فصل اول

کُلیّات شیمی آلی

هدف‌های رفتاری فصل (۱): دانش‌آموز، پس از آموختن مفاهیم و روش‌های این فصل، باید بتواند :

۱ــ تحوّلات تاریخی منجر شده به پیدایش علم شیمی آلی را به اختصار بیان کند.

۲ــ نقش شیمی آلی را در تأمین برخی نیازهای روزمرّه زندگی، صنعت، کشاورزی و بهداشت مثال بزند.

۳ــ برخی **مراحل** روش علمی را که دانشمندان از ابتدای برخورد با یک مادّه مجهول تا رسیدن به فرمول ساختاری و ارائه طرح تولید آن در کارخانه، طی می‌کنند، بیان کند.

۴ــ با در اختیار داشتن یک مادّه مجهول، راه و روش‌هایی برای تشخیص معدنی یا آلی بودن آن، پیشنهاد کند.

۵ــ فراوانی موادّ آلی را نسبت به موادّ معدنی توجیه کند.

۱ــ۱ــ پیشگفتار

گوناگونی ظاهری موجودات زنده و موادّ روی کره زمین، بسیار چشمگیر است. با یک نگاه ساده چنین به‌نظر می‌رسد که شباهت‌های یک پروانه و یک فیل خیلی ناچیز است، امّا با یک مطالعه‌ی علمی، روشن می‌شود که اصول شیمیایی حاکم بر زندگی یک پروانه و یک فیل حتّی یک درخت و یک انسان کم و بیش مشابه است. شیمی، نوعی توصیف برای جهان موجودات و اشیای قابل مشاهده در قالب اتم‌ها و مولکول‌هاست. از نظر یک شیمی‌دان، گوناگونی شگفت‌انگیز و فراوانی مواد و موجودات، علیرغم اشتراک آن‌ها در عوامل وحدت بخش شیمیایی، نیز خود انگیزه‌ی مهمّی برای کنجکاوی و چراجویی است.

تا ابتدای قرن نوزدهم، قلمرو دانش شیمی به دو بخش **شیمی آلی**[۱]ــ به عنوان شیمی موادّی که از بدن موجودات زنده گرفته می شود ــ و **شیمی معدنی**[۲]ــ به عنوان موادّی که از معادن گرفته می‌شود ــ تقسیم شده بود. از گذشته‌های خیلی دور این پندار حاکم بود که پیدایش موادّ آلی، تنها به کمک نوعی **نیروی حیاتی** امکان‌پذیر است. به همین دلیل، چنین وانمود شد که ماهیّت موادّ آلی کُلاً با موادّ معدنی متفاوت است. وهلر[۳]، دانشمند آلمانی، در سال ۱۸۲۸ برای نخستین بار، در ساختن یک مادّه آلی از یک مادّه معدنی توفیق یافت. او اوره را که در ادرار موجودات زنده وجود دارد، از گرم‌کردن آمونیم سیانات که یک نمک معدنی است، تهیّه کرد.

$$\underset{\text{آمونیم سیانات}}{NH_4OCN} \xrightarrow{\text{گرما}} \underset{\text{اوره}}{NH_2-CO-NH_2}$$

انجام این آزمایش و چند آزمایش مشابه بعدی، در مورد تهیّه موادّ آلی از موادّ معدنی، نظریه‌ی نیروی حیاتی را به‌کلّی از اعتبار

۱ــ شیمی اورگانیک (ORGANIC CHEMISTRY). واژه‌ی ORGAN به معنی اندام موجود زنده است. ORGANISM یعنی موجود زنده.

۲ــ INORGANIC CHEMISTRY شیمی معدنی که معنی تحت‌اللّفظی آن شیمی غیرآلی است.

۳ــ FRIEDRICH WÖHLER (۱۸۰۰ــ۱۸۸۲) استاد دانشگاه گوتینگن آلمان.

انداخت. با شکستن این سدّ ذهنی اشتباه‌آمیز، دانشمندان با تلاش و پی‌گیری و در چارچوب اصول و نظریّات معمول شیمی، به دنبال ساختن انواع موادّ آلی شتافتند و زمینه را برای آشنایی نظری و تاحدودی عملی با میلیون‌ها مادّه آلی جدید، که حتّی بسیاری از آن‌ها در سلّول زنده یافت نمی‌شود[1]، 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 کیفیّت واکنش میان آن‌ها متمرکز شد. بنابراین، شما نیز که در آموخته‌های قبلی خودتان با مفاهیم اوّلیه شیمی عمومی، مانند ساختار الکترونی اتم، پیوند، رابطه‌ی انرژی با مادّه، سرعت واکنش و تعادل‌های شیمیایی آشنا شده‌اید، هم‌اکنون می‌توانید به آموختن اصول اوّلیه این علم بپردازید.

۲ــ۱ــ 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 $-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$ ، پیوندهای دوگانه $\diagdown C=C \diagup$ و پیوندهای سه‌گانه $-C\equiv C-$ ، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ترکیب‌های کربن است که به پیدایش میلیون‌ها مادّه آلی می‌انجامد. با گسترش دانش شیمی آلی، دانشمندانی که علاقه‌مند به مطالعه‌ی قلمروهای پیچیده‌تر شیمی حیات و شگفتی‌های عالم خلقت بودند، به ایجاد قلمرو خاصّی 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 توجّه 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 پی‌ببرند. پی‌بردن به این گونه رازها، خود انگیزه و وسیله‌ای برای گسترش دانش‌های دیگر هم‌چون فیزیولوژی، بهداشت، داروسازی و تکنولوژی‌های مربوط به آن‌هاست.

۳ــ۱ــ اهمیّت شیمی آلی و فرآورده‌های صنایع شیمی آلی

شیمی آلی برای همه‌ی قلمروهای زندگی ما اهمیّت 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[2]) از الیاف رؤیایی 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 مواد بهداشتی معجزه گر، اسباب‌بازی‌ها و ظروف آشپزخانه پلاستیکی، نوشابه‌ها، موادّ دفع آفات، همه و همه از موادّ آلی ساخته می‌شوند.

تقریباً همه‌ی فعّالیت‌های 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.

۱ــ تقریباً می‌توان گفت که همه موادّ آلی امروزی، یا از موجودات زنده فعلی و یا از بقایای موجودات زنده دوران گذشته‌ی کره زمین به‌دست 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 به‌دست آمده است.

۲ــ 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 مادّه از عنصرهای اوّلیه یا از سایر ترکیب‌هایی که می‌توان آن‌ها را به شیوه‌ی سنتز از عنصرهای اوّلیه آن‌ها پدید آورد، به‌کار رفت. هیچ مادّه‌ای که محصول یک موجود زنده است، در این راه به‌کار نمی‌رود.

۴ــ۱ــ 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 واقعیّت تضاد دارد که «تفاوت اساسی میان بسیاری از پیوندهای موادّ آلی و غیرآلی وجود ندارد[۱]». 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 این‌جا متذکّر 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 ۱ــ۱، چنین مقایسه‌ای را ارائه می‌دهد.

جدول ۱ــ۱ــ مقایسه‌ی خواصّ عمومی ترکیب‌های آلی و معدنی

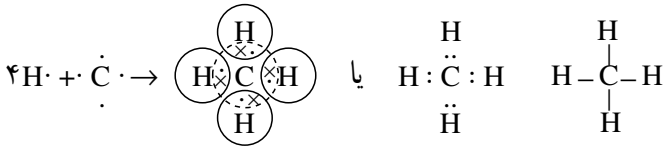
خواصّ عمومی ترکیب‌های معدنی	خواصّ عمومی ترکیب‌های آلی
۱ــ گوناگونی عنصرها در ترکیب‌های معدنی بسیار زیاد است. در ترکیب‌های دو عنصری، یک فلز یا هیدروژن با یک نافلز ترکیب شده است (مانند NaCl و HCl) و در ترکیب‌های سه عنصری، اغلب اکسیژن نیز همراه با فلز و نافلز است (مانند اسیدها، بازها و نمک‌های سه تایی از قبیل HNO_3 ، NaOH و $NaNO_3$)	۱ــ 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.
۲ــ تعداد ترکیب‌های معدنی شناخته شده تاکنون در حدود ۲۰۰۰۰۰ است.	۲ــ تعداد ترکیب‌های آلی به چندین میلیون می‌رسد. علّت این امر، امکان پیوند یافتن اتم‌های کربن با یکدیگر، هم‌چنین تشکیل «ایزومرها» است که در مبحث بعدی، تشریح خواهند شد.
۳ــ اغلب ترکیب‌های معدنی، دارای پیوندهای الکتروالانسی و به اصطلاح یونی هستند. این ساختار یونی سبب می‌شود که : الف‌ــ اغلب آن‌ها جامد و دیرذوب باشند. ب‌ــ اغلب آن‌ها در آب که یک حلال قطبی است، حل شوند. ج‌ــ محلول آن‌ها رسانای جریان برق باشد.	۳ــ ترکیب‌های آلی به صورت مولکول‌هایی وجود دارند که پیوند میان اتم‌های آن‌ها کووالانسی، و نیروهای جاذبه میان این مولکول‌ها از استحکام کمتری برخوردار است. درنتیجه : الف‌ــ موادّ آلی نسبت به موادّ معدنی یونی، اغلب زود ذوب هستند. ب‌ــ بخش اعظم ترکیب‌های آلی در آب حل نمی‌شوند. ج ــ محلول اغلب آن‌هایی که در آب انحلال‌پذیر هستند، رسانای خوبی برای جریان برق نیست.
۴ــ معمولاً در اثر گرما پایدارند.	۴ــ در اثر گرما، کم مقاومت و ناپایدارند و تجزیه و سیاه می‌شوند. در آتش می‌سوزند و گاز کربن‌دی‌اکسید تولید می‌کنند.
۵ــ 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 به‌سرعت انجام می‌گیرد.	۵ــ 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 سلّول‌های زنده، واکنش میان موادّ آلی در بدن موجود زنده نسبتاً سریع انجام می‌گیرد.

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

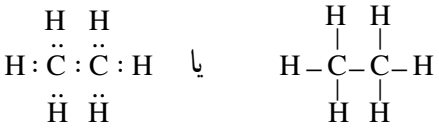
۵ــ۱ــ دو علّت مهم برای فراوانی ترکیب‌های آلی

چرا عنصر کربن هم‌چون سایر عنصرهای جدول تناوبی نیست؟ چرا این عنصر قادر به ایجاد انبوه موادّ آلی با آن همه تفاوت در خواص است؟ پاسخ به این پرسش‌ها را می‌توان با مطالعه‌ی ساختار اتمی کربن که دارای ۴ الکترون ظرفیّت است، هم‌چنین کوچک بودن شعاع آن، و داشتن الکترونگاتیوی در حدّ میانه، توجیه کرد. این ویژگی‌ها موجب پیدایش دو خاصیّت عمومی زیر است :

۱ــ ۵ــ۱ــ امکان تشکیل پیوندهای محکم کربن ــ کربن: هر یک از الکترون‌های لایه‌ی ظرفیّت 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 به‌تنهایی حدّاکثر 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 (CH_4) پدید آورد.



لیکن بارزترین ویژگی‌ای که اتم کربن را از اتم سایر عنصرها متمایز می‌سازد (به‌استثنای سیلیسیم)، قابلیّت به اشتراک گذاردن الکترون با سایر اتم‌های کربن و ایجاد پیوندهای کووالانسی محکم کربن ــ کربن است. برای مثال، به ساختار دومین مولکول آلی از نظر سادگی، معروف به اتان (C_2H_6) توجّه کنید :



پدیده‌ی تشکیل پیوند ساده و محکم $C-C$ ، 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 $C=C$ 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 $C\equiv C$ پدید آورند.

$H : C \vdots\vdots C : H$ یا $H-C\equiv C-H$

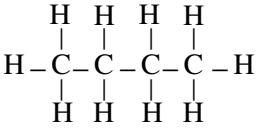
نمونه این گونه پیوندها را نیز در خانواده‌ی دیگری از ترکیب‌های آلی مطالعه خواهید کرد.

۲ــ۵ــ۱ــ 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 مادّه به نام سولفوریک اسید است. در صورتی که یک فرمول مولکولی در شیمی آلی، معمولاً نشان‌دهنده‌ی یک یا چندین ترکیب با خواصّ مختلف است. برای مثال، آزمایش نشان می‌دهد که دو نوع مادّه با **فرمول مولکولی** C_4H_{10} وجود دارد که از نظر برخی خواص با یکدیگر تفاوت دارند. جدول زیر، برخی ویژگی‌های فیزیکی این دو مادّه را نشان می‌دهد[1].

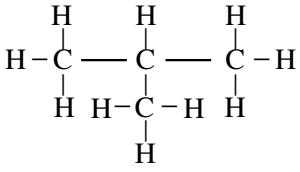
جدول ۲ــ۱ــ برخی خواص فیزیکی دو ایزومر C_4H_{10}

	مادّه‌ی شماره‌ی ۱ (C_4H_{10} فرمول مولکولی)	مادّه‌ی شماره‌ی ۲ (C_4H_{10} فرمول مولکولی)
دمای ذوب	$-۱۲۸^\circ C$	$-۱۵۹^\circ C$
دمای جوش	$-۰/۵^\circ C$	$-۱۲^\circ C$
چگالی مایع (در $-۲۰^\circ C$) (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۵۹۹	۰/۵۵۷
میزان حل شدن در ۱۰۰۰CC الکل معمولی	۱۸۱۳mL	۱۳۲۰mL

چگونه می‌توان این واقعیت‌ها را توجیه کرد؟ با توجّه به دانسته‌های قبلی، در مورد تأثیر ساختار یک ماده بر خواصّ آن، آیا می‌توان چنین فرض کرد که این دو مادّه 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 ظرفیّتی بودن کربن و یک ظرفیّتی بودن هیدروژن، دو امکان وجود دارد :



طرح ساختاری الف



طرح ساختاری ب

توجّه 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 مادّه شماره‌ی ۱ و طرح ساختاری ب با فرمول ساختاری ماده‌ی شماره‌ی ۲ــ۱ جدول، مطابقت دارد. **موادّی که دارای فرمول مولکولی یکسان هستند، ولی دارای فرمول‌های ساختاری و خواصّ متفاوت می‌باشند، ایزومر[2] نامیده می‌شوند.**

بدیهی است که هر زمان به مادّه‌ای به فرمول C_4H_{10} اشاره شود، این سؤال مطرح می‌شود که منظور کدام ایزومر است؟

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

۲ــ ISOMER ــ 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 اوّلیه‌ی 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 به‌شدّت افزایش می‌یابد.

۶ــ۱ــ طبقه‌بندی موادّ 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 خواصّ 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 خواصّ آن‌ها از چنین شیوه‌ای مانند کاربرد اصول طبقه‌بندی عنصرها در جدول تناوبی استفاده کردید. آسان‌ترین شیوه را که ما برای طبقه‌بندی موادّ آلی به کار خواهیم برد، تقسیم آن‌ها به دو گروه «هیدروکربن‌ها[۱]» و به عبارتی ترکیب‌های هیدروژن و کربن، و «ترکیب‌های آلی مشتق از هیدروکربن‌ها» است که اغلب شامل اکسیژن، نیتروژن و هالوژن‌ها هستند.

۷ــ۱ــ طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

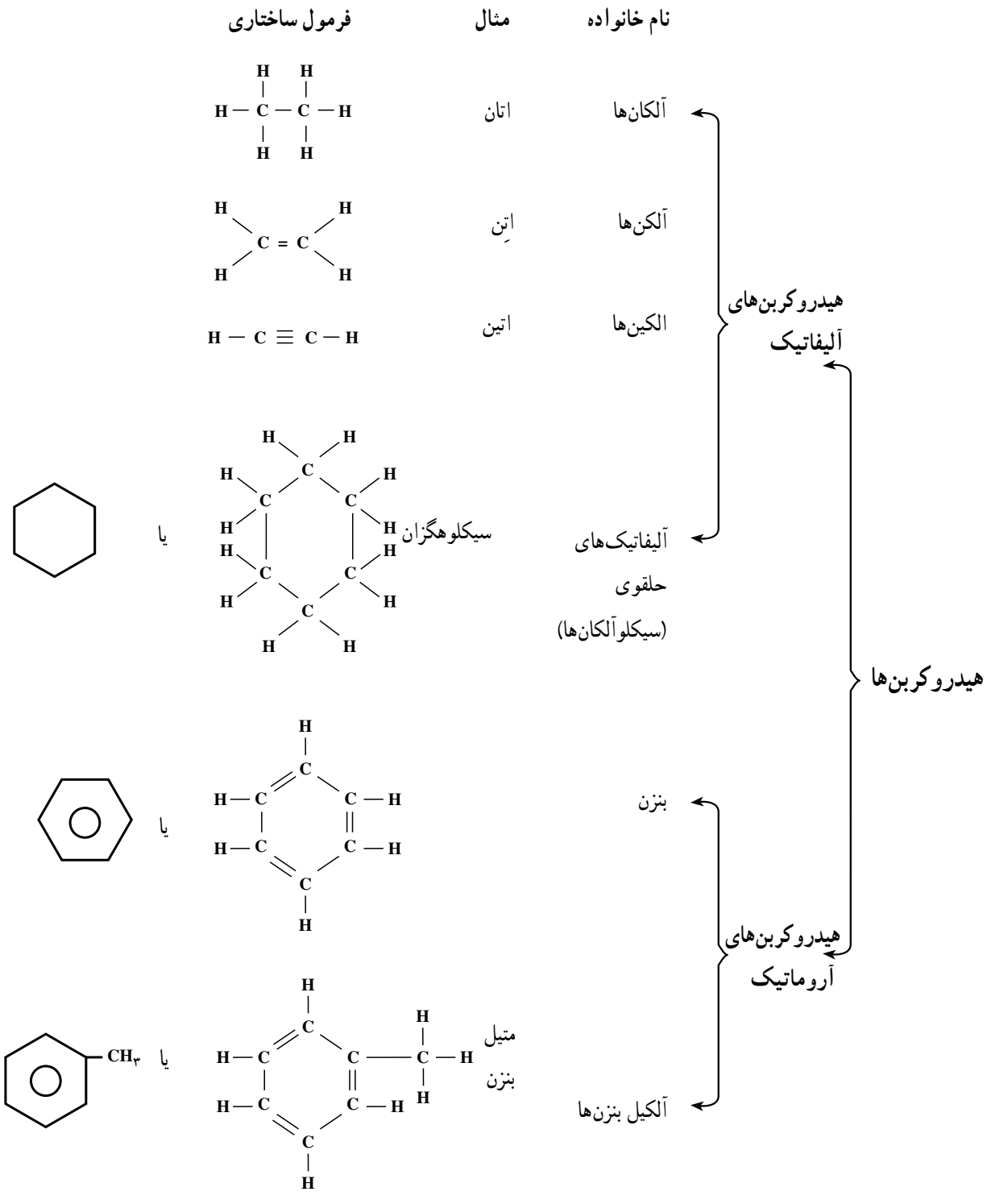
همان‌طور که از نام «هیدروکربن‌ها» برمی‌آید، این مواد فقط شامل کربن و هیدروژن هستند. می‌دانیم که طبقه‌بندی اشیا باید بر اساس ملاک‌هایی باشد. ملاک علمی طبقه بندی هیدروکربن‌ها، بر اساس نوع پیوندهای کربن ــ کربن و شکل ساختاری مولکول‌های آن‌هاست. در عین حال، و در آغاز طبقه‌بندی از یک شیوه‌ی تاریخی در تقسیم‌بندی همه‌ی موادّ آلی به دو دسته‌ی بزرگ «هیدروکربن‌های آلیفاتیک[۱]» و «هیدروکربن‌های آروماتیک[۲]» تبعیّت می‌کنیم. بنابراین، طبقه‌بندی کلّی هیدروکربن‌ها را در این سطح تحصیلی، به‌صورت ساده زیر ارائه می‌دهیم[۳] :

۱ــ HYDROCARBONS

۲ــ ALIPHATIC HYDROCARBONS

۳ــ AROMATIC HYDROCARBONS

نمودار شکل ۳ــ۱ــ طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها



پرسش و تمرین

۱ــ یک اختلاف نظر مهم میان دانشمندان فعلی و گذشته را در مورد مفهوم مادّه‌ی آلی بیان کنید، و یک مثال بیاورید.

۲ــ چرا تعداد ترکیب‌های آلی به میلیون‌ها می‌رسد، در صورتی که تعداد عنصرهای تشکیل‌دهنده این مواد، بسیار محدود است؟

۳ــ نام سه مادّه‌ی آلی مهم موجود در محیط زندگی را که در طبیعت وجود دارند، و سه ماده دیگر را که به‌طور مصنوعی تهیّه می‌شوند، نام ببرید.

۴ــ چهار تفاوت مهم میان یک ترکیب معدنی و یک ترکیب آلی را بیان کنید.

۵ــ مثالی بیاورید که طی آن نشان دهید خواصّ یک مادّه‌ی آلی به ساختار مولکولی آن وابسته‌است.

۶ــ دو هیدروکربن آلیفاتیک و یک هیدروکربن آروماتیک را نام ببرید.