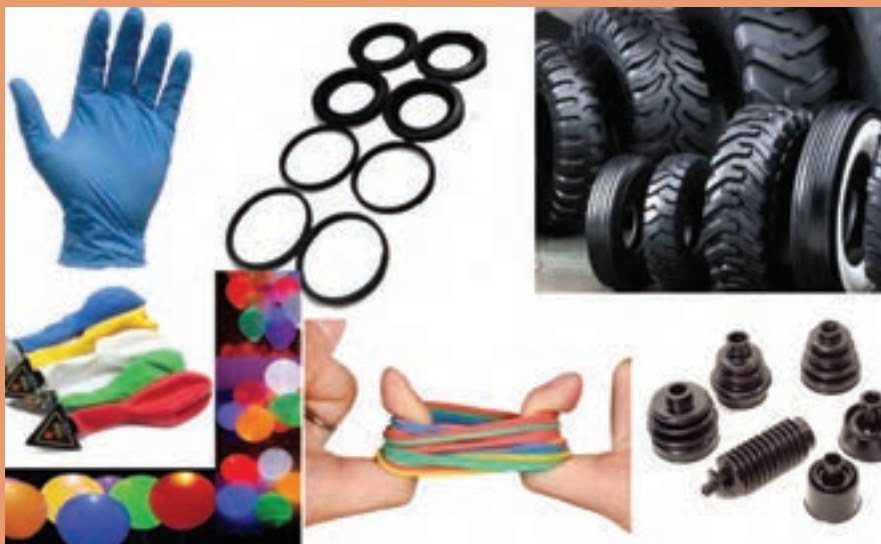


## پودمان پنجم

### عملیات در صنایع پتروشیمی



ایران با توجه به دارا بودن دومین ذخایر بزرگ گاز دنیا و پنجمین تولیدکننده نفت جهان، درصد بالایی از درآمدهای صادراتی خود را از نفت و گاز تأمین می‌کند. امروزه صنایع پتروشیمی اهمیت اساسی و بنیادی در رفع نیازهای عمومی جامعه بشری، برعهده دارد.

## واحد یادگیری ۵

### انجام عملیات در صنایع پتروشیمی

#### مقدمه

صنایع پتروشیمی، بخشی از صنایع شیمیایی است که فراورده‌های شیمیایی را طی واکنش‌هایی از نفت خام یا گاز طبیعی به دست می‌آورد. بنابراین صنعت پتروشیمی را می‌توان تأمین‌کننده اصلی مواد و بسپارهای مصرفی در بیشتر صنایع شیمیایی، نساجی، خودروسازی، لوازم خانگی، پزشکی، برق و الکترونیک و غذایی دانست. در این پودمان ابتدا صنعت نفت، گاز و پتروشیمی معرفی شده است و سپس مفاهیم بسپار و بسپارش و انواع آنها، الیاف، چسب‌ها و کامپوزیت همراه با فیلم آموزشی، تحقیق کنید، پرسش، فعالیت‌های عملی قابل اجرا، نکات ایمنی و زیست‌محیطی مرتبط آورده شده است.

#### استاندارد عملکرد

تهیه برخی از فراورده‌های پتروشیمی مانند بسپارها و چسب طبق دستور کار

#### شایستگی های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام دادن وظایف و کارهای محول - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده بهینه از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام دادن کارها و وظایف محول
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

#### شایستگی های فنی

پس از پایان این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود:

- ۱ پالایش نفت و گاز را شرح دهند.
- ۲ چند نمونه بسپار تهیه کنند.
- ۳ چند نمونه چسب و کامپوزیت تهیه کنند.

## نفت خام

میلیون‌ها سال قبل، نفت خام و گاز طبیعی در اثر تجزیه و فاسد شدن گیاهان و اجساد حیوانات در ته دریاها و اقیانوس‌ها به وجود آمد. بخش اعظم این مواد آلی در هوا تجزیه (اکسید) و وارد جو شد. ولی بخشی دیگر پیش از تجزیه، مدفون و بر اثر فشار و گرمای درونی زمین به صورت عنصرهای آلی همچون نفت و گاز طبیعی تبدیل و در مخزن‌های زیرزمینی و در عمق سه تا چهار هزار متری و با فشار حدود چند صد اتمسفر ذخیره شده است.

در حدود چهار هزار و پانصد سال پیش، در دوران باستان ملت‌های متمدن همچون سومری‌ها و بابلی‌ها با برخی از مواد نفتی که در دریاچه قیر به دست می‌آمد، آشنایی داشتند. آنان از قیر به عنوان ماده نفوذناپذیر استفاده می‌کردند. همچنین یونانی‌ها و رومی‌ها از مواد قیری برای نفوذناپذیر کردن بدنه کشتی‌ها و برای روشنایی و گرم کردن بهره می‌جستند.



شکل ۱- استفاده از قیر برای آب‌بندی کشتی‌ها و به عنوان سوخت برای روشنایی

ترکیبات عمده موجود در نفت خام شامل هیدروکربن‌های سیرشده زنجیره‌ای به فرمول کلی  $C_nH_{2n+2}$ ، هیدروکربن‌های سیرشده حلقوی به فرمول عمومی  $C_nH_{2n}$  و هیدروکربن‌های سیرشده زنجیری مانند اتیلن و استیلن هستند. گازهای طبیعی، بخش گازی شکل مواد نفتی است که همراه با نفت خام در مخزن‌های زیرزمینی وجود دارد یا از تقطیر نفت خام به دست می‌آید.

## گاز طبیعی

استفاده از گاز طبیعی قدمتی چند هزار ساله دارد. در حدود ۹۵۰ سال پیش از میلاد مسیح، مردم چین از گاز طبیعی برای جوشاندن آب دریا و به دست آوردن نمک استفاده می‌کردند. تمدن‌های باستانی دیگری نیز خروج گاز از زمین را متوجه شده و دریافته بودند که قابل سوختن است. اما از اوایل دهه ۱۹۳۰ اهمیت گاز طبیعی به عنوان سوخت در زندگی بشر آغاز شد. در اواخر سده بیستم گاز طبیعی در بخش اعظم جهان صنعتی به یک منبع انرژی بسیار ضروری و حیاتی تبدیل شد.

گازهای طبیعی، مخلوطی از گازهای متان (قسمت عمده حدود ۸۵٪)، اتان، پروپان، بوتان و مقدار کمی دوده است. در این میان هیدروکربن‌های سنگین‌تر، در برخی از میدان‌های گازی اتان درصد قابل ملاحظه‌ای (۱۰٪ یا کمی بالاتر) را تشکیل می‌دهد. اغلب گازهای طبیعی که از میدان‌های مختلف گازی استخراج می‌شوند، علاوه بر هیدروکربن‌ها، حاوی درصد پایینی از گازهای اسیدی مانند  $CO_2$  و  $H_2S$  هستند که درصد آنها در مخزن‌های مختلف و حتی در قسمت‌های مختلف از یک مخزن، با یکدیگر متفاوت است. گاز طبیعی به دلیل بوی بد حاصل از محتویات گوگردی آن «گاز ترش» نامیده می‌شود. همچنین گاز ترش به علت محتوای گوگردی آن می‌تواند برای تنفس بسیار خطرناک و سمی باشد. گاز ترش گاز نامطلوبی است و به شدت باعث خوردگی لوله‌های انتقال گاز می‌شود. به فرایند جداسازی کربن دی‌اکسید و هیدروژن سولفید از گاز طبیعی به وسیله محلولی از آب و آمین‌ها شیرین‌سازی گاز می‌گویند. فرایند شیرین‌سازی در پالایش گاز و واحدهای پتروشیمی کاربرد فراوان دارد.

گفتنی است همیشه مقدار ناچیزی از بخار آب با گاز طبیعی استخراج می‌شود که در واحدهای پتروشیمی (پالایشگاه‌ها) در بخشی به نام واحد نم‌زدایی، آب و ترکیب‌های مزاحم که سبب پایین آوردن ارزش گرمایی گاز شده و همچنین مشکلاتی در انتقال و مصرف گاز به وجود می‌آورند، از گاز طبیعی جدا شده و پس از آن، گاز به خطوط انتقال و در نهایت به مصرف‌کنندگان تحویل داده می‌شود.

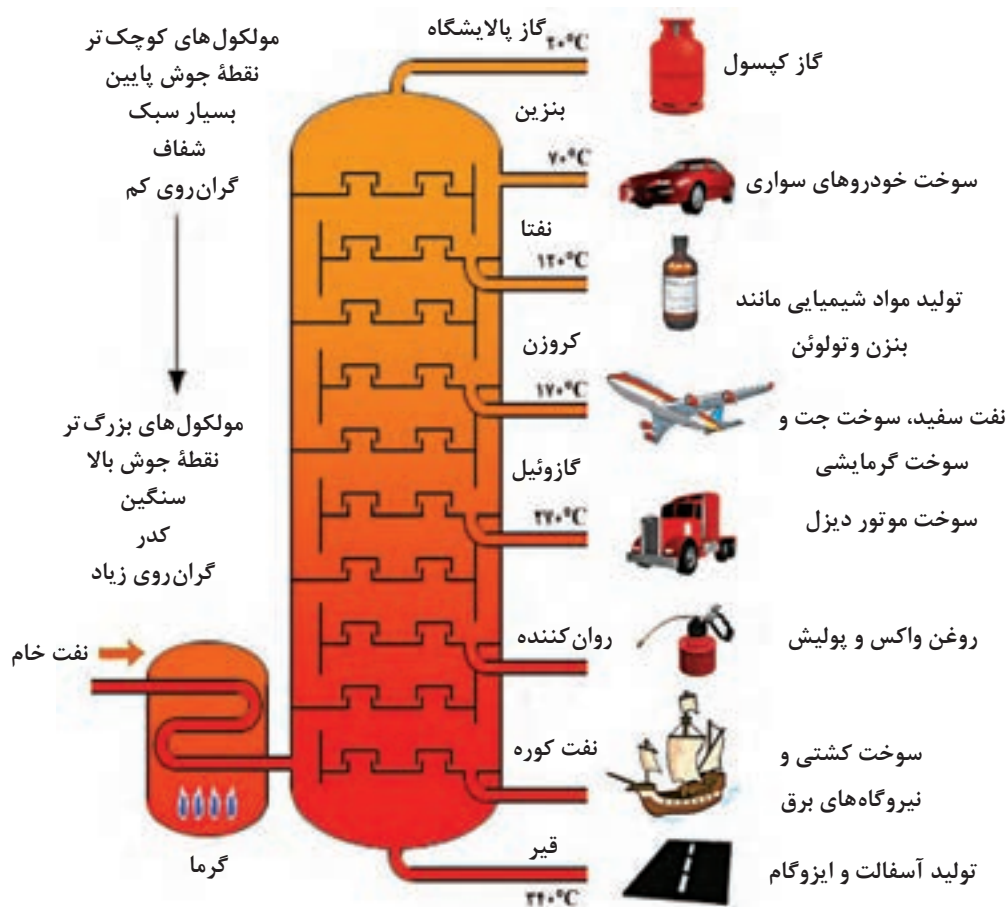
پالایش گاز طبیعی و شیرین‌سازی

فیلم آموزشی



## صنایع پتروشیمی

در اواسط سده نوزدهم با توسعه و پیشرفت فناوری حفاری و در اواخر سده نوزدهم با فناوری تقطیر و پالایش نفت، استفاده از آن جهش حیرت‌آوری یافت. به طوری که در اوایل سده بیستم نفت خام و گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه برای تهیه بسیاری از ترکیبات مصرفی انسان، اهمیت حیاتی و روزافزونی پیدا کرد (شکل ۲).



شکل ۲ - جداسازی صورت گرفته بر روی نفت خام در یک واحد پالایشگاهی

توجه خاص کشورها به صنعت پتروشیمی، رونق و فراگیری آن در جهان را موجب شده است. در حال حاضر صنایع شیمیایی به همراه صنایع غذایی و خودروسازی جزء سه صنعت بزرگ جهان محسوب می‌شوند. ایران با توجه به دارا بودن دومین ذخایر بزرگ گاز دنیا و پنجمین تولیدکننده نفت جهان، درصد بالایی از درآمدهای صادراتی خود را از نفت و گاز تأمین می‌کند. شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، کار خود را از سال ۱۳۴۲ با افتتاح واحد تولیدی کود شیمیایی شیراز شروع کرد. در فاصله بین سال‌های ۱۳۴۲ تا پیش از جنگ تحمیلی شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران مرحله توسعه نخستین خود را پشت سر گذاشت، اما فعالیت‌های این شرکت تا اواسط ۱۳۶۷ به کمترین مقدار خود رسید. اما پس از جنگ با توجه به اهمیت فراوان صنعت پتروشیمی،

شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران مرحله تجدید حیات و نوسازی را به سرعت شروع کرد و در حال حاضر دومین تولیدکننده فراورده‌های پتروشیمی در غرب آسیا است. امروزه صنایع پتروشیمی اهمیت اساسی و بنیادی در رفع نیازهای عمومی جامعه بشری به عهده دارد.

صنایع پتروشیمی، بخشی از صنایع شیمیایی است که فراورده‌های شیمیایی را طی واکنش‌هایی از نفت خام یا گاز طبیعی به دست می‌آورند. صنعت پتروشیمی را می‌توان تأمین‌کننده اصلی مواد مصرفی در بیشتر صنایع شیمیایی، نساجی، خودروسازی، لوازم خانگی، پزشکی، برق و الکترونیک، غذایی و غیره دانست. یکی از ویژگی‌های این صنعت، تنوع محصولات آن و تأمین مواد اولیه هزاران کارگاه و کارخانه است که از نظر اشتغال‌زایی و کسب درآمدهای ارزی و قطع وابستگی نقش بسیار مؤثری در اقتصاد کشور دارد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های دیگر صنعت پتروشیمی ارزش افزوده بسیار بالای آن است. بدین معنی که با تغییرات شیمیایی و فیزیکی بر روی هیدروکربن‌های نفتی و گازی می‌توان ارزش محصول را به میزان ۱۰ تا ۱۵ برابر افزایش داد. تولید محصولات پتروشیمی به گونه‌ای است که معمولاً یک واحد اصلی در بالادست، ماده اولیه واحدهای دیگر را تولید می‌کند؛ مانند واحد الفین که با تولید اتیلن و پروپیلن نیاز واحدهای پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن را تأمین می‌کند. پالایشگاه‌ها واحدهای بسیار مهمی هستند که در آنها نفت خام به مواد مفیدتری مانند گاز مایع، نفت سفید، بنزین، گازوئیل، نفت کوره، قیر و دیگر فراورده‌های نفتی جداسازی شده و به‌عنوان مواد اولیه برای واحدهای بنیادی فرستاده می‌شود. پالایشگاه‌های نفت به‌طور معمول واحدهای صنعتی بزرگ و پیچیده‌ای هستند که در آنها واحدهای مختلف توسط مسیرهای لوله‌کشی متعددی به هم پیوند داده شده‌اند (شکل ۳). پالایشگاه‌های نفت خام و گاز به‌عنوان واحدهای بالادست شناخته می‌شوند.



شکل ۳- یکی از پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی کشور

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه شد، بنزین برشی از نفت خام و یکی از محصولات مهم پالایشگاه‌های نفت خام است که محتوی هیدروکربن‌های ۵ تا ۱۲ کربنی است. بنزین در حدود ۱۵٪ از نفت خام را تشکیل می‌دهد و در موتورهای احتراقی (خودروها، هواپیماها، موتورسیکلت‌ها و موتورهای برق) به‌عنوان سوخت به کار می‌رود. (شکل ۴). یکی از عوامل بسیار مهم بنزین عدد اکتان آن است. این عدد بیانگر ویژگی ضدضربه یا درجه آرام‌سوزی بنزین است.



شکل ۴- برخی از کاربردهای بنزین به عنوان سوخت

چه افزودنی‌هایی به بنزین برای بالا بردن عدد اکتان اضافه می‌شود؟

تحقیق کنید  
۱



مجتمع‌های پتروشیمی دارای واحدهای بنیادی، واسطه‌ای و نهایی هستند.

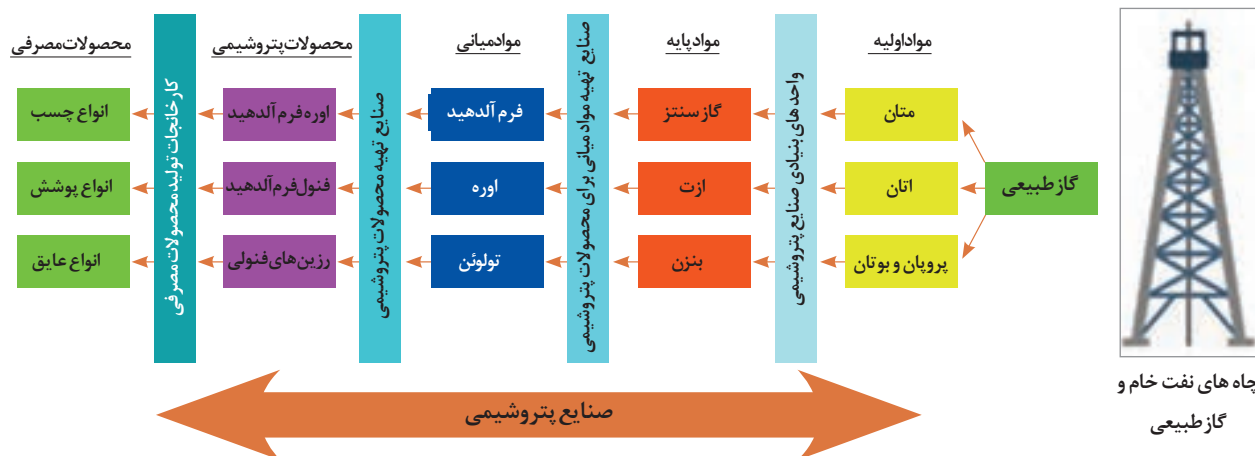
**واحدهای بنیادی:** مانند واحدهای مولکول‌شکنی (کراکینگ)؛ در این واحدها مواد اولیه حاصل شده از پالایشگاه‌ها به مواد پایه مانند متان، اولفین‌ها (هیدروکربن‌هایی که در ساختار خود دارای پیوند دوگانه هستند؛ مانند اتیلن، پروپیلن و وینیل کلرید) ترکیبات حلقوی دارای کلر و گوگرد تبدیل می‌شوند.

**واحدهای واسطه‌ای:** مانند واحدهای تولید دی‌کلرواتیلن، وینیل کلرید؛ در صنایع پتروشیمی به واحدهایی گفته می‌شود که از نظر خط تولید و برحسب ضرورت در میان واحدهای بنیادی و واحدهای نهایی قرار گرفته باشند. مثلاً برای تولید پلی‌وینیل کلرید (PVC) از اتیلن، نیاز به دو واحد واسطه‌ای یکی جهت ساختن دی‌کلرواتیلن و دیگری جهت ساختن وینیل کلرید از آن نیاز است.

**واحدهای نهایی:** مانند واحدهای تولید پلی‌وینیل کلرید (PVC) و لاستیک مصنوعی؛ در این واحد فرآورده نهایی پتروشیمی تولید و به بازار عرضه می‌شود.

در واحدهای پایین دست (کارخانجات مختلف) فرآورده‌های نهایی پتروشیمی به محصولات مصرفی تبدیل می‌شوند. واحدهای تولید الیاف مصنوعی، قطعات پلاستیکی و لاستیکی را می‌توان از مهم‌ترین کارخانجات

و واحدهای پایین دست به حساب آورد. شکل ۵، مراحل مختلف رسیدن به انواع چسب، پوشش و عایق را از نفت خام یا گاز طبیعی نشان می دهد.



شکل ۵ - تهیه انواع چسب، پوشش و عایق از نفت خام (از ابتدا تا انتها)

همان طور که در بالا اشاره شد، طیف وسیعی از مواد اولیه، محصولات مصرفی و محصولات صنعتی از محصولات پتروشیمی به دست می آید. بسپارها<sup>۱</sup> که امروزه در تهیه انواع وسیله ها نقش بسیار کلیدی را در زندگی ما دارند بخش مهمی از محصولات ارزشمند صنعت پتروشیمی هستند. به همین دلیل در ادامه به طور گسترده درباره آنها صحبت می شود.

### اهمیت نفت در معادلات سیاسی جهان

تلاش برای استفاده از منابع نفت ایران، مهم ترین علت دخالت کشورهای استعمارگری مانند انگلیس و آمریکا بوده است. در سند شماره ۸ از اسناد لانه جاسوسی (سفارت سابق آمریکا در ایران) مربوط به سال ۱۳۵۳ و در بخش «خیلی محرمانه» آن چنین آمده است: نفت موضوعی است که امروزه افکار همگان را به خود مشغول داشته است. آمریکا در حال حاضر ۴۰ درصد نفت تولیدی جهان را مصرف می کند. نیاز ما به انرژی رو به افزایش می باشد در حالی که میزان تولید داخلی مان رو به کاهش است. بدون شک آمریکا مجبور خواهد بود حداقل تا پایان دهه ۱۹۸۰ مقادیر بیشتری نفت را وارد کند. در حال حاضر کمتر از ۵ درصد نفت صادراتی ایران مستقیماً به آمریکا فرستاده می شود. ولی مقادیر بسیار بیشتری به کشور هم پیمان مهم ما در آسیا یعنی ژاپن و نیز به هم پیمانان ما در سازمان ناتو در اروپای غربی صادر می گردد. در صورت بروز بحرانی در زمینه انرژی و در صورت اجرای تهدیدهای اعراب مبنی بر استفاده از نفت به عنوان سلاحی برای ایجاد اعتدال در حمایت آمریکا از اسرائیل، ایران به صورت یک منبع مهم نفت وارداتی مطمئن عمل می کند. بالاخره ایران به خاطر موقعیت جغرافیایی خویش محل مناسبی برای فعالیت تأسیسات متعدد آمریکایی می باشد که به نوبه خود مساعدتی است حیاتی در امنیت ملی آمریکا. (اسناد لانه جاسوسی آمریکا، ۱۳۸۶، ج ۶، ص ۷۰۴) اما از آنجا که بیشتر نفت ایران و دیگر کشورهای خلیج فارس از تنگه هرمز می گذرد، این تنگه از اهمیت بسیار



زیادی برخوردار است و شاهد پرداختن اسناد بسیار زیادی به آن می‌باشیم. سرپرست اطلاعات مرکزی آمریکا در واشنگتن در تاریخ ۴ نوامبر ۱۹۷۶-۱۳ آبان ۱۳۵۵ (بیش از دو سال قبل از انقلاب اسلامی) در نامه‌ای با تردید نسبت به اقدامات ایران در آن زمان نگاه می‌کند و می‌پرسد: آیا آن (اقدامات) شامل کنترل تنگه هرمز و همکاری مشترک آینده می‌باشد؟ آیا یک سیاست عادی در رابطه با «راه عبور بی‌ضرر» برای کشتی‌هایی که به خلیج وارد و یا از آن خارج می‌شوند وجود دارد؟ آیا ایران به دنبال برقراری یک پایگاه دائمی عملیات در عمان به منظور قدرت‌ش در اقیانوس هند و یا دریای سرخ است؟ (همان، ج ۱، ص ۴۳۹)

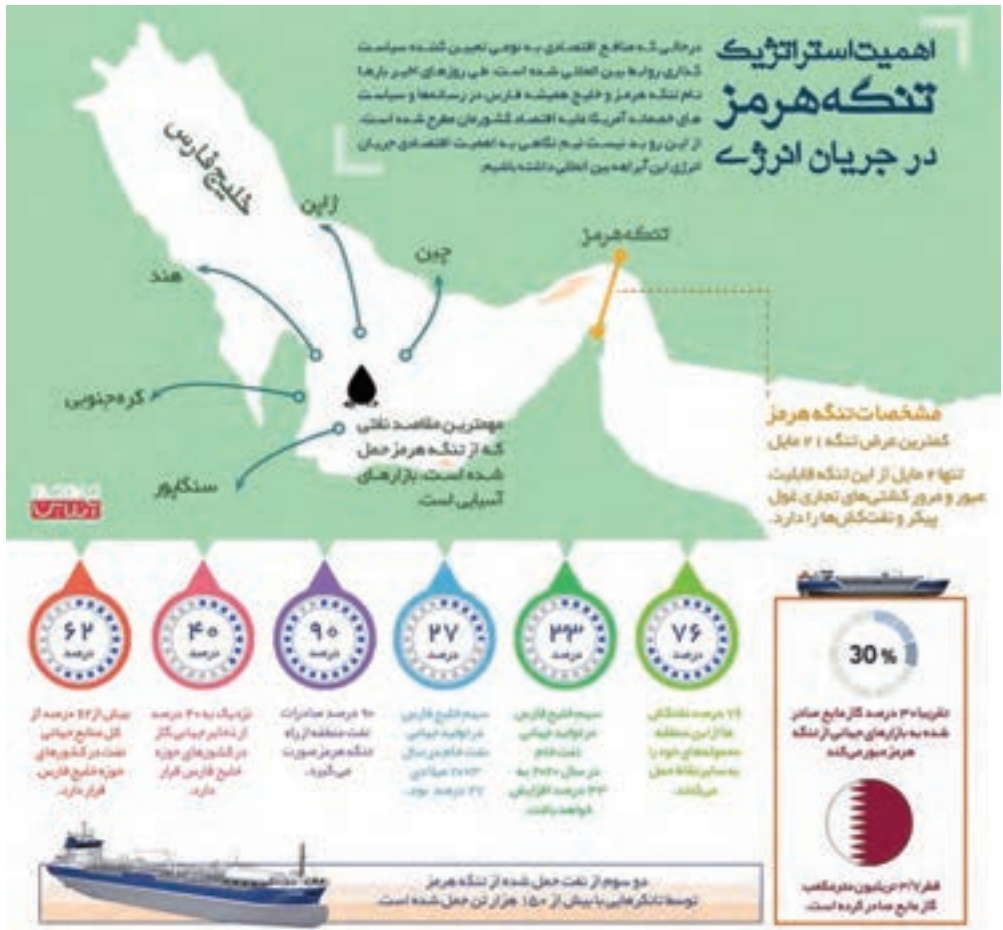
همچنین در سند دیگری، از زبان یکی از مسئولان حکومتی در رژیم طاغوت خاطر نشان می‌شود که «اگر تنگه هرمز بسته شود، نفت حیاتی اروپای غربی و ژاپن کامل قطع می‌شود.» (همان، ج ۸، ص ۸۱۱)

حساسیت آمریکا نسبت به تنگه هرمز بعد از انقلاب اسلامی به شدت افزایش می‌یابد. به طوری که تنها سه هفته بعد از پیروزی انقلاب در نامه‌ای «خیلی محرمانه» از سفارت آمریکا در تهران در تاریخ ۵ مارس ۱۹۷۹ - ۱۴ اسفند ۵۷ خطاب به وزارت امور خارجه آمریکا چنین آمده است: تشریح کنید که منافع ما در ایران چیست؟ مهم‌تر از هر چیز می‌خواهیم تمامیت ارضی ایران و به دور بودن آن از تسلط شوروی را ببینیم. نفت ایران نیز از اهمیت خارق‌العاده‌ای برخوردار است، اگر مستقیم به ما مربوط نباشد ولی به هم‌پیمانان اروپایی و ژاپنی ما ارتباط دارد. موقعیت استراتژیک ایران ۷۰٪ نفت کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) و ۵۰٪ نفت مصرفی کشورهای غیر کمونیست از تنگه هرمز می‌گذرد، جلب توجه می‌کند. (همان، ج ۲، ص ۱۲۰؛ ج ۷، ص ۳۳)

سند شماره ۹۷ نامه‌ای «سری» است. در تاریخ ۲۰ می ۱۹۷۹-۳۰ اردیبهشت ۱۳۵۸ از سفارت آمریکا در مسقط که در آن با اشاره به ناتوانی آمریکا در الزام دولت‌های منطقه برای همکاری با آمریکا برای تأمین امنیت خلیج فارس و مخصوصاً تنگه هرمز چنین آمده: «منافع ما در این منطقه آن قدر عمیق است که نمی‌توانیم بر همکاری منطقه‌ای به عنوان ستون اصلی سیاست امنیتی خود تکیه کنیم. تاریخ، فرهنگ و سازمان قبیله‌ای مردم منطقه، به سهولت افزایش همکاری منطقه‌ای را پدید نمی‌آورد و ما از اهرمی آنچنان مؤثر برخوردار نیستیم که با وجود عدم تمایل طرفین مربوطه، بتوانیم آنان را وادار به همکاری بیشتر بنماییم.» (همان، ج ۱۱، ص ۲۳۹-۲۴۰)

هارولد براون، وزیر دفاع آمریکا در دوران جیمی کارتر نیز اعلام داشت که خطرات نظامی که می‌توانند بر جریان نفت تأثیر داشته باشند «بسیار جدی و حاد بوده و ما باید خود را آماده مقابله با آنها بنماییم.» این خطرات به اشکال گوناگون و به طور ناگهانی ظاهر خواهند شد. تصرف عمان توسط شورشیان تحت حمایت یمن جنوبی، «گلوگاه» نفتی خلیج فارس را که همان کانال ۱۹ مایلی تنگه هرمز است به خطر خواهد انداخت. حملات تروریستی علیه حوزه‌های نفتی فاقد حراست عربستان سعودی و نیز علیه مراکز توزیع نفت این کشور می‌تواند سبب قطع جریان نفت گردد. بروز درگیری بین عراق و کویت یا عربستان سعودی در پی اختلافات دیرین ارضی نیز یک خطر واقعی دیگر به حساب می‌آید. (همان، ج ۱۱، ص ۱۵۰)

علاوه بر جنبه جغرافیایی تنگه هرمز از حیث عبور کشتی‌ها و مخصوصاً نفت‌کش‌ها، یکی دیگر از ابعاد اهمیت تنگه هرمز این است که طبق اسناد به‌دست آمده و حساسیتی که نیروهای آمریکایی نشان داده‌اند، مشخص می‌شود که علاوه بر خشکی، در داخل خود تنگه هرمز نیز نفت بسیاری وجود دارد. در این زمینه اکتشافاتی انجام شده و شرکت نفت فرانسوی الف در عمق ۱۲۰۰۰ پایی تنگه هرمز به نفت ۴۱ درجه دست یافت که در منطقه آب‌های ایران واقع شده است؛ (همان، ج ۱۱، ص ۱۱۱-۱۱۲) در سند دیگر تصریح می‌شود که «هم‌اکنون در بخش ایرانی تنگه هرمز نفت مرغوب دارای کمیت تجاری کشف شده است.» (همان، ج ۷، ص ۴۷۷)



### حجم ترانزیت نفت از آبراهه های بین المللی جهان

| نام منطقه    | ۲۰۱۱ | ۲۰۱۲ | ۲۰۱۳ | ۲۰۱۴ | ۲۰۱۵ | ۲۰۱۶ |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| تنگه هرمز    | ۱۷/۱ | ۱۷   | ۱۶/۵ | ۱۷/۲ | ۱۷/۳ | ۱۸/۵ |
| تنگه مالاکا  | ۱۴/۲ | ۱۵   | ۱۵/۷ | ۱۵/۸ | ۱۵/۸ | ۱۶   |
| کانال سوئز   | ۴    | ۴/۸  | ۴/۸  | ۵/۱  | ۵/۲  | ۵/۵  |
| باب المندب   | ۳    | ۳/۸  | ۴    | ۴/۲  | ۴/۶  | ۴/۸  |
| تنگه دانمارک | ۳    | ۳/۸  | ۳/۷  | ۳/۶  | ۳/۸  | ۳/۲  |
| تنگه بوسفور  | ۲/۹  | ۲/۴  | ۲/۴  | ۲/۴  | ۲/۲  | ۲/۴  |
| کانال پاناما | ۰/۸  | ۰/۸  | ۰/۸  | ۰/۸  | ۱/۱  | ۰/۹  |

\* میلیون بشکه در روز

## فعالیت عملی ۱

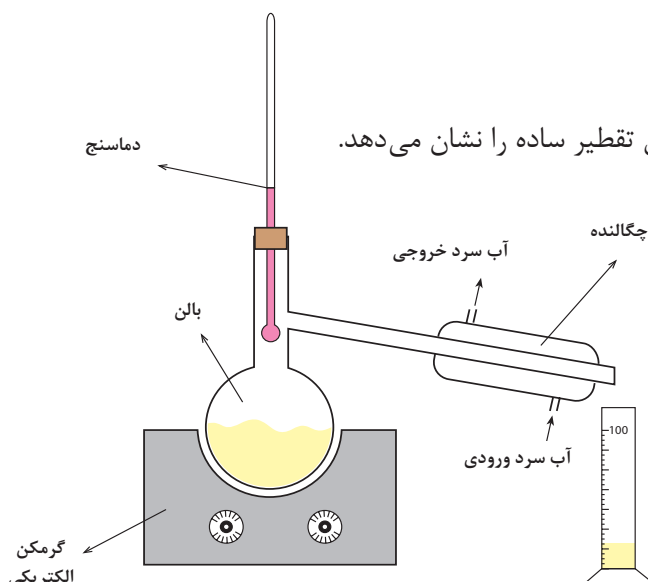


### تقطیر فراورده‌های نفتی

این آزمایش که به تقطیر ASTM<sup>۱</sup> مشهور است، ساده‌ترین نوع تقطیر است که به منظور تعیین گستره دمای جوش محصولات نفتی مختلف نظیر بنزین، نفتا، نفت سفید، گازوئیل و سوخت کوره انجام می‌شود. همان‌طور که می‌دانید مواد خالص در فشار ثابت در یک دمای ثابت و معین می‌جوشند یعنی تا زمانی که آخرین قطره مایع تبخیر شود، دما تغییر نمی‌کند و همچنان ثابت است. اما مخلوط‌ها و از جمله محصولات نفتی که مخلوطی از هیدروکربن‌های مختلف هستند، در یک دمای ثابت نمی‌جوشند، بلکه دارای «دامنه دمای جوش» می‌باشند. در این آزمایش می‌توان گستره دمای جوش ترکیبات مختلف نفتی را تعیین کرد و براساس آن نموداری به نام «منحنی تقطیر ASTM» رسم کرد. این منحنی امکان نتیجه‌گیری در مورد توزیع هیدروکربن‌های موجود در یک نمونه را فراهم می‌کند.

### مواد و وسایل لازم:

شکل الف تجهیزات موردنیاز برای انجام دادن تقطیر ساده را نشان می‌دهد.



شکل الف) دستگاه تقطیر ASTM

### روش کار:

ابتدا لازم است با بعضی از اصطلاحات مهم در خصوص تقطیر، به شرح زیر آشنا شوید:

- **نقطه جوش اولیه<sup>۲</sup> (IBP):** دمایی است که در آن، اولین قطره از مایعات تقطیرشده وارد استوانه مدرج می‌شود.
- **نقطه جوش نهایی<sup>۳</sup> (FBP):** بالاترین دمایی است که به هنگام تقطیر نمونه مشاهده می‌شود. اگر همه نمونه تبخیر شود و هیچ ته‌مانده‌ای در داخل بالن باقی نماند، این دما هنگامی مشاهده می‌شود که آخرین قطره نمونه، تبخیر شود.
- **نقطه تجزیه:** دمایی است که در آن، اولین آثار تجزیه نمونه در داخل بالن، مشاهده می‌شود. تشکیل ذرات سیاه و چسبنده در کف بالن نشانه تجزیه ماده نفتی است.

۱- American Society for Testing and Materials

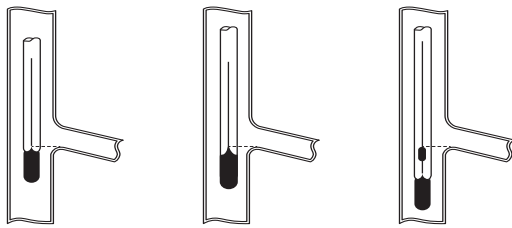
۲- Initial Boiling Point (IBP)

۳- Final Boiling Point (FBP)

در ابتدا ۱۰۰ میلی لیتر نمونه را داخل بالن بریزید و مطابق شکل الف چگالنده را به بالن متصل کنید و استوانه مدرج را در زیر لوله خروجی چگالنده قرار دهید. وضعیت قرار گرفتن دماسنج در داخل بالن مطابق شکل ب باشد تا دماهایی که یادداشت می کنید دقیقاً گستره جوش نمونه را نشان دهند.

بعد از آماده شدن دستگاه، نمونه را گرما دهید. معمولاً شدت گرما را به گونه ای تنظیم می کنند که اولین قطره مایعات تقطیر شده بعد از ۵ تا ۱۰ دقیقه در استوانه مدرج ظاهر شود. هنگامی که اولین قطره مایع به داخل استوانه مدرج وارد شد، دما را یادداشت کنید. این دما همان IBP است. طبق جدول زیر وقتی که حجم مایعات تقطیر شده در استوانه مدرج به ۵، ۱۰، ۲۰، ...، ۹۰ و ۹۵ میلی لیتر رسید، دما را یادداشت کنید. معمولاً شدت گرما را به گونه ای تنظیم می کنند که در هر دقیقه ۵°C به دمای نمونه افزوده شود. هنگامی که آخرین قطره مایع تبخیر شد، دماسنج بالاترین دما را نشان خواهد داد، آن را به عنوان FBP یادداشت کنید. البته اگر

نمونه تجزیه شد و قسمتی از آن در ته بالن باقی ماند، بالاترین دمایی را که دماسنج در طول آزمایش نشان داد، به عنوان FBP گزارش کنید. در خاتمه گرما دادن را قطع کنید و اجازه دهید دستگاه خنک شود. پس از خنک شدن دستگاه، بخش های مختلف آن را جدا کنید با حلال (استون) شست و شو دهید.



شکل ب) موقعیت صحیح انواع دماسنج در داخل بالن

جدول تغییرات دما بر حسب حجم مایعات تقطیر شده (میلی لیتر)

| حجم مایعات تقطیر شده (میلی لیتر) | دما (°C یا °F) |
|----------------------------------|----------------|
| IBP                              |                |
| ۵                                | .....          |
| ۱۰                               | .....          |
| ۲۰                               | .....          |
| ۳۰                               | .....          |
| ۴۰                               | .....          |
| ۵۰                               | .....          |
| ۶۰                               | .....          |
| ۷۰                               | .....          |
| ۸۰                               | .....          |
| ۹۰                               | .....          |
| ۹۵                               | .....          |
| FBP                              | .....          |

نتایج به دست آمده را به صورت تغییرات دما (محور عمودی) بر حسب تغییرات حجم<sup>۱</sup> مایعات تقطیر شده (محور افقی) رسم کنید تا منحنی تقطیر ASTM نمونه مورد آزمایش به دست آید. شکل پ نمونه‌ای از منحنی‌های تقطیر ASTM را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشاهده می‌کنید حجم مایعات تقطیر شده که در استوانه<sup>۲</sup> مدرج جمع‌آوری شده‌اند ۱۰۰ میلی لیتر نیست، زیرا ممکن است بخشی از نمونه از درزها یا از داخل استوانه<sup>۲</sup> مدرج به شکل بخار خارج شود<sup>۳</sup>. همچنین ممکن است بخشی از نمونه تجزیه شود و در کف بالن باقی بماند<sup>۴</sup> (حتی به صورت جامد به کف بالن بچسبد). به هر حال باید معادله زیر برقرار باشد:

$$100 = d + l + r$$

$d = mL$ ، حجم مایعات تقطیر شده،

$l = mL$ ، حجم مایعاتی که به شکل بخار از درزها خارج شده‌اند (تلف شده‌اند)،

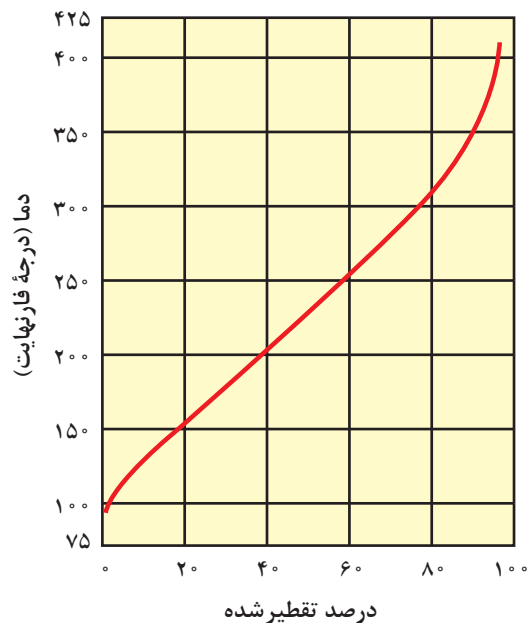
$r = mL$ ، حجم مایع باقی مانده در کف بالن،

| حجم مایعات تقطیر شده (%) | دما (°F) | دما (°C) |
|--------------------------|----------|----------|
| نقطه جوش اولیه (IBP)     | ۹۸       | ۳۶/۵     |
| ۵٪                       | ۱۱۴      | ۴۵/۵     |
| ۱۰٪                      | ۱۲۹      | ۵۴       |
| ۲۰٪                      | ۱۵۰      | ۶۵/۵     |
| ۳۰٪                      | ۱۷۱      | ۷۷       |
| ۴۰٪                      | ۱۹۳      | ۸۹/۵     |
| ۵۰٪                      | ۲۱۵      | ۱۰۱/۵    |
| ۷۰٪                      | ۲۶۸      | ۱۳۱      |
| ۸۰٪                      | ۳۰۰      | ۱۴۹      |
| ۹۰٪                      | ۳۴۰      | ۱۷۱      |
| ۹۵٪                      | ۳۶۸      | ۱۸۶/۵    |
| نقطه جوش نهایی (FBP)     | ۴۰۸      | ۲۰۹      |
| مقدار مواد تقطیر شده (d) |          | ۹۷/۵٪    |
| مقدار مواد ته مانده (r)  |          | ۱/۰٪     |
| مقدار مواد تلف شده (l)   |          | ۱/۵٪     |

۱- چون حجم نمونه ۱۰۰ میلی لیتر است، بنابراین محور افقی نمودار شکل پ را می‌توان بر حسب درصد یا بر حسب میلی لیتر نام گذاری کرد که اولی متداول است.

۲- Loss

۳- Residue



شکل پ) نمونه‌ای از اطلاعات گزارش شده در تقطیر ASTM

معمولاً مقدار  $d$  و  $r$  اندازه‌گیری می‌شوند و سپس حجم مایعات تلف شده ( $l$ ) محاسبه می‌شود. در این فعالیت، علاوه بر جدول و منحنی تقطیر ASTM، مقدارهای زیر را نیز گزارش می‌کنند:

$$\text{درصد بازیابی شده} = \frac{\text{حجم نهایی مایعات تقطیر شده در استوانه مدرج (mL)}}{100 \text{ (mL)}} \times 100$$

$$\text{درصد باقی مانده} = \frac{\text{حجم نهایی مایع باقی مانده در بالن (mL)}}{100 \text{ (mL)}} \times 100$$

درصد باقی مانده - درصد بازیابی شده - 100 = درصد تلف شده

$$\text{فاصله جوش نمونه} = \text{FBP} - \text{IBP}$$

## بسپارها

بسپارها یا پلیمرها در دنیای گوناگون و پرجاذبه شیمی به مرحله ظهور رسیده‌اند. ما در دوره‌ای زندگی می‌کنیم که بسپارها هر روز بیشتر از پیش در جنبه‌های گوناگون زندگی مطرح می‌شوند. تصوّر جهان پیشرفته کنونی بدون وجود مواد بسپاری بسیار مشکل است. امروزه بسپارها جزئی از زندگی شده‌اند و در ساخت اشیای مختلف، از وسایل زندگی معمولی گرفته تا ابزار دقیق و پیچیده به کار می‌روند. مطابق شکل ۶، پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها، الیاف، چسب‌ها و رنگینه‌ها همگی نمونه‌هایی از بسپارها هستند. هر کدام از این بسپارها به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود کاربرد ویژه‌ای دارند.



شکل ۶- برخی از کاربردهای بسپارها

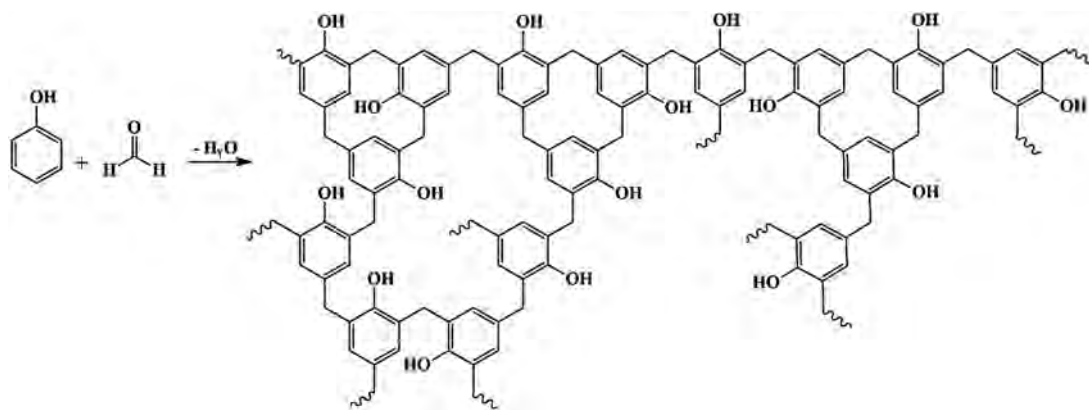
### پیشینه تاریخی بسپار

پیشرفت‌های اولیه علوم در هیچ جایی ثبت نشده است، اما بشر نخستین، آموخته بود که چگونه الیاف پروتئینی مانند پشم و ابریشم و همچنین الیافی مانند پنبه و کتان (الیاف سلولوزی<sup>۱</sup>) را عمل آورد، رنگریزی کند و ببافد. همچنین از بسپارهای طبیعی مانند پوشش خارجی لاک پشت، شاخ حیوانات و صمغ درختان (شکل ۷) با استفاده از گرما دادن و اعمال فشار، وسایل تزئینی بسازد.

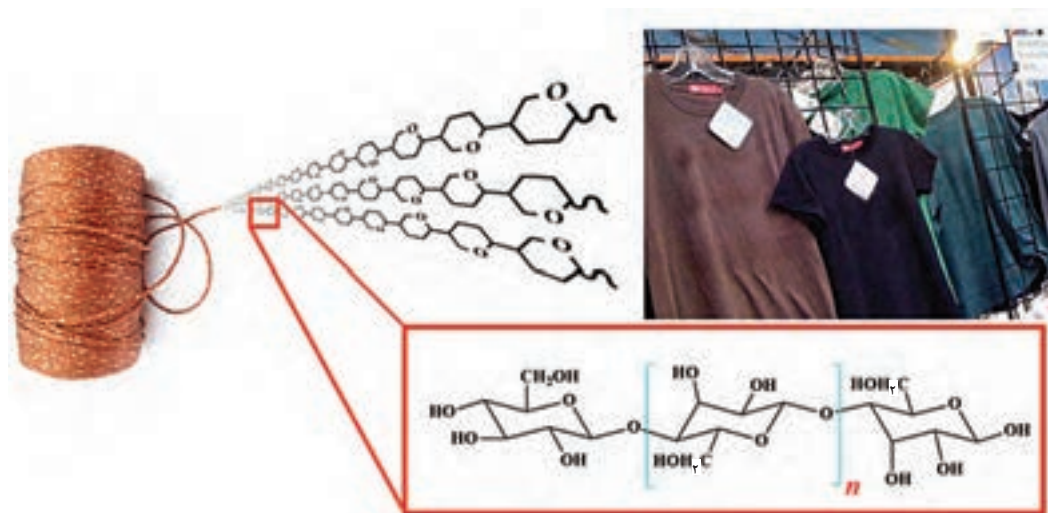


شکل ۷- جمع آوری صمغ درختان و محبوس شدن حشره در صمغ گیاهی

با توجه به مراجع، پیدایش علوم بسیار به میانه‌های سده نوزدهم میلادی بازمی‌گردد: زمانی که هنوز ساختار ساده‌ترین مولکول‌ها هم یکی از بحث‌برانگیزترین مباحث آن زمان بود، اصطلاح بسیار توسط برزیلیوس<sup>۱</sup> به کار برده شده است. باکلیت<sup>۲</sup> را می‌توان اولین بسیار مصنوعی دانست که لئو باکلند<sup>۳</sup>، شیمی‌دان بلژیکی در اوایل سده نوزدهم میلادی آن را از واکنش فنول و فرم‌آلدهید (شکل ۸) ساخت. پس از آن، الیاف نیمه‌مصنوعی ریون که از اصلاح شیمیایی سلولوز به دست می‌آید، در سال ۱۹۱۱ ساخته شد (شکل ۹). با شروع جنگ جهانی اول، موادی مانند نایلون، لاستیک بوتادی‌ان - استایرن، پلی‌اتیلن و سایر بسیارها جایگزین مواد طبیعی کمیاب شدند. از آن زمان، سیر رشد محصولات بسیار تا به امروز ادامه یافته است. جدول ۱، فهرستی از بسیارهای معروف و تاریخ ابداع و همچنین کاربردهای آنها را ارائه می‌دهد.



شکل ۸ - تهیه بسیار باکلیت از فنول و فرم‌آلدهید (حفظ کردن فرمول باکلیت الزامی نیست).



شکل ۹ - ساختار الیاف ریون و نمونه‌ای از کاربرد آن (حفظ کردن فرمول ریون الزامی نیست).

۱- Berzelius

۲- Bakelite

۳- Leo Baekeland



## جدول ۱- برخی از بسپارهای معروف و کاربردهای آنها

| کاربردهای نمونه                               | بسپار                      | سال  |
|---|----------------------------|------|
| پریزهای برق، پایه و گوشی تلفن                 | فنول - فرم آلدهید          | ۱۹۰۹ |
| سقف‌های کاذب، در و پنجره، لوله‌های فاضلاب     | پلی‌وینیل کلرید (پی وی سی) | ۱۹۲۷ |
| ظروف یک بار مصرف، اسباب‌بازی‌ها               | پلی‌استایرن                | ۱۹۳۷ |
| فیلم <sup>۱</sup> و الیاف                     | نایلون (پلی‌آمید)          | ۱۹۳۸ |
| ظروف غذا                                      | ملامین فرم آلدهید          | ۱۹۳۹ |
| بدنه قایق و پارچه‌های مصنوعی                  | پلی‌استر                   | ۱۹۴۲ |
| لوله‌های آب                                   | پلی‌اتیلن                  | ۱۹۴۲ |
| پوشش‌ها (ظروف نچسب) و کلاه ایمنی              | تفلون (فلوئورو بسپارها)    | ۱۹۴۳ |
| کف‌پوش و ابزارآلات                            | اپوکسی‌ها                  | ۱۹۴۷ |
| کلاه ایمنی، الیاف فرش‌های ماشینی              | پلی‌پروپیلن                | ۱۹۵۷ |
| شیشه‌های نشکن                                 | پلی‌کربنات                 | ۱۹۵۷ |
| نخ‌های لاستیک خودرو و جلیقه ضدگلوله           | پلی‌آمیدهای آروماتیک       | ۱۹۷۴ |
| بسپارهای رسانا در خازن‌ها و الکتروود باتری‌ها | پلی‌پیرول                  | ۱۹۷۹ |
| بسپارهای رسانا در خازن‌ها و الکتروود باتری‌ها | پلی‌تیوفن                  | ۱۹۸۲ |

تعریف بسپار و بسپارش<sup>۲</sup>

واژه بسپار، یک واژه فارسی است که از دو بخش «بس» به معنی بسیار و «پار» به معنی پاره یا قطعه تشکیل شده است. این واژه در برابر پلیمر انتخاب شده است که خود از دو بخش یونانی «پلی» به معنای بسیار و «مر» به معنی قسمت، پاره یا قطعه گرفته شده است. بنابراین بسپارها مولکول‌های بزرگی هستند که از واحدهای کوچک تکرارشونده که تکپار یا مونومر<sup>۳</sup> نامیده می‌شود، ساخته شده‌اند. تک‌پارها اغلب مولکول‌های کوچک حاوی گروه‌های فعال هستند که می‌توانند با مولکول‌های همانند خود یا از نوع دیگر واکنش دهند و مولکول‌های بسیار بزرگ یا بسپار را تشکیل دهند.

به فرایند تهیه بسپارها، بسپارش گفته می‌شود. بسپارش، یک واکنش شیمیایی است که در آن مولکول‌های کوچک و ساده یا همان تکپارها، با یکدیگر پیوند برقرار می‌کنند و مولکولی بزرگ (بسپار) با جرم مولکولی چندین برابر (چندین هزار یا بیشتر) جرم تکپار اولیه را به وجود می‌آورند. از آنجا که تعداد واحدهای تکرارشونده در یک زنجیره بسپار بسیار زیاد است، شیمی دانان مطابق شکل ۱۰ برای نمایش بسپارها، واحدهای تکرارشونده را درون قلاب می‌نویسند و زیروند  $n$  (درجه بسپارش) را جلوی آن می‌گذارند.

۱- در بسته‌بندی مواد غذایی (سوسیس و کالباس) و دارویی (کیسه‌های سرم و لوازم استریل) استفاده می‌شود.

۲- Polymerization

۳- Monomer



شکل ۱۰- الگوی تشکیل بسپار از تکپارها

## تقسیم‌بندی بسپارها

بسیاری از موادی که ما با آنها سروکار داریم همچون پروتئین‌ها، چوب، پشم، لاستیک خام، پنبه، پلاستیک، چسب‌ها و رزین‌ها، همگی بسپار هستند. با توجه به تنوع بسیار زیاد بسپارها چندین روش مختلف برای تقسیم‌بندی آنها استفاده می‌شود. بسپارها را می‌توان براساس منبع و منشأ آنها یا براساس تفاوت در ساختار مولکولی و یا براساس خواص گرمایی و کاربرد نهایی آنها به شش گروه، طبقه‌بندی کرد.

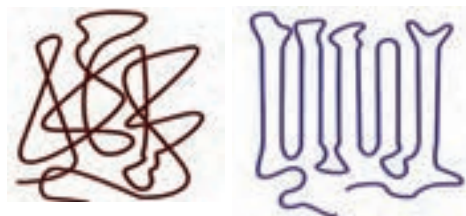
**۱- تقسیم‌بندی براساس منبع و منشأ:** در این تقسیم‌بندی بسپارها در یکی از سه گروه: بسپارهای طبیعی، بسپارهای نیمه‌مصنوعی (یا بازیافته) و بسپارهای مصنوعی قرار می‌گیرند. به بسپارهایی مانند پنبه، ابریشم و نشاسته که منشأ طبیعی دارند و به همان صورت هم استفاده می‌شوند، بسپارهای طبیعی گفته می‌شود. بسپارهای نیمه‌مصنوعی یا بازیافته به بسپارهایی گفته می‌شود که از اصلاح بسپارهای طبیعی در آزمایشگاه‌ها و یا کارخانه‌ها تهیه می‌شوند. از این نوع بسپارها می‌توان به نیتروسولوز که به‌طور گسترده در رنگ‌ها و لاک‌ها استفاده می‌شود، اشاره کرد. بسپارهای مصنوعی به بسپارهایی گفته می‌شود که در آزمایشگاه‌ها و کارخانه‌ها توسط شیمی‌دانان از تک‌پارهای متنوع تهیه می‌شوند. از این نوع بسپارها می‌توان پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌وینیل کلرید (PVC) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) را نام برد.

**۲- تقسیم‌بندی براساس ساختار:** واحدهای ساختاری حاصل از واکنش تکپارها ممکن است در الگوهای متفاوتی به هم متصل شوند که منجر به تهیه بسپارهای خطی، شاخه‌دار و یا شبکه‌ای شده شوند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تقسیم‌بندی بر اساس ساختار بسپارها

**۳- تقسیم‌بندی بر اساس بلورینگی:** بسپارها از نظر بلورینگی می‌توانند بی‌شکل (آمورف<sup>۱</sup>) یا نیمه‌بلوری باشند (شکل ۱۲). به علت بلند بودن زنجیره‌های بسپار امکان دستیابی به آرایشی کاملاً منظم، مانند موادی با جرم مولکولی کم، وجود ندارد. پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌آکریل و نیتریل و همچنین پلی‌اتیلن ترفتالات نمونه‌هایی از

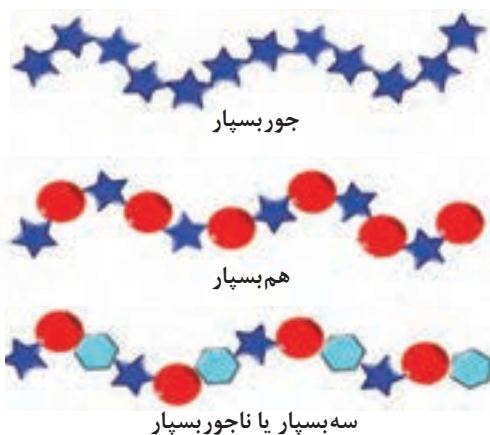


بی شکل

نیمه‌بلوری

شکل ۱۲- طرح‌وارهٔ بسپارهای بی‌شکل و نیمه‌بلوری

بسپارهای نیمه‌بلوری هستند. در مقابل بسپارهای نیمه‌بلوری بسپارهای بی‌شکل زنجیره‌هایی دارند که توانایی کنار هم قرار گرفتن به صورت منظم و به وجود آوردن آرایش منظم را ندارند. در این بسپارها زنجیره‌هایی به صورت اتفاقی مانند ظرفی پر از رشته‌های ماکارونی وجود دارد. پلی‌متیل متاکریلات و پلی‌کربنات نمونه‌هایی از بسپارهای بی‌شکل هستند.



جور بسپار

هم بسپار

سه بسپار یا ناجور بسپار

شکل ۱۳- نمای ساده از انواع بسپارها بر اساس ماهیت تکپارها

**۴- تقسیم‌بندی بر اساس ماهیت تکپارها:** در این نوع تقسیم‌بندی، بسپارهایی که فقط از یک نوع واحد تکرار شونده (تکپار) تشکیل شده‌اند، جور بسپار<sup>۲</sup> و آنهایی که از دو نوع واحد تکرار شونده (تکپار) تشکیل شده‌اند، هم بسپار<sup>۳</sup> نامیده می‌شوند. گاهی اصطلاح سه بسپار<sup>۴</sup> نیز برای محصولات حاصل از بسپارش سه تکپار به کار می‌رود. در عین حال، در مورد محصولاتی که با بیش از سه تکپار بسپارش شده‌اند، لفظ ناجور بسپار<sup>۵</sup> رایج است (شکل ۱۳).

**۵- تقسیم‌بندی بر اساس پاسخ گرما:** از دیدگاه مهندسی مفیدترین طبقه‌بندی برای بسپارها بر اساس پاسخ گرمایی آنهاست. بر این اساس بسپارها به دو دستهٔ گرمانرم‌ها (ترموپلاستیک‌ها<sup>۶</sup>) و گرماسخت‌ها (ترموست‌ها<sup>۷</sup>) تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل ۱۴- برخی از کاربردهای بسپارهای گرمانرم

**گرمانرم‌ها:** به بسپارهایی مانند نایلون، پلی‌استایرن و پلی‌اتیلن گفته می‌شود که با افزایش دما بدون تغییر شیمیایی، ذوب می‌شوند. رفتار این بسپارها مانند رفتار شمع است و می‌توانند به دفعات ذوب و دوباره جامد شوند. چنین بسپارهایی در حالت مذاب، مانند مایعات جاری می‌شوند و در اثر سرما سخت می‌شوند و شکل قالب را به خود می‌گیرند. مطابق شکل ۱۴، گرمانرم‌ها به‌طور گسترده در صنایع بسته‌بندی، ساخت لوازم خانگی، لباس و عینک آزمایشگاهی کاربرد دارند.

۱- Amorphous

۳- Copolymer

۵- Heteropolymer

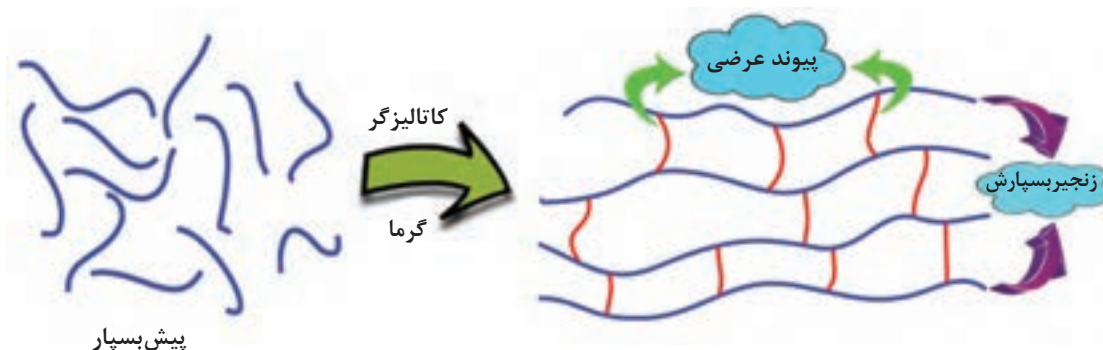
۷- Thermosets

۲- Homopolymer

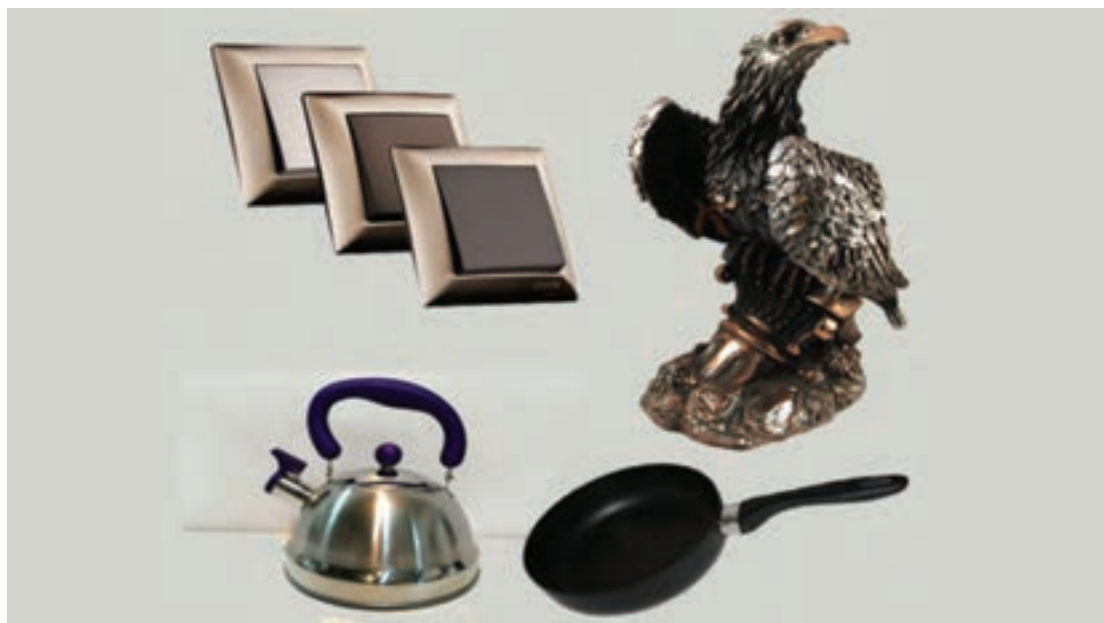
۴- Terpolymer

۶- Thermoplastics

**گرما سخت‌ها:** به بسپارهایی گفته می‌شود که بر اثر اعمال گرما در تغییرات شیمیایی شرکت می‌کنند و در آنها پیوندهای عرضی ایجاد می‌شود و بسپار جامد می‌شود. گرماسخت‌ها بیشتر به صورت مایع و پیش‌بسپار وجود دارند که توسط کاتالیزگرها یا گرم‌شدن در زیر فشار به یک شکل دائمی و پایدار تبدیل می‌شوند (شکل ۱۵). این بسپارها هنگام گرم‌دهی، ذوب نمی‌شوند، بلکه در دماهای بسیار بالا تجزیه می‌شوند. فنول فرم‌آلدهید، پلی‌استرهای سیرنشده و اپوکسی‌ها در این دسته از بسپارها قرار می‌گیرند و در مجسمه‌سازی، ساخت کلید و پرز برق و همچنین دسته‌کتری و ماهی‌تابه کاربرد دارند (شکل ۱۶).



شکل ۱۵- سازوکار کلی تهیه گرماسخت‌ها از پیش‌بسپار

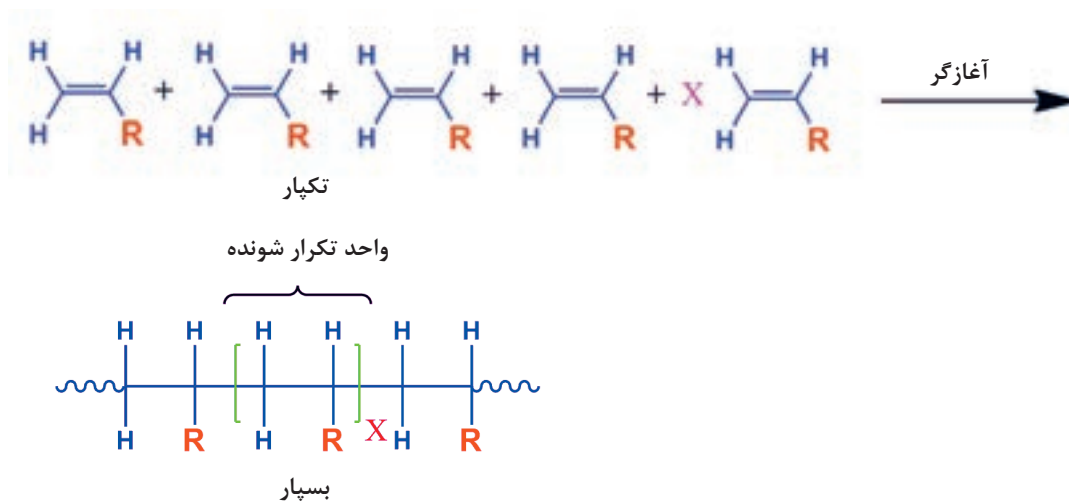


شکل ۱۶- برخی از کاربردهای گرماسخت‌ها

۶- تقسیم‌بندی براساس کاربرد: بسپارها در صنعت به چهار گروه بزرگ پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها، الیاف و چسب‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند که در صفحات بعدی به صورت گسترده به این مطالب پرداخته شده است.

### انواع بسپارش

واکنش‌های بسپارش به دو نوع زنجیره‌ای (یا افزایشی) و تراکمی (یا مرحله‌ای) طبقه‌بندی می‌شوند. واکنش‌های بسپارش زنجیره‌ای (یا افزایشی)، عموماً واکنش‌هایی هستند که در آنها از تکپارهای دارای پیوند دوگانه کربن-کربن (C=C) استفاده می‌شود (شکل ۱۷). در این نوع بسپارش، ابتدا با استفاده از یک آغازگر یک مرکز فعال در محیط واکنش به وجود می‌آید که می‌تواند به سهولت با تکپارها واکنش دهد و واکنش به صورت زنجیره‌وار ادامه پیدا کند. پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن و پلی‌وینیل‌استات نمونه‌هایی از بسپارهایی هستند که به روش بسپارش زنجیره‌ای یا افزایشی تولید می‌شوند.



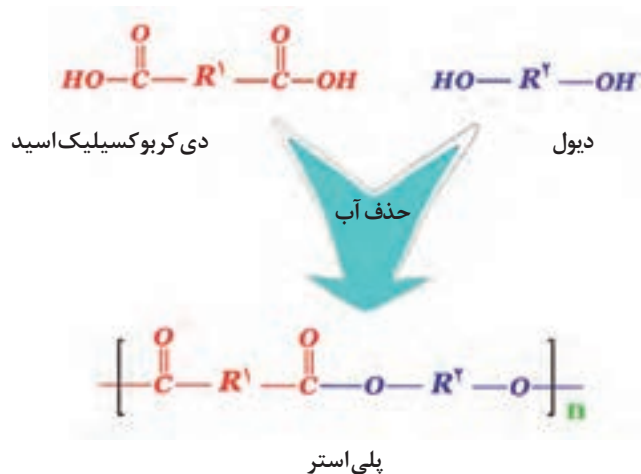
شکل ۱۷- سازوکار کلی بسپارش زنجیره‌ای یا افزایشی

واکنش بسپارش، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن را از تکپارهای مربوط بنویسید.

پرسش ۱

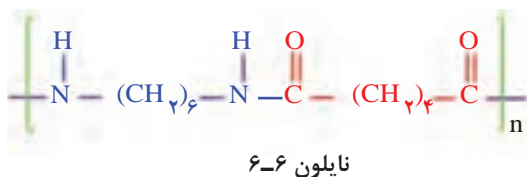
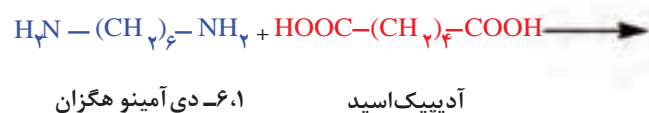
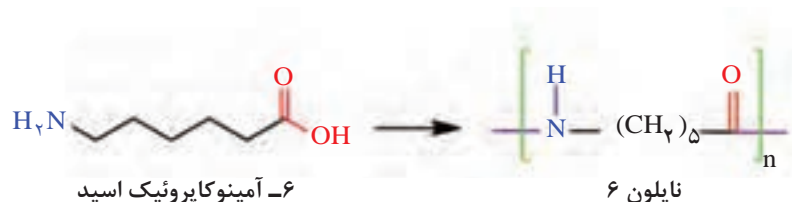


واکنش‌های بسپارش تراکمی (یا مرحله‌ای) عموماً واکنش‌هایی هستند که در آنها از تکپارهایی که دارای دو گروه عاملی مناسب هستند، استفاده می‌شوند. پلی‌استرها و پلی‌آمیدها (نایلون‌ها) معروف‌ترین بسپارهایی هستند که با این روش تولید می‌شوند. برای مثال پلی‌استرها معمولاً از طریق واکنش بین تکپارهای کربوکسیلیک‌اسید و دیول که منجر به حذف آب می‌شود، مطابق شکل ۱۸ تهیه می‌شوند.



شکل ۱۸- سازوکار کلی تهیه پلی استر از روش بسپارش مرحله‌ای یا تراکمی

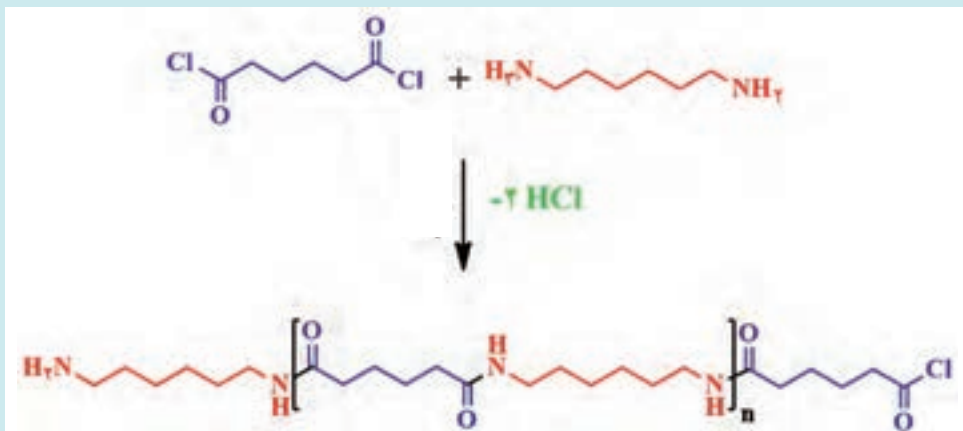
گفتنی است نایلون‌ها نخستین الیاف مصنوعی ساخت بشر هستند که در سال ۱۹۳۸ تهیه شدند. نایلون‌ها دسته بزرگی از پلی آمیدها هستند که از واکنش آمینواسیدها به دست می‌آیند. رایج‌ترین نایلون، نایلون ۶ است که از بسپارش ۶- آمینوکاپروئیک اسید یا ترکیب حلقوی آن (لاکتام) در حضور مقدار کمی آغازگر مانند آب تهیه می‌شود. روش دیگر تهیه نایلون‌ها از واکنش بین دی کربوکسیلیک اسیدها با دی آمین‌ها است. برای مثال، نایلون ۶-۶ از واکنش آدیپیک اسید و ۶،۱-دی آمینوهگزان تهیه می‌شود (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- سازوکار کلی تهیه نایلون ۶ و نایلون ۶-۶



برای تهیه پلی استرها و پلی آمیدها می توان به جای دی کربوکسیلیک اسیدها، از دی آسید کلریدها استفاده کرد.



روش تهیه نایلون ۶-۶

ثابت سرعت این واکنشها چند ده برابر واکنشهای مشابهی است که از دی کربوکسیلیک اسیدها استفاده می شود. امتیاز دیگر این روش این است که در دمای پایین تری (صفر تا ۵۰ درجه سلسیوس) انجام پذیر هستند. برای انجام شدن این واکنشها، در دمای پایین، از روش بسپارش مرحله ای بین سطحی استفاده می شود. بدین ترتیب که تکپارها در فصل مشترک دو فاز آبی و آبی با یکدیگر

واکنش می دهند. مثلاً در تهیه نایلون ۶-۶، ۶،۱ دی آمینوهگزان را در آب حل کرده، به آن محلول آدیپوئیل کلرید در یک حلال آبی (مانند کلروفرم) اضافه می شود. از آنجا که دو فاز آبی و آبی با هم امتزاج پذیر نیستند، فاز آبی بر روی فاز آبی قرار می گیرد. تکپارها خود را به سطح مشترک دو مایع رسانده، در فاز مخالف نفوذ می کنند. دو تکپار با یکدیگر واکنش می دهد و بسپار تشکیل می شود. اما این بسپار دچار جدایی فازی می شود (رسوب می کند) و به شکل یک لایه، بین دو فاز درمی آید. چنانچه خواص مکانیکی بسپار حاصل قوی باشد، می توان آن را مانند نخ به دور یک میله جمع کرد و از داخل محلول بیرون کشید.



سازوکار کلی تهیه نایلون ۶-۶ از طریق بسپارش بین سطحی



در نامگذاری نایلون ۶-۶ اعداد به کاررفته نشان دهنده چیست؟

## تهیه نایلون ۶-۶

### جرم مولکولی بسپارها

به مجموع جرم‌های اتمی همه اتم‌های موجود در یک مولکول، جرم مولکولی گفته می‌شود. در بیشتر مواد غیر بسپاری جرم مولکولی یک عدد مشخص و ثابت است ولی در بسپارها جرم مولکولی تک تک زنجیره‌ها متغیر است و به همین جهت معمولاً به صورت متوسط جرم مولکولی بیان می‌شود. تغییر در جرم مولکولی بسپارها باعث تغییر در خواص فیزیکی، مکانیکی و همچنین خواص کاربردی بسپارها می‌شود. برای مثال پلی اتیلن با جرم مولکولی پایین دارای حالت فیزیکی به صورت شمع و پارافین‌های سنگین و پلی اتیلن با جرم مولکولی بالا دارای حالت فیزیکی جامد سخت است.

همان‌طور که در صفحه‌های پیش اشاره شد بسپارها در صنعت به چهار گروه بزرگ: پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها، الیاف و چسب‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. شایان ذکر است در سال‌های اخیر در صنعت مخلوطی از این مواد و برخی مواد معدنی تحت عنوان کامپوزیت‌ها یا چندسازه‌ها کاربرد پیدا کرده است. این مطالب در ادامه به صورت گسترده‌تری آورده شده است.

### روش‌های شناسایی مقدماتی بسپارها

تعدادی روش ساده وجود دارد که می‌توان از آنها برای شناسایی انواع بسپارها استفاده کرد. این روش‌ها شامل آزمون‌های حل‌پذیری، تعیین نقطه ذوب و آزمون شعله هستند. آزمون حل‌پذیری برای بسپارها یکی از روش‌های ساده تشخیص بسپارهاست. در آزمون حل‌پذیری، حل شدن یا نشدن یک بسپار در یک یا چند حلال در دمای محیط یا بالاتر بررسی می‌شود. آزمون حل‌پذیری می‌تواند از قرار دادن حدود یک گرم از بسپار در لوله آزمایش و افزودن ۵ میلی لیتر حلال بررسی شود. برخی از نمونه‌ها ممکن است برای حل شدن به زمان بیشتر و یا مقداری گرما نیاز داشته باشند و بنابراین توصیه می‌شود به نمونه‌ها چند ساعت زمان و کمی گرما داده شود. جدول ۲ انواع حلال‌ها را برای برخی از بسپارهای متداول نشان می‌دهد.



## جدول ۲- حلال برخی از بسپارهای متداول

| حلال   | بسپار                    |
|--|--------------------------|
| هیدروکربن‌ها (زایلن جوشان)   | پلی اتیلن                |
| هیدروکربن‌ها (زایلن جوشان)   | پلی پروپیلن              |
| دی‌متیل فرمامید، سیکلوهگزان، تتراهیدروفوران، متیل اتیل کتون و کربن تتراکلرید | پلی وینیل کلرید          |
| استون، بنزن، تولوئن، سیکلوهگزان و متیل اتیل کتون                             | پلی استایرن              |
| متاکروزول و استون  | نایلون‌ها (پلی آمید)     |
| اتر، هیدروکربن‌ها و هیدروکربن‌های کلردار                                     | لاستیک طبیعی             |
| فنول   | پلی اتیلن ترفتالات (PET) |

### فعالیت عملی ۲



#### تعیین حلال مناسب برای بسپارها

#### مواد و وسایل لازم:

لوله آزمایش، همزن شیشه‌ای، حمام روغن، چراغ گاز، لوله خودکار شفاف، لیوان یک‌بار مصرف، ظرف شامپو، روکش سیم برق و حلال‌های مختلف (زایلن، فنول، تترا هیدرو فوران، استون، تولوئن و کربن تتراکلرید).

#### روش کار:

در ابتدا نمونه را با کمک ابزار مختلف تا جای ممکن خرد کنید. سپس مقدار بسیار کم نمونه خرد شده را به یک لوله آزمایش بیفزایید و مقدار بسیار کم حلال (حدود ۲ تا ۳ میلی‌لیتر) به لوله آزمایش اضافه کنید. اگر نمونه حل نشد، لوله آزمایش را در حمام آب گرم قرار دهید. سعی شود لوله آزمایش چند دقیقه در نقطه جوش حلال نگه داشته شود. حل‌ناپذیری نمونه بسپاری هنگامی تأیید می‌شود که بر اثر گرما حل نشود یا در صورتی که در اثر گرما حل شد با سرد کردن محلول رسوب کند. در پایان فعالیت، گزارشی مربوط به بسپار سازنده هر کدام از نمونه‌ها ارائه دهید.

همان‌طور که می‌دانید اغلب حلال‌ها مایعاتی بسیار خطرناک و به شدت آتش‌گیرند، لذا در مراحل آزمون حل‌پذیری نکات ایمنی را رعایت کنید.

نکات  
زیست محیطی



گرم کردن یک بسپار می‌تواند اطلاعات اولیه‌ای برای تجزیه و تحلیل بسپار فراهم کند. دمای ذوب در بسپارهای گرمانرم می‌تواند برای شناسایی آنها مورد استفاده قرار گیرد. رفتار ذوب را می‌توان با استفاده از لوله استاندارد تعیین نقطه ذوب و یا دستگاه اندازه‌گیری نقطه ذوب تعیین کرد. جدول ۳ گستره دمای ذوب برخی از بسپارهای متداول را نشان می‌دهد.

جدول ۳- دمای ذوب برخی از بسپارهای متداول

| بسیار                    | دما (°C) |
|--------------------------|----------|
| پلی اتیلن                | ۱۱۵-۱۲۵  |
| پلی پروپیلن              | ۱۶۰-۱۷۰  |
| پلی وینیل کلرید          | ۱۷۵      |
| پلی استایرن              | ۲۴۰      |
| نایلون ۶-۶               | ۲۵۰-۲۶۰  |
| لاستیک طبیعی             | ۲۸       |
| پلی اتیلن ترفتالات (PET) | ۲۴۵-۲۶۵  |

چرا دمای ذوب بسپار نایلون ۶-۶ بالا است؟

بحث‌گروهی  
۱



آزمون شعله غالباً به منظور شناسایی کیفی بسپارها کاربرد فراوان دارد. در حقیقت هدف از انجام دادن این آزمون بررسی و تحقیق پیرامون رفتار و پدیده‌هایی است که یک بسپار در هنگام مواجهه با شعله از خود نشان می‌دهد. برای این منظور، مقدار کمی در حدود نیم‌گرم نمونه را توسط اسپاتول فلزی روی لبه خارجی شعله بگیرید. اگر نمونه بلافاصله شعله‌ور نشود، به مدت چند ثانیه آن را درون شعله قرار دهید و سپس آن را از شعله دور کنید. به شیوه شعله‌وری، بو و رنگ شعله توجه شود. جدول ۴ نتایج آزمون شعله را برای برخی از بسپارهای متداول نشان می‌دهد.

#### جدول ۴- بو و رنگ آزمون شعله برای برخی از بسپارهای متداول

| بو                            | رنگ                                | بسپار                |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| سوزاندن شمع                   | زرد، پایه آبی                      | پلی اتیلن            |
| سوزاندن شمع                   | زرد، پایه آبی                      | پلی پروپیلن          |
| بوی تند (بوی هیدروکلریک اسید) | زرد، پایه سبز                      | پلی وینیل کلرید      |
| استایرن                       | زرد، پایه آبی و همراه با دوده زیاد | پلی استایرن          |
| بوی سوختن پشم                 | زرد، دود آبی                       | نایلون ها (پلی آمید) |
| بوی تیز                       | زرد و همراه با دوده                | لاستیک طبیعی         |
| بوی شیرین                     | زرد و همراه با دوده زیاد           | پلی اتیلن ترفتالات   |

### فعالیت عملی ۳



#### تعیین نوع بسپار از طریق آزمون شعله

#### مواد و وسایل لازم:

اسپاتول، چراغ گاز، نایلون فریزر، دستکش پلاستیکی، لیوان یک بار مصرف و ظرف آب معدنی.

#### روش کار:

مقدار کمی از نمونه را بر روی یک اسپاتول قرار دهید و به آهستگی به سمت کنار شعله نزدیک کنید. آنچه مشاهده می شود را به خاطر بسپارید و به سؤالات زیر پاسخ دهید و در پایان نام بسپار سازنده هر یک از مواد سوزانده شده را گزارش کنید.

- آیا نمونه شعله ور می شود؟
- آیا در زمان سوختن نمونه، گاز یا بخار آزاد می شود؟
- آیا شعله حاصل از سوختن نمونه رنگی است؟
- آیا دوده تشکیل می شود؟

چرا سوختن بسپارهایی مانند پلی استایرن و پلی اتیلن ترفتالات همراه با دوده است؟

تحقیق کنید  
۳



## فعالیت عملی ۴



### تهیهٔ بسیار اوره فرم آلدهید

#### مواد و وسایل لازم:

لوله آزمایش (۱ عدد)، کاغذ pH، سولفوریک اسید ۰/۵ نرمال (۱۰ میلی لیتر)، اوره (۵ گرم)، فرم آلدهید (۶ میلی لیتر).

#### روش کار:

- در یک لوله آزمایش ۱ گرم اوره و ۱/۵ میلی لیتر فرم آلدهید را مخلوط کنید و لوله را تکان دهید تا اوره کاملاً حل شود.
- سپس pH این محلول را با چند قطره (۳-۴) سولفوریک اسید ۰/۵ نرمال به  $\text{pH} = 4$  برسانید.
- زمان لازم برای تشکیل رسوب در لوله آزمایش را اندازه گیری کنید.
- مقداری آب به لوله آزمایش بیفزایید و حل پذیری آن را در آب بررسی کنید.

## فعالیت عملی ۵



### مقایسهٔ بسیارهای گرمانرم و گرماسخت

#### مواد و وسایل لازم:

لولهٔ آزمایش، بسیارهای مختلف ضایعاتی (کلید و پریز، سبد پلاستیکی، ظروف ملامین، دستکش لاتکس و دستهٔ کتری)، گیرهٔ لوله.

#### روش کار:

- به تعداد نمونه‌های ضایعات بسیار، لولهٔ آزمایش تهیه کنید و هرکدام را نام گذاری کنید.
- به مقدار مساوی از هر نمونه ضایعات بسیار، بردارید و در لوله‌های آزمایش نام گذاری شده بریزید.
- زیر هود نمونه‌ها را گرما دهید و به حالت بسیارها و گازهای خارج شده از لوله‌ها دقت کنید.
- شعله را خاموش کنید و اجازه دهید که نمونه‌ها سرد شوند.

#### پرسش ۲

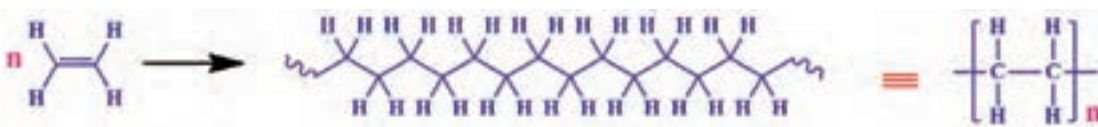


- کدام یک از ضایعات ذوب نشدند؟
- کدام یک از نمونه‌ها زودتر ذوب شد؟
- آیا تغییر رنگ در نمونه‌ها در اثر گرما مشاهده شد؟
- کدام یک از نمونه‌ها گرمانرم و کدام یک گرماسخت هستند؟

## پلاستیک‌ها

از پلاستیک‌ها به سبب خواص مناسبی همچون سبکی و مقاومت در برابر خوردگی و همچنین صرفه اقتصادی می‌توان به‌عنوان جایگزین فلزات در صنایع نام برد. پلاستیک‌ها براساس ملاحظات اقتصادی و همچنین کاربرد نهایی به دو دسته پلاستیک‌های معمولی و پلاستیک‌های مهندسی تقسیم‌بندی می‌شوند. مشخصه پلاستیک‌های معمولی حجم زیاد تولید و قیمت کم آنهاست. این نوع پلاستیک‌ها معمولاً شامل چهار گروه اصلی: پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل کلراید و پلی‌استایرن هستند. در مقابل پلاستیک‌های معمولی پلاستیک‌های مهندسی دارای قیمت بالاتر و حجم تولید کمتری هستند. از نمونه‌های این نوع پلاستیک‌ها می‌توان به پلی‌آمید، پلی‌کربنات و پلی‌استر اشاره کرد.

**الف) پلی‌اتیلن:** پلی‌اتیلن یا پلی‌اتن با عنوان اختصاری PE، بسیاری است که از اتیلن درست می‌شود. این بسیار ساده‌ترین ساختار مولکولی را دارد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- بسیاری پلی‌اتیلن



شکل ۲۱- ظروف تهیه شده از پلی‌اتیلن

پلی‌اتیلن به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی نظیر انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت خوب در برابر اسیدها، بازها و نمک‌ها (به استثنای مواد اکسیدکننده قوی)، در تولید محصولات بی‌شماری به کار رفته است و به همین دلیل، امروزه بیشترین تولید بسیار در جهان را به خود اختصاص داده است. سه گروه اصلی این بسیار عبارت‌اند از: پلی‌اتیلن سنگین<sup>۱</sup>، پلی‌اتیلن سبک<sup>۲</sup> و پلی‌اتیلن سبک خطی<sup>۳</sup>. انواع گوناگون پلی‌اتیلن کاربردهای گوناگونی از جمله لوله‌ها، اجزای سازنده کارخانه‌های مواد شیمیایی، جعبه‌ها، عایق‌های الکتریکی و همچنین در صنعت بسته‌بندی (شکل ۲۱) دارد.

۱- High Density Polyethylene (HDPE)

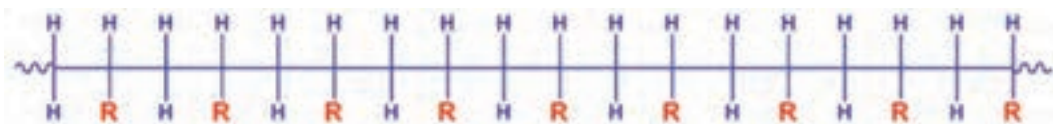
۲- Low Density Polyethylene (LDPE)

۳- Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)



- ۱ سه گونه پلی اتیلن (سنگین، سبک و سبک خطی) که در متن اشاره شد؛ چه تفاوت‌های ساختاری با یکدیگر دارند؟
- ۲ تکپار پلی اتیلن در کدام بخش از صنایع نفت تهیه می‌شود؟

**ب) پلی پروپیلن:** به دنبال تحقیقات درباره بسپارش پلی اتیلن در سال ۱۹۵۴ امکان تهیه بسپارهای شبیه، مانند پلی پروپیلن نیز فراهم شد. پلی پروپیلن یا پلی پروپن که با عنوان اختصاری PP شناخته می‌شود، بسپاری گرمانرم است که تولید صنعتی آن به سرعت توسعه یافت و در سال ۱۹۵۷ برای اولین بار وارد بازار شد. هنگامی که اولین بار پلی پروپیلن ساخته شد، از دو نوع مختلف با خواص متفاوت به دست آمد. یکی از آنها شبیه پلی اتیلن بود با سختی بیشتر، ولی نوع دیگر آن دارای سختی کمتری بود. امروزه مشخص شده است که نوع اول دارای ساختار فضایی منظم است و به پلی پروپیلن تک‌سو آرایش (ایزوتاکتیک<sup>۱</sup>) و پلی پروپیلن دو سو آرایش (سندیوتاکتیک<sup>۲</sup>) شناخته می‌شود. نوع دوم که دارای ساختار نامنظمی است به پلی پروپیلن بی آرایش (اتاکتیک<sup>۳</sup>) شناخته می‌شود (شکل ۲۲).



تک‌سو آرایش



دو سو آرایش



بی آرایش

شکل ۲۲- انواع آرایش مندی بسپارها

- ۱- Isotactic
- ۲- Syndiotactic
- ۳- Atactic

پلی پروپیلن صنعتی معمولاً دارای ۹۵-۹۰٪ تک سو آرایش است و شباهت زیادی به پلی اتیلن دارد. پلی پروپیلن در صنعت خودرو، در ساخت تزئینات داخلی، پروانه‌ها، کفپوش خودرو و جعبه باتری و همچنین در ساخت بدنه رادیو و تلویزیون، لوله، ساخت فیلم‌های بسته‌بندی برای صنایع غذایی و ساخت الیاف فرش‌های ماشینی، پستی و گونی استفاده می‌شود (شکل ۲۳). چمن‌های مصنوعی، طناب‌های مقاوم در برابر پوسیدگی، تورهای ماهی‌گیری و قلم‌موها از کاربردهای دیگر پلی پروپیلن هستند.



شکل ۲۳- لوله‌های ساخته شده از پلی پروپیلن

**پ) پلی استایرن:** استایرن یا وینیل بنزن، از مشتقات بنزن، مایعی بی‌رنگ و روان است و به آسانی بسپار می‌شود. پلی استایرن (PS) به سبب ویژگی‌های خاص خود همچون شفافیت بالا، سختی، جذب آب کم و کم‌هزینه بودن ساخت آن در دنیای امروزی کاربردهای زیادی دارد. از کاربردهای آن می‌توان به ظروف یک‌بار مصرف، وسایل الکترونیکی، بدنه ساعت، تلویزیون، رادیو، لوازم ورزشی، اسباب بازی، عایق بدنه یخچال‌ها و فریزرها و وسایل خانگی اشاره کرد (شکل ۲۳).

در برابر ویژگی‌های کلی و مناسب پلی استایرن باید به این نکته توجه داشت که این بسپار در بسیاری از موارد بسیار شکننده است. روش‌های مختلفی برای اصلاح این نقص ارائه شده است. روش هم‌بسپارش<sup>۱</sup> و افزایش پرکننده‌های لاستیکی به آن از موفق‌ترین روش‌های اصلاح شکنندگی پلی استایرن است.



شکل ۲۴ - نمونه‌هایی از کاربرد پلی‌استایرن

در دهه‌های اخیر شاهد گسترش روزافزون استفاده از مواد پلاستیکی و به‌ویژه انواع ظروف یک‌بار مصرف در صنایع غذایی هستیم. در هنگام تولید اینگونه ظروف برای افزایش کیفیت محصول نهایی، مواد افزودنی مانند نرم‌کننده‌ها، رنگینه‌ها و پاداکسنده‌ها (آنتی‌اکسیدانت‌ها) به‌منظور بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی به‌بسیار اضافه می‌شود. تکپارهای باقی‌مانده بعد از بسپارش و تأثیر عوامل محیطی مانند دما باعث جدا شدن تکپارها و برخی مواد افزودنی می‌شود. این مواد در تماس با مواد خوراکی از طریق پدیده مهاجرت<sup>۱</sup> می‌توانند وارد ماده غذایی شوند و در نهایت آنها را آلوده کنند.

پلی‌استایرن به‌صورت گسترده در تولید ظروف و لیوان‌های یک‌بار مصرف استفاده می‌شود. تکپار استایرن می‌تواند با توجه به پدیده مهاجرت از طریق مصرف مواد غذایی آلوده وارد بدن انسان شود. تکپارهای استایرن سمی هستند و می‌توان از قلب، کبد، مغز و چربی زیر پوست به‌عنوان مهم‌ترین محل‌های توزیع آنها در بدن نام برد. مصرف بلندمدت مواد غذایی آلوده به تکپار استایرن می‌تواند باعث صدمه به بافت‌های مغز، کبد، کلیه‌ها و همچنین دستگاه عصبی بدن شود.

برای مصون بودن از خطرات بسپارها، شما چه راهکاری را ارائه می‌دهید؟

نام آیوپاک و فرمول مولکولی استایرن چیست؟

واکنش بسپارش استایرن را بنویسید.

نکات زیست  
محیطی و  
بهداشتی



پرسش ۳



تحقیق کنید  
۵



پرسش ۴







ویژگی‌های استفاده از ظروف غذاخوری بسپاری، فلزی و شیشه‌ای را با یکدیگر مقایسه کنید.

ت) **پلی‌وینیل کلرید:** پلی‌وینیل کلرید که با عنوان اختصاری PVC شناخته شده است نام پذیرفته شده برای پلی‌کلرواتن است. پلی‌وینیل کلرید در کنار سه بسپار پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن جزء چهار بسپار مهم از نظر تولید جهانی است. از مزایای پلی‌وینیل کلرید، مقاومت خوب آن در برابر چربی‌ها، روغن‌ها، اسیدها و بازها است. عایق الکتریسیته و در برابر شعله، مقاوم است و از آنجایی که به راحتی با انواع نرم‌کننده‌ها آمیخته می‌شود، می‌توان محصولات پلاستیکی متنوعی، از سخت‌ترین شکل تا انعطاف‌پذیرترین شکل را تولید کرد. از کاربردهای مهم پلی‌وینیل کلرید می‌توان به: ساخت لوله، کانال و لوازم نصب‌کردنی، کیف‌های ارزان قیمت، ساخت در و پنجره و در شکل نرم آن برای لباس، لوازم داخلی منزل نظیر پرده، کفپوش و سقف، پوسته کابل‌های الکتریکی، توپ‌های بازی سبک‌وزن اشاره کرد (شکل ۲۵)



شکل ۲۵- نمونه‌هایی از کاربرد پلی‌وینیل کلرید

فرمول مولکولی پلی‌وینیل کلرید چیست؟

تحقیق کنید  
۶

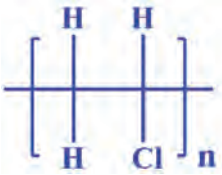
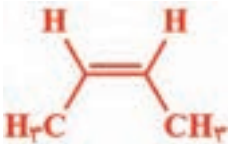
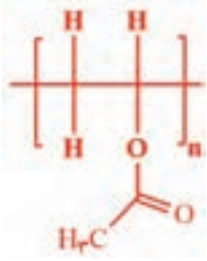
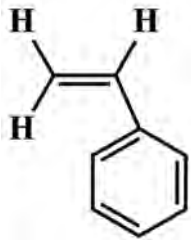



واکنش بسپارش وینیل کلرید را بنویسید.

پرسش ۵



خود را بیازمایید: جدول زیر را کامل کنید.

| کاربردها                  | نام و ساختار بسپار  | نام و ساختار تکپار   |
|---------------------------|---|--|
| سقف‌های کاذب<br>_____     | _____    | وینیل کلرید<br>_____   |
| لوله آب<br>_____          | پلی پروپیلن<br>_____  |    |
| چسب چوب<br>_____          | _____  | وینیل استات<br>_____   |
| ظروف یک بار مصرف<br>_____ | پلی استایرن<br>_____  |  |
| ظروف آشپزخانه<br>_____    | پلی تترافلوئورواتیلن (تفلون)<br>_____   |  |

**لاستیک‌ها:** لاستیک‌ها یا الاستومرها<sup>۱</sup>، بسپارهایی با قابلیت کشش و انقباض سریع هستند. بادکنک‌ها، تایر خودروها، واشرها و دستکش‌ها همگی از کاربردهای بی‌شمار لاستیک‌ها هستند (شکل ۲۶). لاستیک طبیعی از عصاره درختان هوآ<sup>۲</sup> که در کشور برزیل و برخی از نواحی گرمسیر آمریکای جنوبی یافت می‌شود، به دست می‌آید. پس از انجام دادن چندین فرایند بر روی این عصاره، لاستیک خام یا کائوچو به دست می‌آید. برای بهبود خواص مکانیکی لازم است لاستیک خام را دوباره فراوری و پیوندهای عرضی در آن ایجاد کرد که به نام ولکانش<sup>۳</sup> شناخته می‌شود. گوگرد بیشترین کاربرد را در فرایند ولکانش دارد.



شکل ۲۶- برخی از کاربردهای لاستیک‌ها

تحقیقی درباره لاستیک طبیعی برای رسیدن به دستکش لاتکس انجام دهید و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

تحقیق کنید  
۷



شکل ۲۷- نمونه‌ای از الیاف رنگ شده

**الیاف:** الیاف به سبب دارا بودن استحکام بالا، پایداری گرمایی خوب، قابلیت ریسندگی و بسیاری از خواص دیگر، در ساخت انواع منسوجات، نخ تایر و طناب به طور گسترده کاربرد دارند (شکل ۲۷).

۱- Elastomers

۲- Hevea Trees

۳- Vulcanization

الیاف طبیعی را می‌توان به دو گروه اصلی: پلی‌ساکاریدها مانند پنبه و گروه پروتئین‌ها مانند پشم و ابریشم تقسیم‌بندی کرد. از الیاف مصنوعی می‌توان به الیاف پلی‌استر و الیاف نایلون اشاره کرد که حدود ۷۰٪ حجم تولید الیاف مصنوعی را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸ - نمونه‌هایی از الیاف طبیعی و مصنوعی

سه کاربرد متفاوت از الیاف طبیعی و مصنوعی را نام ببرید.

پرسش ۶



طرز تهیه الیاف

فیلم آموزشی



فعالیت عملی ۶



ساخت الیاف ریون از پنبه

وسایل و مواد لازم:

بشر، همزن شیشه‌ای، سرنگ، مس کربنات بازی ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ )، سولفوریک اسید (۱ مولار)، محلول آمونیاک (۲۵٪) و پنبه.

## روش کار:

ابتدا ۴ گرم مس کربنات بازی را در بشر بریزید و به آن ۴۰ میلی لیتر محلول آمونیاک ۲۵٪ اضافه کنید و با همزن شیشه‌ای به خوبی هم بزنید. پس از تشکیل یک محلول آبی رنگ، محلول رویی را در یک بشر دیگر خالی کنید. کم کم پنبه را به محلول اضافه کنید تا یک محلول گران رو به دست آید. محلول گران رو را توسط سرنگ بکشید و در یک بشر دیگر که حاوی سولفوریک اسید ۱ مولار است کم کم خالی کنید. منتظر بمانید تا الیاف تشکیل شده بی رنگ شوند.

فیلم آموزشی

روش تهیه الیاف ریون از پنبه



## چسب ها

از زمان های بسیار دور، اندیشه چسبانیدن دو چیز به هم، پیوسته دغدغه ذهن بشر بوده است. در قدیم، چسب را از استخوان، شاخ، پوست و رگ و پی حیوانات تهیه می کردند. چسب به عنوان ماده ای غیر فلزی تعریف می شود که قادر است دو بستر را به هم متصل کند. اغلب چسب ها از بسیار، حلال، مواد پایدار کننده<sup>۱</sup>، نرم کننده و تغلیظ کننده تشکیل شده اند. بسیاری از چسب ها به چسب قدرت چسبندگی می دهند. برای مثال، بسیار موجود در چسب چوب، پلی وینیل استات و یا بسیار موجود در چسب های قطره ای، پلی سیانوآکریلات<sup>۲</sup> است. چسب ها هنگامی که اعمال می شوند در حالت مایع هستند و پس از تبخیر حلال یا واکنش شیمیایی سخت می شوند و به حالت جامد در می آیند. برای متصل کردن وسایل ساده مانند دو تکه کاغذ تا اتصال قطعات هواپیماهای پیشرفته از چسب استفاده می شود (شکل ۲۹). امروزه در دنیا بیش از صدها سازنده چسب وجود دارند و هزاران نفر در این زمینه مشغول به کار و فعالیت هستند و این تعداد روز به روز افزایش می یابد. چسب ها نه تنها برای موادی که باید چسبانده و به هم پیوسته شوند، به کار برده می شوند، بلکه در ایجاد



چسبندگی برای موادی از قبیل جوهر تحریر، وسایل بتونه کاری و وجوه میانی در مواد ترکیبی از قبیل تایرهای لاستیکی و شیشه یا الیاف در پلاستیک ها هم استفاده می شود. چسب ها را می توان به چهار گروه اصلی: گیاهی،

شکل ۲۹- نمونه هایی از چسب های موجود در بازار

۱- Stabilizer باعث افزایش مقاومت عوامل خارجی مانند نور فرابنفش و اکسیژن می شوند.

۲- Poly Cyanoacrylate

حیوانی، معدنی و مصنوعی طبقه‌بندی کرد.

**الف) چسب‌های گیاهی:** این چسب‌ها مانند چسب نشاسته و صمغ عربی منبع گیاهی دارند و محلول در آب هستند و از آنها در چسباندن تمبر و پاکت، مقوا، چوب و کاغذ استفاده می‌شود.

**ب) چسب‌های حیوانی:** این چسب‌ها از اعضای بدن حیوانات تهیه می‌شوند و از لحاظ چسبندگی قوی‌تر از چسب‌های گیاهی هستند. سریشم و لاک<sup>۱</sup> نمونه‌ای از چسب‌های حیوانی هستند که در نجاری، تهیه کاغذ سنباده و کارتن‌سازی کاربرد دارند.

**پ) چسب‌های معدنی:** این چسب‌ها مانند چسب‌های سیلیکونی مقاومت خوبی در برابر گرما و آب دارند و در اتصال اشیای شیشه‌ای، سرامیکی و کوارتزی کاربرد دارند. این چسب‌ها در ساختن آکواریوم‌ها و ساخت آجرهای نسوز استفاده می‌شوند.

**ت) چسب‌های مصنوعی:** این چسب‌ها از بسپارهای مصنوعی تهیه می‌شوند و تنوع بسیار زیادی دارند. این چسب‌ها تقریباً توانایی چسباندن همه چیز را دارند و به همین دلیل، کاربردهای گوناگونی در مصارف خانگی، صنعتی و تجاری دارند. چسب‌های قطره‌ای (پلی‌سیانواکریلات)، چسب‌های دوقلو (چسب اپوکسی) و چسب‌های نواری (پلی‌وینیل کلرید) نمونه‌هایی رایج از این نوع چسب‌ها هستند.

پرسش ۷



چند نمونه از کاربردهای متفاوت چسب‌های مصنوعی را نام ببرید.

دو نیرو در سازوکار اتصال چسب‌ها به سطوح مختلف دخالت دارند که عبارت‌اند از: نیروهای واندروالسی و پیوندهای شیمیایی.

نیروهای واندروالسی ناشی از نیروهای جاذبه بین چسب و جسم است که اساس اغلب فرایندهای چسبندگی هستند. پیوندهای شیمیایی، چسبندگی به مراتب قوی‌تر از نیروهای واندروالسی ایجاد می‌کنند. این نوع اتصال زمانی رخ می‌دهد که سطح دارای گروه‌های شیمیایی باشد که بتواند از طریق واکنش شیمیایی با چسب اتصال برقرار کند.

فعالیت عملی ۷



تهیه چسب گیاهی

روش کار:

با انواع صمغ‌های در دسترس چسب گیاهی تهیه کنید.

تحقیق کنید

۸



درباره چسبندگی شش نظریه وجود دارد که عبارت‌اند از: نظریه جذب فیزیکی، نظریه جذب شیمیایی، نظریه الکترواستاتیک، نظریه نفوذ، نظریه پیوند چسبندگی مکانیکی و نظریه لایه مرزی ضعیف، به صورت گروهی درباره هر نظریه گزارشی ارائه دهید.

۱- از حشره‌ای به نام قرمزخانه به دست می‌آید و در نجاری برای جلا دادن به چوب استفاده می‌شود.



## فعالیت عملی ۸



چگونه با مواد ارزان یک چسب خیلی قوی تهیه کنیم؟

**وسایل و مواد لازم:** ظرف شیشه‌ای و همزن (اسپاتول)، مقداری یونولیت و ۱۰ میلی لیتر استون.

**روش کار:**

- ۱ یونولیت را در ظرف بریزید و کم کم استون را به آن اضافه کنید.
- ۲ پس از اضافه کردن استون، یونولیت حل می شود. آنقدر یونولیت اضافه کنید تا محلول غلیظ عسلی شکل تهیه شود.
- ۳ چسب تهیه شده را در یک ظرف شیشه‌ای دردار بریزید و در زمان نیاز، استفاده کنید.

همان طور که می دانید استون مایعی بسیار خطرناک و به شدت آتشگیر است، لذا در مراحل ساخت چسب و نگهداری آن نکات ایمنی را رعایت کنید.

نکات  
زیست محیطی



با توجه به ساخت چسب از یونولیت، به نظر شما یونولیت چیست؟

بحث گروهی  
۳



## فعالیت عملی ۹



**تهیه چسب PVC**

**وسایل و مواد لازم:**

- ظرف فلزی دردار با گنجایش ۱۵۰ mL (مانند یک قوطی رنگ) (در وسط در قوطی، سوراخی به اندازه محور همزن تعبیه کنید).
- میله همزن شیشه‌ای
- ترازوی دوکفه‌ای با دقت  $\pm 1$  گرم
- همزن برقی با دور متغیر
- بشر ۱۰۰ mL
- شیشه ساعت (یک عدد)

- استوانهٔ مدرج (یک عدد)
- پیپت آزمایشگاه
- پیپت پُرکن
- پودر PVC(S)<sup>۱</sup>
- حلال سیکلوهگزانون
- حلال تتراهیدروفوران
- دی‌اکتیل فتالات (DOP)<sup>۲</sup>
- مادهٔ غلظت‌دهنده

### روش کار:

- برای ساخت ۱۰۰ گرم چسب PVC مراحل زیر را انجام دهید.
- ۱ ۱۰ گرم پودر PVC را به کمک ترازو و شیشهٔ ساعت بردارید.
  - ۲ ۵۰ گرم حلال تتراهیدروفوران (THF) را به کمک ترازو و بشر مناسب بردارید.
  - ۳ ۴۰ mL حلال سیکلوهگزانون را به کمک استوانهٔ مدرج بردارید.
  - ۴ ۳ گرم DOP را وزن کنید.
  - ۵ حلال THF و سیکلوهگزانون و DOP توزین‌شده را در یک ظرف فلزی دارای حجم ۱۵۰ mL مخلوط کنید.
  - ۶ سپس پودر PVC(S) را که پیش‌تر توزین شده است به آرامی ضمن هم‌زدن با میلهٔ شیشه‌ای به آن اضافه کنید. اکنون ظرف را در زیر همزن برقی قرار دهید به‌گونه‌ای که محور همزن از وسط در قوطی عبور کرده باشد و در آن کاملاً بسته شود.

پرسش ۸



چرا در قوطی باید بسته شود؟

- توجه داشته باشید که محور همزن در داخل قوطی به اندازهٔ کافی از ته ظرف فاصله داشته باشد.
- ۷ سپس ظرف را توسط گیره در جای خود محکم کنید.
  - ۸ همزن را با دور کم روشن کنید و عمل هم‌زدن را به مدت ۲-۳ ساعت ادامه دهید تا عمل اختلاط به‌خوبی انجام شود. سپس به منظور افزایش گرانروی چسب حدود یک گرم مادهٔ غلظت‌دهنده از جنس سیلیس پودر شده به مخلوط اضافه کنید و هم‌زدن را به مدت یک ساعت دیگر ادامه دهید.

توجه



این ماده یک پودر سفید رنگ و بسیار سبک است لذا هنگام توزین نباید در معرض وزش باد قرار گیرد. پس از پایان اختلاط، قوطی حاوی چسب را به آرامی از زیر همزن خارج کنید و در قوطی را به‌طور کامل ببندید.

۱ - PVC بسته به نوع فرایند تولید به دو صورت PVC(S) (سوسپانسیون) و PVC(E) (امولسیون) در بازار وجود دارد.  
 ۲- دی‌اکتیل فتالات به‌عنوان نرم‌کننده به‌کار می‌رود.





### چسباندن قطعات پی‌وی‌سی با چسب تهیه شده

**دامنه کاربرد:** چسب PVC معمولاً برای چسباندن قطعات لوله PVC به یکدیگر استفاده می‌شود. لوله‌های PVC با عنوان تجاری پولیکا در بازار مصرف وجود دارند که معمولاً برای انتقال فاضلاب‌ها در زیر خاک از آنها استفاده می‌شود. این لوله‌ها از جنس پلی‌وینیل کلرید هستند، پس حلال‌های موجود در چسب می‌توانند روی سطح این لوله‌ها خراش و چسبندگی ایجاد کنند.

**چگونگی چسباندن قطعات لوله‌های پولیکا توسط چسب PVC:** یک قطعه لوله پولیکا با قطر دلخواه بردارید. یک عدد زانویی متناسب با قطر انتخابی تهیه کنید. هدف چسباندن لوله به زانویی آن است. توجه داشته باشید برای این که لوله‌ها هیچ‌گونه نشستی نداشته باشند، از این چسب برای عایق‌کاری لوله استفاده می‌شود. به‌منظور چسباندن قطعات PVC می‌توانید از چسبی که تهیه کرده‌اید، استفاده کنید. لازم است عملیات آماده‌سازی سطح و اعمال چسب با دقت صورت گیرد.

#### وسایل و مواد لازم:

- ۱ پارچه کتانی به اندازه  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$
- ۲ حلال متانول
- ۳ قلم‌مو
- ۴ چسبی که خودتان تهیه کرده‌اید.

#### روش کار:

پارچه کتانی را به مقداری متانول آغشته کنید سپس سطح خارجی لوله و سطح زانویی را به‌دقت تمیز کنید. توجه داشته باشید که متانول از خانواده حلال‌های سمی است. این الکل ضمن چربی‌زدایی سطح، آسیبی در سطح لوله ایجاد نمی‌کند ولی حتماً از دستکش استفاده کنید.

سطح خارجی لوله و سطح داخلی زانویی را با قشری از چسب، توسط قلم‌مو، با ضخامت یکنواخت بپوشانید. بعد از حدود ۱۵ ثانیه لوله را روی زانویی سوار کنید. توجه داشته‌باشید که با حلال‌های موجود در چسب می‌توانید سطح لوله PVC را نرم کنید به‌طوری که بسپارهای نرم‌شده در محل اتصال در یکدیگر ممزوج شوند. پس از خشک شدن چسب حدود ۲۴ ساعت طول می‌کشد تا لوله‌ها به‌چسبند. در صورتی که عملیات چسب‌زدن و تمیزکاری سطح به‌طور کامل انجام شده باشد، لوله‌ها نشستی نخواهند داشت.

در انتهای کار مجموعه لوله و زانویی که توسط هنرجو تهیه شده است، از نظر تمیزی کار و نداشتن نشستی ارزیابی شود.

✓ قدرت چسبندگی چسب پی‌وی‌سی تجاری را با چسب تهیه‌شده در کارگاه هنرستان خود مقایسه کنید.

حتماً تا به حال با واژه‌هایی مانند الیاف شیشه (فایبرگلاس<sup>۱</sup>) یا کامپوزیت<sup>۲</sup> (چندسازه) مواجه شده‌اید. این مواد امروزه کاربردهای وسیعی در صنایع مختلف پیدا کرده‌اند. برای شروع بد نیست بدانیم که فایبرگلاس یا الیاف شیشه انواع بسیار متداولی از کامپوزیت‌ها است. اما کامپوزیت چیست؟

به هر ماده‌ای که از بیش از یک جزء (فاز) تشکیل شده باشد، کامپوزیت یا چندسازه می‌گویند. کامپوزیت‌ها شامل یک فاز زمینه (ماتریس<sup>۳</sup>) و یک یا چند فاز تقویت‌کننده (پرکننده) هستند. البته ترکیب مواد در کامپوزیت یک ترکیب فیزیکی است؛ یعنی اجزای تشکیل‌دهنده یک کامپوزیت با هم به صورت شیمیایی ترکیب نمی‌شوند به طوری که اجزای تشکیل‌دهنده ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را کاملاً حفظ می‌کنند. در اطراف ما، کامپوزیت‌های زیادی وجود دارند. شاید بتوان کاهگل را به عنوان اولین کامپوزیت ساخته دست بشر دانست (شکل ۳۰). این ماده کامپوزیت است، چرا که از بیش از یک جزء تشکیل شده است (کاه و گل)، و نکته جالب اینجاست که خواص آن هم از کاه و هم از گل خالص بهتر است. بسپارها به طور گسترده در تهیه کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند. منظور از کامپوزیت‌های بسپاری، کامپوزیت‌هایی هستند که از بسپارها، و یا بسپار همراه با انواع دیگری از مواد همچون الیاف و نانوذرات ساخته شده‌اند.



شکل ۳۰- کاهگل یک نوع کامپوزیت طبیعی

۱- Fiber Glass  
۲- Composite  
۳- Matrix

از مهم‌ترین مزیت‌های کلی کامپوزیت‌های بسپاری می‌توان به مقاومت مکانیکی و استحکام بالا نسبت به وزن، مقاومت بالا در برابر خوردگی و خواص عایق گرمایی خوب اشاره کرد. یکی از کامپوزیت‌های رایج تقویت‌شده با الیاف، الیاف شیشه (فایبرگلاس) است. الیاف به‌عنوان فاز پرکننده کامپوزیت‌ها باعث تقویت استحکام آنها می‌شوند. کامپوزیت‌های پلی‌استر تقویت‌شده با الیاف شیشه به‌طور گسترده در بدنه خودروها و قایق‌ها، کلاه ایمنی موتورسواران، عایق کاری ساختمان‌ها و کوره‌ها و یخچال‌ها استفاده می‌شوند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱- نمونه‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های الیاف شیشه

فاز زمینه و فاز تقویت‌کننده در هر کدام از کامپوزیت‌های زیر کدام است؟  
کاهگل، ملات و بدنه قایق‌ها

تحقیق کنید  
۹



الیاف کربن یکی از مواد نوظهوری است که توجه پژوهشگران و البته سرمایه‌گذاران را به‌سوی خود جلب کرده است. الیاف کربن از الیاف بسیار نازکی که دارای اتم‌های کربن هستند، ساخته می‌شود. الیاف کربن می‌توانند از مواد اولیه مختلف مانند قیر حاصل از قطران زغال سنگ و الیاف سلولوزی مانند ریون ساخته شوند، اما الیاف کربن تجاری اغلب از بسپاری به نام « پلی‌آکریلونیتریل<sup>۱</sup> » یا به اختصار « پان<sup>۲</sup> » شکل می‌گیرند. الیاف کربن دارای استحکامی مشابه و یا بیشتر از استحکام فولاد است، درحالی‌که بسیار سبک و انعطاف‌پذیر است. این

۱- Poly Acrylonitrile

۲- Pan

الیاف همچنین در صورت گرم شدن منبسط نمی‌شوند و در کل به دلیل مقاومت بالای گرمایی نمی‌سوزند. این نوع الیاف در مقابل خم شدن و کشیدگی آسیب نمی‌بینند و بسیار مقاوم هستند، اما اگر در برابر یک ضربه ناگهانی زیاد، مانند ضربه با چکش، قرار گیرند، می‌شکنند. الیاف کربن به صورت گسترده در ساخت تجهیزات ورزشی، پره توربین‌ها، ساخت بدنه خودروها و در صنایع نظامی و هوا فضا کاربرد دارد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- نمونه‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های کربنی



### ساخت قایق ابتکاری، برون رفت از باتلاق و نیزار

چند سال پس از شروع جنگ در مواقعی نیاز بود رزمندگان، ابتدا وارد آب شوند و سپس در خشکی به پیشروی ادامه دهند. یکی از مشکلات ورود به مرداب، از کار افتادن پروانه موتور قایق‌ها به دلیل حجم زیاد نی و گیاهان مرداب بود. در هورالعظیم، برگ نی‌ها پس از قطع شدن، روی سطح آب شناور می‌شدند و به دور پره موتور قایق‌ها می‌پیچیدند و آنها را از کار می‌انداختند. بنابراین باید نیروی پیش‌برنده قایق در بیرون از آب قرار می‌گرفت. به علاوه در جایی که آب نبود، قایق باید بر روی نی‌ها حرکت کند. از این رو طراحی و ساخت تجهیزات و وسایل نقلیه آبی - خاکی سبک در دستور کار پشتیبانی و مهندسی جنگ جهاد سازندگی قرار گرفت.

مهندسان با استفاده از یونولیت و فوم (به خاطر سبکی) طرح‌هایی را استفاده کردند. در شکل زیر نمونه‌هایی از طرح‌های مختلف قایق مرداب‌رو و خودروهای دوزیست آورده شده است.





تهیه یک نمونه کامپوزیت طبیعی (کاهگل)

مواد و وسایل لازم:

خاک رس، آب، کاه، لیوان یک‌بار مصرف.

روش کار:

در چهار آزمایش جداگانه، یک لیوان یک‌بار مصرف به‌عنوان پیمانه بردارید و هر کدام از لیوان‌ها را تا نیمه از خاک رس پر کنید. سپس در هر یک به ترتیب ۵، ۱، ۲ و ۳ گرم کاه اضافه کنید و خوب مخلوط کنید. به هر کدام به‌مقدار لازم آب اضافه کنید و در نهایت کامپوزیت را توسط لیوان قالب‌گیری کنید و کنار بگذارید تا کاملاً خشک شوند. استحکام چهار نمونه تهیه‌شده را (ضربه‌زدن و مقاومت در برابر آب) با یکدیگر مقایسه کنید.

■ کدام نمونه استحکام بالاتری دارد؟

■ چه نتیجه‌گیری از این آزمون عملی دارید؟

پرسش پایانی

- ۱ ترکیبات عمده نفت خام را نام ببرید.
- ۲ گازهای طبیعی مخلوط کدام هیدروکربن‌ها است؟
- ۳ منظور از صنعت پتروشیمی چیست؟
- ۴ اهمیت بسپارها را بنویسید.
- ۵ تقسیم‌بندی بسپارها را براساس ساختار بنویسید.
- ۶ بسپار گرمانرم چه بسپاری است؟
- ۷ بسپارش افزایشی را با مثال شرح دهید.
- ۸ پلاستیک‌ها چه موادی هستند؟
- ۹ کاربرد الیاف را بنویسید.
- ۱۰ انواع چسب‌ها را نام ببرید.

## ارزشیابی شایستگی انجام عملیات در صنایع پتروشیمی

| <p><b>شرح کار:</b><br/>چگونگی استفاده از تجهیزات را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.<br/>هنگام کار مراقب باشد که وسایل صدمه نبیند. پس از انجام دادن کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</p>   |                               |                       |               |
|---|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| <p><b>استاندارد عملکرد:</b><br/>تهیه برخی از فراورده‌های پتروشیمی مانند بسیار و چسب طبق دستور کار</p>   |                               |                       |               |
| <p><b>شاخص‌ها:</b><br/>                 رعایت مسائل ایمنی هنگام انجام دادن کار ■ انجام دادن کار طبق دستور کار ■</p>   |                               |                       |               |
| <p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b><br/>                 شرایط مکان: آزمایشگاه/ کارگاه<br/>                 شرایط دستگاه: آماده به کار<br/>                 زمان: یک جلسه آموزشی<br/>                 ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی تجهیزات آزمایشگاهی</p>   |                               |                       |               |
| <p><b>معیار شایستگی:</b></p>  |                               |                       |               |
| ردیف  | مرحله کار                     | حداقل نمره قبولی از ۳ | نمره هنرجو    |
| ۱   | پالایش نفت و گاز              | ۱                     |               |
| ۲   | تهیه چند نمونه بسیار          | ۲                     |               |
| ۳   | تهیه چند نمونه چسب و کامپوزیت | ۱                     |               |
| <p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:<br/>                 ۱- ایمنی: انجام دادن کار آزمایشگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی<br/>                 ۲- نگرش: صرفه‌جویی در مواد مصرفی<br/>                 ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش<br/>                 ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی<br/>                 ۵- مستندسازی: گزارش نویسی</p> |                               |                       |               |
|   |                               |                       | میانگین نمرات |
|   |                               |                       | *             |

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

- ۱ برنامه درسی درس عملیات در کارخانه‌های صنایع شیمیایی، رشته صنایع شیمیایی، (۱۳۹۴). دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
- ۲ اداره کل نظارت بر امور دارو، داروهای جالینوسی. (۱۳۷۰). شرکت دارویی پخش هجرت.
- ۳ اصیلیان، علی. (۱۳۷۲). درمان‌شناسی بیماری‌های پوست. نشر آذربایجان.
- ۴ ایرانی، نادر و یارندی، امیرعباس. (۱۳۷۲). مواد اولیه محصولات پاک‌کننده و مسائل محیط‌زیست آنها در ژاپن. انتشارات شرکت تحقیقات و توسعه صنایع شوینده و بهداشتی.
- ۵ بهرامی، عبدالرحمان. (۱۳۹۲). روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه آلاینده‌های هوا. (جلد اول). ناشر فن‌آوران.
- ۶ بختی، بشیر و صالحی، فرزانه. (۱۳۶۶). فرهنگ فرآورده‌های صنعتی. چاپ رشیدیه.
- ۷ پگاه حائری، هادی. (۱۳۴۵) اصول گداز و استخراج فلزات. تهران: دانشگاه تهران.
- ۸ تفتدی، محسن. امیری، رضا و حسین‌زاده، حسین. عوارض جانبی گیاهان دارویی. (۱۳۷۶). انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
- ۹ تقی بیگلر، چنگیز. (۱۳۶۷). فرآورده‌های آرایشی و بهداشتی. نشر آدینه.
- ۱۰ تعویذی، فرزاد. (۱۳۹۲) فلزات استراتژیک. تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.
- ۱۱ تکنولوژی و کارگاه عمومی سرامیک. (۱۳۸۹) رشته سرامیک. چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- ۱۲ توحیدی، ناصر. (۱۳۶۴). سیر تکاملی تولید آهن و فولاد در ایران و جهان. تهران: امیرکبیر.
- ۱۳ جعفرزاده، اسدالله؛ رضوی، میربهزاد. (۱۳۷۱). اکتشاف و محاسبه کانه آهن. مرکز انتشارات: صنعت فولاد، شرکت ملی فولاد ایران.
- ۱۴ جهان‌بخش جاوید، نیلوفر؛ فرهودی، مهران. (۱۳۹۵). فرایند تولید کلرالکالی به روش الکترولیز غشایی، سومین کنفرانس بین‌المللی نوآوری‌های اخیر در شیمی و مهندسی شیمی.
- ۱۵ حسینیان، مرتضی. (۱۳۶۴). دترجنت‌ها و آلودگی آب. ناشر شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس.
- ۱۶ حقیقت‌پژوه، حمیدرضا. (۱۳۸۵). شناخت و تکنولوژی مواد شوینده. (چاپ اول). انتشارات مبتکران پیشروان.
- ۱۷ حلمی، فریده. (۱۳۷۹). شرحی بر نمک طعام پتاس و پراکندگی آنها. انتشارات: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۱۸ خوشدست، حمید. (۱۳۹۵). نمونه‌برداری در فراوری مواد معدنی. (ویرایش دوم). مجتمع آموزش عالی زرنند. گروه فراوری مواد معدنی، بخش مهندسی معدن.
- ۱۹ دبیری اصفهانی، حسن. (۱۳۹۶). پتروشیمی. (چاپ دوم). نشر افروز.
- ۲۰ دبیری، مینو. (۱۳۷۵). آلودگی محیط‌زیست هوا، آب، خاک، صوت. انتشارات اتحاد.
- ۲۱ ریجر، مارتین. دایرة‌المعارف مواد فعال سطحی. ترجمه محمدرضا شاه‌بنده. (۱۳۸۰). چاپ دوم. انتشارات موثقی
- ۲۲ سالاریه، محمود (۱۳۸۳). لعاب: خواص، کاربرد، عیوب و بهبود آن. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی، مرکز انتشارات علمی.
- ۲۳ شکری، جواد. (۱۳۹۶). فرآورده‌های آرایشی و بهداشتی. (چاپ دوم). نشر افروز.
- ۲۴ شناخت فلزات. (۱۳۸۹). رشته متالورژی. چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- ۲۵ طالبی جهرمی، خلیل. سم‌شناسی آفت‌کش‌ها. (۱۳۸۶). دانشگاه تهران.
- ۲۶ عباسیان، میرمحمد. (۱۳۷۰). مبانی شیمی فیزیک: مواد کانی غیر فلزی تهیه و تولید سرامیک‌ها، مواد نسوز شیشه، گچ، آهک. تهران: میرمحمد عباسیان.
- ۲۷ قاسمی، مرتضی. (۱۳۳۸). شیمی صنعتی. تهران: دانشگاه تهران.



- ۲۸ قصابیان، سوسن. (۱۳۷۷). داروهای ترکیبی در داروخانه. چاپ نوبهار.
- ۲۹ گرشاسبی، وحید و انبیاء، منصور. (۱۳۸۹). خوردگی، پوشش‌ها و فناوری‌های نوین؛ رنگ‌زدایی در صنعت، چاپ سیما گرافیک.
- ۳۰ ماخاچکی، فلیکس. (۱۳۴۸). طبقه‌بندی کانی‌ها براساس ژئوشیمی، ترجمه حسین عرفانی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳۱ محمدی، زهرا و شیخ مهدی مسگر، عبدالرضا. شیمی معدنی صنعتی، اهمیت اقتصادی تولید و کاربرد. (۱۳۷۹). انتشارات آزاده.
- ۳۲ مؤمن هروی، احمد و عظیمی نانوائی، علیرضا. (۱۳۷۵). شیمی تجربی رنگ. چاپ سپهر.
- ۳۳ میسر، کریت. (۱۳۹۰). گندله‌سازی سنگ آهن. ترجمه آزیتا منصوری علی آبادی. مشهد: شاملو.
- ۳۴ میرهادی، بهمن. (۱۳۸۷). تئوری و تکنولوژی ساخت لعاب‌های سرامیک. تهران: بهمن میرهادی.
- ۳۵ نیک‌پی، احمد. (۱۳۹۳). روش‌ها و وسایل نمونه‌برداری. قزوین. دانشگاه علوم پزشکی.
- ۳۶ نواب، ایرج. (۱۳۹۲). متالورژی فلزات غیرآهنی. تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.
- ۳۷ صدرائی نوری، ساسان و دیگران. (۱۳۹۴). فرایندهای شیمیایی. تهران. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- ۳۸ صدرائی نوری، ساسان و دیگران. (۱۳۹۴). کارگاه فرایندهای شیمیایی. تهران. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی.

۳۹ Smith, Hilton, 1937. Sulfuric acid by the lead chamber process. A laboratory experiment: Journal of Chemical Education.

۴۰ Sorgenti, H.A. Sachsels, G.F. 1960. Nitric Acid Manufacture-Theory and Practice: Industrial & Engineering Chemistry.



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 درباره 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 و دبیرخانه 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 ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

#### اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت‌کننده در اعتبارسنجی کتاب عملیات در کارخانه‌های صنایع شیمیایی - کد ۲۱۲۵۲۳

| ردیف | نام و نام خانوادگی | استان محل خدمت     | ردیف | نام و نام خانوادگی | استان محل خدمت    |
|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|-------------------|
| ۱    | گوهر دیلمی راد     | فارس               | ۱۲   | حسن بشیریان        | همدان             |
| ۲    | میترا حکمت         | قزوین              | ۱۳   | محمد داننده        | اردبیل            |
| ۳    | اعظم یوسفی         | شهرتهران           | ۱۴   | طاهره حقی          | لرستان            |
| ۴    | الهه وهابی نژاد    | خراسان رضوی        | ۱۵   | فتاح ربیعی         | مرکزی             |
| ۵    | مژگان معتمدی       | خوزستان            | ۱۶   | علیرضا مهرعلی زاده | آذربایجان غربی    |
| ۶    | محمدرضا شاهسون     | شهرستانهای تهران   | ۱۷   | مجتبی شارع ملاشاهی | سیستان و بلوچستان |
| ۷    | آرزو رضا زاده      | خراسان رضوی        | ۱۸   | عبداله زارع        | هرمزگان           |
| ۸    | محمد صالح صدیقی    | قزوین              | ۱۹   | حسن ملکی           | کرمان             |
| ۹    | خدبجه خارستانی     | چهارمحال و بختیاری | ۲۰   | محمد ایرنگانی      | سیستان و بلوچستان |
| ۱۰   | ساناز منصوری       | اصفهان             | ۲۱   | فاطمه پاشالو       | آذربایجان شرقی    |
| ۱۱   | نادر مولوی         | آذربایجان شرقی     |      |                    |                   |