

محافظت پلاستیکها

حسن حذرخانی*

بدیهی است که کلکسیونرها نگران نگهداری انواع مواد کلکسیونی خود در شرایط مناسباند. در موزه‌ها مسئولیت بیشتر است، زیرا باید آنها را برای بازدید عموم به نمایش گذارند و برای پژوهش و مطالعه پژوهشگران محافظت کنند. طبیعی است که نمایش عمومی این کالاها مشکلاتی را برای ماندگاری درازمدت آنها ایجاد می‌کند.

شناسایی پلاستیکها

برخی راههای تجزیه و تخریب پلاستیکها را در مقاله‌ای در شماره قبل این مجله* بررسی کردیم. پیش از آنکه بدانیم چگونه از یک کالای پلاستیکی محافظت کنیم، ضروری است آگاهی یابیم که بدانیم یک محصول پلاستیکی از چه نوع پلاستیکی ساخته شده و چه نوع افزودنی‌هایی دارد. آگاهی از این موارد به شرایط محیطی و نوع مواد بستگی دارد. مثلاً، یک کلکسیونر نمی‌تواند مواد پلاستیکی را به همان سهولتی بررسی کند که یک موزه ملی آنها را بررسی می‌کند.

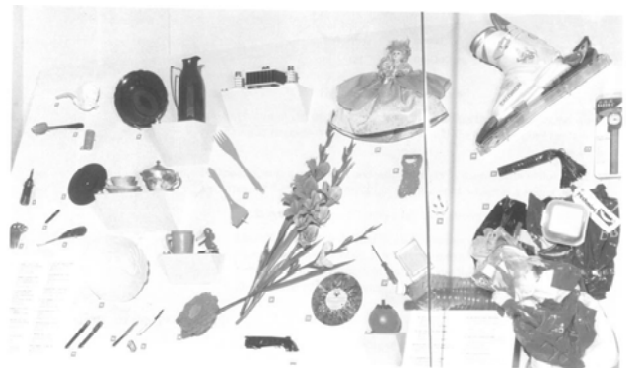
از سوی دیگر، در برخی روشهای شناسایی به نمونه‌برداری نیاز است که به روشهای تخریبی معروفاند. در حالی که، در روشهای غیر تخریبی به نمونه‌برداری نیازی نیست. در روشهای مختلف حجم نمونه‌برداری متفاوت است. حجم نمونه‌برداری مجاز به اندازه نمونه مورد نیاز نسبت به نمونه اصلی بستگی دارد. شناسایی پلاستیکها بیشتر شامل روشهای تشخیصی به کمک انواع فنون برای به دست آوردن مجموعه‌ای از علائم و نشانه‌هاست. بجز چند روش دستگاهی، روشهای دیگر به ندرت پاسخهای معین و مشخصی می‌دهند. اغلب به جای تشخیص دقیق ساختار، نوع، و جنس پلاستیک، با روشهای مختلف انواع دیگر حذف می‌شود.

مشخصات ظاهری

نشانه‌های ظاهری مهم پلاستیکها اغلب با لمس و نگاه دقیق با ذره‌بین به دست می‌آید. با استفاده از علامت تجاری و شماره ثبت اختراع بسیاری از کالاها می‌توان اطلاعاتی از تاریخ تولید و تولیدکننده را به دست آورد (شکل ۲).

قدمت پلاستیکهای سنتزی جدید به بیش از ۱۵۰ سال نمی‌رسد، در حالی که مصرف مواد پلاستیکی طبیعی به زمانهای بسیار دور برمی‌گردد. اغلب تصور نمی‌شود مواد ساخته‌شده از پلاستیکها جزء کالاهای کلکسیونی باشند، زیرا از یک سو مواد پلاستیکی به صورت انبوه تولید می‌شوند و کمیاب نخواهند شد و از سوی دیگر پلاستیکها عموماً موادی ارزان‌اند و ارزش گردآوری مثل مواد گران‌قیمت را ندارند. با این حال، امروزه علاقه روزافزونی به جمع‌آوری کالاهای ساخته‌شده از پلاستیکها وجود دارد. این علاقه یا مربوط به میل شخصی کسی است که آنها را برای سرگرمی جمع‌آوری می‌کند، یا به دلیل کار سازمانهایی مانند موزه‌هاست که علاقه‌مند به محافظت و نمایش کالاها به دلیل ارزش تاریخی آنها به صورت نمونه‌هایی از طرحهای قدیمی و غیره‌اند (شکل ۱).

تنوع کالاهایی که جمع‌آوری می‌شوند و همچنین دلیل جمع‌آوری آنها بسیار متفاوت است. لباس فضانوردی که در اولین فرود بر ماه به کار برده شد، مثال واضحی از اهمیت تاریخی این مواد است که نهایت پیشرفت فناوری را در اواخر دهه ۱۹۶۰ نشان می‌دهد. اما برخی کالاها مثل کیسه‌های پلاستیکی آشکارا راهبردهای طراحی، خرید و فروش و حتی هنر دوره خود را نشان می‌دهند. برخی مردم اجسام و کالاها را بیشتر برای لذت بردن جمع‌آوری می‌کنند. مثلاً، اخیراً عروسکهای باری به شدت مورد توجه کلکسیونرها واقع شده است.



شکل ۱. نمایش برخی مواد در موزه ملی اسکاتلند.

* سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی، گروه شیمی.

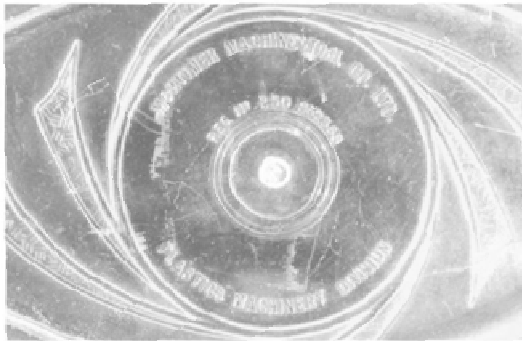
* مجله شیمی، سال بیست‌ویکم، شماره‌های اول و دوم، فروردین-آبان ۱۳۸۹.

جدول ۱. شفافیت و کدوری برخی بسپارها.

پس از قالبگیری شفاف	شفاف و کدر	کدر
پلی استر	پی‌وی‌سی	فنول‌فرمالدهید
پرسپکس (پلی متیل متاکریلات)	پلی پروپیلن	اوره‌فرمالدهید
پلی استیرن	پلی اتیلن	لاستیکهای وولکانیده
پلی کربنات	سلولوز استات	وولکانیت
قالبهای فنولی	سلولوز نیترات	شلاک



شکل ۲. علامت تولیدکننده روی یک کالا.



شکل ۴. اثر قالبگیری تزریقی روی کالای پلاستیکی.

کلکسیونرها ممکن است با بررسی علائم ثبت شده دریابند که تولیدکننده مشخصی یک کالای پلاستیکی را در تاریخ معینی تولید کرده، بدون اینکه نوع پلاستیک را مشخص کنند. تاریخ تولید به حذف انواع معینی از پلاستیکها کمک می‌کند که تا آن زمان گسترش نیافته بودند و کاربرد عمومی نداشتند. مثلاً، نایلون تا سال ۱۹۴۰ استفاده نشده است. بنابراین، کالاهای پلاستیکی‌ای که تاریخ ثبت آنها پیش از ۱۹۴۰ باشد، احتمالاً از نایلون ساخته نشده‌اند. از سبک و طرح برخی کالاهای تاریخ تولید آنها مشخص می‌شود، حتی اگر نشانه‌ای روی آن ثبت نشده باشد. مثلاً، مجموعه سبک آر دکو در دهه ۱۹۲۰ تولید شده است (شکل ۳). بنابراین، کالای تولیدشده با این طرح نمی‌تواند پیش از ۱۹۲۰ تولید شده باشد، بلکه تقلیدی از این طرح است و پس از آن تولید شده است. البته در این موارد باید کمی احتیاط کرد.

در پایان، روش تولید بسپارها می‌تواند در شناسایی آنها به کار رود. پلاستیکهای معینی وجود دارند که فقط با چند روش خاص تولید می‌شوند. مثلاً، قالبگیری تزریقی شامل ورود تحت فشار ماده پلاستیکی مذاب به قالب است. در نتیجه این عمل، دنباله کوچکی از پلاستیک در نقطه تزریق آن به قالب روی کالا باقی می‌ماند که با کندن آن نقص کوچکی در سطح کالا ایجاد می‌شود (شکل ۴). کالاهای تولیدی از کازتین و سلولوز نیترات هرگز به روش تزریق ساخته نمی‌شوند، در نتیجه وجود آثار ناشی از قالبگیری سبب می‌شود که در شناسایی نوع بسیار در کالای تولیدشده این دو نوع بسیار از بین بسپارهای دیگر حذف شوند.

شفافیت و رنگ هم به شناسایی پلاستیکها کمک می‌کند. تعداد کمی از پلاستیکها را می‌توان به صورت اجسام شفاف در آورد، اما تعداد زیادی از آنها را فقط می‌توان به صورت کدر و مات قالبگیری کرد. در جدول ۱ شفافیت و کدوری تعدادی از بسپارها نشان داده شده است.

رنگ ظاهری بسپارها در روش حذف احتمالات مختلف می‌تواند مفید باشد. مثلاً، پلاستیکهای فنول‌فرمالدهید سایه‌های تیره دارند. جلای سطحی کالاهای پلاستیکی نیز می‌تواند نشانه‌ای از نوع پلاستیک باشد، مثلاً سطح بسپارهای آکریلیک، پلی‌استیرن و سلولوز استرها به شدت جلاپذیر است، در حالی که سطح پلی‌اتیلن به مقدار بسیار کم براق می‌شود.

روشهای شناسایی فیزیکی

در روش فیزیکی تغییر شیمیایی رخ نمی‌دهد. دو روش فیزیکی مفید برای شناسایی پلاستیکها اندازه‌گیری سختی و چگالی آنهاست. شاید بتوان ماندن اثر ناخن انگشت شست بر پلاستیکها را ساده‌ترین آزمون سختی در نظر گرفت. پلاستیکهایی که به این آزمون پاسخ می‌دهند عبارت‌اند از پلی‌اتن، پلی‌پروپیلن، پلی‌اورتان، کسهای پی‌وی‌سی و گوتاپرچا (صمغ پلاستیکی). این روش بسیار ساده است و کلکسیونرها آن را در نمایشگاههای لوازم عتیقه به کار می‌برند.

چگالی یک ماده برابر جرم یک سانتی‌متر مکعب از آن ماده است. اگر بتوان چگالی بسپاری را اندازه گرفت، می‌توان آن را با چگالی بسپارهای شناخته‌شده‌ای مقایسه کرد که در منابع علمی وجود دارند و جنس پلاستیک را تا حدود زیادی حدس زد. مثلاً، ماده پلاستیکی‌ای که ۶٫۵ سانتی‌متر مکعب از آن ۷ گرم جرم دارد، ممکن است از جنس پلی‌اتیلن سنگین باشد. البته باید در تفسیر داده‌ها دقت شود، زیرا افزودنیهای مختلف چگالی پلاستیکها را تغییر می‌دهند. جدول ۲ چگالی چند نوع پلاستیک را نشان می‌دهد.



شکل ۳. کالاهایی با سبک و طرح آر دکو.

پلاستیک	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)
پلی پروپیلن	۰٫۸۱-۰٫۹۱
پلی اتیلن سبک	۰٫۹۱-۰٫۹۳
پلی اتیلن سنگین	۰٫۹۴-۰٫۹۶
پلی استیرن	۱٫۰۴-۱٫۱۱
پی وی سی	۱٫۲۰-۱٫۵۵
پلی اتیلن ترفتالات	۱٫۳۸-۱٫۴۰

pH بین ۴ تا ۷ (اسیدی)	pH بین ۵ تا ۷ (خنثی)	pH بالای ۸ (بازی)
سلولوز نیترات	پلی اتیلن	نایلون
سلولوز استات	پلی استیرن	فول-فرمالدهید
پت	پرسیکس	اوره (تیواوره)-فرمالدهید
پلی اورتان	پلی کرنات	ملامین-فرمالدهید
پلی استر	اپوکسیدها	
پی وی سی	بسپارهای سیلیسیم دار	
الیاف وولکانیده		

یکی دیگر از ساده ترین روشهای شناسایی فیزیکی بسپارها اندازه گیری نقطه ذوب و نرم شدن آنهاست. پلاستیکها به دو دسته گرمانرم و گرماسخت تقسیم می شوند. پلاستیکهای گرماسخت مانند باکلیت بر اثر گرما ذوب نمی شوند، بلکه با افزایش دما به طور شیمیایی تجزیه می شوند. برعکس، بسپارهای گرمانرم بر اثر گرما ذوب می شوند و دامنه دمایی ذوب آنها زیاد است، به طوری که به جای ذوب شدن کامل به شکل خمیر در می آیند. مثلاً، پلی اتیلن گرمانرم است، زیرا ماده خاصی نیست و مولکولهای زیادی با زنجیرهای کربنی متفاوت دارد که هر کدام نقطه ذوب مشخصی دارند. از این رو، وقتی پلاستیکهای پی وی سی، پلی اتیلن، پلی استیرن، سلولوز نیترات، سلولوز استات، و وولکانیده در آب جوش قرار داده شوند، نرم می شوند.

روشهای شناسایی شیمیایی

روشهای شناسایی شیمیایی قدیمی به صورت روش تخریبی شناخته می شوند، زیرا در این روشها نمونه برداری لازم است. از این رو، کلکسیونرها اغلب برای شناسایی پلاستیکها این روشها را به کار نمی برند، مگر آنکه نمونه برداری به کالای پلاستیکی آسیبی نرساند. روش شیمیایی ای که عموماً استفاده شده شامل گرما دادن تکه کوچکی از پلاستیک در لوله آزمایش حاوی کاغذ مرطوب شناساگر است. با این روش pH بخارهای ناشی از گرما دادن پلاستیک را اندازه گیری و پی

آنها را نیز ثبت می کنند. در جدولهای ۳ و ۴ نتایج این روش شناسایی برای چند پلاستیک ارائه شده است. البته شناسایی برخی بوها مشکل است، مگر آنکه قبلاً با آنها برخورد شده باشد.

روشهای شناسایی دستگاهی

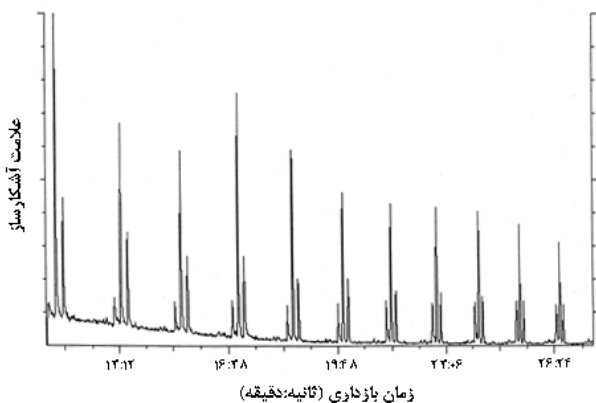
مزایای این روشها از روشهای فیزیکی و شیمیایی بیشتر است و ویژگیهای زیر را دارند: (۱) اغلب نتایج مشخصی می دهند، (۲) تفسیر نتایج آنها آسان تر است، (۳) مقدار نمونه مورد نیاز بسیار کم است (در حد چند میلی گرم)، و (۴) در برخی موارد نمونه سازی هم لازم نیست.

از محدودیتهای این روشها گرانی دستگاهها و نیاز به تخصص برای کار با دستگاه و تفسیر نتایج است. در اینجا به بررسی دستگاه طیف بینی فروسرخ و طیف سنجی جرمی-کروماتوگرافی گازی (GC-MS) در شناسایی پلاستیکها می پردازیم. در ادامه مطالعه موردی از شناسایی پلاستیکها را بررسی خواهیم کرد.

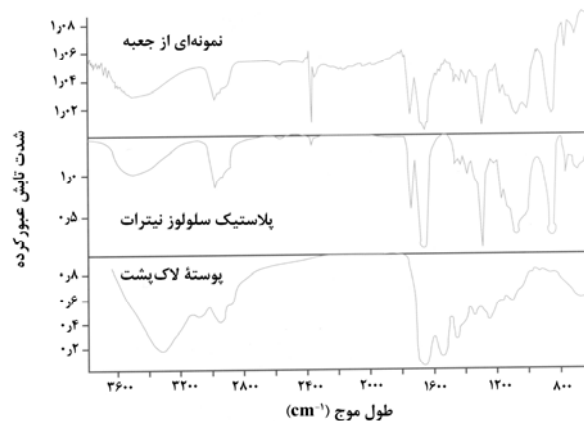
طیف بینی فروسرخ

به احتمال زیاد، این روش مفیدترین روش برای شناسایی پلاستیکهاست. این روش شامل تاباندن پرتوی از امواج فروسرخ با محدوده ای از فرکانسها از میان یک نمونه به سمت آشکارساز است. پیوندهای شیمیایی موجود در نمونه فرکانسهایی را جذب خواهند کرد که دقیقاً در آن ارتعاش می کنند. بنابراین، پس از آنکه پرتو از نمونه عبور کرد، برخی فرکانسها حذف خواهند شد. اینکه کدام پرتوها حذف می شوند به پیوندهای شیمیایی موجود در نمونه بستگی دارد. نتایج این اندازه گیری به صورت نموداری از شدت نور عبوری بر حسب فرکانس تابش رسم می شود، به طوری که یک فرورفتگی بلند در نمودار نشان می دهد که یک جذب در آن فرکانس معین رخ داده است. با این فن می توان پیوندها و گروههای عاملی موجود در پلاستیک را شناسایی کرد. مثلاً، سلولوز نیترات در 1650 cm^{-1} یک جذب نشان می دهد که بیانگر حضور پیوند N-O است. در این طیف بینی گستره فرکانسهای جذبی بین 600 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} است. به گستره زیر 1300 cm^{-1} و جذبهای انجام گرفته در آن فرکانسها ناحیه اثر انگشت می گویند. در طیف بینی فروسرخ با مقایسه نواحی اثر انگشت ثبت شده برای پلاستیکها می توان آنها را شناسایی کرد. مقایسه طیفها معمولاً با رایانه انجام می گیرد.

نام پلاستیک	بوی ناشی از بخار آن
کازئین	شیر یا موی سوخته
قالب فنولی	فنول یا صابون فنولی
سلولوز استات	سرکه، کاغذ سوخته
سلولوز نیترات	کامفور، نیتروژن اکسید
گوتاپرچا	لاستیک سوخته
ملامین فرمالدهید	ماهی
نایلون	موی سوخته، کرفس
پلی اتیلن ترفتالات (پت)	فنول، صابون فنولی
پلی متیل متاکریلات (پرسپکس)	شیرین، میوه
پلی اتیلن	بارافین، شمع پارافینی
پلی پروپیلن	بارافین، شمع پارافینی
پلی استیرن	گل همیشه بهار
پلی اورتان	سوزش اور
پی وی سی سفت و خشک	هیدروکلریک اسید، کلر
پی وی سی نرم	هیدروکلریک اسید و آروماتیک
اوره فرمالدهید	فرمالدهید، ماهی، آمونیاک
وولکانیت	گوگرد یا لاستیک در حال سوختن

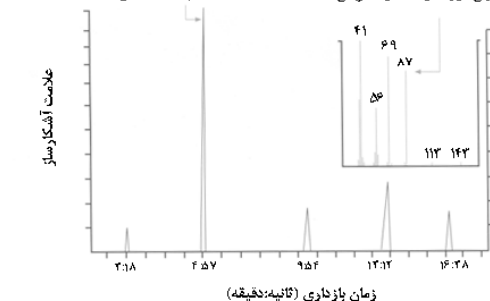


شکل ۶. نمودار کروماتوگرافی پلی اتیلن.



شکل ۵. شناسایی پلاستیکها با طیفهای IR.

طیف جرمی پیک ۴۵۷. هر خط تکه‌ای از مولکول جزء تشکیل‌دهنده را نشان می‌دهد. عددها جرم مولکولی هر یک از تکه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار کروماتوگرافی یک بسیار و طیف جرمی یکی از اجزای آن.

باردارند و با عبور از میدانهای مغناطیسی و الکتریکی از مسیر خود منحرف می‌شوند. میزان انحراف به اندازه‌گیری جرم آنها کمک می‌کند. در نتیجه، در یک نمودار جرم تکه‌های حاصل از هر جزء و درصد این تکه‌ها ثبت می‌شود که به طیف جرمی معروف است. سپس، با بررسی طیفهای جرمی ساختار هر یک از اجزا معلوم می‌شود (شکل ۷). در این شکل نمودار کروماتوگرافی یک پلاستیک و طیف جرمی یکی از اجزای خروجی از ستون کروماتوگرافی نشان داده شده است. جرم مولکولی این جزء 143 g/mol است.

مطالعه موردی شناسایی دو ماده پلاستیکی مطالعه شناسایی کلکسیونر خصوصی

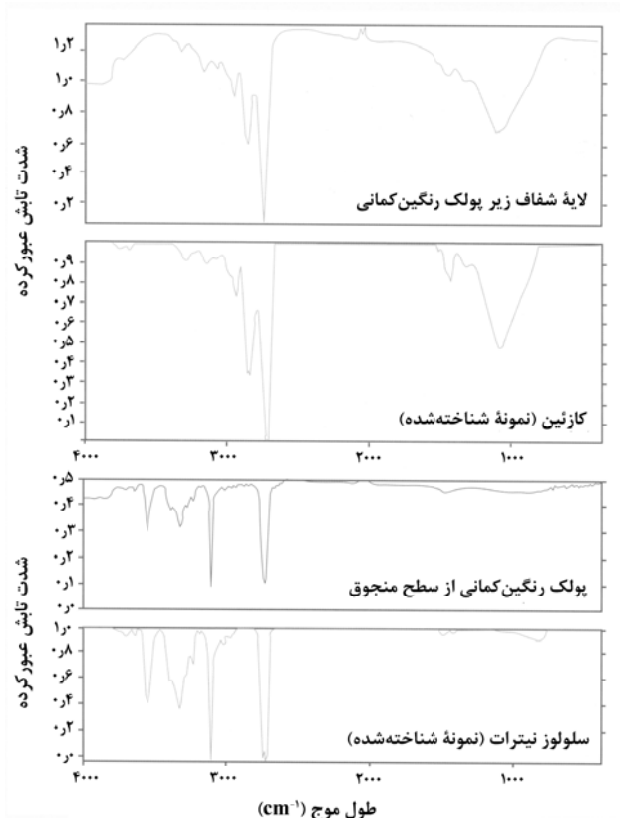
کلکسیونری در نمایشگاه کالاهای عتیقه متوجه جعبه لوازم آرایش کهربایی‌رنگی شده است. وی با نگاهی ساده به ظاهر، طرح و سبک آن و با مقایسه آن با نمونه‌هایی که قبلاً دیده حدس می‌زند این جعبه حدود سال ۱۹۰۰ ساخته شده است. سپس، پیش‌بینی می‌کند جنس آن باید از سلولوز نیترات باشد، زیرا در آن زمان برای ساخت چنین جعبه‌هایی از این نوع بسیار استفاده می‌کردند. رنگ جعبه نیز این پیش‌بینی را تأیید می‌کند، زیرا سلولوز نیترات را می‌توان به‌سادگی با رنگدانه‌ها رنگ‌آمیزی کرد.

از این رو، تجزیه‌گرها و متخصصان موزه‌ها مجموعه‌ای از طیفهای IR نمونه‌های شناخته‌شده را تهیه و بایگانی می‌کنند تا به صورت مرجع مناسب برای مقایسه با طیفهای نمونه‌های مجهول به کار برند. یک نمونه از کاربرد این فن در شکل ۵ نشان داده شده، به طوری که طیف اول از بالا مربوط به نمونه‌ای از یک جعبه جواهر آلات، و دومی مربوط به بسیار شناخته‌شده سلولوز نیترات است. تشابه بین این دو طیف آن قدر زیاد است که برای مقایسه آنها به رایانه نیازی نیست. طیف سوم مربوط به نمونه‌ای از پوسته لاک پشت است. این طیف به این دلیل ثبت شده که شکل آن جعبه شبیه پوسته لاک پشت بوده است. همان طور که مشاهده می‌شود این طیف با دو طیف دیگر کاملاً متفاوت است.

طیف‌سنجی جرمی-کروماتوگرافی گازی (GC-MS)

این روش شامل کاربرد دو فن با هم است. کروماتوگرافی گازی اجزای تشکیل‌دهنده پلاستیکها را از یکدیگر جدا و طیف‌سنجی جرمی به اندازه‌گیری جرم اجزا و شناسایی آنها کمک می‌کند. در این روش محلولی از نمونه در حلال آلی تهیه می‌شود و به درون ستون بلندی که از سیلیکاژل و یک آلکان پر شده تزریق می‌شود. سپس، جریانی از گازی بی‌اثر از ستون عبور داده می‌شود تا اجزای بسیار از ستون خارج شود. اجزایی که فرارترند (قطعه جوش پایین‌تری دارند) زودتر از ستون خارج می‌شوند و این عمل تا خروج تمام اجزا ادامه می‌یابد. بنابراین، اجزای تشکیل‌دهنده یک پلاستیک به طور جداگانه از ستون خارج می‌شوند و نتیجه آن به صورت یک نمودار ثبت می‌شود. به طوری که این نمودار ترتیب زمان خروج و مقدار هر یک از اجزا را نشان می‌دهد. شکل ۶ نمودار کروماتوگرافی پلی اتیلن را نشان می‌دهد. در این طیف هر یک از پیکهای سه‌تایی به یک جزء با طول زنجیر کربنی متفاوت مربوط است.

در روش شناسایی طیف‌سنجی جرمی-کروماتوگرافی گازی به محض آنکه هر یک از اجزا از ستون خارج شدند مستقیماً وارد دستگاه طیف‌سنج جرمی می‌شوند. در این دستگاه هر جزء با الکترونهای پراثری بمباران و به یونهای مثبت تبدیل می‌شوند. سپس، انرژی زیاد الکترونها آنها را به تکه‌های کوچک‌تر می‌شکنند. برخی از این تکه‌ها



شکل ۹. طیفهای IR پلاستیک شفاف زیر پولک تکه شده، کازئین، پولک تکه شده از سطح منجوق، و سلولوز نیترات.

حال، پس از شناسایی جنس منجوقها می توان درباره علت تخریب آنها نظر داد. این دو پلاستیک با هم ناسازگارند، زیرا در برابر رطوبت رفتار متفاوتی بروز می دهند. سلولوز نیترات به رطوبت حساس است، در نتیجه باید در محیطی خشک و با رطوبت کم نگهداری شود. در حالی که، کازئین باید در محیط مرطوب باشد تا خشک نشود و ترک بر ندارد. بنابراین، شرایط نامناسب نگهداری این منجوقها باعث شده پلاستیکهای به کار رفته در آن به میزان مختلف منقبض یا منبسط شوند. از آنجا که بهترین شرایط نگهداری و پایداری دو پلاستیک متفاوت است، رطوبت ۵۰٪ و دمای ۲۰°C شرایط مناسبی برای نگهداری منجوقهاست.

منبع

Renshaw, Janet, *Conversation Chemistry: An Introduction*, Ted, Lister, 2004, R.S.C.



شکل ۸. لباس نورمن هارتل با منجوقهای روی آن.

او با دقت به دنبال علامتی از تولیدکنندگان روی جعبه بود تا نظرش را تأیید کند، اما اثری ندید. با برداشتن جعبه احساس کرد جرم آن از مقدار مورد انتظار برای جعبه ساخته شده از سلولوز نیترات بیشتر است. همچنین، مجموعه خطوطی ناشی از قالبگیری را روی جعبه مشاهده کرد.

کمی سردرگم شده بود. جعبه را با دستمالش به شدت مالید تا گرم شود. سپس، سطح آن را با احتیاط بو کرد و متوجه بوی فنولی یا بویی شبیه مواد ضد عفونی کننده شد. این ماده فنول بود و او با اطمینان بیشتر پیش بینی کرد که جعبه از بسیار فنول فرمالدهید مثل باکلیت ساخته شده است. این پیش بینی با جرم سنگین جعبه مطابقت داشت. وقتی سطح آن را با ناخنش خراشید، هیچ اثری روی جعبه نماند. این هم نشانه ای دیگر بود از اینکه جنس جعبه بسیار باکلیت است. وی قصد داشت برای مطمئن شدن از جنس جعبه آزمونهای بیشتری انجام دهد که فروشنده اجازه این کار را نداد.

شناسایی در یک موزه

نوعی لباس مخصوص در موزه ملی اسکاتلند وجود دارد که خیاطی به نام نورمن هارتل در ۱۹۳۸-۱۹۳۹ برای ملکه دوم طراحی کرده و دوخته است. این لباس ابریشمی منجوق دوزی شده است و چینهای ظریفی هم دارد (شکل ۸).

اما آزمایش محافظتی که اخیراً بر آن انجام گرفته نشان داده که برخی منجوقها تکه تکه و شکسته شده اند. نمونه های بسیار کوچکی از این لباس برای تعیین جنس منجوقها با طیف بینی IR مطالعه شده تا با شناسایی آن از تخریب بیشتر جلوگیری شود (شکل ۹). متخصصان با ثبت طیفهای IR منجوقها و مقایسه آنها با نمونه های بسیاری شناخته شده آشکار کردند که منجوقهای برنزی با رنگهای رنگین کمانی از دو نوع پلاستیک کازئین و سلولوز نیترات تهیه شده اند.