فصل ۳

پوشاک، نیازی پایان ناپذیر

يٰبَنِيٓ ءَادَمَ قَدْ أَنزَلْنَا عَلَيْكُمْ لِبَاسًا يُوَارِي سَوْءَاتِكُمْ وَ رِيشًا... (سورهٔ اعراف ـ آیهٔ ۲۶)

ای فرزندان آدم! لباسی برای شما فرو فرستادیم که شما را می‌پوشاند و مایهٔ زینت شماست و...

خداوند یکتا و آفریدگار هستی، جانوران را با پوشش‌هایی مانند پشم، پر، فلس و... آفریده است. انسان با بهره‌مندی از هوش و تجربه‌های برگرفته از طبیعت توانست نخستین پوشش خود را از پشم، مو و پوست جانوران تهیه کند. او با گذشت زمان از بافت‌های گیاهی نیز برای پوشش خود استفاده کرد. در گذر زمان با تشکیل جوامع بشری، پوشش انسان‌ها افزون بر پیشرفت و تبدیل شدن به صنعتی به نام پوشاک، دچار تنوع و گوناگونی شد، به‌طوری که امروزه پوشاک به شرایط آب و هوایی، فرهنگ، آداب و رسوم، باورها و... در هر جامعه بستگی دارد. اما اینکه پوشاک از چه موادی و چگونه تهیه می‌شوند؟ نقش دانش و فناوری در صنعت پوشاک چیست؟ ما را بر آن می‌دارد تا با بهره‌گیری از دانش شیمی در این فصل، درصدد یافتن پاسخ پرسش‌هایی از این دست باشیم.

انسان در طول تاریخ، همواره به دنبال تهیهٔ پوشاک مناسب بوده است. پوشاک افزون بر پوشش بدن، در تمدن بشری نقش بزرگی داشته است آن‌چنان که نوع پوشاک در هر قوم، نشان‌دهندهٔ توانایی و مهارت دستی، هنر، تصویرگری، دانش، فناوری و نیز آداب و رسوم آن قوم است. پوشاک، بدن را در برابر عوامل محیطی گوناگون مانند سرما و گرما، نور خورشید، باران، تگرگ، گزند حشرات و... نیز محافظت می‌کند. برای مثال کلاه لبه‌دار، سر و صورت را در برابر تابش نور خورشید و آفتاب سوختگی و نیز پوشیدن کفش، پاها را در برابر خاک، سنگ، اشیای سخت، سردی و داغی زمین محافظت می‌کند (شکل ۱).

شکل ۱ـ برخی پوشش‌ها برای حفاظت بدن در برابر عوامل محیطی

با رشد و گسترش دانش و فناوری در صنایع و ایجاد نیازهای جدید و خاص، پوشاک گوناگونی مانند انواع کلاه ایمنی، کفش پنجه فولادی، عینک ایمنی و... تولید شد. پوشش‌هایی که هر کدام ایمنی فیزیکی بدن را در شرایط دشوار و خطرناک به‌ویژه هنگام انجام فعالیت‌ها افزایش می‌دهد. به تازگی بشر با تکیه بر دانش و فناوری‌های نو توانسته است انواع تازه‌ای از پوشاک تولید کند که از بدن در برابر مواد شیمیایی مانند اسیدها، سموم، بخارهای سمی و غلیظ، پرتوها، آلودگی‌های عفونی، آتش، گلوله و... محافظت می‌کند (شکل ۲).

(الف) (ب) (پ)

شکل ۲ـ چند نمونه پوشاک، الف) لباس غواصی، ب) لباس فضانورد، پ) لباس آتش نشان

انسان در گذشته پوشاک خود را از مواد طبیعی مانند پشم گوسفند و شتر، پوست و چرم، پنبه و... تهیه می‌کرد. با رشد جمعیت جهان، مصرف پوشاک به میزان چشمگیری افزایش یافت، به طوری‌که روش‌های سنتی تولید پوشاک دیگر پاسخگوی نیازهای جامعه نبود.

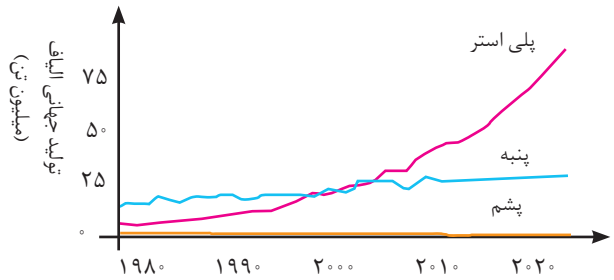
آیا می‌دانید

یافته‌های باستان‌شناسی نشان می‌دهد که پیشینهٔ ریسندگی و بافندگی از الیافی مانند پشم، ابریشم، پنبه و کتان به هزاران سال پیش برمی‌گردد. به دیگر سخن، نساجی از کهن‌ترین صنایع در تمدن بشری است که با دوک نخ‌ریسی پا به عرصهٔ ظهور گذاشت.

آیا می‌دانید

سنگ‌نگاره‌ای با قدمتی حدود ۳۰۰۰ سال، تصویر یک زن عیلامی را در حال نخ‌ریسی نشان می‌دهد که خدمتگزاری در حال باد زدن اوست.

به‌همین دلیل صنعت نساجی به شکل صنعتی و امروزی پدیدار شد، صنعتی که با بهره‌گیری از فناوری‌های نو به تولید پوشاک پرداخت. اما موفقیت این صنعت در گروِ تأمین **الیاف**[1] مورد نیاز بود. از آنجا که منابع طبیعی محدود بود، الیاف تولید شده پاسخگوی نیاز صنایع نساجی و جامعه نبود. گویی زمان آن رسیده بود که شیمی‌دان‌ها طلای سیاه را به‌کار بگیرند و الیافی جدید تولید کرده و راهی شرکت‌های نساجی کنند. با گذشت زمان تلاش شیمی‌دان‌ها نتیجه داد و در طول چند دهه، انواع گوناگونی از الیاف ساختگی بر پایهٔ نفت، شناسایی و تولید شد؛ الیافی که جایگزین الیاف طبیعی شد و امروزه بخش عمده پوشاک را تشکیل می‌دهد. آمارها نشان می‌دهند که در سال ۲۰۱۴ میلادی نزدیک به صد میلیون تن انواع الیاف در جهان تولید و مصرف شده است (نمودار ۱).



نمودار ۱ـ روند تولید الیاف پشمی، نخی و پلی استری در جهان.

خود را بیازمایید

در هریک از جاهای خالی یکی از واژه‌های «**نخ**[2]، **الیاف**، **دوزندگی**، **فراوری و بافندگی**» را قرار دهید.

.....

ریسندگی

.....

.....

پارچهٔ خام

.....

پارچهٔ آماده استفاده

آیا می‌دانید

الیاف جمع لیف است. لیف رشته‌های نازک، بلند و مومانندی با استحکام و انعطاف‌پذیری مناسب است. از کنار هم قرار گرفتن این رشته‌ها، الیاف به دست می‌آید. در واقع با تنیدن لیف‌ها، الیاف را تولید می‌کنند.

میزان نسبی الیاف تولیدشده در جهان

آیا می‌دانید

با وجود گسترش صنعت نساجی و پوشاک، تولید فراورده‌های دستی به دلیل بی‌نظیر، محدود و خاص بودن اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در زندگی انسان‌ها دارند. کفش گیوهٔ اورامانات یکی از این موارد است. کفشی که دست‌دوز بوده و همتایی ندارد. این پوشش بسیار انعطاف‌پذیر، سبک و محکم است و امکان جابه‌جایی هوا دارد. این کفش در زبان محلی به کِلاش معروف است.

۱ـ Fibers
۲ـ Reel

در میان تار نما ها

با مراجعه به منابع اینترنتی معتبر دربارهٔ نام و ویژگی‌های برخی پوشاک اقوام ایرانی اطلاعاتی جمع‌آوری و به کلاس گزارش کنید.

الیاف ساختگی، الیافی هستند که در طبیعت یافت نمی‌شود بلکه از واکنش بین مواد شیمیایی در شرکت‌های پتروشیمی تولید می‌شوند. در واقع اغلب فراورده‌های پتروشیمیایی برای تولید انواع گوناگون الیاف مانند پلی‌استر، نایلون و... به‌کار می‌روند. از این الیاف افزون بر تهیهٔ پارچه و پوشاک، به طور گسترده‌ای در تهیهٔ انواع پوشش‌ها، ظروف نچسب، یکبار مصرف و پلاستیکی، فرش، پرده و... استفاده می‌شود.

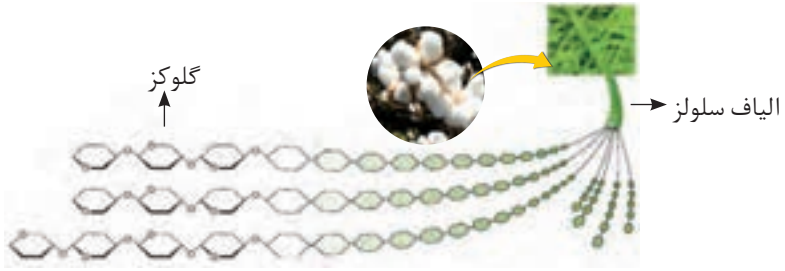
اکنون این پرسش‌ها مطرح می‌شوند که الیاف ساختگی چه موادی هستند؟ چه ساختاری دارند؟ چه رابطه‌ای بین ساختار و رفتار آنها وجود دارد؟ آیا شناخت ویژگی‌های ماده و به‌ویژه ترکیب‌های آلی می‌تواند به تولید الیاف جدید منجر شود؟ آیا می‌توان الیافی تهیه کرد که در پزشکی به‌کار آید؟ واکنش‌های شیمیایی تولید الیاف در چه شرایطی انجام می‌شوند؟ مولکول‌های سازندهٔ الیاف چه ویژگی‌هایی دارند؟ برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها و پرسش‌هایی از این دست با ما همراه شوید.

آیا می‌دانید

سلولز از اتصال حدود ۳۰۰۰ مولکول گلوکز به یکدیگر تشکیل می‌شود، از این‌رو فرمول مولکولی آن به تقریب $C_{18000}H_{30002}O_{15001}$ است. با این توصیف جرم مولی سلولز در حدود ۴۸۷۰۰۰ گرم است. توجه کنید هر مولکول سلولز هنوز آن‌قدر کوچک است که قابل دیدن نیست.

الیاف و درشت مولکول‌ها[1]

پنبه یکی از الیاف طبیعی است که در تولید پوشاک سهم قابل توجهی دارد. آمارها نشان می‌دهد که حدود نیمی‌از لباس‌های تولیدی در جهان از پنبه تهیه می‌شود. از پنبه افزون بر تولید پوشاک در تولید رویهٔ مبل، پرده، تور ماهیگیری، گاز استریل و... استفاده می‌شود. می‌دانید که الیاف پنبه از سلولز تشکیل شده، زنجیری بسیار بلند که از اتصال شمار بسیار زیادی مولکول گلوکز به یکدیگر ساخته می‌شود (شکل ۳). با این توصیف شمار اتم‌های سازندهٔ هر مولکول سلولز، بسیار زیاد بوده و اندازهٔ مولکول آن بزرگ است.



شکل ۳ـ نمایی ساده از الیاف سلولز و مولکول‌های سازندهٔ آن در پنبه

۱ـ Macromolecules

با هم بیندیشیم

با توجه به شکل‌های زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.

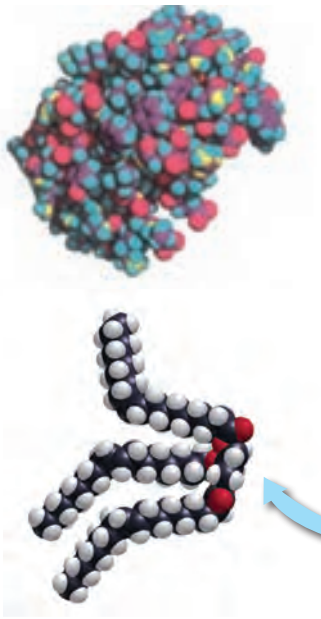
الف) جدول را کامل کنید.

نام ماده	اندازهٔ مولکول		جرم مولی		شمار اتم‌ها	
	کوچک یا متوسط	بسیار بزرگ	کم یا متوسط	بسیار زیاد	کم یا متوسط	بسیار زیاد
آب						
پلی اتن						
پروپان						
نشاسته گندم						
انسولین		*		*		*
سلولز						
روغن زیتون						

ب) به دسته‌ای از ترکیب‌های جدول، درشت مولکول می‌گویند. این مفهوم را در یک سطر تعریف کنید.

آیا می‌دانید

انسولین، هورمون تنظیم کننده قند خون است. شکل زیر نمایی از ساختار این هورمون را نشان می‌دهد.



آیا می‌دانید

نام ماده	جرم مولی ($g\,mol^{-1}$)
اتن	۲۸/۰۵
اتانول	۴۶/۰۷
انسولین	۵۸۳۱/۶۵
نایلون	$۱۰^{۴}$ - $۱۰^{۶}$
پلی اتن	$۱۰^{۴}$ - $۱۰^{۵}$

پ) درشت مولکول‌های جدول صفحهٔ پیش را با هم مقایسه کنید. چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی دارند؟

ت) در کدام مولکول‌ها بخش‌هایی هست که در سرتاسر مولکول تکرار شده است؟

ث) سلولز و نشاسته، پلیمر (بسپار) اند، با توجه به ساختار آنها پلیمر را تعریف کنید.

ج) پیش‌بینی کنید نیروی بین مولکولی در کدام دسته از مواد قوی‌تر است؟ چرا؟

● واژهٔ پلیمر از واژهٔ یونانی polys، به معنای «بسپار» و meros به معنای «پاره» گرفته شده است.

آیا می‌دانید

مولکول‌های گاز اتن در دمای ۵۰۰°C و فشار ۱۰۰۰ atm و در حضور کاتالیزگر مناسب با یکدیگر واکنش داده و به پلی‌اتن تبدیل می‌شوند.

می‌دانید که مادهٔ مولکولی، ماده‌ای است که ذره‌های سازندهٔ آن مولکول‌ها هستند. برای مثال کربن دی اکسید(CO_2)، برم(Br_2)، متان(CH_4)، آب(H_2O)، آمونیاک (NH_3)، گوگرد تری اکسید(SO_3)، هیدروکربن‌ها و... نمونه‌هایی از این ترکیب‌ها هستند. این مولکول‌ها کوچک اند و شمار اتم‌های سازندهٔ آنها کم، در نتیجه جرم مولی آنها کم تا متوسط است. درحالی‌که مولکول برخی ترکیب‌ها مانند سلولز، نشاسته و پروتئین‌موجود در پشم، ابریشم و... بسیار بزرگ است به طوری که شمار اتم‌های آنها به ده‌ها هزار می‌رسد، از این‌رو به درشت مولکول معروف‌اند. درشت مولکول‌های دیگری مانند پلی‌اتن، نایلون، تفلون و... نیز وجود دارند که در طبیعت یافت نمی‌شوند و ساختگی هستند. این مواد از واکنش پلیمری شدن (بسپارش) تهیه می‌شوند.

آیا می‌دانید

شیمی آلی[1] به مطالعهٔ ساختار، خواص، ترکیب‌ها، واکنش‌ها و تهیهٔ مواد کربن‌داری می‌پردازد که نه تنها شامل هیدروکربن‌ها می‌شود بلکه در ساختار این مواد، اتم عنصرهای دیگری مانند اکسیژن، نیتروزن، هالوژن، فسفر و گوگرد نیز وجود دارد. این شاخه از علم شیمی در آغاز محدود به ترکیب‌های تولیدشده توسط موجودات زنده بود اما امروزه به مواد ساختهٔ بشر همانند انواع پلاستیک‌ها نیز گسترش یافته است.

پلیمری شدن[2] (بسپارش)

پلیمری شدن واکنشی است که در آن مولکول‌های کوچک در شرایط مناسب به یکدیگر متصل می‌شوند و مولکول‌هایی با زنجیرهای بلند و جرم مولی زیاد تولید می‌کنند. برای نمونه هرگاه گاز اتن را در فشار بالا گرما دهیم، جامد سفیدرنگی به دست می‌آید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که جرم مولی این فراورده، اغلب ده‌ها هزار گرم بر مول است. زیاد بودن جرم مولی بیانگر این است که در ساختار هر مولکول آن هزاران اتم کربن و هیدروژن وجود دارد. معادلهٔ زیر واکنش شیمیایی انجام شده را توصیف می‌کند.

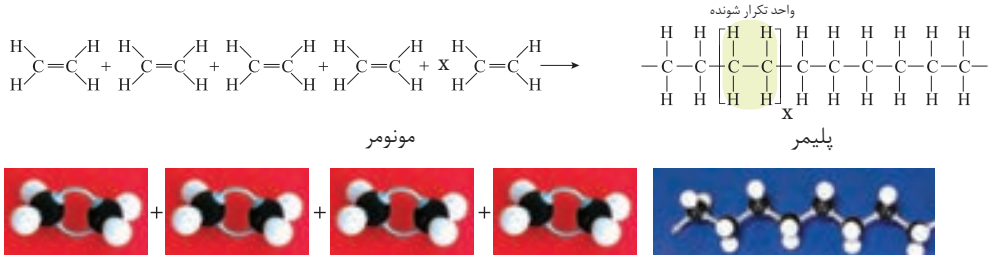
$$n\,CH_2=CH_2(g) \xrightarrow{\text{گرما و فشار}} +(CH_2-CH_2)_n+ (s)$$

اتن — پلی اتن

با دقت در ساختار پلی‌اتن (فراورده) در می‌یابید که هیدروکربنی سیر شده است زیرا هر اتم کربن در آن با چهار پیوند اشتراکی یگانه به چهار اتم دیگر متصل است، درحالی‌که در یک مولکول اتن هر اتم کربن به سه اتم دیگر متصل است. با این توصیف در طی این واکنش یکی

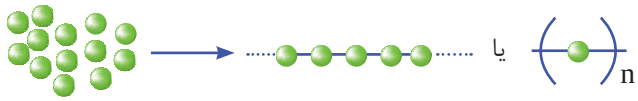
۱ـ Organic Chemistry ۲ـ Polymerization

از پیوندهای دوگانه در اتن شکسته شده و مولکول‌های اتن از سوی اتم‌های کربن به یکدیگر متصل می‌شوند. با ادامهٔ این روند، شمار زیادی از مولکول‌های اتن به یکدیگر افزوده شده و مولکول‌هایی با زنجیر کربنی بلند ایجاد می‌شوند (شکل ۴).



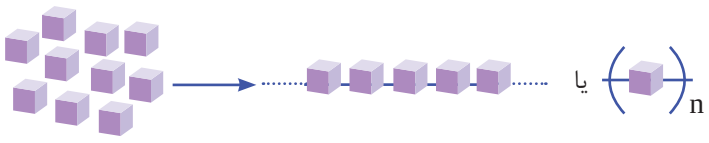
شکل ۴ـ نمایی از واکنش تشکیل پلی اتن

به واکنش‌دهنده‌ها در واکنش پلیمری شدن، **مونومر**[1] (تک‌پار) می‌گویند. در این واکنش‌ها شمار زیادی از مونومرها با یکدیگر واکنش می‌دهند و پلیمر را می‌سازند. مطابق شکل ۴ مونومرهای اتن به یکدیگر افزوده می‌شوند و پلی‌اتن را پدید می‌آورند. با دقت در ساختار پلی‌اتن در می‌یابید که این ترکیب از تکرار مجموعه‌ای از اتم‌های کربن و هیدروژن به نام واحد تکرارشونده پدید آمده است. توجه کنید که تعیین تعداد دقیق مونومرهای شرکت‌کننده در یک واکنش پلیمری شدن ممکن نیست و تاکنون هیچ قاعده‌ای برای اتصال شمار مونومرها به یکدیگر ارائه نشده است. به همین دلیل برای پلیمرها نمی‌توان فرمول مولکولی دقیقی نوشت. شیمی‌دان‌ها برای نمایش آنها، واحد تکرار شونده را درون کمانک نوشته و زیروند n را جلوی آن می‌نویسند (شکل ۵ـ الف و ب).



شکل ۵ـ الف) الگوی تشکیل یک پلیمر

بدیهی است که براساس الگوی بالا با تغییر مونومر، پلیمری جدید با ساختار و خواص متفاوت می‌توان تهیه کرد (شکل ۵ـ ب).



شکل ۵ـ ب) الگوی تشکیل یک پلیمر دیگر

آیا می‌دانید

سالانه در حدود ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ کیلوگرم بسپار در شرکت‌های پتروشیمی در سراسر دنیا تولید می‌شود، به طوری که سرانه آن به ازای هر نفر حدود ۱۵ کیلوگرم برآورد می‌شود.

تاکنون حدود ۶۰۰۰۰ نوع پلیمر ساختگی تولید شده است.

۱ـ Monomer

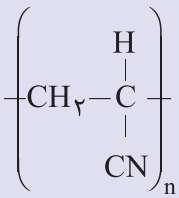
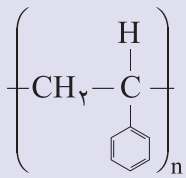
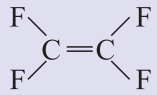
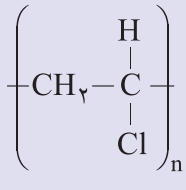
به یاد داشته باشید هر ترکیب آلی که در ساختار خود پیوند دوگانهٔ کربن-کربن ($\rangle C=C\langle$) در زنجیر کربنی داشته باشد، می‌تواند در این نوع واکنش پلیمری شدن شرکت کند. بر همین اساس، ترکیب‌های سیر نشده و حاوی چنین پیوندی در زنجیر کربنی می‌توانند در صنایع پتروشیمی با تأمین شرایط مناسب واکنش داده و پلیمرهای گوناگونی تولید کنند.

آیا می‌دانید

پلی‌وینیل‌استات پلیمری است که در تهیهٔ انواع پاستیل به‌کار می‌رود.

خود را بیازمایید

در جدول زیر هر یک از جاهای خالی را پر کنید.

کاربرد پلیمر	نام و ساختار پلیمر	نام و ساختار مونومر
پتو	 پلی سیانو اتن	....
سرنگ	..... پلی پروپن	$CH_2=C(H)(CH_3)$ پروپن
ظروف یکبار مصرف		..... اِستیرن
نخ دندان	..... تفلون	 تترافلوئورواتن
کیسهٔ خون	 پلی وینیل کلرید	....

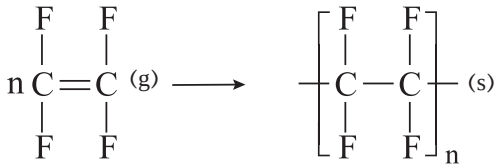
آیا می‌دانید

قراردادن لایه‌ای از پلی‌وینیل کلرید بین دو صفحهٔ شیشه‌ای مانع از فرو ریختن خرده‌های آن در اثر ضربه می‌شود.

پیوند با زندگی

«بخت، یار ذهن‌های آماده است»

تفلون نام تجاری پلیمری است که کشف اتفاقی آن، پلانکت را به شهرت و ثروت رساند. ماجرا در دهه ۱۹۳۰ میلادی اتفاق افتاد. پلانکت و گروه پژوهشی او در حال بررسی و مطالعهٔ انواع سردکننده‌ها بودند. یکی از گازهایی که آنها مصرف می‌کردند، تترافلوئورواتن بود. یک روز هنگامی که پلانکت شیر کپسول گاز را باز کرد، متوجه شد که گاز خارج نمی‌شود. او تصور کرد که مسیر خروج گاز بسته است، از این‌رو تلاش کرد تا مسیر را باز کند، اما هیچ‌چیز نبود و او تعجب کرد. کنجکاوی وی سبب شد موضوع را بیشتر پیگیری کند. پلانکت برای یافتن دلیل آن، جرم کپسول را اندازه‌گیری کرد و با نتیجهٔ غیرمنتظره‌ای روبه‌رو شد. جرم کپسول مورد نظر با کپسول پر از گاز برابر بود! پافشاری وی برای حل مسئله، باعث شد تا او کپسول را برش دهد و داخل آن را مشاهده کند. او پس از برش کپسول با منظره تازه‌ای روبه‌رو شد. لایهٔ نازکی از یک مادهٔ جامد ته کپسول تشکیل شده بود. بررسی دقیق‌تر نشان داد که این مادهٔ جامد از پلیمری شدن تترافلوئورواتن به دست آمده است.



ناخودآگاه توفیق بزرگی نصیب پلانکت شده بود زیرا تفلون در مدت کوتاهی کاربردهای گسترده‌ای در صنعت و زندگی یافت (شکل ۶).

شکل ۶ـ برخی کاربردهای تفلون

تفلون، نقطهٔ ذوب بالایی دارد و در برابر گرما مقاوم است. این پلیمر از نظر شیمیایی بی‌اثر است و با مواد شیمیایی واکنش نمی‌دهد، در حلال‌های آلی حل نمی‌شود و نچسب است. این ویژگی‌ها دلیل کاربرد وسیع این پلیمر است.

به نظر شما شانس و اتفاق تا چه اندازه در پیشبرد علم سهم دارند؟

آیا می‌دانید

یافتن روش مناسب و شرایط بهینه برای انجام واکنش‌های شیمیایی آن قدر مهم است که به مناسب‌ترین روش‌ها جایزهٔ نوبل اختصاص می‌دهند. یافتن روش مناسب برای تولید پلی اتن سنگین (بدون شاخه) سال‌ها طول کشید و در نهایت دو شیمی‌دان آلمانی و ایتالیایی به نام‌های کارل زیگلر (Karl Ziegler، ۱۸۹۸-۱۹۷۳) و گیولیو ناتا (Giulio Natta، ۱۹۰۳-۱۹۷۹) برندهٔ جایزهٔ نوبل شیمی شدند. آنها موفق شدند کاتالیزگری بیابند که واکنش پلیمری شدن اتن را بدون ایجاد شاخهٔ فرعی پیش می‌برد.

پیوند با صنعت

پلی‌اتن یکی از مهم‌ترین پلیمرهای ساختگی است که سالانه میلیون‌ها تن از آن در شرکت‌های پتروشیمی تولید شده و برای ساخت وسایل گوناگون استفاده می‌شود (شکل ۷).

شکل ۷ـ برخی کاربردهای پلی‌اتن

همان‌طور که مشاهده می‌کنید کالاهای ساخته شده از پلی‌اتن ویژگی‌های گوناگونی دارند. برخی مانند کیسهٔ پلاستیک موجود در مغازه‌ها و فروشگاه‌ها شفاف بوده و کمی انعطاف‌پذیرند درحالی‌که برخی دیگر مانند لوله‌های پلاستیکی، دبه‌های آب یا بطری کدر شیر، سخت‌تر و محکم‌تر هستند. یک تفاوت آشکار دیگر بین آنها تفاوت در چگالی است. آیا می‌دانید چگونه ممکن است این مواد از یک نوع پلیمر با مونومرهای یکسان تولید شوند، اما ویژگی‌های متفاوت و گاهی متضاد داشته باشند؟ آیا ساختار مولکول‌های سازندهٔ این کالاها یکسان است؟

پلی اتن مذاب را در دستگاهی با عمل دمیدن هوا به ورقهٔ نازک پلاستیکی تبدیل می‌کنند.

یافته‌های تجربی نشان داد که اتن در شرایط گوناگون، با انجام واکنش پلیمری شدن فراورده‌هایی با ساختار متفاوت پدید می‌آورد. نوعی پلی‌اتن، چگالی کمتری داشته و شفاف است، از این‌رو به **پلی‌اتن سبک**[۱] معروف است درحالی‌که **پلی‌اتن سنگین**[۲]، چگالی بیشتری داشته و کدر است. شکل ۸ ساختار کلی این پلی اتن‌ها را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۸ می‌بینید، مولکول‌های اتن می‌توانند به دو صورت به یکدیگر افزوده شوند و دو فراوردهٔ متفاوت ایجاد کنند. مولکول‌های اتن در شرایط معین پشت سرهم به یکدیگر متصل شده و زنجیرهای بلند و بدون شاخه ایجاد می‌شود. اما در

۱ـ Low Density Poly Ethene (LDPE)
۲ـ High Density Poly Ethene (HDPE)

شرایطی دیگر برخی مولکول‌های اتن از کناره‌ها به یکدیگر افزوده شده و زنجیرهای شاخه‌دار تولید می‌شود.

پلی اتن شاخه‌دار　　پلی اتن بدون شاخه

شکل ۸ـ ساختار دو نوع پلی‌اتن

خود را بیازمایید

داده‌های تجربی نشان می‌دهد که چگالی پلی‌اتن‌های نشان داده شده در شکل ۸ برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

الف) کدام چگالی به کدام پلی‌اتن تعلق دارد؟ چرا؟

ب) کدام پلی اتن سبک و کدام سنگین است؟

پ)نیروی بین مولکولی در پلی‌اتن چیست؟

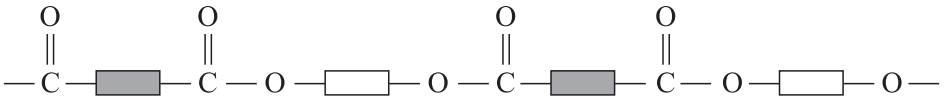
ت) چرا استحکام پلی‌اتن سنگین از سبک بیشتر است؟

تاکنون با پلیمرهایی آشنا شدید که از واکنش مونومرهای دارای پیوند دوگانهٔ کربن-کربن در زنجیر کربنی به دست می‌آیند. افزون بر آنها در صنعت، پلیمرهای دیگری نیز ساخته شده است، پلیمرهایی که در ساختار آنها افزون بر اتم‌های کربن و هیدروژن، اتم‌های دیگری مانند اکسیژن، نیتروژن و... وجود دارند. در ادامه با تهیه، ساختار و کاربرد این پلیمرها آشنا می‌شوید.

پلی استرها

نیاز به تولید پوشاک بیشتر و با کاربردهای گسترده‌تر، شیمی‌دان‌ها را برای یافتن پلیمرهای جدید تشویق می‌کرد. آنها با بررسی رفتار انواع مواد آلی، موفق به تهیه و ساخت پلیمرهایی شدند که در ساختار آنها اتم‌های اکسیژن و نیتروژن نیز وجود داشت. پلی‌استرها دسته‌ای از آنها هستند که از اتم‌های C، H و O تشکیل شده‌اند. از این پلیمرها می‌توان الیاف، نخ و در

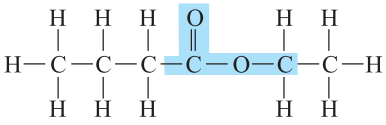
نهایت پارچه‌های پلی‌استری تولید کرد. شکل ۹ نمایی از ساختار کلی پلی استرها را نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ الگویی از ساختار پلی استرها

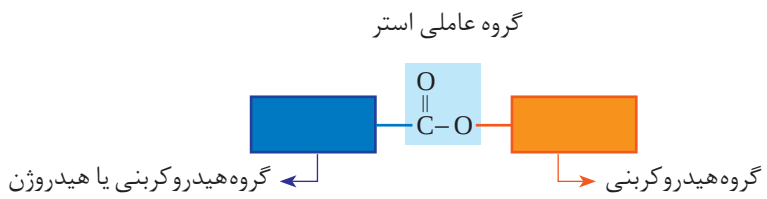
برای اینکه بدانید چنین پلیمرهایی از چه موادی تهیه می‌شوند، افزون بر گروه عاملی هیدروکسیل باید با گروه عاملی کربوکسیل و به‌ویژه گروه عاملی استر و برخی رفتار آنها بیشتر آشنا شوید.

استرها دسته‌ای از مواد آلی هستند که منشأ بوی خوش شکوفه‌ها، گل‌ها، عطرها و نیز بو و طعم میوه‌ها هستند. برای نمونه، بو و طعم خوش آناناس به دلیل وجود اتیل بوتانوات در آن است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ـ فرمول ساختاری و مدل فضا پرکن اتیل بوتانوات

با دقت در ساختار مولکول استر در می‌یابید که به گروه عاملی آن دو بخش یا دو زنجیر هیدروکربنی متصل است. در یک سوی آن گروه هیدروکربنی به اتم اکسیژن و در سوی دیگر آن به اتم کربن این گروه متصل است. در ادامه خواهید دید که گروه عاملی استری از واکنش یک الکل با یک کربوکسیلیک اسید ایجاد می‌شود (شکل ۱۱).



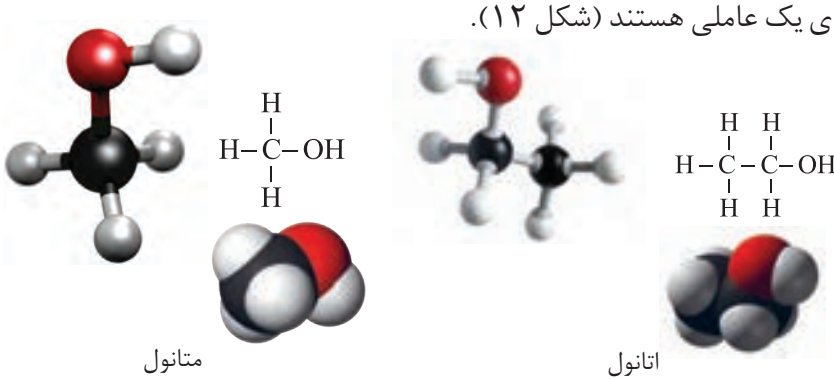
شکل ۱۱ـ نمایش گروه عاملی استر

آیا می‌دانید

بوی خوش گل یاسمن به دلیل وجود نوعی استر است.

الکل‌ها و اسیدها

آموختید الکل‌ها ترکیب‌هایی هستند که در ساختار آنها یک یا چند گروه هیدروکسیل (OH-) با یک پیوند اشتراکی به اتم کربن متصل است. متانول و اتانول دو عضو خانوادهٔ الکل‌های یک عاملی هستند (شکل ۱۲).

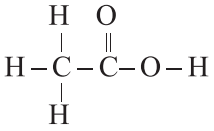


شکل ۱۲ـ فرمول ساختاری، مدل فضاپرکن و گلوله ـ میله برای متانول و اتانول

الکل‌های یک عاملی را می‌توان با فرمول ROH نشان داد که در آن، R یک زنجیر هیدروکربنی است.

کربوکسیلیک اسیدها نیز دسته‌ای دیگر از ترکیب‌های آلی هستند که گروه عاملی کربوکسیل (COOH-) دارند. این ترکیب‌ها مزهٔ ترش دارند به طوری که مزهٔ ترش میوه‌هایی مانند انگور، لیمو ترش، کیوی، گوجه سبز و... ناشی از وجود چنین مولکول‌هایی در آنهاست. متانوئیک (فورمیک) اسید، HCOOH، اولین عضو خانوادهٔ کربوکسیلیک اسیدهاست که بر اثر گزش مورچهٔ سرخ وارد بدن شده و باعث سوزش و خارش در محل گزیدگی می‌شود.

اتانوئیک اسید (استیک اسید) یک اسید دو کربنی است که یکی از پرکاربردترین اسیدها در زندگی روزانه است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳ـ فرمول ساختاری استیک اسید و کاربردی از آن

کربوکسیلیک اسیدهای یک عاملی را می‌توان با فرمول RCOOH یا $R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ نشان داد که در آن R، یک زنجیر هیدروکربنی یا هیدروژن است.

آیا می‌دانید

متانوئیک‌اسید ساده‌ترین اسید آلی است که در سال ۱۶۷۰ کشف شد و چون از تقطیر مورچهٔ سرخ به‌دست می‌آمد، نام فورمیک اسید یا جوهر مورچه بر آن نهادند. در زبان لاتین به مورچه فورمیکا می‌گویند.

با هم بیندیشیم

با توجه به دو ساختار داده شده به پرسش‌ها پاسخ دهید:

CH_3-CH_2-OH

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-OH$

الف) پیش‌بینی کنید چه نوع نیروهای بین مولکولی در این دو الکل وجود دارد؟

ب) مولکول این الکل‌ها دو بخش قطبی و ناقطبی دارند. با توجه به اینکه گشتاور دوقطبی هیدروکربن‌ها حدود صفر است، این دو بخش را در هر مولکول بالا مشخص کنید.

پ) پیش بینی کنید در شرایط یکسان انحلال‌پذیری کدام الکل در آب بیشتر است؟

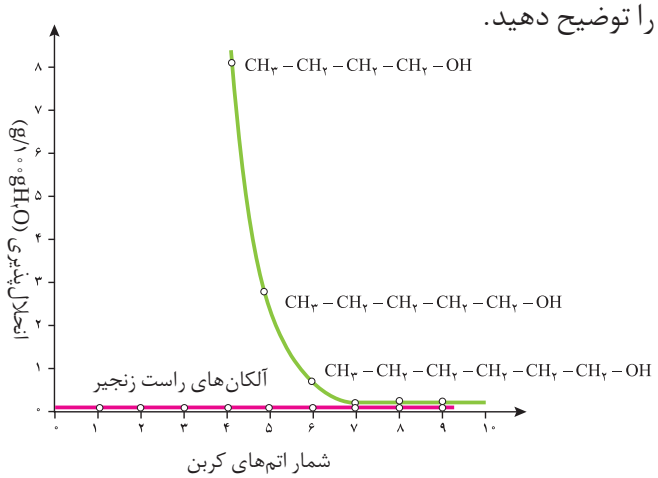
ت) درستی پیش‌بینی خود را با توجه به داده‌های جدول زیر بررسی کنید.

فرمول الکل	انحلال پذیری ($g/100gH_2O$)
CH_3CH_2OH	به هر نسبتی حل می‌شود
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2OH$	۰/۰۴۶

ث) دربارهٔ درستی جمله زیر گفت‌وگو کنید.

«با افزایش طول زنجیر هیدروکربنی در الکل‌ها، نیروی وان‌دروالس بر هیدروژنی غلبه می‌کند و ویژگی ناقطبی الکل افزایش می‌یابد.»

ج) نمودار زیر انحلال پذیری الکل‌ها را در مقایسه با هیدروکربن‌ها در آب نشان می‌دهد. روند تغییر آنها را توضیح دهید.

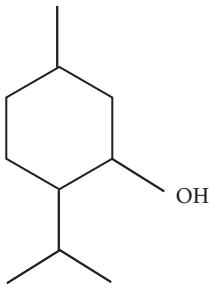


دریافتید که مولکول الکل‌ها دو بخش قطبی و ناقطبی دارد. زنجیر هیدروکربنی، بخش ناقطبی مولکول و گروه عاملی هیدروکسیل، بخش قطبی مولکول را تشکیل می‌دهد. بنابراین

در الکل‌ها دو نوع نیروی بین مولکولی هیدروژنی و وان‌درووالسی وجود دارد. به طوری که در الکل‌های کوچک و تا پنج کربن، بخش قطبی بر ناقطبی غلبه دارد و الکل در آب محلول است. به دیگر سخن، نیروی بین مولکولی غالب در الکل‌ها تا پنج کربن از نوع هیدروژنی بوده و به همین دلیل به‌خوبی در آب حل می‌شوند. اما با افزایش شمار اتم‌های کربن، بخش ناقطبی مولکول بزرگ‌تر شده و میزان قطبیت مولکول کاهش می‌یابد. این روند سبب می‌شود که الکل‌های بزرگ‌تر در آب حل نشوند بلکه در چربی حل شوند. از این رو ویژگی چربی دوستی الکل‌ها با افزایش شمار اتم‌های کربن، افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، هرچه شمار اتم‌های کربن الکل‌ها بیشتر شود، ویژگی آب‌گریزی آنها افزایش می‌یابد.

آیا می‌دانید

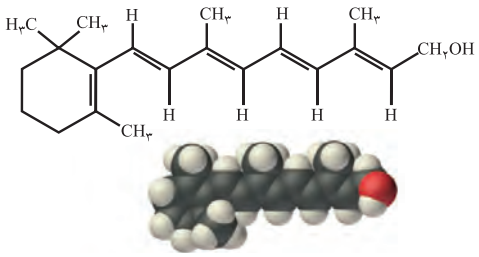
منتول الکلی با فرمول ساختاری زیر است که بوی نعناع و سوسنبر ناشی از آن است. از منتول در تهیهٔ برخی آدامس‌ها، آب‌نبات‌ها و داروها استفاده می‌شود.



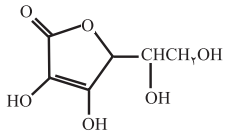
خود را بیازمایید

۱ـ کدام ویتامین‌های زیر در آب و کدام‌ها در چربی حل می‌شود؟ چرا؟

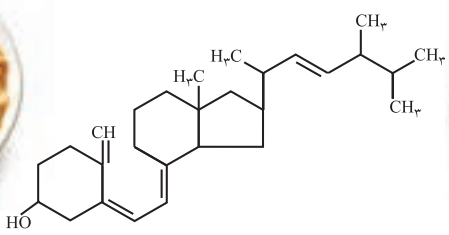
الف) ویتامین آ (A)



ب) ویتامین ث (C)



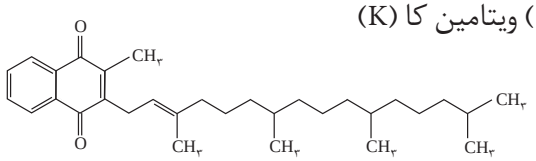
پ) ویتامین دی (D)

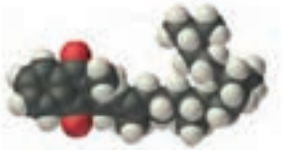


شاید تاکنون با افرادی روبه‌رو شده‌اید که از گرفتگی عضلات، کمردرد، دردهای عضلانی و درد مفاصل رنج می‌برند. این افراد برای کاهش درد خود از پمادهای موضعی گوناگونی استفاده می‌کنند که دارای چندین مادهٔ آلی هستند. یکی از ترکیب‌های آلی موجود در برخی از آنها منتول است.

حفظ کردن فرمول شیمیایی مواد آلی و ارزشیابی از آنها، جزو اهداف کتاب نیست و نباید در آزمون‌های نهایی و کنکور سراسری مورد ارزیابی قرار گیرد.

ت) ویتامین کا (K)





۲ـ مصرف بیش از اندازهٔ کدام دسته از ویتامین‌ها برای بدن مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند؟ چرا؟

۳ـ گروه‌های عاملی موجود در هر یک از ترکیب‌های بالا را مشخص کنید.

۴ـ عبارت زیر را با خط زدن واژهٔ نادرست در هر مورد کامل کنید.

در ترکیب‌های آلی مانند الکل‌ها و کربوکسیلیک اسیدها که دو بخش قطبی و ناقطبی دارند، با افزایش طول زنجیر کربنی بخش $\frac{\text{ناقطبی}}{\text{قطبی}}$ بزرگ‌تر می‌شود، قطبیت مولکول $\frac{\text{کاهش}}{\text{افزایش}}$ می‌یابد و انحلال‌پذیری آن در آب $\frac{\text{بیشتر}}{\text{کمتر}}$ می‌شود.

واکنش استری شدن

یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی کربوکسیلیک اسیدها و الکل‌ها، واکنش میان آنهاست. این مواد در شرایط مناسب واکنش می‌دهند و با از دست دادن آب، به استر تبدیل می‌شوند. معادلهٔ زیر واکنش شیمیایی انجام شده را توصیف می‌کند.

$$\underset{\text{کربوکسیلیک اسید}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH} + \underset{\text{الکل}}{H-OR'} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{استر}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OR'} + H_2O$$

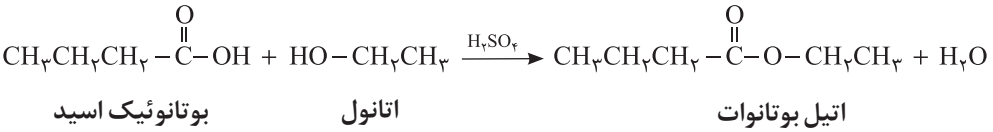
با این توصیف از واکنش استیک اسید با اتانول، طبق معادلهٔ زیر اتیل‌استات به دست می‌آید.

$$\underset{\text{اتانوئیک اسید}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH} + \underset{\text{اتانول}}{HOCH_2CH_3} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{اتیل اتانوات}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_2CH_3} + H_2O$$

آیا می‌دانید

طعم یک مادهٔ غذایی و میوه از کنار هم قرار گرفتن شمار زیادی از ترکیب‌های شیمیایی ایجاد می‌شود. برای مثال، پرتقال دارای ۲۵۰ نوع مادهٔ شیمیایی است که با هم طعم آن را می‌سازند. استرها از مواد اصلی سازندهٔ طعم و بوی مواد غذایی هستند. شیمی‌دان‌ها با شناسایی اجزای سازندهٔ طعم‌های گوناگون، آنها را در آزمایشگاه و صنعت تهیه و تولید می‌کنند.

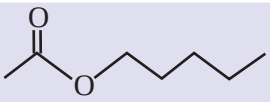
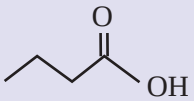
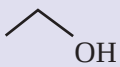
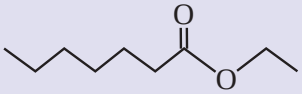
به همین ترتیب می‌توان اتیل بوتانوات را در مقیاس صنعتی تولید و از آن برای تولید شوینده با بوی آناناس استفاده کرد.



بوتانوئیک اسید — اتانول — اتیل بوتانوات

خود را بیازمایید

با رسم ساختار الکل و اسید سازنده برای هر یک از استرهای داده شده در جدول زیر، آن را کامل کنید.

نام میوه	ساختار الکل سازنده	ساختار اسید سازنده	ساختار استر
موز			
سیب	CH_3OH		
انگور			

اکنون با توجه به واکنش استری شدن، می‌توان نتیجه گرفت که از واکنش یک کربوکسیلیک اسید دوعاملی با یک الکل دو عاملی در شرایط مناسب، یک پلی‌استر تولید می‌شود. در مرحلهٔ نخست این واکنش، یکی از گروه‌های هیدروکسیل موجود در الکل با یکی از گروه‌های کربوکسیل موجود در اسید ترکیب شده و با از دست دادن آب، گروه عاملی استری را ایجاد می‌کند (شکل ۱۴).

شکل ۱۴ـ الگویی از واکنش استری شدن بین یک کربوکسیلیک‌اسید و الکل دو عاملی

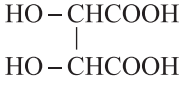
همان‌طور که در شکل ۱۴ می‌بینید در ساختار فراورده، همچنان یک گروه عاملی هیدروکسیل و یک گروه عاملی کربوکسیل وجود دارد. این ساختار نوید می‌دهد که واکنش استری شدن می‌تواند ادامه پیدا کند، آن‌چنان که از یک سو با عامل اسیدی و از سوی دیگر با عامل الکلی در واکنش شرکت می‌کند.

با ادامهٔ این روند مولکول‌های بیشتر و بیشتری با یکدیگر واکنش می‌دهند و سرانجام مولکول‌هایی با زنجیر بلند و شمار زیادی عامل استری تشکیل می‌شود. فراورده‌ای که

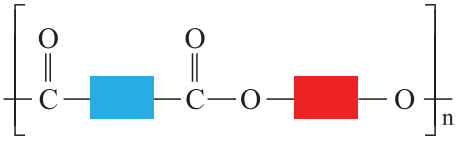
آیا می‌دانید

اسیدهای موجود در انگور و ریواس به ترتیب تارتاریک اسید و اگزالیک اسید نام دارند.

HOOCCOOH



پلی‌استر[1] نامیده می‌شود. الگوی زیر فرمول پلی‌استر تولید شده را نشان می‌دهد.

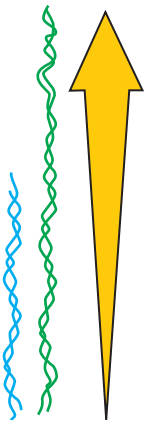


نمایشی از فرمول عمومی پلی‌استر

می‌دانید که رفتار و ویژگی‌های مواد به ساختار آنها بستگی دارد. بنابراین با استفاده از کربوکسیلیک اسیدها و الکل‌های دو عاملی گوناگون، پلی‌استرهایی با ساختار متفاوت و گوناگون می‌توان تهیه کرد. پلیمرهایی که به دلیل داشتن خواص معین و منحصر به فرد، کاربردهای ویژه‌ای دارند. گوناگونی رفتار پلیمرها سبب شد تا شیمی‌دان‌های بیشتری به بررسی واکنش پلیمری شدن علاقه‌مند شوند. نتیجهٔ این بررسی‌ها شناسایی دستهٔ تازه‌ای از پلیمرها بود.

آیا می‌دانید

نخ‌های خیاطی از جنس پلی استر هستند. هر چه مولکول سازندهٔ پلی استر طولانی‌تر باشد، نیروی بین آنها قوی‌تر و استحکام نخ آن بیشتر است.



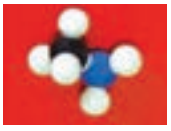
پلی آمیدها

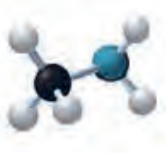
پلیمرهای طبیعی زیادی شناسایی شده است که در ساختار آنها اتم‌های C، H، O و N وجود دارد. مو، ناخن، پوست بدن ما همچنین شاخ حیوانات و پشم گوسفند نمونه‌ای از این پلیمرهای طبیعی هستند. در این دسته از پلیمرها گروه عاملی آمید $\left(\begin{matrix}O\\ \|\\ -C-\end{matrix}\begin{matrix}\\ \\ N-\\ |\end{matrix}\right)$ در طول زنجیر کربنی تکرار شده است (شکل ۱۵).

شکل ۱۵ـ نمونه‌هایی از پلیمرهای طبیعی

عامل آمیدی از واکنش اسید آلی با آمین به دست می‌آید. آمین، ترکیبی آلی است که در ساختار آنها اتم‌های C، H و N وجود دارد. متیل آمین، ساده‌ترین آمین است. وجود اتم نیتروژن، خواص شیمیایی و فیزیکی منحصر به فردی به آمین‌ها داده است (شکل ۱۶). به طوری که بوی ماهی ناشی از آمین‌های موجود در آن است.

بوی ماهی به دلیل وجود متیل آمین و برخی آمین‌های دیگر است.



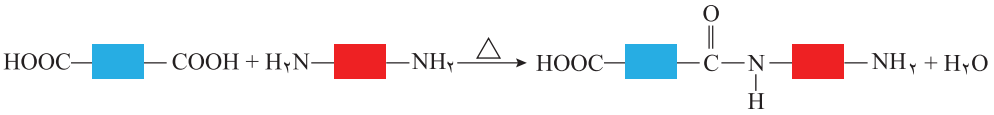


$$CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{N}-H$$

شکل ۱۶ـ فرمول ساختاری، مدل گلوله ـ میله و فضا پرکن متیل آمین

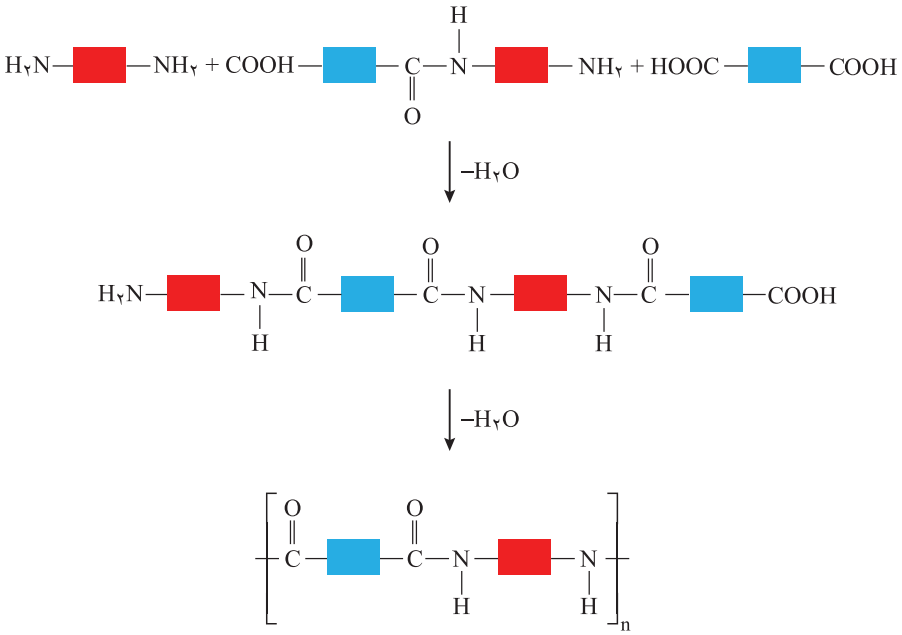
۱ـ Polyester

واکنش تولید پلی آمید شبیه به تولید پلی استر است با این تفاوت که به جای گروه عاملی الکل، گروه عاملی آمین با گروه کربوکسیل واکنش می‌دهد (شکل ۱۷ـ الف).



شکل ۱۷ـ الف) تشکیل گروه آمیدی

با ادامهٔ واکنش، گروه‌های آمیدی بیشتری تشکیل شده و سرانجام **پلی‌آمید**[1] تولید می‌شود (شکل ۱۷ـ ب).



شکل ۱۷ـ ب) الگوی واکنش تشکیل پلی‌آمید

پلی‌آمیدهای ساختگی را در صنایع پتروشیمی از واکنش دی‌آمین‌ها با دی اسیدها تولید می‌کنند. **کِولار**[2] یکی از معروف‌ترین پلی‌آمیدها است. این پلیمر از فولاد هم جرم خود پنج‌برابر مقاوم‌تر است. از کولار در تهیهٔ تایر اتومبیل، قایق بادبانی، لباس‌های مخصوص مسابقهٔ موتورسواری و جلیقه‌های ضدگلوله استفاده می‌شود (شکل ۱۸).

● پوشاک دوخته شده از کولار سبک و بسیار محکم بوده و در برابر ضربه، خراش و بریدگی مقاوم است. این پلیمر تاکنون جان میلیون‌ها انسان را در حوادث گوناگون نجات داده است.

شکل ۱۸ـ برخی کاربردهای کولار

۱ـ Ployamide

۲ـ Kevlar

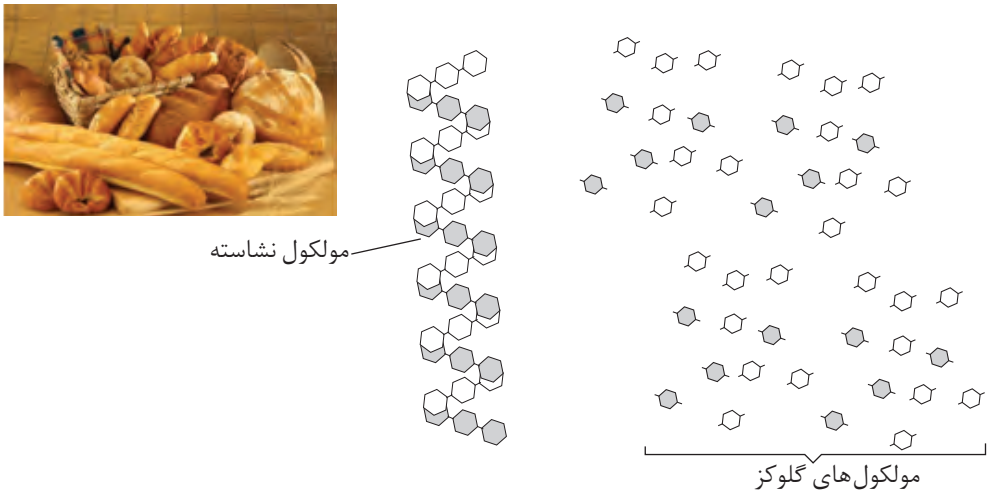
پلیمرها، ماندگار یا تخریب پذیر

آیا نان یا سیب زمینی مزه‌ای شیرین دارد؟ نان و سیب‌زمینی از نشاسته غنی هستند. نشاسته، پلی‌ساکاریدی است که از اتصال مولکول‌های گلوکز به یکدیگر تشکیل شده است. اینک پاسخ شما به پرسش بالا چیست؟ واقعیت این است که اگر نان را برای مدت طولانی‌تری در دهان بجَوید، مزه‌ای شیرین احساس خواهید کرد. سیب زمینی پخته نیز اندکی مزهٔ شیرین دارد. این مزهٔ شیرین ناشی از چیست؟

شیمی‌دان‌ها بر اساس یافته‌های تجربی دریافته‌اند که مولکول‌های نشاسته در شرایط مناسب مانند محیط مرطوب با کاتالیزگر یا محیط گرم و مرطوب به آرامی به مونومرهای سازنده (گلوکز) تجزیه می‌شوند و مزهٔ شیرین ایجاد می‌کنند. نشاسته هنگام گوارش (که از دهان آغاز می‌شود) به گلوکز تبدیل می‌گردد. در واقع گوارش نشاسته شامل واکنش شیمیایی تجزیهٔ آن است که به کمک آنزیم‌ها تسریع می‌شود (شکل ۱۹).

آیا می‌دانید

برخی میوه‌های کال و نارس نشاسته دارند. این نشاسته هم‌زمان با رسیدن میوه به گلوکز تبدیل می‌شود و مزهٔ شیرین آن را ایجاد می‌کند. البته شیرینی میوه‌ها به دلیل وجود دیگر قندهای ساده از جمله فروکتوز نیز هست.



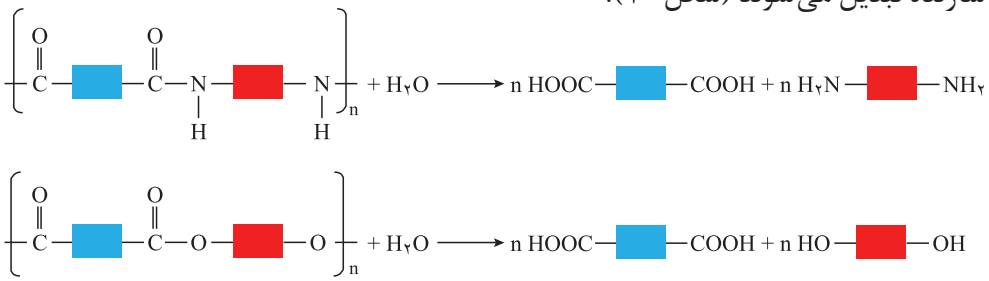
شکل ۱۹ـ واکنش تجزیهٔ نشاسته و تبدیل آن به مونومرهای سازنده

استرها نیز در شرایط مناسب با آب واکنش می‌دهند و به الکل و اسید آلی سازنده تبدیل می‌شوند.این واکنش به آب‌کافت استرها معروف است. برای نمونه معادلهٔ زیر آب‌کافت اتیل‌بوتانوات را نشان می‌دهد که اتانول و بوتانوئیک اسید را تولید می‌کند.

$$CH_3CH_2CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2CH_3 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3CH_2CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + HO-CH_2CH_3$$

اتیل بوتانوات — بوتانوئیک اسید — اتانول

پلی‌آمیدها و پلی‌استرها نیز در شرایط مناسب با آب واکنش می‌دهند و به مونومرهای سازنده تبدیل می‌شوند (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ـ الف) نمایی کلی از واکنش‌های تجزیه پلی‌آمید و ب) تجزیه پلی‌استر

با توجه به اینکه هر نوع پوشاک تاریخ مصرفی دارد می‌توان گفت پس از مدتی تار و پود آنها سست و پوسیده می‌شوند زیرا مولکول‌های پلیمر سازندهٔ آنها با مولکول‌های موجود در محیط پیرامون واکنش می‌دهند و برخی از پیوندهای موجود در ساختار آنها مانند پیوند استری یا آمیدی شکسته می‌شوند. با شکستن این پیوندها، استحکام الیاف پارچه کم شده و تار و پود آن به سادگی گسسته می‌شود. بدیهی است که هرچه آهنگ شکستن این پیوندها سریع‌تر باشد، فرایند پوسیده شدن پارچه سریع‌تر رخ می‌دهد.

● مواد زیست تخریب‌پذیر موادی هستند که در طبیعت توسط جانداران ذره‌بینی به مولکول‌های ساده و کوچک مانند کربن دی‌اکسید، متان، آب و... تبدیل می‌شوند. پلیمرهای طبیعی زیست‌تخریب‌پذیرند.

خود را بیازمایید

۱ـ در کدام شرایط زیر لباس‌های نخی زودتر پوسیده می‌شوند؟ چرا؟

الف) محیط سرد و خشک　　ب) محیط گرم و مرطوب

۲ـ چرا استفادهٔ بی رویه از شوینده‌ها در شستن لباس‌ها سبب پوسیده شدن سریع‌تر آنها می‌شود؟

۳ـ اگر لباس‌ها را برای مدت طولانی در محلول آب و شوینده قرار دهید، بوی بد و نافذی پیدا می‌کنند. توضیح دهید چه رخ می‌دهد؟

۴ـ برای شستن تمیزتر لباس‌ها از شوینده‌ها و سفیدکننده‌ها استفاده می‌کنند. اگر سفیدکننده‌ها را به‌طور مستقیم روی لباس بریزند، رنگ لباس در محل تماس به سرعت از بین می‌رود. اما اگر سفیدکننده را در آب بریزید سپس لباس را درون محلول فرو ببرید، تغییر محسوسی در رنگ لباس ایجاد نمی‌شود. چرا؟

۵ـ لباس‌های پلی‌استری در اثر عوامل محیطی در طول زمان پوسیده می‌شوند. این پوسیده شدن به معنی شکستن پیوندهای استری و سست شدن تار و پود لباس است. جدول صفحهٔ بعد داده‌های مربوط به واکنش تجزیهٔ یک نوع استر را در حضور اسید نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید:

[استر]	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۸
زمان (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰

الف) نمودار تغییر غلظت استر برحسب زمان را رسم کنید.

ب) سرعت متوسط تجزیهٔ استر در بازهٔ زمانی صفر تا ۳۰ ثانیه چند مول بر لیتر بر ثانیه است؟

پ) سرعت واکنش در کدام بازه زمانی بیشتر است؟ چرا؟

صفر تا ۲۰ ثانیه ۶۰ تا ۹۰ ثانیه

هرچند پلی‌استرها و پلی‌آمیدها تجزیه می‌شوند، اما آهنگ تجزیهٔ آنها به ساختار مونومرهای سازنده بستگی دارد. بنابراین بسته به جنس لباس، زمان استفاده از لباس‌ها متفاوت است. تجربه نشان می‌دهد که به‌طور کلی واکنش تجزیهٔ پلی‌استرها و پلی‌آمیدها بسیار کند است. به همین دلیل لباس‌های تهیه شده از این نوع پارچه‌ها برای مدت‌های طولانی قابل استفاده است زیرا استحکام خود را حفظ می‌کنند. این در حالی است که پلیمرهای حاصل از هیدروکربن‌های سیرنشده، به انجام واکنش تمایلی ندارند و از این رو پوشاک و پوشش‌های تهیه شده از این مواد در طبیعت تجزیه نمی‌شوند و برای سالیان طولانی دست نخورده باقی می‌مانند. در واقع پلیمرهای ماندگارند. علت این است که این پلیمرها، ساختاری شبیه به آلکان‌ها دارند و سیر شده هستند. هر چند استفاده از این پلیمرها صرفهٔ اقتصادی دارد، اما از نگاه پیشرفت پایدار، تولید و استفاده از این پلیمرها الگوی مصرف مطلوبی نیست زیرا ماندگاری دراز مدت این مواد در طبیعت سبب ایجاد مشکلات فراوانی مانند تبدیل محیط‌زیست به گورستان زباله، کثیف شدن چهرهٔ شهرها و محیط‌زیست، آسیب زدن به زندگی جانداران و... می‌شود که هزینه‌های تحمیل شده به اقتصاد یک جامعه را خیلی بالا می‌برد. بدیهی است بازیافت این مواد یکی از راهکارهای عملی است که به حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع منجر خواهد شد. به منظور آسان‌سازی و افزایش کارایی بازیافت و افزایش کیفیت فراورده‌های حاصل از بازیافت، برای هر پلیمر نشانه‌ای در نظر گرفته‌اند که بر روی کالاها حک می‌شود. این نشانه شامل عددی است که درون یک مثلث قرار دارد. از این رو انتظار می‌رود که این نشانه روی همهٔ کالاهای ایرانی نیز حک شود تا فرایند بازیافت آنها آسان‌تر شود.

جایگزینی پلیمرهای ساختگی با پایهٔ نفتی با پلیمرهای زیست تخریب پذیر، راهکار دیگری است که در دو دهه اخیر مورد توجه همهٔ جهانیان قرار گرفته است.

آیا می‌دانید

مصرف برخی پلیمرها در صنایع گوناگون بیشتر است. به طوری که شش پلیمر نشان داده شده در جدول زیر نزدیک به ۷۵ درصد پلیمرهای ساختگی را تشکیل می‌دهند.

نام پلیمر	نشانه پلیمر
پلی اتیلن ترفتالات	۱ PET
پلی اتن سنگین	۲ HDPE
پلی وینیل کلرید	۳ PVC ,or V
پلی اتن سبک	۴ LDPE
پلی پروپن	۵ PP
پلی استیرن	۶ PS

پلیمر سبز[1]

شیمی‌دان‌ها با انجام پژوهش‌های گسترده، موفق به ساخت دسته‌ای از پلیمرها شدند که توسط جانداران ذره‌بینی تجزیه می‌شوند. هرگاه این پلیمرها و کالاهای ساخته شده از آنها در طبیعت رها شوند، پس از چند ماه به مولکول‌های ساده مانند آب و کربن دی اکسید تبدیل می‌شوند. به همین دلیل به پلیمرهای دوستدار محیط زیست یا پلیمرهای سبز معروف هستند.

این پلیمرها را از فراورده‌های کشاورزی مانند سیب‌زمینی، ذرت و نیشکر تهیه می‌کنند. به‌طوری که نخست نشاستهٔ موجود در این مواد را به لاکتیک اسید تبدیل کرده، سپس از واکنش پلیمری شدن آن در شرایط مناسب **پلی لاکتیک اسید**[2] تولید می‌کنند.

از پلی لاکتیک اسید انواع ظرف‌های پلاستیکی یکبار مصرف مانند وسایل آشپزخانه، سفره، سطل زباله، کیسهٔ پلاستیکی و... تولید شده و کاربرد آنها رو به گسترش است. این پلاستیک‌ها امکان تبدیل شدن به کود را دارند به همین دلیل ردپای کوچک‌تری در محیط‌زیست برجای می‌گذارند.

● شیر ترش‌شده دارای لاکتیک اسید است.

آیا می‌دانید

از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر برای بخیه زدن استفاده می‌شود.

در میان تار نما ها

شیمی‌دان‌ها همچنان در جستجوی پلیمرهای جدید با کاربردهای ویژه‌ای هستند. برخی از آنها عبارت‌اند از:

- مواد پرکننده دندان
- آستر نرم برای دندان مصنوعی
- پوشاک ضد آب
- پلاستیک‌های رسانا
- نخ بخیه هوشمند

با مراجعه به منابع اینترنتی معتبر دربارهٔ آنها اطلاعات جمع‌آوری و در کلاس ارائه کنید.

۱ـ Green Polymer
۲ـ Poly Lactic Acid (PLA)

تمرین‌های دوره‌ای

۱ـ در هر یک از موارد زیر ساختار پلیمر یا مونومر خواسته شده را مشخص کنید.

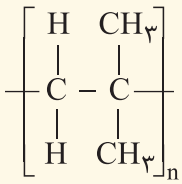
الف)

ب)

پ) $CH_3-CH_2-CH=CH_2$

ت) $R_2C=CH_2$

ث)



۲ـ در شرایط یکسان انحلال‌پذیری کدام کربوکسیلیک اسید در آب بیشتر است؟ چرا؟

۱) CH_3-COOH

۲) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$

۳ـ برای استری با فرمول $C_2H_4O_2$:

الف) ساختار آن را رسم کنید.

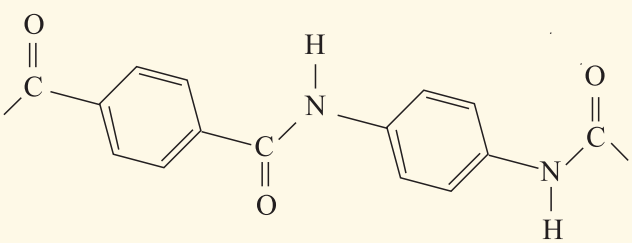
ب) ساختار الکل و اسید سازندهٔ آن را رسم کنید.

پ) نیروی بین مولکولی را مشخص کنید.

ت) جرم مولی را حساب کنید.

ث) نقطهٔ جوش آن را با بیان دلیل با اتانوئیک اسید مقایسه کنید.

۴ـ بخشی از ساختار مولکول سازندهٔ یک پلیمر در شکل زیر ارائه شده است.با توجه به آن:



الف) این پلیمر به کدام دسته از پلیمرها تعلق دارد؟

ب) نیروی بین مولکول‌های این پلیمر از چه نوعی است؟

پ) واحدهای سازنده این پلیمر کدام گروه از مواد زیر است؟

- دی آمین‌ها و دی اسیدها
- دی الکل‌ها و دی اسیدها
- آمین‌ها و اسیدها

۵ـ با توجه به معادلهٔ واکنش زیر به پرسش‌های خواسته شده پاسخ دهید.

$$CH_2=CH_2(g) + Cl_2(g) \xrightarrow{FeCl_3(s)} CH_2ClCH_2Cl\,(g) \qquad \Delta H = -178\ kJ\ mol^{-1}$$

۱، ۲- دی کلرواتان

الف) ساختار لوویس فراورده (۱، ۲- دی کلرواتان) را رسم کنید.

ب) نمودار آنتالپی واکنش را رسم کنید.

پ) حساب کنید از واکنش ۴۲ گرم گاز اتن با مقدار کافی از گاز کلر، چند کیلو ژول گرما مبادله می‌شود؟

۶ـ واکنش پلیمری شدن اتن در شرایط گوناگونی به تولید پلی اتن‌هایی با جرم مولی میانگین متفاوت منجر می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که جرم مولی میانگین به مقدار کاتالیزگرهای واکنش بستگی دارد. در جدول زیر نتایج یک پژوهش تجربی در این مورد داده شده است.

شمار مول های کاتالیزگر محتوی تیتانیم (شماره ۱)	شمار مول‌های کاتالیزگر محتوی آلومینیم (شماره ۲)	جرم مولی میانگین پلیمر (گرم)
۱	۱۲	۲۷۲۰۰۰
۱	۶	۲۹۲۰۰۰
۱	۳	۲۹۸۰۰۰
۱	۱	۲۸۴۰۰۰
۱	۰/۶۳	۱۶۰۰۰۰
۱	۰/۵۳	۴۰۰۰۰
۱	۰/۵۰	۲۱۰۰۰
۱	۰/۲۰	۳۱۰۰۰

الف) در چه نسبت مولی از این دو کاتالیزگر پلی اتن با بیشترین جرم مولی تولید می‌شود؟

ب) تغییر جرم مولی پلیمر را برحسب نسبت مولی کاتالیزگر شماره ۱ به ۲ رسم کنید.

پ) در نسبت مولی ۸ به ۱ از این کاتالیزگرها جرم مولی را پیش‌بینی کنید.

ت) تحلیل خود از داده‌های جدول و نمودار رسم شده را بیان کنید.

.....واژه‌نامه.....

آلکان	Alkane	نوعی از هیدروکربن‌های سیرشده که میل ترکیبی زیادی ندارند و به فراوانی در نفت خام یافت می‌شوند.
آلکان راست زنجیر	Straight – Chain Alkane	آلکان‌هایی که هر اتم کربن در ساختار آن به یک یا دو اتم کربن دیگر متصل است.
آلکان شاخه‌دار	Branched Alkane	آلکان‌هایی که در ساختار آنها یک یا چند اتم کربن با سه یا چهار اتم کربن دیگر پیوند داشته باشد.
آلکن	Alkene	نوعی هیدروکربن سیر نشده که دو اتم کربن آن با پیوند کووالانسی دوگانه به هم متصل شده‌اند.
آلکین	Alkyne	نوعی هیدروکربن سیر نشده که دو اتم کربن آن با پیوند کووالانسی سه‌گانه به هم متصل شده‌اند.
گران روی	Viscosity	مقاومت یک سیال (شاره) را در برابر جاری شدن نشان می‌دهد.
آهنگ واکنش	Reaction Rate	کمیتی که نشان می‌دهد یک واکنش شیمیایی درچه گستره‌ای از زمان انجام می‌شود.
بَسپار یا پلیمر	Polymer	مولکول بزرگی که از به هم پیوستن یک صد تا چند هزار تک پار به‌وجود می‌آید.
پالایش	Refine	فرایندی که در آن اجزای نفت خام را از یکدیگر جدا می‌کند.
تک‌پار	Monomer	مولکول ساده‌ای که از به‌هم پیوستن آنها بَسپار (پلیمر) به وجود می‌آید.
تقطیر جزءبه‌جزء	Fractional Distillation	روشی برای جداسازی اجزای مخلوط چند مایع که دارای نقطهٔ جوش متفاوت هستند.
زیست تخریب‌پذیری	Biodegradation	موادی که در محیط‌زیست به کمک باکتری‌ها به مواد ساده‌تری تجزیه می‌شوند.
سوخت	Fuel	ماده‌ای سوختنی است که تنها برای تأمین انرژی سوزانده می‌شود.
سوخت فسیلی	Fossil Fuel	موادی مانند زغال‌سنگ، نفت خام و گاز طبیعی که طی میلیون‌ها سال از تجزیه گیاهان و جانوران به‌وجود می‌آیند.
واکنش سوختن	Combustion Reaction	واکنش اکسایشی که سریع روی می‌دهد و با ایجاد شعله و آزادکردن مقدار زیادی انرژی همراه است.
انرژی گرمایی	Thermal Energy	به مجموع انرژی جنبشی ذره‌های سازندهٔ یک نمونه ماده گفته می‌شود.
فراورده‌های پتروشیمیایی	Petrochemical Products	ترکیب‌ها و مواد آلی گوناگون که از نفت یا گاز طبیعی تهیه می‌شوند.
سوختن کامل	Complete Combustion	سوختن یک ترکیب آلی در حضور اکسیژن کافی که کربن دی‌اکسید و آب تولید می‌کند.

شبه فلز	Metalloid	عنصری که برخی از خواص فیزیکی آن شبیه فلزها اما خواص شیمیایی آنها شبیه نافلزهاست.
شیمی آلی	Organic Chemistry	شاخه‌ای از شیمی که به بررسی ترکیب‌های آلی می‌پردازد و به آن شیمی ترکیب‌های کربن نیز گفته می‌شود.
طلای سیاه	Black Gold	عنوانی که به نفت خام نسبت می‌دهند و ارزش اقتصادی آن را یادآور می‌شود.
فلز	Metal	عنصری با جلای فلزی و خاصیت چکش‌خواری که اغلب نقطهٔ ذوب و جوش بالایی دارد و جریان برق و گرما را از خود عبور می‌دهد.
فلزهای قلیایی	Alkali Metals	فلزهای گروه اول جدول دوره‌ای عنصرها که شامل Li، Na، K، Rb، Cs و Fr است.
فوتوسنتز	Photosynthesis	واکنشی که در آن گیاه از کربن‌دی‌اکسید، آب و نور خورشید، گلوکز و اکسیژن می‌سازد.
رادیکال	Radical	گونهٔ پرانرژی و ناپایدار که در ساختار خود الکترون جفت نشده دارد.
هالوژن	Halogen	به عنصرهای گروه ۱۷ جدول دوره‌ای شامل فلوئور، کلر، برم، ید و استاتین گفته می‌شود.
کاتالیزگر	Catalyst	ماده‌ای که سرعت واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد.
فلز واسطه	Transition Metal	همان فلزهای دستهٔ d هستند که در اتم آنها زیر لایهٔ d در حال پر شدن است.
واکنش ترمیت	Thermite Reaction	واکنشی بسیار گرماده میان فلز آلومینیم و آهن (III) اکسید که از آهن مذاب تولید شده در آن برای جوشکاری خطوط راه‌آهن استفاده می‌شود.
منبع تجدیدپذیر	Renewable Resource	منبعی که از طریق فرایندهای طبیعی تشکیل یا از نو تولید می‌شوند.
منبع تجدیدناپذیر	Nonrenewable Resource	منبعی که تشکیل و جایگزین شدن آن از طریق فرایندهای طبیعی عملی نیست یا سرعت آنها بسیار کم است.
نفت خام	Petroleum	مایعی قهوه‌ای مایل به سیاه که مخلوطی طبیعی از صدها هیدروکربن و ترکیب آلی است.
واکنش‌پذیری شیمیایی	Chemical Reactivity	به تمایل برای انجام واکنش شیمیایی می‌گویند.
هم‌پار	Isomer	موادی که فرمول مولکولی یکسان اما فرمول ساختاری متفاوتی دارند.
هیدروکربن	Hydrocarbon	ترکیب‌هایی که از دو عنصر کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند.
هیدروکربن سیرشده	Saturated Hydrocarbon	هیدروکربنی که در آن اتم کربن با چهار پیوند کووالانسی به چهار اتم دیگر متصل شده است.
هیدروکربن‌سیرنشده	Unsaturated Hydrocarbon	هیدروکربنی که در آن بین اتم‌های کربن پیوند دو یا سه‌گانه وجود دارد.
هیدروکربن حلقوی	Cyclic Hydrocarbon	هیدروکربن دارای بیش از سه اتم کربن که ساختاری حلقوی دارد.

گروه آلکیل	Alkyl Group	گونه‌ای که با برداشتن یک اتم هیدروژن از یک مولکول آلکان به‌دست می‌آید.
گروه عاملی	Functional Group	اتم یا گروهی از اتم‌ها که وجود آنها در مولکول‌های اعضای یک خانواده از مواد آلی، خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه و منحصر به فردی به آنها می‌بخشد.
نیروهای وان‌دروالس	Van der Waals Forces	نوعی نیروی جاذبهٔ بین مولکولی که در میان همهٔ مولکول‌ها وجود دارد اما در ترکیب‌های مولکولی ناقطبی نیروی جاذبه‌ای مهمی به‌شمار می‌آید.
واکنش تجزیه	Decomposition Reaction	واکنشی که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود.
پلیمر شدن	Polymerization	مجموعه‌ای از واکنش‌ها که در آن شمار بسیاری مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و درشت مولکول‌هایی به نام پلیمر یا بسپار تولید می‌کنند.
مقدار نظری	Theoretical Yield	مقدار فراوردهٔ مورد انتظار که از محاسبه‌های استوکیومتری به دست می‌آید.
مقدار عملی	Actual Yield	مقدار فراورده‌ای که در عمل تولید می‌شود.
بازده درصدی	Percent Yield	نسبت مقدار عملی فراوردهٔ یک واکنش به مقدار نظری آن است که به صورت درصد بیان می‌شود.
گرماشیمی	Thermochemistry	شاخه‌ای از علم شیمی که به مطالعهٔ کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد.
گرما	Heat	انرژی گرمایی که به‌دلیل اختلاف دما جاری می‌شود.
ظرفیت گرمایی	Heat Capacity	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای ماده به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس را نشان می‌دهد.
گرمای ویژه	Specific Heat	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک گرم ماده به اندازهٔ یک درجهٔسلسیوس را نشان می‌دهد.
سامانه	System	بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود.
محیط	Surrounding	هر چیزی که در پیرامون سامانه باشد، محیط نامیده می‌شود.
آنتالپی واکنش	Reaction Enthalpy	به تغییر محتوای انرژی یک سامانهٔ شیمیایی در فشار ثابت، آنتالپی واکنش گفته می‌شود.
آنتالپی سوختن	Enthalpy of Combustion	گرمای آزاد شده در فشار ثابت هنگام سوختن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن را نشان می‌دهد.
آنتالپی تبخیر	Enthalpy of Vaporization	گرمای مصرف شده در فشار ثابت هنگام تبدیل یک مول مایع به بخار را در دمای معین نشان می‌دهد.
آنتالپی ذوب	Enthalpy of Fusion	گرمای مصرف شده در فشار ثابت هنگام تبدیل یک مول جامد به مایع را در دمای ثابت نشان می‌دهد.
آنتالپی تصعید	Enthalpy of Sublimation	تغییر آنتالپی هنگام تصعید شدن یک مول ماده را نشان می‌دهد.

میانگین آنتالپی پیوند	Average Bond Energy	مقدار انرژی مصرف شده هنگام شکستن یک مول پیوند بین دو اتم گازی و تبدیل آنها به اتم‌های گازی جدا از یکدیگر.
گرماسنجی	Calorimetry	روش مستقیم برای اندازه‌گیری گرمای آزاد یا جذب‌شده در یک فرایند است.
گرماسنج لیوانی	Coffee _ Cup Calorimeter	دستگاهی که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت به کار می‌رود.
گرماسنج بمبی	Bomb Calorimeter	دستگاهی که برای اندازه‌گیری دقیق گرمای سوختن یک ماده به کار می‌رود.
قانون هس	Hess's Law	ΔH یک واکنش را می‌توان از جمع جبری مقادیر ΔH چند واکنش دیگر به‌دست آورد.
فرایند گرماده	Exothermic Process	فرایندی که در آن گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.
فرایند گرماگیر	Endothermic Process	فرایندی که در آن گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.
آسکوربیک اسید	Ascorbic Acid	ویتامین ث؛ جامد سفید رنگ و بلوری که به‌خوبی در آب حل می‌شود.
سرعت واکنش	Reaction Rate	کمیتی تجربی که برای یک واکنش شیمیایی نسبت تغییر ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری واکنش‌دهنده(ها) یا فراورده(ها) را به زمان نشان می‌دهد.
سینتیک شیمیایی	Chemical Kinetics	شاخه‌ای از علم شیمی که دربارهٔ سرعت واکنش‌های شیمیایی، عوامل مؤثر بر سرعت و نحوهٔ انجام آنها گفت‌وگو می‌کند.

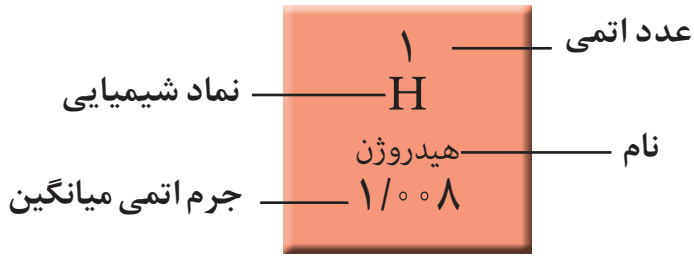
منابع و مآخذ

1– Silberberg, M. S. , Principles of General Chemistry , Mc GrawHill, 2007.
2– Reger, D. L. ,Goode, S. R. Ball, D.W., Chemistry, Brooks/Cole, 2010.
3- Kotz, John C. ; Treichel, Paul M.; Weaver, Gabriela C., Chemistry & Chemical Reactivity , 2006,Thomson - Brooks/Cole.
4- Ebbing, Darrell D.; Gammon, Steven D., General Chemistry, 2009, Brooks/Cole.
5- Tro, Nivaldo J., Principles of Chemistry, A Molecular Approach, 2010, Pearson.
6- Russo, S.; Silver, M., Introductory Chemistry, 2011, Prentice Hall.
7- Phillips, J.S.; Strozak, V.S;. Wistrom, C.; Zike, D. Chemistry, Concepts and Applications, 2009, Glencoe McGraw- will.
8- Gilbert, T.R.; kirss, R.V., Foster, N.; Davies, Chemistry, the science context, 2009, W.W. Norton & Company.
9- Middlecamp Catherine H. [et al.] Chemistry In Context: Applying Chemistry To Society, 2012.
10- Seager Spencer L., Slabaugh Micheal R., Chemistry for Today General, Organic, and Biochemistry, 2014.
11- Tro Nivaldi J., Chemistry in Focus, A Molecular View of Our World, 2009
12- Chang Raymond, Chemistry. 2010

جدول دوره‌ای عنصرها

۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
								۲ He هلیم ۴٫۰۰۳
			۵ B بور ۱۰٫۸۰	۶ C کربن ۱۲٫۰۱	۷ N نیتروژن ۱۴٫۰۱	۸ O اکسیژن ۱۶٫۰۰	۹ F فلوئور ۱۹٫۰۰	۱۰ Ne نئون ۲۰٫۱۸
			۱۳ Al آلومینیم ۲۶٫۹۸	۱۴ Si سیلیسیم ۲۸٫۰۹	۱۵ P فسفر ۳۰٫۹۷	۱۶ S گوگرد ۳۲٫۰۷	۱۷ Cl کلر ۳۵٫۴۵	۱۸ Ar آرگون ۳۹٫۹۵
۲۸ Ni نیکل ۵۸٫۶۹	۲۹ Cu مس ۶۳٫۵۵	۳۰ Zn روی ۶۵٫۳۹	۳۱ Ga گالیم ۶۹٫۷۲	۳۲ Ge ژرمانیم ۷۲٫۶۴	۳۳ As آرسنیک ۷۴٫۹۲	۳۴ Se سلنیم ۷۸٫۹۶	۳۵ Br برم ۷۹٫۹۰	۳۶ Kr کریپتون ۸۳٫۸۰
۴۶ Pd پالادیم ۱۰۶٫۴۰	۴۷ Ag نقره ۱۰۷٫۹۰	۴۸ Cd کادمیم ۱۱۲٫۴۰	۴۹ In ایندیم ۱۱۴٫۸۰	۵۰ Sn قلع ۱۱۸٫۷۰	۵۱ Sb آنتیموان ۱۲۱٫۸۰	۵۲ Te تلوریم ۱۲۷٫۶۰	۵۳ I ید ۱۲۶٫۹۰	۵۴ Xe زنون ۱۳۱٫۳۰
۷۸ Pt پلاتین ۱۹۵٫۱	۷۹ Au طلا ۱۹۷٫۰۰	۸۰ Hg جیوه ۲۰۰٫۶۰	۸۱ Tl تالیم ۲۰۴٫۳۰	۸۲ Pb سرب ۲۰۷٫۲۰	۸۳ Bi بیسموت ۲۰۹٫۰۰	۸۴ Po پولونیم [۲۰۹]	۸۵ At استاتین [۲۱۰]	۸۶ Rn رادون [۲۲۲]
۱۱۰ Ds دارمشتاتیم [۲۸۱]	۱۱۱ Rg رونتگنیم [۲۸۰]	۱۱۲ Cn کوپرنسیم [۲۷۷]	۱۱۳ Nh نیهونیم [۲۸۴]	۱۱۴ Fl فلرویم [۲۸۹]	۱۱۵ Mc مسکوویم [۲۸۸]	۱۱۶ Lv لیورموریم [۲۹۳]	۱۱۷ Ts تنسینه [۲۹۶]	۱۱۸ Og اوگانسون [۲۹۴]

۶۳ Eu اوروپیم ۱۵۲٫۰۰	۶۴ Gd گادولینیم ۱۵۷٫۳۰	۶۵ Tb تربیم ۱۵۸٫۹۰	۶۶ Dy دیسپروزیم ۱۶۲٫۵۰	۶۷ Ho هولمیم ۱۶۴٫۹۰	۶۸ Er اربیم ۱۶۷٫۳۰	۶۹ Tm تولیم ۱۶۸٫۹۰	۷۰ Yb ایتربیم ۱۷۳٫۰۰
۹۵ Am امریسیم [۲۴۳]	۹۶ Cm کوریم [۲۴۷]	۹۷ Bk برکلیم [۲۴۷]	۹۸ Cf کالیفرنیم [۲۵۱]	۹۹ Es اینشتینیم [۲۵۲]	۱۰۰ Fm فرمیم [۲۵۷]	۱۰۱ Md مندلیم [۲۵۸]	۱۰۲ No نوبلیم [۲۵۹]



	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱ H هیدروژن ۱٫۰۰۸								
۲	۳ Li لیتیم ۶٫۹۴	۴ Be بریلیم ۹٫۰۱							
۳	۱۱ Na سدیم ۲۲٫۹۹	۱۲ Mg منیزیم ۲۴٫۳۱							
۴	۱۹ K پتاسیم ۳۹٫۱۰	۲۰ Ca کلسیم ۴۰٫۰۸	۲۱ Sc اسکاندیم ۴۴٫۹۶	۲۲ Ti تیتانیم ۴۷٫۸۷	۲۳ V وانادیم ۵۰٫۹۴	۲۴ Cr کروم ۵۲٫۰۰	۲۵ Mn منگنز ۵۴٫۹۴	۲۶ Fe آهن ۵۵٫۸۵	۲۷ Co کبالت ۵۸٫۹۳
۵	۳۷ Rb روبیدیم ۸۵٫۴۷	۳۸ Sr استرانسیم ۸۷٫۶۲	۳۹ Y ایتریم ۸۸٫۹۱	۴۰ Zr زیرکونیم ۹۱٫۲۲	۴۱ Nb نیوبیم ۹۲٫۹۱	۴۲ Mo مولیبدن ۹۵٫۹۴	۴۳ Tc تکنسیم -	۴۴ Ru روتنیم ۱۰۱٫۱	۴۵ Rh رودیم ۱۰۲٫۹۰
۶	۵۵ Cs سزیم ۱۳۲٫۹	۵۶ Ba باریم ۱۳۷٫۳	۷۱ Lu لوتسیم ۱۷۵/۰۰	۷۲ Hf هافنیم ۱۷۸٫۵	۷۳ Ta تانتال ۱۸۰٫۹۰	۷۴ W تنگستن ۱۸۳٫۸۰	۷۵ Re رنیم ۱۸۶٫۲۰	۷۶ Os اسمیم ۱۹۰٫۲۰	۷۷ Ir ایریدیم ۱۹۲٫۲۰
۷	۸۷ Fr فرانسیم [۲۲۳]	۸۸ Ra رادیم [۲۲۶]	۱۰۳ Lr لورنسیم [۲۶۲]	۱۰۴ Rf رادرفوردیم [۲۶۷]	۱۰۵ Db دابنیم [۲۶۸]	۱۰۶ Sg سیبورگیم [۲۷۱]	۱۰۷ Bh بوریم [۲۷۲]	۱۰۸ Hs هاسیم [۲۷۷]	۱۰۹ Mt مایتنریم [۲۷۶]

۵۷ La لانتان ۱۳۸٫۹۰	۵۸ Ce سریم ۱۴۰٫۱۰	۵۹ Pr پراسئودیمیم ۱۴۰٫۹۰	۶۰ Nd نئودیمیم ۱۴۴٫۲۰	۶۱ Pm پرومتیم [۱۴۵]	۶۲ Sm ساماریم ۱۵۰٫۴۰
۸۹ Ac اکتینیم [۲۲۷]	۹۰ Th توریم ۲۳۲٫۰۰	۹۱ Pa پروتاکتینیم ۲۳۱٫۰۰	۹۲ U اورانیم ۲۳۸٫۰۰	۹۳ Np نپتونیم [۲۳۷]	۹۴ Pu پلوتونیم [۲۴۴]

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی، دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب شیمی ۲ـ کد ۱۱۱۲۱۰

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	سوسن نادری	مرکزی	۲۵	محمدعلی اسلامی نیا	کرمان
۲	فاطمه رنجینه خجسته	آذربایجان شرقی	۲۶	علی مویدی	شهرستانهای تهران
۳	هما غفاری	کردستان	۲۷	مریم قربانی	خراسان شمالی
۴	شمسی حیدری	کرمانشاه	۲۸	حسن کاشی	اصفهان
۵	منور احمدی	قزوین	۲۹	فاطمه شفاهی	سمنان
۶	طوبی زارع	مازندران	۳۰	رقیه پور قبادی	لرستان
۷	افسانه آیین	بوشهر	۳۱	کامیار کامل شیخ رجه	مازندران
۸	آزیتا معصوم پور	سمنان	۳۲	مژگان حسین پور	گیلان
۹	فریبا مرسلی	آذربایجان شرقی	۳۳	سمانه حبیب اللهی	شهرتهران
۱۰	ژیلا توتونچی	آذربایجان شرقی	۳۴	علیرضا رضایی	همدان
۱۱	لیلا فانی	یزد	۳۵	عبدالمجید منتیان	ایلام
۱۲	صباح شیری	ایلام	۳۶	امیر خلیل زاده	آذربایجان غربی
۱۳	هادی نجار زاده	قزوین	۳۷	فرزین خرسندی	البرز
۱۴	مهناز خراشادی زاده	خراسان جنوبی	۳۸	امید رضوانی راد	سیستان وبلوچستان
۱۵	حسین کاووسی	خراسان جنوبی	۳۹	مسعود اشتری	شهرتهران
۱۶	طاهره پالیزدار	البرز	۴۰	سید فیروز عسگری ارجنکی	چهارمحال وبختیاری
۱۷	مهری طاهری	هرمزگان	۴۱	مهدی شیری	خراسان رضوی
۱۸	اورنگ باقی	گیلان	۴۲	عزیز گرمرودی	خراسان رضوی
۱۹	شهلا مهدوی	اصفهان	۴۳	نادر منصوری	خراسان شمالی
۲۰	منوچهر اسماعیل زاده	کرمان	۴۴	مسعود راستیانی منش	کهگیلویه وبویراحمد
۲۱	رضا همتی	آذربایجان غربی	۴۵	عباسعلی صمدی	گلستان
۲۲	زهره شمالی	زنجان	۴۶	ناصر بالکانه	کردستان
۲۳	فریده سلطانی اصل	شهرستانهای تهران	۴۷	محمد قادر پناه	لرستان
۲۴	مژگان مصلحیون	همدان	۴۸	محمد سعید همایونی	فارس