پودمان سوم

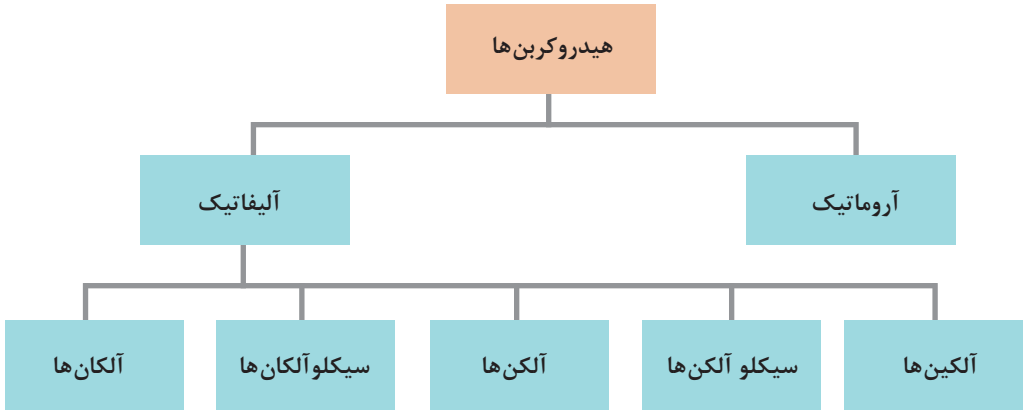
به‌کارگیری هیدروکربن‌های آلیفاتیک

پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) یکی از بسپارهایی است که به‌طور گسترده در صنایع مختلف از جمله ساختمان، حمل‌ونقل، بسته‌بندی، برق و الکترونیک و مراقبت‌های بهداشتی کاربرد دارد.

آلکن‌ها

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

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



شکل ۱ــ طبقه‌بندی هیدروکربن‌ها

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

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

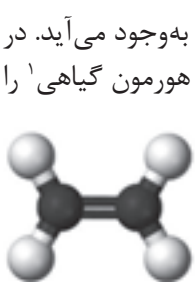
فکر کنید ۱

آیا تاکنون به چرایی قرمزشدن گوجه فرنگی فکر کرده‌اید؟

۱- Aliphatic ۲- Aromatic ۳- Alkane ۴- Alkene
۵- Alkyne ۶- Cycloalkane ۷- Cycloalkyne

اتیلن C_2H_4

اتیلن، گازی است که اندکی بوی ملایم و مطبوع دارد و در طبیعت به مقدار کم در گیاهان به‌وجود می‌آید. در فرایند رسیدن بسیاری از میوه‌ها و سبزیجات (مانند موز، گلابی و گوجه فرنگی) نقش یک هورمون گیاهی[1] را ایفا می‌کند. از این ویژگی در بازار فروش موز استفاده می‌شود. موز سبز نارس را در مناطق استوایی می‌چینند و در جعبه‌هایی که دارای منافذ است حمل می‌کنند. به این ترتیب، موز کمتر تحت تأثیر گاز اتیلن آزادشده قرار می‌گیرد و همچنان سبز باقی می‌ماند. با رسیدن جعبه‌ها به مقصد و پیش از فروش، موز را با اندکی گاز اتیلن تماس می‌دهند تا به اندازه کافی برسد (شکل ۲).



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

تحقیق کنید ۱

چرا می‌گویند انبه را نزدیک میوه‌های دیگر نگهداری نکنید؟

گاز اتیلن در صنایع عظیم پتروشیمی یکی از مهم‌ترین مواد اولیه به شمار می‌رود. در کشورهای برخوردار از این‌گونه صنایع، سالانه ده‌ها میلیون تن گاز اتیلن تولید می‌شود. این گاز در تهیه و تولید انواع پلاستیک‌های ارزان قیمت، مناسب برای ساختن ظروف آشپزخانه به‌کار می‌رود. همچنین در تهیهٔ الیاف مصنوعی پلی‌استر، الکل معمولی، ضدیخ و انواع فراورده‌های دیگر کاربرد دارد.

تحقیق کنید ۲

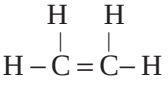
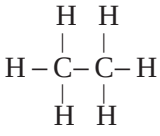
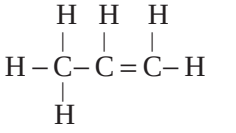
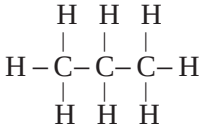
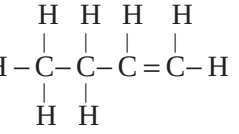
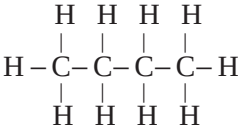
درباره نکات ایمنی گاز اتیلن تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

۱ــ هورمون گیاهی به مواد مختلفی اطلاق می‌شود که در بخشی از موجود زنده ساخته می‌شود و پس از انتقال، اثرات فیزیولوژیکی محسوسی در دیگر قسمت‌های آن به‌جا می‌گذارد.

هیدروکربن‌های هم‌خانواده اتیلن

اتیلن ساده‌ترین عضو خانواده آلکن‌هاست. این خانواده، با نام قدیمی اولفین[1] شناخته می‌شود، ولی نام آلکن ترجیح داده شده است. در مولکول هیدروکربن‌های خانوادهٔ اتیلن، بین دو اتم کربن در زنجیر هیدروکربنی، یک پیوند دوگانه وجود دارد. مانند آنچه در مورد اتیلن (C_2H_4) دیده شد، در خانوادهٔ آلکن‌ها، در هر مولکول آلکن دو اتم هیدروژن کمتر از مولکول آلکان هم‌ردیف خود وجود دارد و به همین دلیل، هیدروکربن سیرنشده به شمار می‌رود. به فرمول ساختاری و نام سه عضو اول این دو خانواده در جدول ۱ توجه کنید:

جدول ۱ــ مقایسه ساختار آلکان‌ها و آلکن‌ها

آلکن		آلکان	
-	-	متان	CH_4
اتن یا اتیلن (C_2H_4)		اتان (C_2H_6)	
پروپن یا پروپیلن (C_3H_6)		پروپان (C_3H_8)	
بوتن یا بوتیلن (C_4H_8)		بوتان (C_4H_{10})	

فکر کنید۲

از آنجا که فرمول عمومی هیدروکربن‌های آلکانی، C_nH_{2n+2} است، فرمول عمومی خانواده آلکن‌هایی که یک پیوند دوگانه دارند، به چه صورت درمی‌آید؟

نام‌گذاری آلکن‌ها به روش آیوپاک[2]

آیوپاک سازمانی است که زیر نظر اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی به نام‌گذاری مواد شیمیایی می‌پردازد. این اتحادیه یک سازمان غیردولتی است که در سال ۱۹۱۹ میلادی (سال ۱۲۹۸ هـ ش)، به‌دنبال نشست‌های بین‌المللیِ شیمی کاربردی به‌منظور ارتقای دانش شیمی پایه‌گذاری شد.

برای نام‌گذاری هیدروکربن‌های سیرنشده اتیلنی به روش آیوپاک، مانند هیدروکربن‌های سیرشده زنجیری (آلکان‌ها) عمل می‌کنند:

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

$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$ ۱و۲ دی کلرواتان

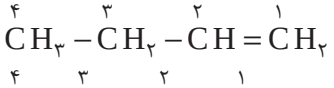
۲- International Union of Pare and Applied Chemistry

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

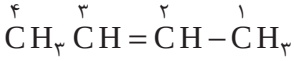
پسوند + ریشه + پیشوند

دستور شمارهٔ ۲ـ موقعیت پیوند دوگانه را روی زنجیر اصلی، از طریق شماره‌گذاری مشخص کنید. این زنجیر را از جهتی شماره‌گذاری کنید که به اولین کربن پیوند دوگانه، کوچک‌ترین عدد ممکن تعلق بگیرد.

مثال:



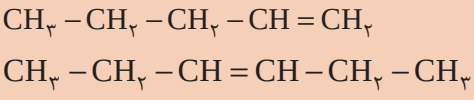
۱ـ بوتن



۲ـ بوتن

تمرین۱

فرمول‌های زیر را نام‌گذاری کنید.

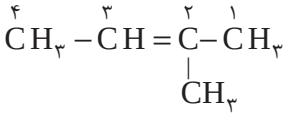


دستور شماره ۳ـ نام شاخه یا شاخه‌ها و موقعیت آنها را پیش از نام زنجیر اصلی بنویسید (پیشوند).

یادآوری

پیشوندها با جدا کردن «ـان» (ane) از نام هیدروکربن و افزودن «ـیل» (ـyl) به انتهای آن نام‌گذاری می‌شوند. مانند متیل، اتیل و پروپیل

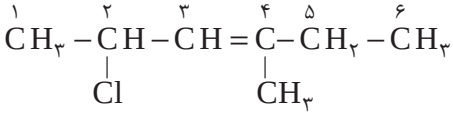
مثال۱: ۲ـ متیل ـ ۲ـ بوتن



نکته

اگر جهت شماره‌گذاری بر موقعیت پیوند دوگانه تأثیر نداشته باشد، شماره‌گذاری از جهتی انجام می‌شود که به شاخه نزدیک‌تر باشد.

مثال۲: ۲ـ کلرو ـ۴ـ متیل ـ۳ـ هگزن

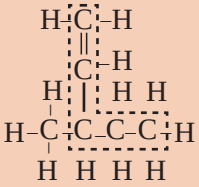


پرسش ۱

چرا درمثال ۲ شماره‌گذاری را از سمت چپ زنجیر اصلی آغاز کردید؟ چرا نام شاخهٔ کلرو، مقدم بر شاخهٔ متیل است؟

نکته

۱ همیشه لازم نیست زنجیر اصلی بر روی یک خط افقی نوشته شده باشد. مثلاً برای نام‌گذاری ترکیب زیر، زنجیر اصلی باید شامل پیوند دوگانه نیز باشد. در نتیجه نام این هیدروکربن مطابق روش نام‌گذاری آیوپاک، ۳ـ متیل ـ۱ـ پنتن در نظر گرفته می‌شود.



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

شماره‌گذاری کربن‌های این زنجیر، از جهتی صورت می‌گیرد که به پیوندهای دوگانه، عددهای کوچک‌تری نسبت داده شود. برای مثال،

$\overset{۱}{C}H_۲=\overset{۲}{C}H-\overset{۳}{C}H=\overset{۴}{C}H_۲$

۳،۱ـ بوتادی‌اِن

$\overset{۶}{C}H_۳-\overset{۵}{C}H=\overset{۴}{C}H-\overset{۳}{C}H_۲-\overset{۲}{C}H=\overset{۱}{C}H_۲$

۴،۱ـ هگزادی‌اِن

(توجه: ۲، ۵ـ هگزا دی اِن نادرست است)

تمرین ۲

ترکیب‌های زیر را نام‌گذاری کنید.

۱ $CH_۳-CH_۲-CH_۲-\underset{\displaystyle CH=CH_۲}{\underset{|}{C}H}-CH_۲-CH_۳$

۲ $CH_۳-CH_۲-CH=CH-\underset{\displaystyle CH_۳}{\underset{|}{C}H}-CH_۳$

۳ $H_۲C=\underset{\displaystyle CH_۳}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}=CH_۲$

۴ $CH_۲=CH-CH=CH-CH_۳$

تمرین ۳

فرمول‌های ساختاری مواد زیر را رسم کنید.

۱ ۲، ۳ـ دی متیل ـ ۲ـ بوتن

۲ ۳ـ کلرو پروپن

۳ ۳ـ برمو ـ ۱ـ بوتن

بحث‌گروهی ۱

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

ایزومری[1] در آلکن‌ها

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

جدول ۲ـ ایزومرهای بوتان و بوتن

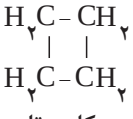
بوتان	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ n ـ بوتان	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH}{|}}-CH_3$ ۲ـ متیل پروپان
بوتن	۱ـ بوتن $CH_3-CH_2-CH=CH_2$ ۲ـ بوتن $CH_3-CH=CH-CH_3$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle C}{|}}=CH_2$ ۲ـ متیل ـ ۱ـ پروپن

همان‌طور که مشاهده می‌کنید بوتان دارای دو ایزومر است درصورتی که بوتن (C_4H_8) با داشتن همان تعداد کربن، سه ایزومر دارد.

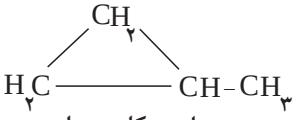
نکته

در مورد ترکیبی مانند ۲ـ متیل پروپان و ۲ـ متیل ـ۱ـ پروپن، می‌توان از ذکر شماره محل اتصال شاخه‌ها خودداری کرد، زیرا شاخه متیل به غیر از اتم کربن دوم، نمی‌تواند محل دیگری را اختیار کند. چون در آن صورت، جزء شاخه اصلی به‌شمار می‌آید. بدیهی است با تغییر مکان پیوند دوگانه، مبدأ شماره‌گذاری نیز تغییر خواهدکرد، به گونه‌ای که دوباره همان نام به‌دست می‌آید. بنابراین، برای نام‌گذاری دو ترکیب فوق، فقط به ذکر متیل‌پروپان یا متیل‌پروپن اکتفا می‌کنیم.

برای موادی به فرمول عمومی C_nH_{2n}، از پروپن (C_3H_6) به بعد، نوع دیگری از ایزومری ساختاری وجود دارد که به‌صورت هیدروکربن حلقوی سیرشده و بدون پیوند دوگانه است. برای مثال، اضافه بر سه ایزومر ساختاری که برای بوتن ترسیم شد، می‌توان دو ایزومر حلقوی زیر را نیز در نظر گرفت:



سیکلو بوتان



متیل سیکلو پروپان

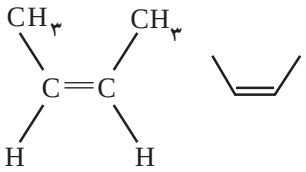
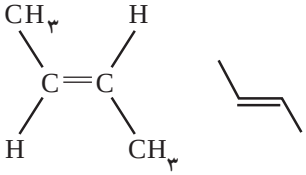
با این موضوع، در مبحث سیکلوآلکان‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

۱- Isomer

ایزومری سیس ـ ترانس[1] (ایزومری هندسی[2]) در ۲ـ بوتن

مطابق آنچه آموختید، چنین به نظر می‌رسد که بوتن (C_4H_8)، باید دارای ۲ ایزومر بدون شاخهٔ زنجیری باشد (۱ـ بوتن و ۲ـ بوتن). آزمایش و تحقیق نشان می‌دهد که واقعیت چنین نیست و سه نوع ایزومر برای آن وجود دارد، زیرا ایزومر ساختاری ۲ـ بوتن ($CH_3 - CH = CH - CH_3$) به تنهایی به‌صورت دو ماده مختلف دیده می‌شود که در برخی خواص فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر متفاوت‌اند. برای مثال، دمای جوش یکی $0/9^\circ C$ و دیگری $3/7^\circ C$ است.
جدول ۳ مولکول ۲ـ بوتن و چگونگی آرایش یافتن اتم‌ها و گروه‌های آن در فضا و پیرامون پیوند دوگانه را نشان می‌دهد.

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

نام	مدل فضا پرکن	فرمول	چگالی (g/ml)	نقطه جوش (°C)
سیس ـ ۲ـ بوتن			۰/۶۲۱	۳/۷
ترانس ـ ۲ـ بوتن			۰/۶۰۴	۰/۹

مطابق قرارداد، ایزومر ردیف اول را که دو گروه جانشینی بزرگ متیل در آن، در یک سوی پیوند دوگانه قرار دارند، سیس ـ۲ـ بوتن، می‌نامند. ایزومر دوم را که دو گروه جانشینی متیل در آن، در دو سوی پیوند دوگانه قرار دارند، ایزومر ترانس ـ ۲ـ بوتن می‌نامند.
ایزومرهای سیس و ترانس[3]، ایزومرهایی هستند که از نظر فرمول ساختاری یکسان، و از نظر چگونگی آرایش اتم‌ها و گروه‌های تشکیل‌دهندهٔ آنها در فضا، متفاوت‌اند. به‌همین دلیل، این‌گونه ایزومرها را، ایزومرهای فضایی[4] نیز می‌نامند.

نکته

ایزومرهای فضایی هنگامی پدید می‌آیند که گروه‌های جانشینی موجود بر روی هر اتم کربن تشکیل‌دهندهٔ پیوند دوگانه، متفاوت باشند.

بحث‌گروهی ۲

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

۱ـ CIS_TRANS Isomerism
۲ـ Geometricisomerism
۳ـ CIS و TRANS دو کلمهٔ یونانی هستند که اولی به معنی «کنار»، و دومی به معنی «مقابل» است.
۴ـ Stereoisomers

تحقیق کنید ۳

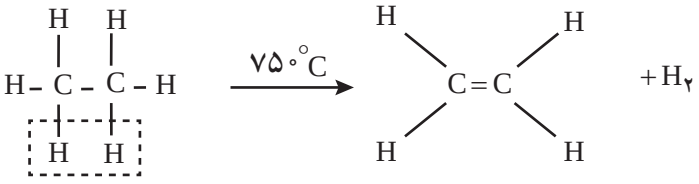
چرا دمای جوش ایزومرهای سیس و ترانس ـ ۲ـ بوتن متفاوت است؟

تهیه اتیلن و هیدروکربن‌های اتیلنی

فکرکنید۳

چرا هیدروکربن‌های اتیلنی از نظر شیمیایی (واکنش‌پذیری) فعّال هستند؟

تولید اتیلن در صنعت: بخش اعظم اتیلن، از گرمادادن ترکیب‌های نفتی در پالایشگاه، و از زدودن تعدادی اتم هیدروژن از آلکان‌ها به دست می‌آید. اتان را تا ۷۵۰ °C گرما می‌دهند، یک مولکول هیدروژن از آن جدا می‌شود و گاز اتیلن پدید می‌آید.



در صنایع پتروشیمی، این‌گونه واکنش‌ها، که در طی آن یک مولکول بر اثر گرما به مولکول‌های کوچک‌تر شکسته می‌شود، «مولکول‌شکنی گرمایی[۱]» نام دارد. در عین حال، به علت گرفتن هیدروژن از ماده اولیه، این واکنش نوعی واکنش «هیدروژن‌زدایی[۲]» نیز به‌شمار می‌رود. عکس این واکنش، هیدروژن‌دار شدن[۳] است که در آن اتیلن به اتان تبدیل می‌شود.

$$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$$

نکته

واکنش تبدیل اتان به اتیلن یک واکنش برگشت‌پذیر است، زیرا خود واکنش و عکس آن، در شرایط مناسب انجام‌پذیر است.

$$C_2H_6 + \text{انرژی} \rightleftarrows C_2H_4 + H_2$$

بیشتر بدانید

مولکول‌شکنی (کراکینگ[۴]) به واکنش‌های شکستن اجزای سنگین‌تر نفتی در پالایشگاه و تبدیل آنها به اجزای سبک‌تر گفته می‌شود. واکنش‌های مولکول‌شکنی، معمولاً با آزادشدن مقدار زیادی گازهای هیدروکربنی از قبیل اتیلن و پروپیلن همراه است که در صنایع پتروشیمی کاربرد وسیعی دارند. مولکول‌شکنی معمولاً یا به کمک گرما (مولکول‌شکنی گرمایی) و یا به کمک کاتالیزگر (مولکول‌شکنی کاتالیزی[۵]) صورت می‌گیرد.

۱ـ Thermal Cracking
۲ـ Dehydrogenation
۳ـ Hydrogenation
۴ـ Cracking
۵ـ Catalytic Cracking

تمرین ۴

عبارت زیر را با انتخاب کلمه‌های مناسب، کامل کنید.

واکنش افزایش هیدروژن به اتان $\frac{\text{گرماده}}{\text{گرماگیر}}$ و واکنش افزایش هیدروژن به اتین $\frac{\text{گرماده}}{\text{گرماگیر}}$ است.

تمرین ۵

مطابق اصل لوشاتلیه، پیش‌بینی کنید که هرگاه:

- دما را افزایش دهیم، واکنش تعادلی تبدیل اتان به اتین به کدام سو جابه‌جا می‌شود، و نسبت کدام ماده در مخلوط تعادلی، افزایش می‌یابد؟
- فشار را بر مخلوط تعادلی، افزایش دهیم، واکنش تعادلی به کدام سو جابه‌جا می‌شود؟

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

پرسش ۲

واکنش زیر را کامل کنید:

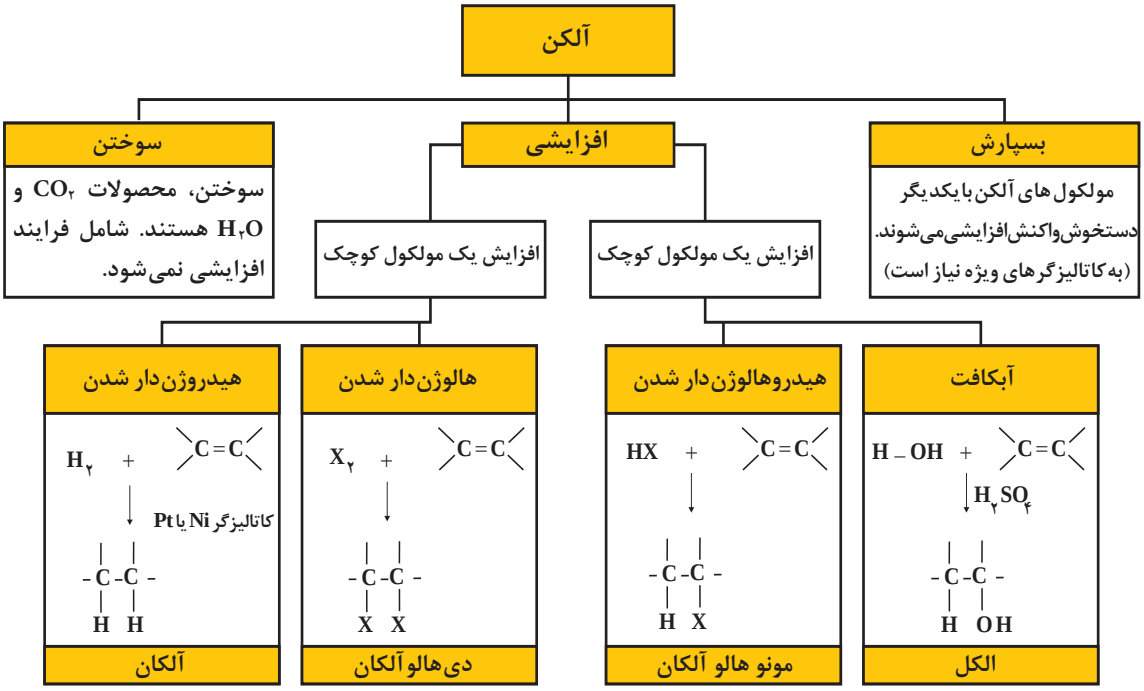
$$CH_3CH_2CH_3 \xrightarrow{750^\circ C} \ldots\ldots\ldots + \ldots\ldots\ldots$$

بیشتر بدانید

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

واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها

واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها را می‌توان به‌طور کلی به سه گروه واکنش‌های سوختن، افزایشی و بسپارش[1] تقسیم‌بندی کرد شکل (۳).



شکل ۳ــ نمودار واکنش‌های شیمیایی آلکن‌ها

سوختن

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

$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$ + انرژی

تمرین ۶

آلکن‌های دیگر نیز در هوا می‌سوزند فرمول عمومی سوختن آنها را بنویسید.

۱ـ Polymerization

اکسایش اتیلن

اکسایش اتیلن استفاده وسیعی در صنایع پتروشیمی دارد. اکسایش اتیلن برای اولین بار توسط دی‌کلرواتانول و پتاسیم‌هیدروکسید مایع انجام شد. سپس روش مستقیم اکسایش اتیلن با استفاده از کاتالیزگر نقره کاربرد فراوانی یافت. در این روش گاز اتیلن به‌وسیله اکسیژن هوا در مجاورت کاتالیزگر نقره در فشار و دمای مشخص اتیلن‌اکسید را تولید می‌کند.

$$CH_2=CH_2+\frac{1}{2}O_2 \longrightarrow \underset{\text{اتیلن‌اکسید}}{\overset{O}{\diagup\!\diagdown}\,CH_2-CH_2}$$

اتیلن

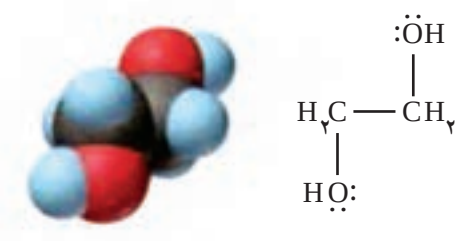
در سطح جهانی، سالانه میلیون‌ها تن اتیلن‌اکسید مطابق این روش تهیه می‌شود که برای تولید برخی مواد شیمیایی و به ویژه اتیلن‌گلیکول مصرف دارد. اتیلن‌اکسید با آب واکنش می‌دهد و اتیلن‌گلیکول پدید می‌آورد.

$$\underset{\text{اتیلن‌اکسید}}{\overset{O}{\diagup\!\diagdown}\,CH_2-CH_2}+H_2O \longrightarrow \underset{\text{اتیلن‌گلیکول}}{\overset{OH}{|}\,CH_2-\overset{OH}{|}\,CH_2}$$

در آزمایشگاه اتیلن و سایر آلکن‌هایی که پیوند دوگانه دارند، محلول بنفش‌رنگ پتاسیم پرمنگنات اسیدی را بی‌رنگ می‌کنند و خود اکسید می‌شوند. معادله واکنش، به قرار زیر است:

$$3C_2H_4+2KMnO_4+4H_2O \rightarrow 3C_2H_4(OH)_2+2MnO_{2\downarrow}+2KOH$$

ماده حاصل از این واکنش، الکلی است دو عاملی، که نام تجارتی آن اتیلن‌گلیکول است و به‌عنوان ضدیخ[1] مصرف دارد شکل (۴).



شکل ۴ـ ساختار اتیلن‌گلیکول

تحقیق کنید ۴

به چه علت از اتیلن‌گلیکول به عنوان ضدیخ استفاده می‌شود؟

تحقیق کنید ۵

شکل روبه‌رو دو لوله آزمایش را نشان می‌دهد که یکی مایع n ـ هگزان و دیگری مایع ۱ـ هگزن دارد. بر روی هر دوی آنها محلول رقیق پتاسیم پرمنگنات ریخته‌ایم. به نظر شما، کدام یک آلکن است؟

آزمایش تشخیص آلکن از آلکان

۱ـ Antifreeze

تحقیق کنید ۶

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

واکنش‌های افزایشی اتیلن

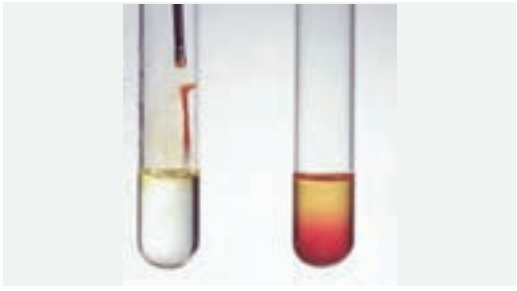
به‌طورکلی منظور از واکنش افزایشی، واکنشی است که در آن دو یا چند ماده با یکدیگر ترکیب می‌شوند و ماده واحدی به‌وجود می‌آورند.

واکنش افزایشی با هالوژن‌ها

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

واکنش برم با اتیلن

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



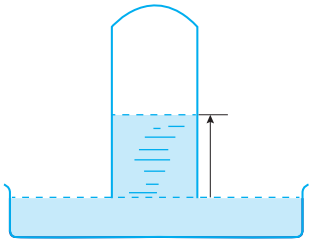
آزمایش بی‌رنگ شدن آب برم برای تشخیص الکن‌ها

نکته

از محلول‌های پتاسیم‌پرمنگنات و آب برم، به علت تغییر رنگ آنها در واکنش، برای تشخیص آلکن‌ها و سایر مواد سیرنشده، استفاده می‌شود.

واکنش کلر با اتیلن

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



واکنش گاز کلر با گاز اتیلن روی سطح آب نمک

می‌توان نتیجه گرفت که بین گازهای اتیلن و کلر نوعی «واکنش افزایشی[1]» صورت گرفته است (مانند واکنش افزایشی برم با اتیلن).

۱ـ Addition Reaction

تمرین ۷

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

تمرین ۸

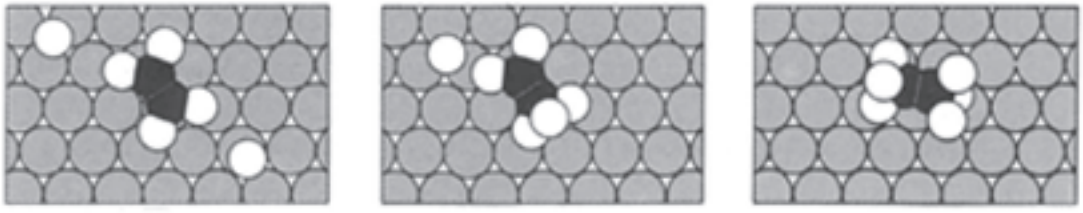
معادلهٔ واکنش برم را با پروپیلن بنویسید، و محصول عمل را نام‌گذاری کنید.

تحقیق کنید ۷

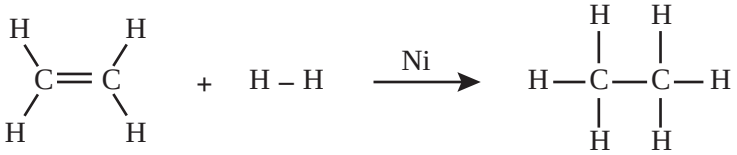
چرا روغن مایع برای سلامتی بهتر از روغن جامد است؟

■ واکنش افزایشی با هیدروژن

واکنش افزایشی گاز هیدروژن با هیدروکربن‌های سیرنشده، بدون حضور کاتالیزگر تقریباً ناممکن است. زیرا پیوند H–H به‌طور قابل ملاحظه‌ای قوی است و به آسانی نمی‌شکند[1]. ولی هرگاه از کاتالیزگرهایی مانند فلزهای پلاتین، پالادیم یا نیکل، به‌صورت ذره‌های ریز استفاده کنیم، مولکول‌های هیدروژن، مطابق شکل ۵ جذب سطح این ذره‌ها می‌شوند و به ازای درهم شکستن هریک پیوند H–H، دو اتم هیدروژن، مطابق شکل (۵)، دو پیوند ناپایدار و موقت با اتم‌های سطحی کاتالیزگر تشکیل می‌دهند. آنگاه از برخورد اتم‌های هیدروژن مزبور با مولکول اتیلن، پیوند دوگانه شکسته می‌شود و پیوندهای جدید C–H پدید می‌آیند. با انجام شدن این واکنش افزایشی، مولکول اتان آزاد می‌شود و از سطح کاتالیزگر جدا می‌شود.



شکل ۵ــ واکنش افزایشی H_2 و C_2H_4 بر سطح کاتالیزگر



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

۱ـ انرژی پیوند H–H برابر ۴۳۶ کیلوژول بر مول است.

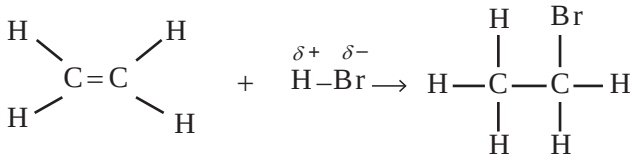
نکته

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

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

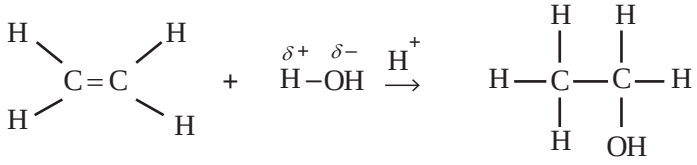
■ واکنش افزایشی هیدروژن با هالیدها

هیدروکربن‌های سیرنشده از قبیل اتیلن، فقط با مولکول‌های ساده‌ای همچون Br_2 و H_2 واکنش افزایشی نمی‌دهند، بلکه با مولکول‌های مرکبی مانند هیدروژن‌هالیدها از قبیل HCl، HBr، HI، یا آب، نیز واکنش می‌دهند. برای نمونه واکنش افزایشی اتیلن با HBr که یک مولکول قطبی است، بررسی می‌شود. به علت بیشتر بودن الکترونگاتیوی برم نسبت به هیدروژن (الکترونگاتیوی برم، ۲/۸ و الکترونگاتیوی هیدروژن ۲/۱ است)، جفت الکترون مشترک در $H^{\delta+}-Br^{\delta-}$ اندکی به‌سوی برم کشیده می‌شود، به‌طوری که بُرم، سر منفی و هیدروژن سر مثبت این مولکول را تشکیل می‌دهند. به محض اینکه سر مثبت هیدروژن این مولکول، که «الکترون‌دوست» است، به مولکول اتیلن نزدیک می‌شود، یک پیوند کووالانسی (C=C) در اتیلن و یک پیوند کووالانسی در H–Br، شکسته می‌شود و با طی‌شدن مراحل واکنش، دو پیوند کووالانسی جدید پدید می‌آید و مولکول آلکن به مولکول آلکان تبدیل می‌شود.



■ واکنش افزایشی با آب

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



اتانول (اتیل الکل)

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

چگونگی واکنش‌های افزایشی در هیدروکربن‌های مونواتیلنی

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

$$CH_2 \| CH_2 + H - Br \rightarrow CH_3 - CH_2Br$$

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

$$CH_2 \| CH_2 + Br - H \rightarrow CH_2Br - CH_3$$

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

۱ـ برمو پروپان

$$CH_3 - CH = CH_2 + HBr \xrightarrow{\text{مسیر اول}} CH_3 - CH_2 - CH_2Br$$

۲ـ برمو پروپان

$$CH_3 - CH = CH_2 + HBr \xrightarrow{\text{مسیر دوم}} CH_3 - CHBr - CH_3$$

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

بیشتر بدانید

ولادیمیر مارکونیکف

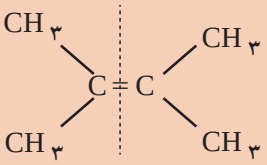
ولادیمیر واسیلیف مارکونیکف[1] (۱۹۰۴ـ۱۸۳۸) استاد شیمی دانشگاه مسکو بود. او تعدادی مواد شیمیایی را بر مبنای پیش‌بینی ساختار شیمیایی، به‌طور مصنوعی تهیه کرد. او روی برهم‌کنش اتم‌ها بر یکدیگر در مولکول مطالعه کرد و به نظام‌هایی رسید. بخش بزرگی از تلاش وی صرف تحقیق در منابع طبیعی کشور (به ویژه نفت) و جست‌وجوی راه‌های تأمین رفاه مردم کشورش شد. گرچه مارکونیکف قاعده خود را دربارهٔ واکنش افزایشی در ۳۳ سالگی پیشنهاد کرد، ولی به علت امتناع از چاپ نتایج تحقیق خود به زبانی غیر از زبان مادری، این کشف، ۳۰ سال بعد مورد توجه شیمی‌دانان جهان واقع شد.

قاعدهٔ مارکونیکف

«وقتی یک هیدروژن‌هالید (مانند HBr) به یک آلکن نامتقارن[2] افزوده شود، هیدروژنِ اسید، در شرایط عادی، بیشتر به اتم کربنی در پیوند دوگانه متصل می‌شود که، هیدروژن بیشتری داشته باشد.»

نکته

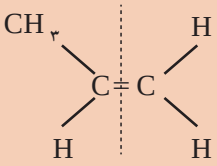
وقتی گروه‌های متصل به کربن‌های پیوند دوگانه یکسان باشند، آلکن را **متقارن** می‌نامند. مانند:



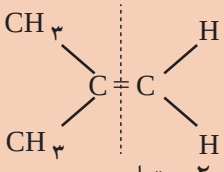
اتیلن

۲، ۳ـ دی متیل ـ ۲ـ بوتن

اگر گروه‌های متصل به کربن‌های پیوند دوگانه متفاوت باشند، آلکن را **نامتقارن** می‌نامند. مانند:



پروپن



۲ـ متیل پروپن

تمرین ۹

معادلهٔ واکنش HBr را با ۲ـ متیل پروپیلن بنویسید، و مادهٔ حاصل را نام‌گذاری کنید.

۱ـ Markovnikov
۲ـ Assym

تمرین ۱۰

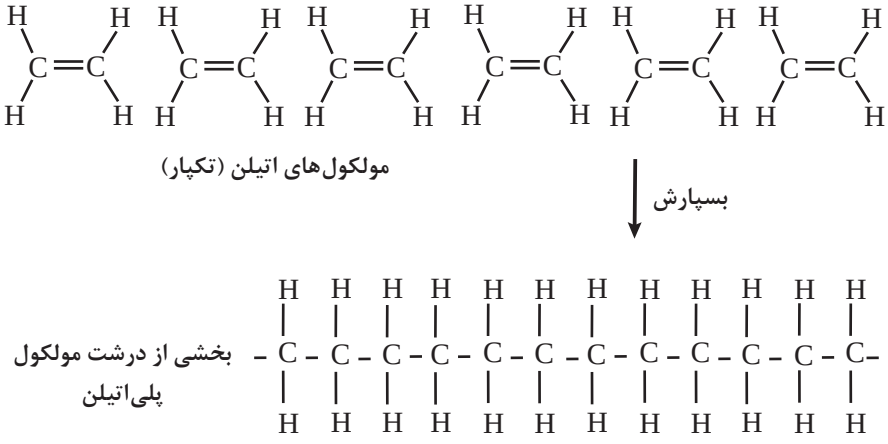
می‌توان فرمول آب را به‌صورت $\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{O}H$ نوشت و قطبی بودن مولکول آن را نشان داد. معادلهٔ واکنش آب را با پروپیلن بنویسید (نام ترکیب حاصل ایزوپروپیل‌الکل است).

بسپارش[1] آلکن‌ها

بحث‌گروهی ۳

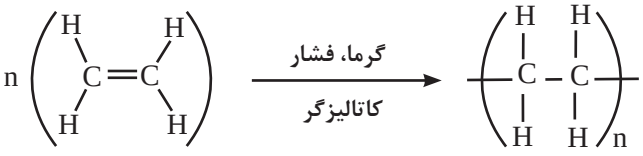
دربارهٔ تصویرهای زیر با دوستان خود گفت‌وگو کنید:

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

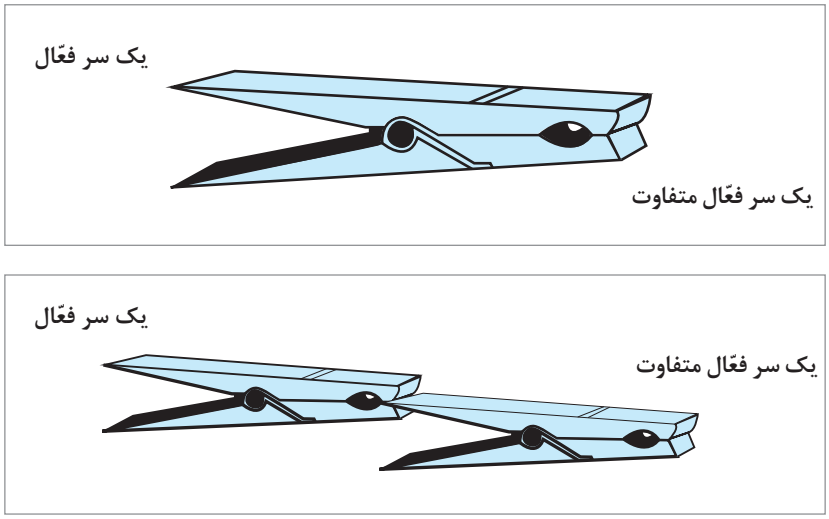


۱ـ Polymerization

به‌طور کلی واکنش را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:



مولکول اصلی که واحد ساختاری این زنجیره را تشکیل می‌دهد، تکپار[1] (مونومر) نامیده می‌شود. محصول را که به‌صورت زنجیره بلند حاصل از تشکیل پیوندهای کووالانسی میان تکپارهاست، بسپار[2] (پلیمر) می‌نامند. مهم‌ترین ویژگی تکپار که به آن امکان می‌دهد زنجیره بلند بسپار را تشکیل دهد، دربرداشتن دو گروه با دو سر فعال است. یک تکپار، باید توان ایجاد دو پیوند را از هر دو سر خود با مولکول‌های مجاور داشته باشد (شکل ۶).



شکل ۶ـ نمایشی برای مفهوم تکپار و بسپار

مطابق شکل (۶)، هر گیره را می‌توان به یک تکپار تشبیه کرد، که دارای دو سر است و می‌تواند با گیره‌های متعدد دیگر، زنجیره بسیار بلند بسپار پدید آورد.

محیط زندگی ما سرشار از مولکول‌های بسیار بزرگ بسپاری است که اصطلاحاً آنها را درشت مولکول[3] می‌نامند. مثال انواع طبیعی این درشت‌مولکول‌ها، کائوچوی طبیعی، پنبه و پشم است و مثال انواع مصنوعی آنها پلاستیک‌ها (شکل ۷)، نایلون و الیاف پارچه‌ای پلی‌استر است.

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

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

۳ـ Macromolecule

پلاستیک‌های پلی‌اتیلن و پلی پروپیلن

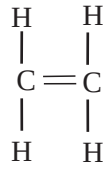
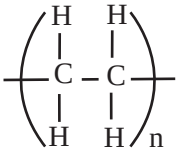
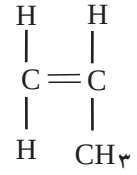
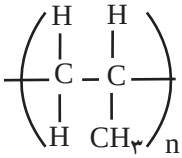
پلاستیک‌ها را ممکن است گونه‌ای مواد بسپاری دانست که می‌توان به دفعات گرم و ذوب کرد و در قالب ریخت و به شکل مطلوب درآورد. پلاستیک‌ها برخلاف الیاف بسپاری پارچه‌های مصنوعی که مولکول‌ها در آنها به‌صورت رشته‌های نخ مانند درازی هستند، می‌توانند اشیای سه بعدی و یا ورقه‌های نازک و شفاف پدید آورند.

شکل ۷ــ تهیهٔ بطری‌های آب از پلی‌اتیلن

پلاستیک پلی پروپیلن: این نوع پلاستیک نیز از تکپار پروپیلن به فرمول $CH_2=CH-CH_3$ و به همان شیوهٔ تشکیل پلاستیک پلی‌اتیلن به وجود می‌آید.

در جدول ۴ مقایسه پلاستیک‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن را ملاحظه می‌کنید.

جدول ۴ــ مقایسه پلاستیک‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن

کاربرد بسپار	فرمول و نام تکپار	واحد تکرارشونده و نام بسپار
بطری، کیسه پلاستیکی، اسباب بازی، عایق الکتریسیته	 اتیلن	 پلی‌اتیلن
بطری، فرش، قطعات قالب‌گیری‌شده از جمله دریچه‌های مصنوعی قلب	 پروپیلن	 پلی‌پروپیلن

بیشتر بدانید

صنعت پتروشیمی یکی از صنایع مهم جهان است. در این صنعت، ترکیب‌ها، مواد و وسایل گوناگونی از نفت یا گاز طبیعی به‌دست می‌آید که به فراورده‌های پتروشیمیایی معروف‌اند. پتروشیمی ایران نسبت به سایر رقبای خود مزیت و برتری‌های فراوانی دارد. از آن جمله می‌توان به منابع ارزان نفت و گاز، دسترسی سریع به بازارهای جهانی و منطقه‌ای و نیروی انسانی اشاره کرد. امید است پتروشیمی ایران در سال‌های آینده، بیش از پیش در منطقه و جهان بدرخشد.

آلکین‌ها (هیدروکربن‌های استیلنی)

بحث‌گروهی ۴

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

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

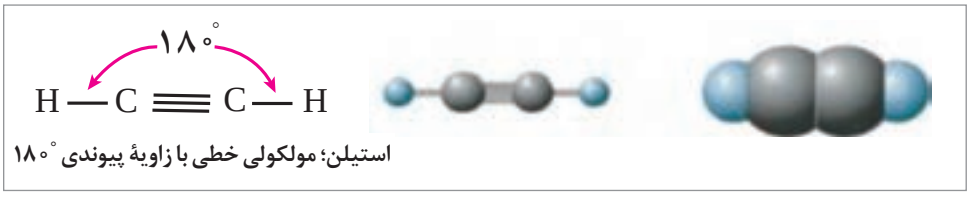
تمرین ۱۱

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

الف) C_5H_{10} ب) C_5H_{12} ج) C_5H_8

ساده‌ترین عضو خانواده آلکین‌ها، اتین (C_2H_2) است، که دو اتم هیدروژن و دو اتم کربن دارد و استیلن نامیده می‌شود. از این رو، آلکین‌ها را **هیدروکربن‌های استیلنی** نیز می‌نامند.

فرمول ساختاری استیلن، یعنی چگونگی پیوند اتم‌های کربن و هیدروژن به یکدیگر در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ــ نمایش فرمول ساختاری مولکول خطی استیلن

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

نام‌گذاری آلکین‌ها

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

قواعد نام‌گذاری آلکین‌ها به روش آیوپاک، شبیه نام‌گذاری آلکن‌هاست، با این تفاوت که به جای پسوند «ـن ene» از پسوند «ـین yne» استفاده می‌شود. به مثال‌های زیر توجه کنید:

$CH_3CH=CH_2 \longrightarrow CH_3C\equiv CH$

پروپین پروپن یا پروپیلن

$CH_2=CH_2 \longrightarrow H\text{-}C\equiv C\text{-}H$

اتین یا استیلن اتن یا اتیلن

قواعد نام‌گذاری آلکین‌ها را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

۱ بلندترین زنجیر کربنی را که شامل پیوند سه‌گانه باشد، مشخص کنید.

۲ این زنجیر کربنی را از جهتی که به پیوند سه‌گانه نزدیک‌تر باشد، شماره‌گذاری کنید.

۳ موضع نخستین کربن پیوند سه‌گانه و موضع گروه‌های آلکیل را که به‌صورت شاخه بر روی زنجیره طویل قرار دارند، با شماره‌های مناسب مشخص کنید.

برای مثال، به نام‌گذاری هیدروکربن‌های استیلنی زیر و چگونگی نوشتن نام آیوپاک آنها توجه کنید.

۱ـ بوتین $\overset{4}{C}H_3-\overset{3}{C}H_2-\overset{2}{C}\equiv\overset{1}{C}-H$

۲ـ بوتین $CH_3\text{-}C\equiv C\text{-}CH_3$

۳ـ متیل ـ ۱ـ بوتین $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}H-C\equiv C-H$

تمرین ۱۲

الف) نام آیوپاک هیدروکربن داده‌شده را بنویسید. $CH_3-\underset{\underset{CH_2-CH_3}{|}}{C}H-C\equiv C-H$

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

ج) فرمول ساختاری آلکینی، که نام آیوپاک آن ۳،۳ـ دی متیل ـ ۱ـ بوتین است، را بنویسید.

ایزومری در آلکین‌ها

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

۱ تغییر موقعیت پیوند سه‌گانه (ایزومری موقعیت)

۲ تغییر زنجیربندی اتم‌های کربن (ایزومری زنجیره‌ای)

مثال ۳: به نمونه‌های زیر توجه کنید:

ایزومری موقعیت:

$CH_3\text{-}C\equiv C\text{-}CH_3$ و $CH_3\text{-}CH_2\text{-}C\equiv C\text{-}H$

۲ـ بوتین ۱ـ بوتین

$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}H-C\equiv C-H$ $CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}C\equiv C\text{-}H$

۳ـ متیل ـ ۱ـ بوتین ۱ـ پنتین

تمرین ۱۳

الف) با توجه به یک ظرفیتی‌بودن هیدروژن و چهار ظرفیتی‌بودن کربن، برای هیدروکربنی به فرمول C_5H_8، چند ایزومر ساختاری می‌توان رسم کرد که دارای پیوند سه گانه کربن ـ کربن باشند؟ نام هر یک را به روش آیوپاک بنویسید.
ب) آیا در پرسش بالا می‌توان پنج اتم کربن را پشت سر هم در یک ردیف نوشت و پیوند سه‌گانه را بین کربن‌های سوم و چهارم قرار داد؟ نام آیوپاک این ترکیب چه خواهد بود؟
ج) چرا در بعضی آلکن‌ها ایزومری هندسی مشاهده می‌شود، ولی در آلکین‌ها مشاهده نمی‌شود؟ توضیح دهید؟
د) ایزومرهای استیلنی هیدروکربنی به فرمول C_6H_{10} را رسم کنید و نام هر یک را به روش آیوپاک بنویسید.
هـ) آیا در تمرین د، ایزومری داشته‌اید که نام آیوپاک آن ۳ـ اتیل ـ ۱ـ بوتین باشد؟ ساختار این ایزومر را رسم کنید و توضیح دهید. چه اشکالی در نام‌گذاری آن وجود دارد؟

استیلن

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

$$H\text{-}C\equiv C\text{-}H\,(\text{مایع}) \rightarrow 2C\,(\text{جامد}) + H_2\,(\text{گاز}) \qquad \text{و} \qquad \Delta H = -54\ \text{kcal}$$

استیلن کربن هیدروژن

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

نکته ایمنی

برای حمل‌ونقل استیلن از مخزن‌های فولادی استفاده می‌کنند. در این مخزن‌ها، ورقه‌هایی از پنبه نسوز که به استون مرطوب آغشته شده‌اند، قرار می‌دهند. استیلن را با فشار نسبتاً کم، در این مخزن‌ها ذخیره می‌کنند. وقتی شیر مخزن را باز کنند، گاز استیلن، همراه با کمی استون، بیرون می‌آید.
با استفاده از این روش، از حوادث ناشی از انفجار استیلن که زمانی بسیار متداول بود، جلوگیری می‌شود. سیلندرهای گاز استیلن به‌دلیل آتش‌زا و خطرناک بودن لازم است یکپارچه قرمز رنگ باشند.

کپسول استیلن

تهیهٔ استیلن

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

$$CaO + 3C \longrightarrow C_2Ca + CO$$

آهک کک کلسیم‌کربید کربن‌مونوکسید

کلسیم‌کربید

سپس، از واکنش آب با کلسیم‌کربید، استیلن به‌دست می‌آید:

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

کلسیم کربید استیلن

شکل ۹ــ واکنش کلسیم‌کربید با آب، گاز اشتعال‌پذیر استیلن را تولید می‌کند.

در این فرایند، از مواد اولیه‌ای استفاده می‌شود (زغال کک، آهک و آب) که فراوان و ارزان‌اند. استیلنی که از آبکافت کلسیم‌کربید به دست می‌آید، بویی شبیه به بوی سیر دارد. این بو ناشی از ناخالصی‌های موجود در آن، مانند H_2S، به ویژه PH_3 است.

در صنعت برای تهیهٔ استیلن، از روش دیگری که ارزان‌تر است و بر ترکیب‌های نفتی تکیه دارد، استفاده می‌شود. در این روش، متان را در دمای بالا، در مجاورت مقدار کمی اکسیژن، تا $1500^\circ C$ گرم می‌کنند:

$$6CH_4 + O_2 \xrightarrow{1500^\circ C} 2HC \equiv CH + 2CO + 10H_2$$

فرایند صنعتی دیگر برای تهیهٔ استیلن، هیدروژن‌زدایی از اتیلن در دماهای بالاتر از $1200^\circ C$ است. در این فرایند، استیلن و هیدروژن تشکیل می‌شود.

$$\underset{\text{اتیلن}}{CH_2 = CH_2} \xrightarrow{1200^\circ C} \underset{\text{استیلن}}{HC \equiv CH} + \underset{\text{هیدروژن}}{H_2}$$

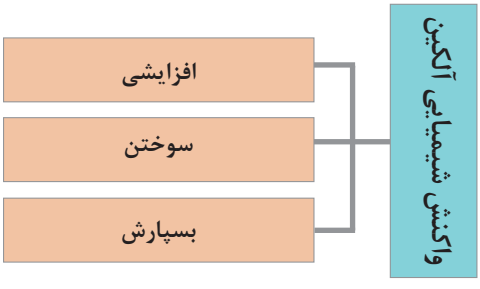
نکته

انتخاب فرایندهای مناسب برای تهیهٔ استیلن، به نوسان بهای انرژی (فرایند کلسیم‌کربید به الکتریسیته بیشتری نیاز دارد)، در دسترس بودن مواد اولیه (اتیلن و زغال) و میزان سرمایه‌گذاری برای ایجاد تأسیسات مناسب، بستگی دارد.

استیلن، به‌طور نسبی، گران‌تر از اتیلن تهیه می‌شود. از این رو، بیشتر موادی را که در گذشته از استیلن تهیه می‌کردند، امروزه از اتیلن تهیه می‌کنند. اتیلن از مولکول‌شکنی مواد نفتی به‌دست می‌آید. برای تهیهٔ بعضی از ترکیب‌هایی که در ساخت بسپارها کاربرد دارند، هنوز از استیلن استفاده می‌شود.

واکنش‌های شیمیایی آلکین‌ها

واکنش‌های شیمیایی آلکین‌ها، همانند آلکن‌ها، به سه دستهٔ افزایشی، سوختن و بسپارش تقسیم‌بندی می‌شود.



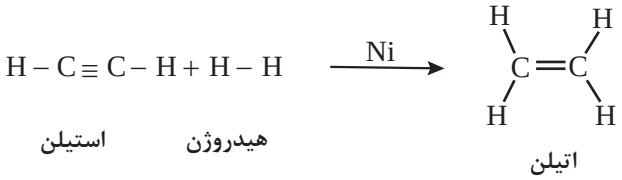
واکنش‌های افزایشی آلکین‌ها

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

■ واکنش افزایشی با هیدروژن

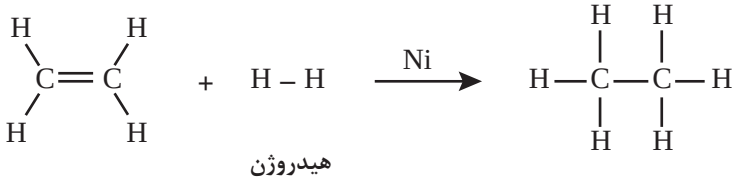
دو گاز هیدروژن و استیلن را می‌توان در دمای معمولی با یکدیگر مخلوط کرد، بدون آنکه بین آنها واکنشی روی دهد. ولی در مجاورت کاتالیزگرهای مناسب (مثلاً ذرّات بسیار ریز نیکل، پلاتین یا پالادیم) بین آنها یک واکنش افزایشی روی می‌دهد. این واکنش در دو مرحله صورت می‌گیرد:

در مرحلهٔ نخست، یک مولکول هیدروژن به استیلن افزوده می‌شود و اتیلن به‌دست می‌آید.



استیلن هیدروژن اتیلن

در مرحلهٔ بعد، با افزایش مولکول دوم هیدروژن به‌اتیلن، فراورده نهایی واکنش، یعنی اتان، تشکیل می‌شود.



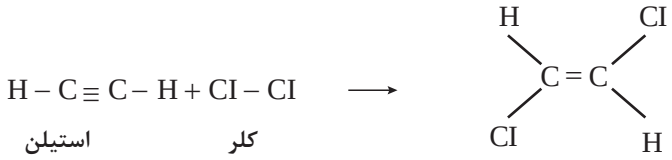
اتیلن هیدروژن اتان

■ واکنش افزایشی با هالوژن‌ها

واکنش کلر با استیلن بسیار شدید است و مانند افزایش هیدروژن به استیلن، در دو مرحله انجام می‌شود.

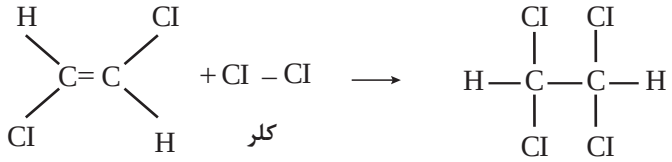
در مرحلهٔ نخست، ۱،۲ـ دی‌کلرواتیلن و در مرحلهٔ بعد ۱،۱،۲،۲ـ تتراکلرواتان به‌دست می‌آید.

۱)



استیلن کلر ۱،۲ـ دی‌کلرواتیلن

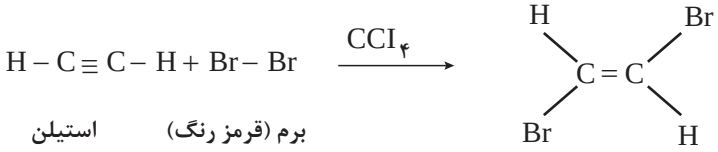
۲)



۱،۲ـ دی‌کلرواتیلن کلر ۱،۱،۲،۲ـ تتراکلرواتان

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

از این واکنش برای شناسایی ترکیب‌های سیرنشده، یعنی پی بردن به وجود پیوندهای دوگانه یا سه‌گانه کربن‌ـکربن در یک ترکیب، استفاده می‌شود. برای این منظور، کمی محلول برم را در کربن تتراکلرید (CCl_4)، که قرمز رنگ است، به ترکیب می‌افزایند. با تکان دادن آن رنگ قرمز برم به سرعت ناپدید می‌شود. زیرا فراورده‌ای که در این واکنش به‌وجود می‌آید، بی‌رنگ است.



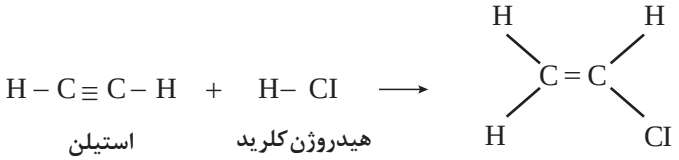
۱،۲ـ دی‌برمواتیلن (بی‌رنگ)

بحث کلاسی

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

واکنش افزایشی با هیدروژن‌هالیدها

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



وینیل‌کلرید (کلرواتیلن)

وینیل‌کلرید مادهٔ اولیهٔ بسیار مهمی در صنعت است. زیرا از بسپارش آن، پلی‌وینیل‌کلرید که به‌طور خلاصه پی‌وی‌سی[۱] (PVC) نامیده می‌شود، به‌دست می‌آید. پی‌وی‌سی یکی از پلاستیک‌های ارزنده است و کاربردهای فراوان دارد شکل (۱۰). امروزه در صنعت، وینیل‌کلرید را بیشتر از اثر گاز کلر بر اتیلن، در دمای بالا، تهیه می‌کنند.

۱ـ Poly Vinyl Chloride

$$CH_2 = CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl - CH_2Cl$$

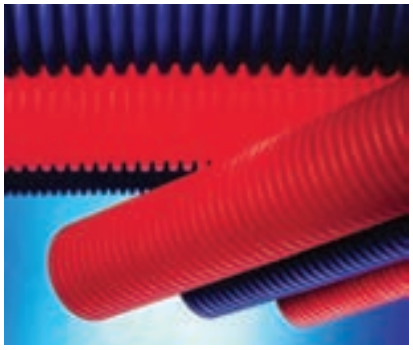
اتیلن ۲،۱ـ دی کلرواتان

$$CH_2Cl = CH_2Cl \xrightarrow{600^\circ C} CH_2 = CHCl + HCl$$

۲،۱ـ دی کلرواتان وینیل کلرید

$$nCH_2 = CHCl \xrightarrow{\text{پراکسید}} \left[-\underset{H}{\overset{H}{C}} - \underset{Cl}{\overset{H}{C}} - \right]_n$$

وینیل کلرید پلی‌وینیل کلرید (PVC)



شکل ۱۰ـ پلی‌وینیل کلرید (PVC)

تحقیق کنید ۸

در مورد کاربردهای پلی‌وینیل کلرید اطلاعاتی جمع‌آوری کنید و آنها را در کلاس گزارش دهید.

اگر در واکنش تهیهٔ وینیل کلرید مقدار هیدروژن کلرید زیاد باشد، دو مولکول از آن، به‌طور پیاپی، به پیوند سه‌گانه کربن ـ کربن افزوده می‌شوند. واکنش افزایشی در مرحلهٔ دوم، همان‌طور که می‌دانید از قاعدهٔ مارکونیکف پیروی می‌کند: یعنی، پروتون هیدروژن کلرید به کربنی متصل می‌شود که هیدروژن بیشتری داشته باشد.

$$CH_2{=}CHCl + HCl \longrightarrow H_3C^{1}- CHCl_2$$

وینیل کلرید هیدروژن کلرید ۱،۱ـ دی کلرواتان

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

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

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

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

$$H\text{-}C\equiv C\text{-}H + Cl\text{-}Cl \longrightarrow ClHC = CHCl$$

استیلن کلر ۲،۱ـ دی‌کلرواتیلن

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

$$ClHC=CHCl + H\text{-}Cl \longrightarrow ClH_2C - CHCl_2$$

۲،۱ـ دی‌کلرواتان ۲،۱،۱ـ تری‌کلرواتان

تمرین ۱۴

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

سوختن استیلن

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

$$2H\text{-}C\equiv C\text{-}H + 5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + H_2O$$

تمرین ۱۵

گرمای حاصل از سوختن یک مول استیلن ($\Delta H = -۳۱۷$ kcal) در اکسیژن خالص کمتر از گرمای سوختن یک مول اتیلن ($\Delta H = -۳۳۷$ kcal) و اتان ($\Delta H = -۳۷۴$ kcal) است. واکنش‌های سوختن این سه هیدروکربن را با اکسیژن بنویسید.

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

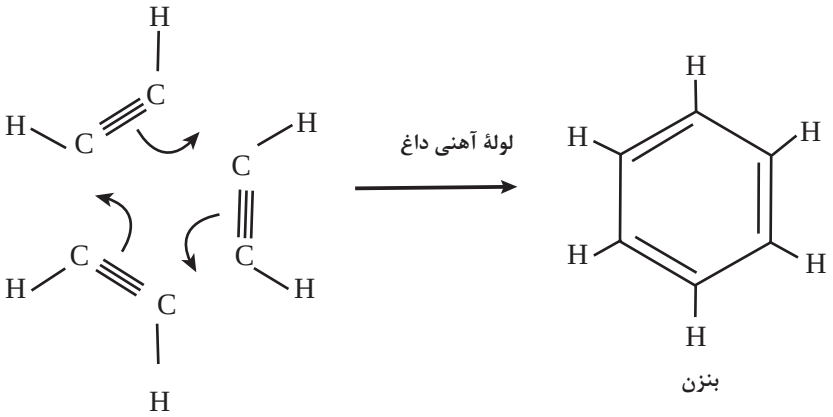
شکل ۱۱ـ جوشکاری استیلن

تمرین ۱۶

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

بسپارش استیلن

اگر گاز استیلن را از درون یک لولهٔ آهنی داغ عبور دهند، مقداری از آن به بنزن تبدیل می‌شود.



سه مولکول استیلن

بنزن

بنزن را می‌توان سه‌پار[1] استیلن (تشکیل‌شده از سه مولکول استیلن) به‌شمار آورد.

دو مولکول استیلن می‌توانند در مجاورت مس(I)کلرید، در محلول آبی آمونیوم‌کلرید، با یکدیگر واکنش دهند و به دوپار[2] (تشکیل‌شده از دو مولکول استیلن) تبدیل شوند.

$$H-C\equiv C-H + H-C\equiv C-H \xrightarrow[H_2O]{CuCl,NH_4Cl} H-C\equiv C-CH=CH_2$$

دو مولکول استیلن — وینیل استیلن

در واکنش‌های افزایشی، پیوند سه‌گانهٔ کربن‌ـکربن، فعال‌تر از پیوند دوگانهٔ کربن‌ـکربن است. از این رو، بر اثر افزایش یک مول هیدروژن‌کلرید به وینیل‌استیلن، بر طبق قاعدهٔ مارکونیکف، ۲ـکلروـ ۳،۱ـ بوتادی‌ان به‌دست می‌آید. نام تجاری این ترکیب «کلرو پرن» است.

$$H-C\equiv C-CH=CH_2 + H-Cl \longrightarrow H_2C=\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}-CH=CH_2$$

وینیل استیلن — هیدروژن کلرید — ۲ـکلروـ ۳،۱ـ بوتادی‌ان (کلروپرن)

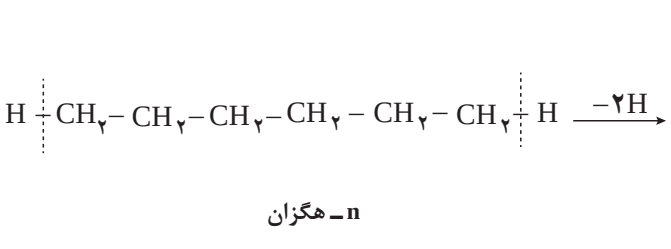
۱ـ Trimer
۲ـ Dimer

شکل ۱۲ـ یک نمونه نئوپرن

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

سیکلوآلکان‌ها

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



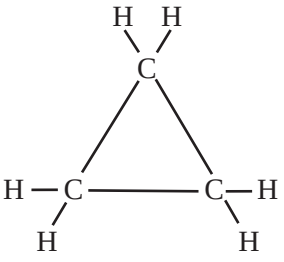
n ـ هگزان

سیکلو هگزان

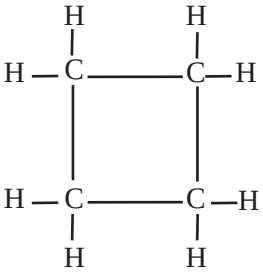
بنابراین، سیکلوآلکان‌ها، نسبت به هیدروکربن‌های زنجیره‌ای سیرشده با همان تعداد کربن، دو اتم هیدروژن کمتر دارند. به یاد دارید که آلکن‌ها نیز نسبت به هیدروکربن‌های سیر شده زنجیره‌ای هم‌ردیف خود (با همان تعداد اتم کربن) دو اتم هیدروژن کمتر دارند. از این رو، سیکلوآلکان‌ها مانند آلکن‌ها، دارای فرمول عمومی $C_nH_{۲n}$ هستند. باید توجه داشت که بین آلکن‌ها و سیکلوآلکان‌های هم‌کربن، یک تفاوت عمده وجود دارد، در آلکن‌ها، دست‌کم دو اتم کربن با پیوند دوگانه به یکدیگر متصل شده است و بنابراین، سیرنشده‌اند، درصورتی‌که در سیکلوآلکان‌ها، تمام اتم‌های کربن با پیوندهای یگانه به یکدیگر متصل‌اند و در نتیجه، سیرشده به‌شمار می‌آیند.
هیدروکربن‌های حلقوی در اندازه‌های مختلف، از سه کربن در حلقه تا حلقه‌های بیست ضلعی یا بزرگ‌تر وجود دارند. به علاوه، بسیاری از آنها بیش از یک حلقه دارند و در طبیعت، به ویژه در گیاهان، به‌طور گسترده یافت می‌شوند.

نام‌گذاری سیکلوآلکان‌ها

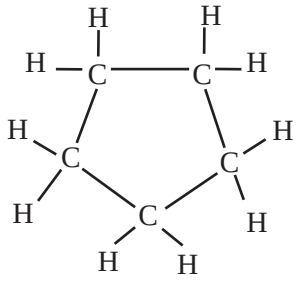
برای نام‌گذاری هیدروکربن‌های سیرشدهٔ حلقوی به روش آیوپاک، پیشوند «سیکلو ـ Cyclo» را که به معنی «حلقوی» است، به نام هیدروکربن سیرشده زنجیری با همان تعداد کربن، می‌افزایند. به مثال‌های زیر توجه کنید:



سیکلوپروپان

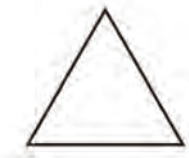


سیکلوبوتان



سیکلوپنتان

رسم فرمول سیکلوآلکان‌ها به این صورت، وقت‌گیر و خسته‌کننده است. برای آسان کردن کار، اغلب از نوشتن اتم‌های کربن و اتم‌های هیدروژن صرف‌نظر می‌شود. بنابراین، فرمول‌های ساختاری هیدروکربن‌های حلقوی بالا را می‌توان به‌صورت خلاصه‌شده زیر نمایش داد:



سیکلوپروپان

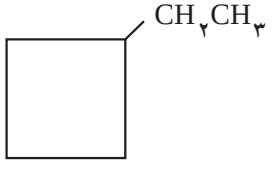
سیکلوبوتان

سیکلوپنتان

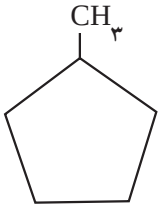
نکته

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

هیدروکربن‌های حلقوی، ممکن است دارای یک یا چند شاخهٔ جانبی نیز باشند. اگر تنها یک شاخه جانبی وجود داشته باشد، به شماره‌گذاری حلقه نیازی نیست، زیرا تمام مواضع حلقه یکسان هستند. به مثال‌های زیر توجه کنید:

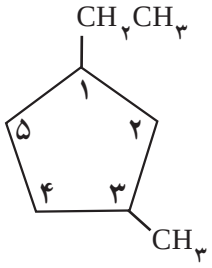


اتیل سیکلوبوتان

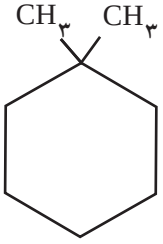


متیل سیکلوپنتان

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



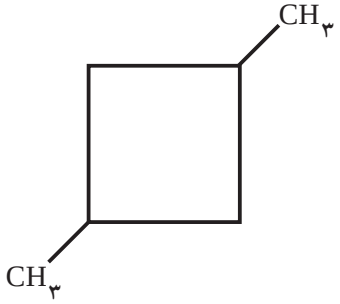
۱ـ اتیل ـ ۳ـ متیل سیکلوپنتان



۱،۱ـ دی متیل سیکلوهگزان

توجه: (۱ـ اتیل ـ۴ـ متیل سیکلوپنتان درست نیست.)

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



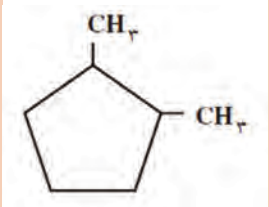
حل:

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

۳،۱ـ دی متیل‌سیکلوبوتان

تمرین ۱۷

۱ هیدروکربن داده‌شده را نام‌گذاری کنید:



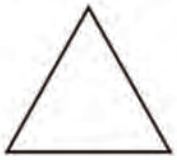
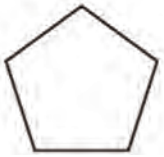
۲ فرمول‌های ساختاری هیدروکربن‌های زیر را بنویسید:

الف) ۱،۱ـ دی‌اتیل سیکلوپروپان ب) n ـ پروپیل سیکلوپنتان

بررسی نقطه ذوب و جوش سیکلوآلکان‌ها

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

جدول ۵ـ مقایسهٔ دمای ذوب و جوش n ـ آلکان‌ها و سیکلوآلکان‌ها

n ـ آلکان و سیکلوآلکان	فرمول	دمای ذوب ($^{\circ}C$)	دمای جوش ($^{\circ}C$)
پروپان	$CH_3CH_2CH_3$	-۱۸۷	-۴۲
سیکلوپروپان		-۱۲۷	-۳۳
n ـ بوتان	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	-۱۳۵	-۰/۵
سیکلوبوتان		-۹۰	۱۳
n ـ پنتان	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	-۱۳۰	۳۶
سیکلوپنتان		-۹۴	۴۹
n ـ هگزان	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	-۹۵	۶۹
سیکلوهگزان		۷	۸۱

تمرین ۱۸

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

الف) سیکلوپنتان ب) n ـ پنتان ج) ۲ـ متیل‌بوتان

پرسش‌های پایانی

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

الف) تعداد پیوندهای میان اتم‌ها

ب) تعداد جفت الکترون‌های پیرامون هر اتم

ج) ظرفیت کربن

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

الف) ۱ـ بوتن ب)۲ـ پنتن ج) ۲ـ متیل بوتن د) ۲ـ متیل پروپن

فرمول ساختاری ایزومرهای احتمالی را رسم کنید.

۳ نام آیوپاک هریک از آلکین‌های زیر را بنویسید:

الف) $CH_3CH_2CH_2C \equiv CH$

ب) $CH_3CH_2C \equiv CCH_3$

ج) $CH_3C \equiv C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH(CH_3)_2$

۴ ساختار فراوردهٔ عملی به‌دست‌آمده از واکنش ۱ـ هگزین را با واکنش‌گرهای زیر بنویسید:

الف) هیدروژن (دو مول)، پلاتین

ب) هیدروژن کلرید (یک مول)

پ) هیدروژن کلرید (دو مول)

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

الف) ۲ـ بوتین و بوتان

ب) ۱ ـ بوتین و ۱ـ بوتین

پ) ۱ ـ بوتین و ۱ ـ بوتن

ث) ۲ ـ بوتن و بوتان

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

جدول ارزشیابی پودمان به‌کارگیری هیدروکربن‌های آلیفاتیک

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
هیدروکربن‌های آلیفاتیک	کاربرد آلکن‌ها	رسم ساختار و نام‌گذاری و رسم ایزومرهای آلکن‌ها و آلکین‌ها و سیکلوآلکان‌ها را انجام دهد. ■ کاربرد هیدروکربن‌های الیفاتیک را توضیح دهد.	بالاتر از حد انتظار	■ چگونگی واکنش‌های آلکن‌ها و آلکین‌ها را شرح دهد.	۳
	کاربرد آلکین‌ها و سیکلوآلکان‌ها		در حد انتظار	■ ساختار سیکلوآلکان‌ها، آلکن‌ها و آلکین‌ها را رسم و آنها را نام‌گذاری کند. ■ ایزومرهای آلکن‌ها و آلکین‌های اولیه را رسم کند. ■ بسپارش و خواص بسپارها را بیان کند. ■ روش تهیه اتیلن و استیلن را شرح دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	شاخص‌های «در حد انتظار» را با بیش از یک اشتباه انجام دهد.	۱
	نمرهٔ مستمر از ۵				
	نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
	نمرهٔ پودمان از ۲۰				