



انداخت. با شکستن این سدّ ذهنی اشتباه‌آمیز، دانشمندان با تلاش و پی‌گیری و در چارچوب اصول و نظریات معمول شیمی، به دنبال ساختن انواع موادّ آلی شتافتند و زمینه را برای آشنایی نظری و تاحدودی عملی با میلیون‌ها مادهّ آلی جدید، که حتی بسیاری از آن‌ها در سلول زنده یافت نمی‌شود<sup>۱</sup>، فراهم آوردند و بدین‌سان دانش شیمی آلی رشد و گسترش یافت و بر اصول و روش‌های علمی استوار گردید. این اصول و روش‌ها بیشتر مبتنی بر شناخت ساختار مولکول‌های موادّ آلی و کیفیت واکنش میان آن‌ها متمرکز شد. بنابراین، شما نیز که در آموخته‌های قبلی خودتان با مفاهیم اولیه شیمی عمومی، مانند ساختار الکترونی اتم، پیوند، رابطه‌ی انرژی با ماده، سرعت واکنش و تعادل‌های شیمیایی آشنا شده‌اید، هم‌اکنون می‌توانید به آموختن اصول اولیه این علم بپردازید.

## ۲-۱- نگاهی امروزی به شیمی آلی

شیمی آلی، شیمی ترکیب‌های کربن است. اتم کربن، در میان یک‌صد و اندی عنصر جدول تناوبی ویژگی‌های بی‌نظیری از نظر گوناگونی و پیچیدگی ترکیب‌های خود دارد. توانایی کربن در تشکیل پیوندهای ساده  $\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}\text{—}$ ، پیوندهای دوگانه  $\text{C}=\text{C}$  و پیوندهای سه‌گانه  $\text{—}\text{C}\equiv\text{C}\text{—}$ ، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ترکیب‌های کربن است که به پیدایش میلیون‌ها مادهّ آلی می‌انجامد. با گسترش دانش شیمی آلی، دانشمندانی که علاقه‌مند به مطالعه‌ی قلمروهای پیچیده‌تر شیمی حیات و شگفتی‌های عالم خلقت بودند، به ایجاد قلمرو خاصی از شیمی آلی به نام بیوشیمی (زیست شیمی) را پرداختند. آنان نیز ساختار مولکول‌ها و واکنش‌های بسیار پیچیده و اعجاب‌برانگیز انجام یافته در سلول‌های موجود زنده را مورد توجه قرار دادند و از دانش شیمی عمومی، در مطالعه‌ی بیوشیمی استفاده کردند. ساختار پیچیده‌ی موادّ مهمی هم‌چون پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و غیره را مورد مطالعه قرار دادند و همواره در تلاش بوده و هستند که به راز برخی واکنش‌های بسیار پیچیده‌ی بدن انسان و سایر موجودات زنده بی‌بهرند. بی‌بردن به این گونه رازها، خود انگیزه و وسیله‌ای برای گسترش دانش‌های دیگر هم‌چون فیزیولوژی، بهداشت، داروسازی و تکنولوژی‌های مربوط به آن‌هاست.

## ۳-۱- اهمیت شیمی آلی و فرآورده‌های صنایع شیمی آلی

شیمی آلی برای همه‌ی قلمروهای زندگی ما اهمیت حیاتی دارد. تقریباً ۹۵٪ انرژی مورد استفاده ما از سوختن ترکیب‌های کربن به دست می‌آید. لباس‌هایی که می‌پوشیم، چه آن‌هایی که از الیاف طبیعی هم‌چون پنبه، پشم و ابریشم بافته شده‌اند، و چه آن‌هایی که به شیوه‌ی مصنوعی (سنتز<sup>۲</sup>) از الیاف روئیایی ترکیب‌های نفتی و غیره به دست بشر ساخته می‌شوند، همگی منشأ آلی دارند. انواع موادّ غذایی و دارویی شگفت‌آوری که مصرف می‌کنیم، رنگ‌ها، پاک‌کننده‌ها و بسیاری موادّ بهداشتی معجزه‌گر، اسباب‌بازی‌ها و ظروف آشپزخانه پلاستیکی، نوشابه‌ها، موادّ دفع آفات، همه و همه از موادّ آلی ساخته می‌شوند. تقریباً همه‌ی فعالیت‌های حیاتی در زندگی انسان و سایر مخلوقات، بر واکنش‌های ترکیب‌های آلی استوار است. هرگاه از این ترکیب‌ها و واکنش‌های آن‌ها برخوردار نبودیم، کره‌ی زمین نیز هم‌چون کره ماه، سرزمینی فاقد حیات بود.

۱- تقریباً می‌توان گفت که همه موادّ آلی امروزی، یا از موجودات زنده فعلی و یا از بقایای موجودات زنده دوران گذشته‌ی کره زمین به دست می‌آیند. مهم‌ترین منبع مواد و فرآورده‌های آلی ساخته دست بشر از ترکیب‌های نفتی است. نفت و گاز طبیعی در اصل طی میلیون‌ها سال پیش، از موجودات زنده در اعماق زمین به دست آمده است.

۲- سنتز (SYNTHESIS) ترکیب چند عنصر یا چند ترکیب با یکدیگر برای تولید یک ماده است. واژه‌ی سنتز در شیمی آلی از ابتدا برای فرآیند تولید یک ماده از عنصرهای اولیه یا از سایر ترکیب‌هایی که می‌توان آن‌ها را به شیوه‌ی سنتز از عنصرهای اولیه آن‌ها پدید آورد، به کار رفت. هیچ ماده‌ای که محصول یک موجود زنده است، در این راه به کار نمی‌رود.

## ۴-۱- مقایسه‌ی خواصّ عمومی ترکیب‌های آلی و معدنی

مرزبندی دقیق و علمی، میان موادّ آلی و معدنی نه ممکن است و نه سودمند. انجام این کار با این واقعیت تضاد دارد که «تفاوت اساسی میان بسیاری از پیوندهای موادّ آلی و غیرآلی وجود ندارد»<sup>۱</sup>. از سوی دیگر، «اصول حاکم بر واکنش‌های آلی و معدنی، کم و بیش یکی هستند.» با وجود این، انجام این مقایسه میان دو قلمرو از موادّ آلی و یا بهتر بگوییم ترکیب‌های کربن و موادّ معدنی، از این نظر برای ما پسندیده است، که روش‌های نسبتاً ساده‌ای برای طبقه‌بندی و بررسی انبوه موادّ آلی فراهم می‌آورد. نکته مهمی که در این جا متذکر می‌شویم این است که در اغلب مقایسه‌ها، محدودیت‌ها و استثناهایی مشاهده می‌شود که در هر مورد دلیل خاصّ خود را دارد (اصل محدودیت در قلمرو فرضیه‌های علمی). جدول ۱-۱، چنین مقایسه‌ای را ارائه می‌دهد.

جدول ۱-۱- مقایسه‌ی خواصّ عمومی ترکیب‌های آلی و معدنی

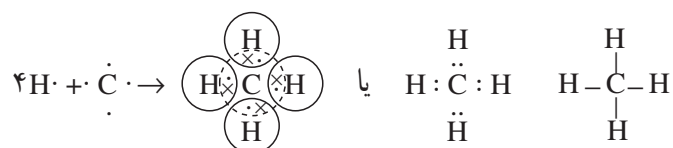
خواصّ عمومی ترکیب‌های آلی	خواصّ عمومی ترکیب‌های معدنی
۱- گوناگونی عنصرها در موادّ آلی محدود است. غیر از عنصر اصلی که کربن است، اغلب شامل عنصرهای H, O, N هستند. گاهی نیز عنصرهای هالوژن، گوگرد و فسفر در آن‌ها وجود دارد.	۱- گوناگونی عنصرها در ترکیب‌های معدنی بسیار زیاد است. در ترکیب‌های دو عنصری، یک فلز یا هیدروژن با یک نافلز ترکیب شده است (مانند NaCl و HCl) و در ترکیب‌های سه عنصری، اغلب اکسیژن نیز همراه با فلز و نافلز است (مانند اسیدها، بازها و نمک‌های سه تایی از قبیل $\text{NaNO}_3$ و $\text{NaOH}$ , $\text{HNO}_3$ )
۲- تعداد ترکیب‌های آلی به چندین میلیون می‌رسد. علت این امر، امکان پیوند یافتن اتم‌های کربن با یکدیگر، هم چنین تشکیل «ایزومرها» است که در مبحث بعدی، تشریح خواهند شد.	۲- تعداد ترکیب‌های معدنی شناخته شده تاکنون در حدود ۲۰۰۰۰۰ است.
۳- ترکیب‌های آلی به صورت مولکول‌هایی وجود دارند که پیوند میان اتم‌های آن‌ها کووالانسی، و نیروهای جاذبه میان این مولکول‌ها از استحکام کمتری برخوردار است. در نتیجه:	۳- اغلب ترکیب‌های معدنی، دارای پیوندهای الکترووالانسی و به اصطلاح یونی هستند. این ساختار یونی سبب می‌شود که:
الف- موادّ آلی نسبت به موادّ معدنی یونی، اغلب زود ذوب هستند.	الف- اغلب آن‌ها جامد و دیرذوب باشند.
ب- بخش اعظم ترکیب‌های آلی در آب حل نمی‌شوند.	ب- اغلب آن‌ها در آب که یک حلال قطبی است، حل شوند.
ج- محلول اغلب آن‌هایی که در آب انحلال پذیر هستند، رسانای خوبی برای جریان برق نیست.	ج- محلول آن‌ها رسانای جریان برق باشند.
۴- در اثر گرما، کم مقاومت و ناپایدارند و تجزیه و سیاه می‌شوند. در آتش می‌سوزند و گاز کربن دی‌اکسید تولید می‌کنند.	۴- معمولاً در اثر گرما پایدارند.
۵- واکنش بین دو ترکیب آلی اغلب بسیار آهسته است، و در بسیاری از موارد به گرما دادن و استفاده از کاتالیزگر نیاز داریم. با تولید انواع کاتالیزگرهای معروف به آنزیم‌ها در سلول‌های زنده، واکنش میان موادّ آلی در بدن موجود زنده نسبتاً سریع انجام می‌گیرد.	۵- سرعت واکنش ترکیب‌های معدنی با یکدیگر نسبتاً زیاد است. مثلاً اگر کمی هیدروکلریک اسید را بر سدیم هیدروکسید، بیفزاییم، ظرف واکنش فوراً گرم می‌شود و چنان‌چه از شناساگر رنگی استفاده شود، تغییر رنگ شناساگر به سرعت انجام می‌گیرد.

۱- همه‌ی پیوندهای شیمیایی میان اتم‌ها، چه در موادّ آلی و چه در مواد معدنی، حاصل نیروهای جاذبه الکتروستاتیک میان اتم‌هاست.

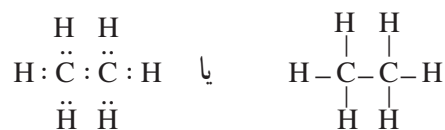
## ۵-۱- دو علت مهم برای فراوانی ترکیب‌های آلی

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 مطالعه‌ی ساختار اتمی کربن که دارای ۴ الکترون ظرفیت است، هم‌چنین کوچک بودن شعاع آن، و داشتن الکترونگاتیوی در حدّ میانه، توجیه کرد. این ویژگی‌ها موجب پیدایش دو خاصیت عمومی زیر است:

**۱-۵-۱- امکان تشکیل پیوندهای محکم کربن-کربن:** هر یک از الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت کربن می‌توانند با عنصرهای دیگری که قادرند از راه به اشتراک گذاشتن الکترون و تشکیل پیوند کووالانسی، لایه الکترونی خود را کامل کنند، به اشتراک درآیند. هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن از جمله عنصرهایی هستند که قادرند در این راه، با کربن ایجاد پیوند کنند. یک اتم کربن می‌تواند به تنهایی حداکثر چهار زوج الکترون در اشتراک داشته باشد. این اتم در ترکیب با ۴ اتم هیدروژن که هر یک از آن‌ها یک الکترون دارد، می‌تواند ساده‌ترین و کوچک‌ترین مولکول آلی را به صورت متان ( $\text{CH}_4$ ) پدید آورد.



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



پدیده‌ی تشکیل پیوند ساده و محکم  $\text{C}-\text{C}$ ، ممکن است ادامه یابد و مولکول‌هایی با زنجیرهای بلند پدید آورد که نمونه آن‌ها را در خانواده‌ی بزرگی از ترکیب‌های آلی به نام آلکان‌ها مطالعه خواهید کرد (آلکان‌ها، بخش اعظم سوخت‌های گازی، مایع و جامد نفتی را تشکیل می‌دهند). در عین حال، دو اتم کربن می‌توانند دو جفت الکترون به اشتراک بگذارند و پیوند کووالانسی دوگانه  $\text{C}=\text{C}$  پدید آورند.



نمونه این پیوندها را در خانواده‌ی دیگری از ترکیب‌های آلی خواهید دید. و بالاخره دو اتم کربن، می‌توانند سه جفت الکترون به اشتراک بگذارند و پیوند کووالانسی  $\text{C}\equiv\text{C}$  پدید آورند.



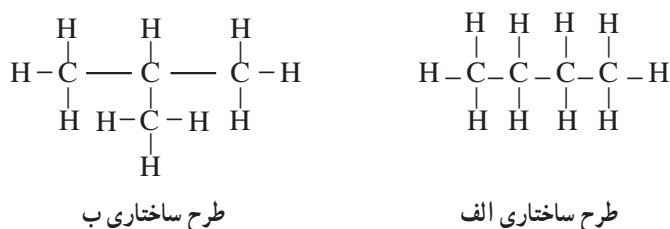
نمونه این گونه پیوندها را نیز در خانواده‌ی دیگری از ترکیب‌های آلی مطالعه خواهید کرد.

**۲-۵-۱- امکان پیدایش ایزومرها:** یک فرمول در شیمی معدنی، معمولاً نشان‌دهنده‌ی یک ماده با ویژگی‌های خاص آن است. مثلاً فرمول  $H_2SO_4$  فقط نماینده‌ی یک ماده به نام سولفوریک اسید است. در صورتی که یک فرمول مولکولی در شیمی آلی، معمولاً نشان‌دهنده‌ی 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 زیر، برخی ویژگی‌های فیزیکی این دو ماده را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- برخی خواص فیزیکی دو ایزومر  $C_4H_{10}$

ماده‌ی شماره‌ی ۲ (فرمول مولکولی $C_4H_{10}$ )	ماده‌ی شماره‌ی ۱ (فرمول مولکولی $C_4H_{10}$ )	
$-159^{\circ}C$	$-128^{\circ}C$	دمای ذوب
$-12^{\circ}C$	$-0/5^{\circ}C$	دمای جوش
$0/557$	$0/599$	چگالی مایع (در $20^{\circ}C$ ) (گرم بر سانتی متر مکعب)
$1320\text{ mL}$	$1813\text{ mL}$	میزان حل شدن در $1000\text{ CC}$ الکل معمولی

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



توجه شود که با کاستن یک اتم کربن از زنجیر بدون شاخه طرح الف، و تشکیل شاخه‌ی جانبی، طرح ب فراهم می‌گردد. تحقیق تجربی، صحت وجود این دو طرح ساختاری را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که طرح ساختاری الف با فرمول ساختاری ماده شماره‌ی ۱ و طرح ساختاری ب با فرمول ساختاری ماده‌ی شماره‌ی ۲-۱ جدول، مطابقت دارد. موادی که دارای فرمول مولکولی یکسان هستند، ولی دارای فرمول‌های ساختاری و خواص متفاوت می‌باشند، ایزومر<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند. بدیهی است که هر زمان به ماده‌ای به فرمول  $C_4H_{10}$  اشاره شود، این سؤال مطرح می‌شود که منظور کدام ایزومر است؟

۱- داده‌های این‌گونه جدول‌ها برای مقایسه و نتیجه‌گیری است، نه برای به‌خاطر سپردن!

۲- ISOMER - ایزومر از دو کلمه‌ی یونانی isos به معنی یکسان، و MEROS به معنی اجزا گرفته شده است.

ایزومری که دارای زنجیر مستقیم است، یا ایزومر شاخه‌دار آن؟ دانشمندان در نامگذاری‌های اولیه‌ی خود، ایزومر  $C_4H_{10}$  را که زنجیر مستقیم دارد، بوتان نرمال، و نوع شاخه‌دار را ایزوبوتان نام نهادند. در آینده خواهیم دید که در مولکول‌های آلی سنگین‌تر، که تعداد اتم‌های کربن بیشتر است، تعداد ایزومرها به شدت افزایش می‌یابد.

## ۶-۱- طبقه‌بندی مواد آلی

از آن‌جا که تعداد ترکیب‌های آلی از چند میلیون تجاوز می‌کند، راه و روش‌هایی برای طبقه‌بندی و آسان کردن مطالعه‌ی آن‌ها ابداع شده است. این ترکیب‌ها در گروه‌ها و خانواده‌هایی قرار می‌گیرند که دارای ساختارهای نسبتاً مشابه و خواص کم و بیش یکسان هستند. برای آشنایی با یک گروه، کافی است که یک یا چند عضو از آن گروه را مورد مطالعه قرار دهیم. پیش از این نیز برای آشنایی با انبوه مواد معدنی و خواص آن‌ها از چنین شیوه‌ای مانند کاربرد اصول طبقه‌بندی عنصرها در جدول تناوبی استفاده کردید. آسان‌ترین شیوه را که ما برای طبقه‌بندی مواد آلی به کار خواهیم برد، تقسیم آن‌ها به دو گروه «هیدروکربن‌ها»<sup>۱</sup> و به عبارتی ترکیب‌های هیدروژن و کربن، و «ترکیب‌های آلی مشتق از هیدروکربن‌ها» است که اغلب شامل اکسیژن، نیتروژن و هالوژن‌ها هستند.

## ۷-۱- طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

همان‌طور که از نام «هیدروکربن‌ها» برمی‌آید، این مواد فقط شامل کربن و هیدروژن هستند. می‌دانیم که طبقه‌بندی اشیا باید بر اساس ملاک‌هایی باشد. ملاک علمی طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها، بر اساس نوع پیوندهای کربن-کربن و شکل ساختاری مولکول‌های آن‌هاست. در عین حال، و در آغاز طبقه‌بندی از یک شیوه‌ی تاریخی در تقسیم‌بندی همه‌ی مواد آلی به دو دسته‌ی بزرگ «هیدروکربن‌های آلیفاتیک»<sup>۱</sup> و «هیدروکربن‌های آروماتیک»<sup>۲</sup> تبعیت می‌کنیم. بنابراین، طبقه‌بندی کلی هیدروکربن‌ها را در این سطح تحصیلی، به صورت ساده زیر ارائه می‌دهیم<sup>۳</sup>:



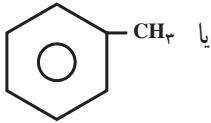
---

۱- HYDROCARBONS

۲- ALIPHATIC HYDROCARBONS

۳- AROMATIC HYDROCARBONS

نمودار شکل ۳-۱- طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

فرمول ساختاری	مثال	نام خانواده
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	اتان	آلکان‌ها
$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} & \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	اتن	آلکن‌ها
$\text{H}-\text{C} \equiv \text{C}-\text{H}$	اتین	الکین‌ها
 یا	سیکلو هگزان	آلیفاتیک‌های حلقوی (سیکلو آلکان‌ها)
$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C}-\text{H} \\   & &   \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C}-\text{H} \\   & &   \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C}-\text{H} \\ & \diagup & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$		
 یا		بنزن
 یا	متیل بنزن	آلکیل بنزن‌ها
$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / & &   \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C} & & \text{C}-\text{H} \\   & &   & &   \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C} & & \text{C}-\text{H} \\   & &   & &   \\ \text{H}-\text{C} & & \text{C} & & \text{C}-\text{H} \\ & \diagup & \diagdown & &   \\ \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \end{array}$		آروماتیک

هیدروکربن‌های آلیفاتیک

هیدروکربن‌ها

هیدروکربن‌های آروماتیک

## پرسش و تمرین



- ۱- یک اختلاف نظر مهم میان دانشمندان فعلی و گذشته را در مورد مفهوم ماده‌ی آلی بیان کنید، و یک مثال بیاورید.
- ۲- چرا تعداد ترکیب‌های آلی به میلیون‌ها می‌رسد، در صورتی که تعداد عنصرهای تشکیل‌دهنده این مواد، بسیار محدود است؟
- ۳- نام سه ماده‌ی آلی مهم موجود در محیط زندگی را که در طبیعت وجود دارند، و سه ماده دیگر را که به‌طور مصنوعی تهیه می‌شوند، نام ببرید.
- ۴- چهار تفاوت مهم میان یک ترکیب معدنی و یک ترکیب آلی را بیان کنید.
- ۵- مثالی بیاورید که طی آن نشان دهید خواص یک ماده‌ی آلی به ساختار مولکولی آن وابسته است.
- ۶- دو هیدروکربن آلیفاتیک و یک هیدروکربن آروماتیک را نام ببرید.