 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 درون‌سلولی و برون‌سلولی در مرحلهٔ خالص‌سازی چیست؟
۱۱ دو مورد از روش‌های بازیافت محصول را نام ببرید.

۵ـ۵ـ 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 چه‌اندازه‌ای 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. امّا 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 شیوهٔ 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 سه‌گانهٔ «محیط زیست پایدار ـ اقتصاد پایدار ـ و جامعه پایدار» است.

استفاده از شیمی سبز به‌طور 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 کرهٔ 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 زیست محیطی کمک کنند. شیمی سبز از دوازده اصل تشکیل می‌شود که هشت اصل آن عبارت است از:

اصل اول ــ 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 ــ کارایی بهینهٔ اتم‌ها: روش‌های سنتزی باید طوری طراحی شوند که حداکثر تعداد اتم‌های واکنش‌دهنده در یک واکنش مورد مصرف قرار گیرند.

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

اصل چهارم ــ تولید فراورده‌های شیمیایی غیرسمّی: محصولات شیمیایی باید در صورت امکان کمترین اثرات سمی را به همراه داشته باشند.

اصل پنجم ــ استفاده از حلّال‌ها و مواد کمکی با سمیت کمتر: باید در فرایندهای جانبی مربوط به یک واکنش شیمیایی صنعتی مانند انحلال و استخراج تا حدّ ممکن از مواد غیرسمّی استفاده شود.

اصل ششم ــکارایی بیشتر انرژی: ملاحظات مربوط به انرژی باید برای کلیهٔ بخش‌های یک فرایند مورد توجّه قرار گیرد تا آن فرایند با صرف حداقل میزان انرژی و ایجاد کمترین اثرات منفی زیست محیطی 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 ــ کاتالیز واکنش‌ها: کاتالیزگرها به دلیل نقشی که در سرعت بخشیدن به واکنش‌ها دارند مورد استفادهٔ فراوان هستند. همچنین در بسیاری از موارد، افزایش گزینش‌پذیری واکنش‌ها سبب کاهش تشکیل محصولات جانبی و افزایش درجهٔ خلوص محصول می‌شود.

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

پرسش

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

۲ برخی از کاربردهای شیمی سبز را نام ببرید؟

تحقیق کنید

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

جدول ارزشیابی پودمان فناوری‌ها و نوآوری‌ها

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۵: فناوری‌ها و نوآوری‌ها	۱ـ بررسی فناوری نانو ۲ـ فناوری زیستی ۳ـ بررسی شیمی سبز	بررسی ویژگی نانو ذرات و ساختار آن ـ دسته‌بندی کاربردهای نانو ـ بررسی فناوری زیستی ـ بررسی شیمی سبز و اصول شیمی سبز	بالاتر از حد انتظار	بررسی ویژگی و ساختار و کاربرد نانو در اتم فناوری‌زیستی، بیان ۱۲ اصل شیمی سبز	۳
			در حد انتظار	بررسی ویژگی و ساختار و کاربرد نانو در اتم، بررسی فناوری‌زیستی بیان ۸ اصل شیمی سبز	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	بررسی ویژگی نانو در اتم ـ بررسی ناقص فناوری‌زیستی	۱
	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، پارسافر غلام‌عباس، سعیدی محمدرضا، مرکز نشر نوپردازان، ۱۳۹۳.

۳ پارسافر غلام‌عباس، شفیعی 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، مرکزنشر 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 یاوری عیسی، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.