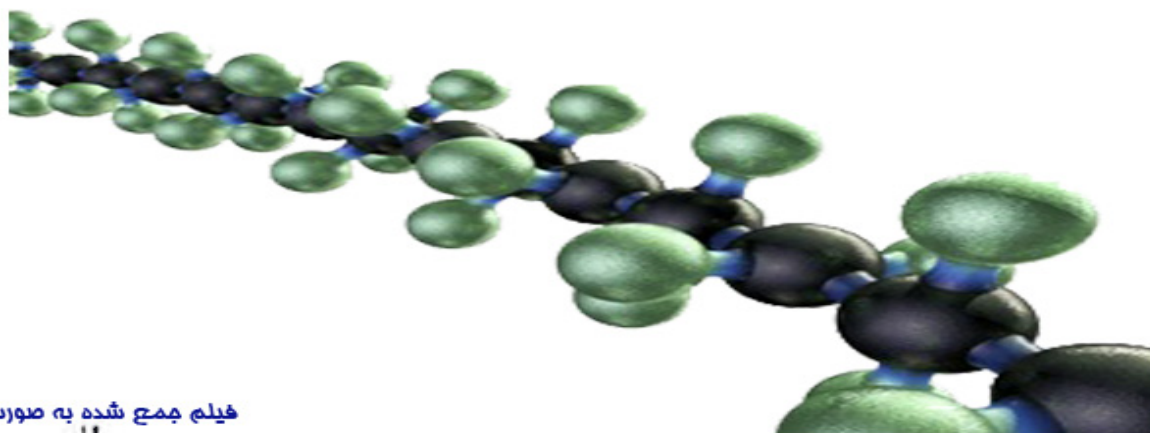
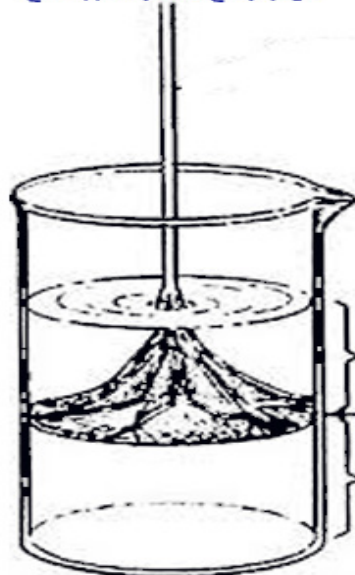


دستور کار آزمایشگاه مبانی پلیمر



فيلم جمع شده به صورت نغ



مملول دی آمین در آب
فيلم پلیمر در فصل مشترک
دو فاز شکل میگیرد
دی اسید در ملال آلی



تهیه و تنظیم: دکتر فاطمه رفیع منزلت
گروه شیمی پلیمر دانشکده شیمی دانشگاه اصفهان
مهر ماه ۱۳۹۴
با همکاری: فاطمه کریمی پور- بهناز قلاوند- حامد سعیدی

۲	رعایت مقررات ایمنی در آزمایشگاه
۴	آزمایش ۱ شناسایی پلیمرها
۸	آزمایش ۲ تعیین دانسیته پلیمرها به دو روش اختلاط دو مایع و ستون گرادینانی و مقایسه نتایج
۱۲	آزمایش ۳ اندازه گیری زمان واکنش شبکه‌ای شدن پلی استرهای غیراشباع
۱۵	آزمایش ۴ پلیمریزاسیون مونومرهای وینیلی به روش حرارتی - بررسی اثر دما
۱۸	آزمایش ۵ بررسی اثر غلظت آغازگر در پلیمریزاسیون مونومرهای وینیلی به روش حرارتی
۲۱	آزمایش ۶ تهیه پلی استایرن به روش پلیمریزاسیون تعلیقی Suspension Polymerization
۲۶	آزمایش ۷ اندازه‌گیری ویسکوزیته پلیمرها
۳۱	آزمایش ۸ تهیه فوم پلی یورتان
۳۷	آزمایش ۹ تهیه نخ نایلون ۶،۶ به روش بین سطحی
۴۰	آزمایش ۱۰ شبکه‌ای کردن یک پلیمر به منظور تولید الاستومر
۴۲	آزمایش ۱۱ تهیه یک آمینو پلاست؛ رزین اوره - فرمالدهید
۴۴	جداول

رعایت مقررات ایمنی در آزمایشگاه

با توجه به اینکه در آزمایشگاه‌های پلیمر معمولاً از حلال‌ها و مواد شیمیایی آتش‌زا و سمی استفاده می‌شود رعایت موارد زیر الزامی است.

- ۰۱ قبل از ورود به آزمایشگاه، دستور کار آزمایش موردنظر دقیقاً باید مطالعه گردد.
- ۰۲ حتماً به محض ورود به آزمایشگاه از روپوش بلند سفید استفاده شود.
- ۰۳ تا آنجایی که امکان‌پذیر باشد آزمایشات زیر هود انجام شود و هنگامی که زیر هود آزمایش می‌شود، موارد زیر باید رعایت گردد.
 - ۱) درب هود کاملاً بالا نگهداشته شده و وسایل آزمایش را آماده نمایید.
 - ۲) هنگام انجام آزمایش سرخود را داخل هود ننمایید.
 - ۳) در هنگام آزمایش در صورت وجود گازهای سمی، درب هود را کاملاً به حالت مسدود قرار دهید.
 - ۴) تا زمانی که مطمئن به خروج تمامی گازها از هود از طریق هواکش نشده‌اید درب هود را باز نکنید.
- ۰۴ باقیمانده حلالها و مایعات آتشگیر و نیز اسیدها و بازهای قوی را به داخل ظرفشویی نریزید و آنها را در ظرف‌های جداگانه مخصوص بازیافت ضایعات مواد شیمیایی جمع‌آوری کرده و در جای مخصوص قرار دهید.
- ۰۵ اگر از عینک‌های طبی استفاده نمی‌کنید حتماً در آزمایشگاه از عینک‌های ایمنی استفاده نموده و چنانچه با مواد و بخارات سمی کار می‌کنید از ماسک نیز استفاده کنید.
- ۰۶ برای شستن وسایل آغشته به مواد سمی از دستکش استفاده کنید.
- ۰۷ ظروف شیمیایی را بدون برچسب نگذارید و بهتر است به دو طرف آن برچسب نصب گردد.
- ۰۸ برای وزن کردن مواد شیمیایی خشک، مستقیماً از کفه ترازو استفاده نکنید.
- ۰۹ رعایت اصول اخلاق اسلامی، همکاری و انضباط کامل و نیز قرار دادن وسایل و مواد در جای اولیه آنها و همچنین نظافت روی میز و وسایل مورد آزمایش قبل از ترک آزمایشگاه از جمله موارد بسیار با اهمیتی هستند که بایستی رعایت نمایید.

۱۰ گزارش درمورد چگونگی انجام آزمایش و ثبت تمام مشاهدات و نتایج درمورد هر آزمایش، نوشتن گزارش کار آزمایشگاه و ارائه آن که از ضروریات هر آزمایشگاهی می‌باشد ضروری است.

۱۱ نمره نهایی هر فرد، براساس رعایت نظم فردی، تسلط به دستور کار، حضور و گزارش‌های ارائه شده خواهد بود.

۱۲ همیشه توجه داشته باشید زمان قابل برگشت و تکرار نیست. مخصوصاً جلسات آزمایشگاه و دستیابی مجدد به امکانات آزمایشگاهی و تکرار آزمایش شاید دیگر امکان‌پذیر نباشد، پس همه چیز را قبل از دست دادن کاملاً قدر بدانید.

عنوان آزمایش ۱: شناسایی پلیمرها

هدف: آشنایی با آزمونهای مقدماتی شناسایی و گروه بندی پلیمرها

مباحث نظری: آزمایش‌های مختلفی جهت تشخیص یک نمونه پلیمری انجام می‌شود که از طریق آنها می‌توان به نوع گروه‌های عاملی موجود در پلیمر و نیز دسته‌ای که پلیمر به آن تعلق دارد و نیز نوع پلیمر پی برد. این آزمایشها معمولاً قبل از اینکه سراغ آزمونهای دستگاهی برویم انجام می‌شوند. از جمله برخی از این آزمایشها عبارتند از:

۱) آزمونهای تجزیه حرارتی شامل (a) آزمون احتراق، میزان اشتعال پذیری، رنگ و بوی شعله و مواد حاصل از اشتعال (b) تست پیرولیز و بررسی مواد حاصل از تفکیک حرارتی که نتایج حاصل را با اطلاعات موجود در جداول ویژه مطابقت داده و طبقه پلیمر را مشخص می‌کنند.

۲) آزمونهای فیزیکی مانند: (a) آزمون حلالیت (b) تعیین نقطه نرم شدن (c) تعیین نقطه ذوب (d) تعیین دانسیته (e) تعیین ضریب شکست (f) تعیین نقطه تخریب شدن

۳) آزمونهای شیمیایی مانند: (a) آزمون هیدرولیز درمورد پلی‌آمیدها و پلی‌استرها (b) آزمون برم در پلیمرهای غیر اشباع (c) آزمون تعیین مشخصه‌های کمی مانند عدد اسیدی، عدد استری، عدد غیر اشباعی و (d) آزمون بیلشتاین برای پلیمرهای کلره و

نکته: برای انجام این آزمونها می‌توانید از نمونه‌های پلیمری که تاکنون تهیه کرده‌اید و نیز نمونه‌های پلیمر موجود در آزمایشگاه مانند پلی‌وینیل الکل، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، اسفنج یا ابر، پشم و.... استفاده کنید.

تذکر مهم: کلیه مراحل آزمونهای حرارتی و حلالیت زیر هود انجام می‌شوند. حلالیهایی که با زیر خط مشخص شده ترجیحاً استفاده نشوند. دور ریز حلالهای مصرفی منحصراً در ظرف ضایعات حلال ریخته شود و به هیچ عنوان در سینک تخلیه نشود.

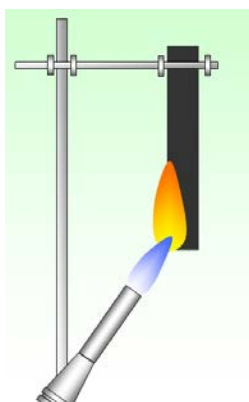
مواد لازم برای کل مراحل: انواع نمونه های پلیمری سنتزی و طبیعی مانند پلی وینیل کلراید- پلی اتیلن- پلی استایرن- پلی آمید- پلی استر- نمونه پشم- نخ- نمونه کاغذ، پلیمرهای موجود در آزمایشگاه و نیز پلیمرهای سنتز شده در جلسات مختلف آزمایشگاه توسط دانشجویان و....، انواع حلالها مطابق جدول حلالیت پیوست

وسایل لازم برای کل مراحل: اسپاتول، چراغ بونزن، کاغذ PH، لوله آزمایش تکلیس، حمام آب گرم (بن‌ماری)

روش کار (۱): آزمون حرارتی (بررسی اشتعال پذیری):

نکته: از آنجایی که بسیاری از بخارات یا مواد حاصل از سوزاندن ممکن است مضر باشند و سبب از بین رفتن حس بویایی گردند، عمل بوکردن باید بسیار کوتاه و سطحی صورت گیرد.

مقدار کمی از نمونه را با یک اسپاتول فلزی به آرامی به کنار شعله چراغ بونزن نزدیک کنید و مشاهدات خود را گزارش کنید. برای نمونه‌های مختلف جدولی تنظیم کنید و مشاهدات خود را جدول بندی شده ثبت کنید. مانند اینکه آیا نمونه شعله‌ور می‌شود؟ یا به تدریج و به آرامی می‌سوزد؟ آیا پس از حذف شعله خاموش می‌شود یا به سوختن ادامه می‌دهد؟ آیا در اثر سوختن گاز آزاد می‌کند؟ گاز آزاد شده روی کاغذ PH مرطوب چه اثری دارد؟ شعله آن چه رنگی است؟ آیا دوده تشکیل می‌شود؟ بوی حاصل از سوختن چیست؟ آیا در حین سوختن قطرات کوچک تولید می‌کند؟ و... در خاتمه پس از خاموش کردن شعله بوی ماده باقیمانده را بررسی کنید. مشاهدات خود را با جدول کتاب چک کنید و سعی کنید گروه پلیمر را مشخص کنید.



شکل ۱: آزمون شعله

روش کار (۲): آزمون حرارتی (بررسی آزمون پیرولیز):

نکته: حین حرارت دادن لوله آزمایش، به هیچ وجه لبه لوله را به سمت خود یا دیگران نگیرید.

چند میلی گرم (۰/۰۰۲ گرم) نمونه پلیمری را در یک لوله آزمایش تکلیس قرار داده با شعله پایین به ملایمت حرارت دهید. نوار کوتاهی از کاغذ PH مرطوب را در دهانه لوله قرار دهید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

رفتار ماده را در حین حرارت دیدن بررسی کنید. آیا ذوب می‌شود؟ تجزیه می‌شود و تغییر رنگ می‌دهد؟ گاز آزاد می‌کند؟ آیا بخارات حاصل خنثی، اسیدی یا قلیایی است؟ و... هر مشاهده دیگری داشتید گزارش کنید.

روش کار (۳): آزمون حلالیت:

در یک لوله آزمایش تکلیس یا لوله تست حلالیت، ۰/۰۵ گرم از نمونه پلیمر پودر شده یا ریزریز شده را قرار داده و به آن یک میلی لیتر از حلال موردنظر اضافه کنید. با زدن ضربه به لوله آزمایش سعی کنید پلیمر را حل کنید. مشاهده خود را درمورد حل شدن، متورم شدن یا بدون تغییر ماندن پلیمر گزارش کنید. در صورتی که نمونه در دمای اتاق در حلال حل نشد، آن را در حمام آب گرم (بن ماری) قرار دهید برای حلال‌هایی که نقطه جوش خیلی بالایی دارند مستقیماً لوله را روی شعله چراغ گاز بوزنن یا هیتر قرار دهید و نتیجه را گزارش کنید. در صورت حل شدن نمونه، به سیستم زمان بدهید تا دوباره سرد شود و مشاهده کنید آیا بعد از سرد شدن دوباره پلیمر رسوب می‌کند یا خیر؟ جدولی تنظیم کنید و در آن انواع حلال‌ها را نوشته و برای هر نمونه، رفتار آن را مبنی بر اینکه آیا در دمای اتاق محلول است، حل نمی‌شود اما متورم می‌شود، بدون تغییر رنگ می‌ماند، آیا در حمام آب گرم یا نقطه جوش حلال حل می‌شود، یا حل نمی‌شود و بدون تغییر می‌ماند. در کدام حلال تغییر رنگ می‌دهد. در کدام حلال حل نمی‌شود و روی سطح حلال شناور می‌ماند، در کدام حلال حل نمی‌شود و در حلال ته‌نشین می‌شود و... مشخص کنید.

برای آزمون حلالیت حلال‌های زیر را مورد بررسی قرار دهید.

آب، اتانول، متانول، ایزوپروپانول، اسید سولفوریک غلیظ، اسید استیک گلاسیال، محلول سود ۱ مولار، تولوئن، کرزول، اتیل استات، سیکلوهگزان، ۱،۲-دی کلرواتان، متیلن کلراید، کلروفرم، تتراکلرید کربن، دی متیل فرمامید (DMF) و استون.

تذکر: متصدی آزمایشگاه می‌تواند برای صرفه جویی در وقت حلال‌ها را بین چند گروه تقسیم کند. که روی یک پلیمر آزمون‌ها انجام شود آنگاه جداول حلالیت گروه‌ها با هم مبادله شده و هر گروه به طور مستقل نتیجه‌گیری لازم برای شناسایی پلیمر را انجام دهند.

این نوع آزمون حلالیت هم در شناسایی گروه پلیمر شما را یاری می‌دهد هم در انتخاب حلال مناسب برای اندازه‌گیری ویسکوزیته محلول پلیمر، دانسیته پلیمر، ضریب شکست محلول پلیمر، برای انجام واکنش‌های لازم بر روی پلیمر و... موثر است.

گزارش کار: جداول مربوط به مشاهدات هر بخش از آزمونها را رسم و کامل کنید و به عنوان گزارش کار گروه خود تحویل دهید. آنگاه نوع و دسته پلیمر خود را به کمک جداول مرجع تست حلالیت و شعله و... مشخص کنید.

سوالات تحقیقی:

تذکر: هر فرد جداگانه تحویل دهد.

۱- در مورد آزمونهای فیزیکی مانند: نقطه نرم شدن و نقطه ذوب پلیمرها تحقیق کنید. این آزمونها چگونه انجام می شوند و چگونه به دامنه کاربرد پلیمرها ارتباط دارند؟ روشهای دستگاهی تعیین این مشخصات چیست؟

۲- در مورد آزمونهای شیمیایی مانند: آزمون برم در پلیمرهای غیر اشباع و آزمون تعیین مشخصه‌های کمی مانند عدد اسیدی، و عدد غیر اشباعی تحقیق کنید. این آزمونها چگونه انجام می شوند و نتایج آنها چگونه محاسبه و تحلیل می شوند؟

عنوان آزمایش ۲: تعیین دانسیته پلیمرها به دو روش اختلاط دو مایع و ستون گرادایانی و مقایسه نتایج

هدف: آشنایی با ستون گرادایانی - مفهوم دانسیته - اهمیت دانسیته پلیمرها - روشهای مختلف تعیین دانسیته مواد جامد و مایع، آشنایی با تعیین دانسیته پلیمر به روش اختلاط دو مایع

مباحث نظری: هرگاه جامدی در مایعی فرو رود، بسته به اینکه جامد و مایع چه دانسیته‌ای نسبت به هم داشته باشند سه حالت مختلف می‌تواند پیش آید: ($d_s = \text{دانسیته جامد}$ $d_f = \text{دانسیته سیال}$)

۱- $d_s > d_f$ جامد ته نشین می‌شود.

۲- $d_s < d_f$ جامد بر سطح شناور می‌شود.

۳- $d_s = d_f$ جامد به صورت معلق در مایع (سیال) باقی می‌ماند.

حال فرض کنید دو مایع قابل اختلاط داریم که دانسیته یکی کمتر از نمونه جامد و دانسیته دیگری بیشتر از جامد مجهول ما باشد. $d_{f1} \leq d_s \leq d_{f2}$. هرگاه دو مایع را با هم مخلوط کنیم دانسیته مخلوط دو مایع حدواسط (بین) دانسیته دو مایع خواهد بود. $d_{f1} < d_{mix} < d_{f2}$

مقدار کمی d_{mix} به نسبت اختلاط دو مایع بستگی دارد، یعنی از هر کدام درصد حجمی بیشتری داشتیم d_{mix} به سمت آن متمایل است. بنابراین خواهیم داشت:

$$\text{حجم سیال (۲)} = V_2 \quad \text{حجم سیال (۱)} = V_1 \quad \rightarrow d_1 = M_1/V_1$$

$$\text{وزن سیال (۲)} = M_2 \quad \text{وزن سیال (۱)} = M_1 \quad \rightarrow d_2 = M_2/V_2$$

$$\text{جزء حجمی سیال (۲)} = Q_2 = V_2/V_1+V_2 \quad \text{جزء حجمی سیال (۱)} = Q_1 = V_1/V_1+V_2$$

$$d_{mix} = Q_1 d_1 + Q_2 d_2 \quad \text{آنگاه دانسیته مخلوط برابر است با:}$$

حال اگر بتوان دو مایعی را که دانسیته پلیمر بین دانسیته آنهاست به نحوی با هم مخلوط کرد که پلیمر به حالت معلق درآید می‌توان نتیجه گرفت

$$d_{f1} < d_s = d_{mix} < d_{f2}$$

نکته ۱: سیال انتخابی باید یک سیال ناسازگار با جسم جامد باشد (یعنی سیالی که هیچ برهمکنشی با جسم جامد نداشته باشد و آن را حل نکند).

نکته ۲: از دو سیالی استفاده شود که علاوه بر قابل امتزاج بودن، اختلاط آنها سبب کاهش حجم کل نشود. (مخلوط ایده‌آل)

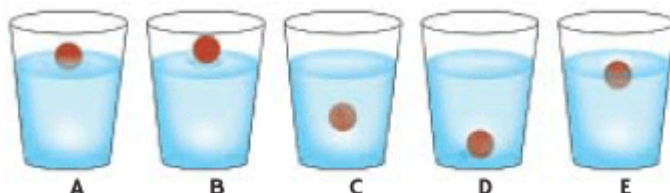
روش کار (۱) روش اختلاط دو مایع (روش تعلیقی) (Buoyancy)

مواد لازم: گرانول یا پودر چند نوع پلیمر- انواعی از حلال‌ها با دانسیته متفاوت مانند کلروفرم، استون، اتیل استات، و

وسایل لازم: یک استوانه مدرج ۱۰۰ سی‌سی - پیپت مدرج

طرز کار: ابتدا با تست حلالیت، حلال‌هایی که پلیمر در آنها حل نشود را مشخص کنید. از طرفی مشخص کنید در کدام حلال پلیمر ته‌نشین و در کدام حلال پلیمر شناور می‌شود. (توجه کنید که خود دو حلال نیز قابل اختلاط باشند)

یک استوانه مدرج بلند انتخاب کرده و به دقت وزن کنید. حدود ۰/۰۵ گرم پودر پلیمر یا گرانول آن را در استوانه مدرج ریخته دوباره وزن کنید. از مایع شماره (۱) که $d_{f1} < d_f$ است به استوانه بیفزایید (۲ml کافی است) طبعاً پلیمر ته‌نشین می‌شود. مجدداً استوانه را وزن کنید تا وزن مایع بدست آید. حال با دقت زیاد و به آرامی از مایع دوم ($d_f < d_{f2}$) آنقدر به استوانه اضافه کنید تا پلیمر به حالت معلق درآید دوباره استوانه را وزن کنید تا وزن مایع دوم نیز به دست آید. حجم هرکدام از مایعات را از رابطه $V=M/d$ حساب کنید. سپس دانسیته مخلوط دو مایع و در نتیجه دانسیته پلیمر را از فرمولهای فوق بدست آورید. در صورت کافی بودن زمان و به تشخیص کارشناس روش خود را با دو مایع دیگر نیز تکرار کنید و نتایج را مقایسه کنید.



شکل ۲: استفاده از روش شناوری برای تعیین دانسیته

تذکر مهم: کلیه مراحل این آزمون زیر هود انجام شود. پس از اتمام آزمایش کلیه حلالهای مستعمل به ظرف ضایعات حلال منتقل شود.

روش کار (۲): روش تهیه ستون چگالی مایعات (ستون گرادینانی) و استفاده از آن در تعیین دانسیته پلیمر مجهول

مواد لازم: عسل، شیر، مایع ظرفشویی، آب، روغن

وسایل لازم: مزور ۵۰۰ سی سی یا بشر، پی‌پت، پنس

طرز کار: ابتدا مزور یا بشر را کاملاً خشک می‌کنیم و در ابتدا عسل را به نحوی که به دیواره‌های بالایی مزور آغشته نشود از وسط ظرف به داخل ظرف منتقل کنید. اگر این اتفاق افتاد بهتر است کار را از ابتدا شروع کنید. مرحله بعد شیر را توسط پی‌پت به آرامی و دقت روی لایه عسل بریزید. سپس پی‌پت را مجدداً کاملاً شسته و خشک کرده و در این مرحله مایع ظرفشویی را توسط پی‌پت به آرامی و دقت روی لایه شیر بریزید. مجدداً پی‌پت را کاملاً تمیز کرده سپس آب را توسط پی‌پت به آرامی و دقت روی لایه مایع ظرفشویی بریزید. مجدداً پی‌پت را کاملاً تمیز کرده و روغن گیاهی را توسط پی‌پت روی لایه آب بریزید.

بعد از آماده کردن ستون چگالی، نمونه‌های پلیمری مجهول را توسط پنس به آرامی روی لایه روغن قرار می‌دهیم و نتایج را یادداشت می‌کنیم. پلیمر در کدام لایه می‌ایستد؟ دانسیته پلیمر چقدر است؟

گزارش کار: جدول زیر را کامل و به عنوان گزارش کار گروه خود تحویل دهید:

نام دو حلال استفاده شده برای روش ۱ چیست و دانسیته آنها چقدر است؟	حجم، و وزن هر یک از دو حلال در روش ۱ چقدر است؟
۱-	۱-
۲-	۲-

دانسیتة پلیمر را با روش ۱ محاسبه کنید:
پلیمر در ستون گرادایانی در چه سطحی می ایستد؟ دانسیتة پلیمر چقدر است؟
حدس میزنید نام پلیمر چیست؟

سوالات تحقیقی:

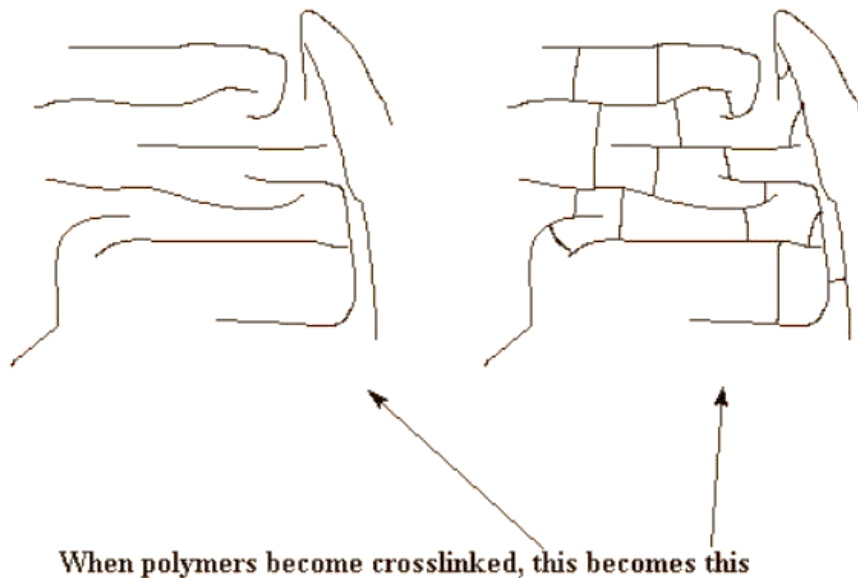
تذکر: هر فرد جداگانه تحویل دهد

- ۱- ستون گرادایانی استاندارد برای اندازه گیری دانسیته پلیمرها چیست؟ و بر چه اساس کار می کند؟
(همراه با ارائه شکل دستگاه)
- ۲- پیکنومتر چیست و به چه منظور استفاده می شود؟ (همراه با ارائه شکل دستگاه)
- ۳- دانسیته یک جسم جامد با شکل هندسی معین چگونه اندازه گیری میشود؟
- ۴- دانسیته یک جسم جامد با شکل هندسی نامعین چگونه اندازه گیری میشود؟
- ۵- روشی را برای ساخت یک ستون گرادایانی هفت لایه ارائه کنید.

عنوان آزمایش ۳: اندازه گیری زمان واکنش شبکه‌ای شدن پلی استرهای غیراشباع

هدف: بررسی و مشاهده اثر شبکه‌ای شدن روی پلیمرها و تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی آنها -
آشنایی با روش اندازه گیری زمان ژل شدن

مباحث نظری: پلیمرها را می‌توان به روشهای مختلفی به دسته بندی‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد. این دسته‌بندی‌ها براساس: منشأ، نحوه فرآیند، نحوه سنتز، مکانیسم واکنش، ساختار زنجیرها و کاربردشان می‌باشد. یکی دیگر از تقسیم بندی‌ها به اشباع و یا غیراشباع بودن زنجیر پلیمر اشاره دارد. پلیمرهای غیراشباع این توانایی را دارند که در حضور رادیکال آزاد از خود واکنش پلیمریزاسیون نشان دهند. یکی از مهمترین آنها پلی‌استرهای غیراشباع می‌باشند که در حضور رادیکال آزاد و عوامل پخت مختلف مثل: استایرن، متیل متاآکریلات، وینیل استات، دی‌آلیل فتالات، کلرواستایرن و ... واکنش شبکه‌ای شدن را از خود نشان می‌دهد. واکنش شبکه‌ای شدن باعث ایجاد پلهایی بین زنجیرهای پلیمری می‌شود. زمانی که واکنش شبکه‌ای شدن صورت می‌گیرد باعث تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی پلیمر اولیه می‌شود. این تغییرات شامل تغییر در انعطاف پذیری، چگالی، سختی، نقطه ذوب، انحلال پذیری، فرایند پذیری و ... می‌شود. واکنش شبکه‌ای شدن پلی استرهای غیراشباع در صنعت کاربرد بسیار زیادی دارند که می‌توان از مهمترین آنها به تولید فایبرگلاس اشاره کرد.



شکل ۳: فرایند شبکه‌ای شدن

واکنش شبکه‌ای شدن در مورد پلیمرهای مختلف نیز صورت می‌گیرد. برای مثال می‌توان به رزین‌های اپوکسی، پلی‌ایزوپرن، پلی‌بوتادین، پلی‌کلروپرن، پلی‌کربنات‌ها و ... اشاره کرد.

واکنش شبکه‌ای شدن به دو صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد. باید توجه داشت که این نوع واکنش و پلیمر نهایی حاصله از آن با پلیمرهای دارای ساختار شبکه‌ای که به آن **Interpenetrating polymer network (IPN)** می‌گویند، اشتباه گرفته نشود.

مواد لازم: (به ازاء هر گروه) ۱۰۰ گرم رزین پلی‌استر غیراشباع، ۰/۲ گرم کبالت نفتانات، ۲ گرم متیل‌اتیل‌کتون پراکسید. آمین آرماتیک نوع سوم

وسایل لازم: لیوان یک‌بار مصرف (PP)، دماسنج، حمام آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد، همزن شیشه‌ای، ترازو

طرزکار: طی این آزمایش ابتدا ۱۰۰ گرم رزین را در لیوان وزن کرده و به آن ۰/۲ گرم کبالت نفتانات اضافه می‌کنیم و آن را با همزن به خوبی یکنواخت می‌کنیم. سپس با استفاده از دماسنج و حمام آب ۲۵ درجه دمای محلول را به ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسانیم. سپس متیل‌اتیل‌کتون پراکسید را اضافه می‌کنیم. سریع آنرا با هم زدن یکنواخت کرده و بلافاصله زمان‌سنج را روشن می‌کنیم. هر ۱۵ ثانیه یک بار با استفاده از میله‌ای شیشه‌ای محلول را بررسی می‌کنیم تا متوجه ژل شدن محلول مورد نظر بشویم. با نزدیک شدن به زمان ژل، روانی رزین کاهش می‌یابد و دیگر شره نمی‌کند. در هنگام ژل شدن رزین مورد نظر از حالت مایع روان به حالت ژله مانند تبدیل می‌شود. در هنگام دیدن ژل، زمان را یادداشت می‌کنیم.

تذکر ۱: کلیه مراحل وزن کردن رزین و اتیل متیل‌کتون پراکسید **MEKP**، و اضافه کردن آن به رزین زیر هود انجام می‌شود.

تذکر ۲: یک گروه به عنوان شاهد عین دستور کار عمل کند. گروه دیگر (۱) ۱/۵ برابر گروه شاهد **MEKP** اضافه کند. گروه دوم دوبرابر گروه شاهد کبالت اضافه کند. در صورتیکه در آزمایشگاه آمین نوع سوم بود، گروه سوم مقداری آمین به مخلوط رزین - کبالت اضافه کند. بقیه مراحل را مشابه دستور ادامه دهید. و زمانهای ژل شدن را مقایسه کنید.

گزارش کار:

- (۱) زمان ژل شدن رزین چقدر است؟
- (۲) حالت‌های فیزیکی، رنگ، کدري، جمع شدگی رزین قبل و بعد از واکنش پخت را مشاهده و گزارش کنید.
- (۳) زمانهای ژل شدن گروه‌های مختلف و دلیل این پدیده را گزارش و مقایسه کنید.

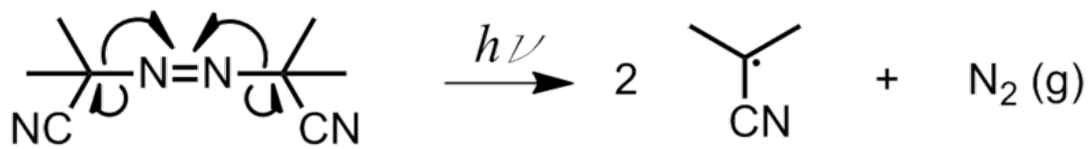
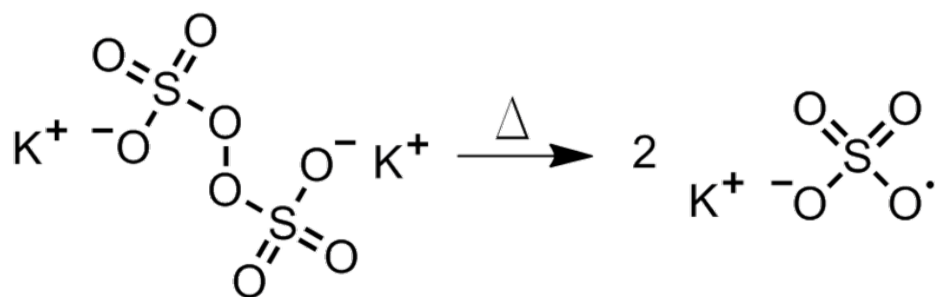
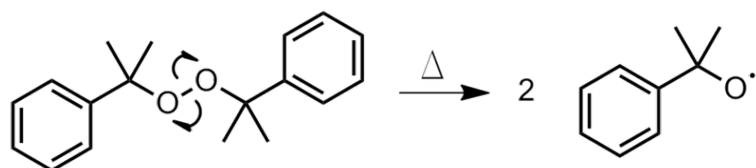
سوالات تحقیقی:

- (۱) چگونه می‌توان میزان شبکه‌ای شدن یک پلیمر را اندازه‌گیری کرد؟
- (۲) واکنش شبکه‌ای شدن (پخت) رزین‌های اپوکسی را توضیح دهید.
- (۳) واکنش شبکه‌ای شدن (پخت) الاستومرهای مختلف مثل پلی‌بوتادین و پلی‌ایزوپرن را توضیح دهید.
- (۴) بعد از انجام واکنش شبکه‌ای شدن چه خواصی تغییر می‌کند؟
- (۵) چه سیستم‌های آغازگری برای واکنش شبکه‌ای شدن (پخت) استفاده می‌شود؟
- (۶) کاربردهای صنعتی رزین‌های پلی‌استر را ذکر کنید.
- (۷) نقش کبالت، آمین و MEKP در این واکنشها چیست. واکنشهای مربوطه را بنویسید.
- (۸) دانستن زمان ژل شدن چرا در صنعت اهمیت دارد؟

عنوان آزمایش ۴: پلیمریزاسیون مونومرهای وینیلی به روش حرارتی - بررسی اثر دما

هدف آزمایش: بررسی پلیمریزاسیون رادیکالی مونومرهای وینیلی، آشنایی با آغازگرهای رادیکالی گرمایی، اثر دما بر میزان تجزیه و فعالیت آغازگر

مباحث نظری: بعضی از ترکیبات آلی در اثر حرارت نه چندان زیاد (حدود ۷۰ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد)، می‌توانند به صورت یکنواخت شکسته شده و تبدیل به اجزایی شوند که به آنها اصطلاحاً رادیکال‌های آزاد می‌گویند. رادیکال‌های آزاد می‌توانند باعث انجام واکنش‌های پلیمریزاسیون شوند. آغازگرها به طریق نوری، حرارتی یا اکسایشی-کاهش‌ی تجزیه شده منجر به تولید رادیکال آزاد در محیط می‌شوند که باعث شروع واکنش پلیمر شدن مونومر می‌گردند. از مهمترین ترکیباتی که به عنوان آغازگرهای رادیکالی می‌توان بکار برد بنزوئیل پراکسید و آزوبیس ایزوبوتیرونیتریل می‌باشد. تجزیه این ترکیبات را می‌توان به صورت شکل ۴ نشان داد. این آغازگرها در دماهای مختلف سرعت تجزیه متفاوتی دارند با مراجعه به جدول کتاب اصول بسپارش می‌توانید اثر دما بر نیمه عمر آغازگر را مقایسه کنید.



شکل ۴: واکنش تجزیه آغازگرها در شرایط مختلف

بطور کلی تجزیه حرارتی این قبیل مولکول‌ها را که از تجزیه یک مولکول دو ذره رادیکالی تولید می‌شود می‌توان به صورت زیر نشان داد.



تذکر: آزمایش قابل اجرا برای تمام مونومرهای وینیل است.

مواد لازم: ۸/۸ میلی لیتر مونومر استایرن - ۰/۰۴ گرم آغازگر مربوطه (بنزوئیل پراکسید BPO یا آزوبیس ایزوبوتیرونیتریل ABIN)، ۴۰ میلی لیتر تولوئن - ۱۶۰ میلی لیتر اتانول (برای هر گروه)

وسایل مورد نیاز: ۴ عدد لوله آزمایش دردار (برای هر گروه) - ۴ عدد بشر ۱۰۰ میلی لیتری (برای هر گروه) - حمام گلیسرین (۴ حمام برای کلیه گروهها) - دماسنج (۴ عدد برای کلیه گروهها)

تذکر: در آزمایشگاه ۴ حمام به ترتیب با دماهای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی گراد به نحوی آماده کنید که گروههای مختلف دانشجویان بتوانند بسته به مورد، ظرف آزمایش خود را در آن قرار داده و بررسی‌های لازم را انجام دهند.

طرز کار: داخل هر یک از ۴ لوله آزمایش ۲ گرم (۲/۲ میلی لیتر) استایرن و یک صدم گرم از یکی از آغازگرهای مذکور بریزید. لوله‌های آزمایش را توسط دربهای مخصوص، مسدود نمایید. لوله‌های آزمایش ۱ تا ۴ را به ترتیب در دمای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲ ساعت در داخل حمام گلیسرین یا در گرمکن برقی قرار دهید. از نظر زمانی مقایسه کنید محتویات کدام ظرف در چه زمانی ویسکوز می‌شود. پس از پایان زمان مذکور، در زیر هود دمای ظروف را به ۱۰۰ درجه رسانده و به داخل هر کدام از لوله‌های آزمایش ۱۰ الی ۱۵ میلی لیتر بنزن و یا تولوئن جهت انحلال پلی استایرن اضافه نمایید. باید به این نکته توجه داشت که در دماهای آزمایش بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد، حلال به تدریج به پلیمر افزوده شود. در صورت لزوم با یک همزن شیشه‌ای محتویات را هم بزنید. پلیمرهای حل شده را جداگانه به بشرهای حاوی ۴۰ الی ۵۰ میلی لیتر اتانول و یا اتر نفت ریخته، تا پلیمر رسوب کند. سپس رسوب را به دقت جمع‌آوری نموده و دوباره با ۱۰ الی ۱۵ میلی لیتر الکل یا اتر نفت بشویید. پلی استایرن جامد به دست آمده را ابتدا در هوا (محیط) و سپس در آون خلاء در دمای ۶۰ الی ۷۰ درجه سانتیگراد خشک و توزین نمایید. می‌توانید در معرض هوا تا هفته آینده خشک کرده، اول جلسه آینده در اون در دمای ۵۰ درجه قرار دهید و آخر جلسه توزین کنید و بازده را حساب کنید.



شکل ۵: حمام گلیسیرین

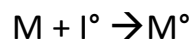
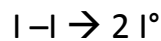
گزارش کار:

- ۱ - مکانیزم واکنش تجزیه آغازگر و واکنش پلیمریزاسیون را بنویسید.
- ۲ - منحنی ارتباط مقدار پلیمر حاصل را نسبت به دما رسم کنید. و دلیل نتایج حاصل را شرح دهید.
- ۳ - دلیل بستن درب لوله‌های آزمایش در حین کار چیست؟

عنوان آزمایش ۵: بررسی اثر غلظت آغازگر در پلیمریزاسیون مونومرهای وینیلی به روش حرارتی

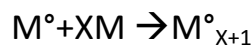
هدف آزمایش: بررسی پلیمریزاسیون رادیکالی مونومرهای وینیلی، آشنایی با آغازگرهای رادیکالی گرمایی، اثر غلظت آغازگر بر سرعت و مقدار و وزن مولکولی پلیمر حاصل

مباحث نظری: بسیاری از مونومرهای وینیل از جمله وینیل بنزن یا استیرن، وینیل کلرید و وینیل استات به راحتی در حضور رادیکال‌های آزاد به عنوان آغازگرهای رادیکالی تبدیل به پلیمر می‌شوند. نوع و غلظت آغازگر نقش قابل توجهی در پیشرفت واکنش پلیمر شدن مونومرها دارد. معادله زیر که از بررسی سینتیک واکنش‌های پلیمر شدن رادیکالی بدست آمده است این ارتباط را نشان می‌دهد. یکی از عوامل موثر بر پیشرفت واکنش‌های پلیمریزاسیون، غلظت آغازگر است. در واکنش‌های پلیمر شدن مونومرهای وینیل به طریقه رادیکالی عوامل مختلفی از جمله غلظت مونومر، غلظت آغازگر، زمان و دما، موثر می‌باشند. اگر واکنش‌های پلیمریزاسیون مونومر (M) را با آغازگر I^* در سه مرحله آغاز، پیشرفت و پایان همراه با سرعت پیشرفت واکنش‌ها بنویسیم، خواهیم داشت:



سرعت در مرحله آغاز عبارت است از:

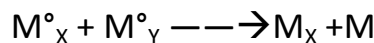
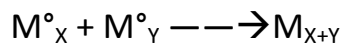
$$R_i = k_i f [I^*]$$



سرعت در مرحله انتشار عبارت است از:

$$R_p = K_p [M] [M^*]$$

مرحله خاتمه ممکن است بوسیله تلفیق و یا ترکیب دو زنجیر رادیکالی انجام شود.



سرعت در مرحله پایان عبارت است از:

$$R_t = K_t [M^\circ]^2$$

پس از مدتی کوتاه حالت پایا فرا می‌رسد. در این حالت می‌توان نوشت:

$$R_i = R_t$$

$$K_i f [I^\circ] = K_t [M^\circ]^2$$

مقدار $[M^\circ]$ را از رابطه فوق در رابطه مربوط به سرعت در مرحله پیشرفت قرار می‌دهیم.

$$[M_0] = \frac{(K_i f [I^\circ])^{1/2}}{K_t}$$

$$R_p = \frac{K_p (K_i f [I^\circ])^{1/2} [M]}{(K_t)^{1/2}}$$

بنابراین میزان پیشرفت واکنش‌های پلیمریزاسیون رادیکالی (R_p) بستگی به جذر ریشه دوم غلظت آغازگر دارد.

تذکر: آزمایش قابل اجرا برای تمام مونومرهای وینیل است.

مواد لازم: ۱۳/۲ میلی لیتر مونومر استایرن - یک گرم آغازگر مربوطه (بنزوئیل پراکسید BPO یا آزوبیس ایزوبوتیرونیتریل ABIN)، ۶۰ میلی لیتر تولوئن - ۱۶۰ میلی لیتر اتانول (برای هر گروه)

وسایل مورد نیاز: ۴ عدد لوله آزمایش دردار (برای هر گروه) - ۴ عدد بشر ۱۰۰ میلی لیتری (برای هر گروه) - زرورق آلومینیومی - حمام گلیسیرین ۷۰ درجه (۲ حمام برای کلیه گروهها) - دماسنج (۲ عدد برای کلیه گروهها)
تذکر: در آزمایشگاه ۴ حمام به ترتیب با دماهای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، و ۱۶۰ درجه سانتی گراد به نحوی آماده کنید که گروههای مختلف دانشجویان بتوانند بسته به مورد، ظرف آزمایش خود را در آن قرار داده و بررسی‌های لازم را انجام دهند.

طرز کار: داخل هر یک از لوله‌های آزمایش، ۳ گرم (۳/۳ میلی لیتر) استایرن بریزید. به اندازه ۰/۱ گرم در لوله آزمایش شماره ۱، ۰/۲ گرم در لوله آزمایش شماره ۲، ۰/۳ گرم در لوله آزمایش شماره ۳ و ۰/۴ گرم در لوله آزمایش شماره ۴، بنزوئیل پروکسید اضافه کرده و با زرورق آلومینیومی پیچیده و به مدت ۲ ساعت داخل حمام آبی در دمای ثابت ۷۰ درجه سانتیگراد قرار دهید. در طول آزمایش به زمان ویسکوز شدن محتویات هر لوله توجه کنید. بعد از سپری شدن ۲ ساعت، لوله‌های آزمایش سرد شده را زیر هود به دقت باز کرده و جهت انحلال

پلی استایرن تشکیل شده به هر کدام از لوله‌های آزمایش ۱۵ میلی لیتر بنزن و یا تولوئن اضافه کنید. جداگانه محلول‌های حاصل را به داخل بشرهای ۱۰۰ میلی لیتری حاوی ۴۰ الی ۵۰ میلی لیتر اتانول و یا اتر نفت ریخته، تا پلیمر رسوب کند. رسوب را جدا نموده و مجدداً با ۱۰ الی ۱۵ میلی لیتر عامل رسوب دهنده بشوئید. پلی استایرن جامد به دست آمده را ابتدا در هوا و سپس در آون خلاء در دمای ۶۰ الی ۷۰ درجه سانتیگراد خشک و توزین نمایید. یا یک هفته در دمای اتاق زمان دهید تا پلیمر خشک شود. اول جلسه آینده در اون در دمای ۵۰ درجه قرار دهید و آخر جلسه توزین کنید و بازده را حساب کنید.

گزارش کار:

- ۱- منحنی وابستگی مقدار پلیمر حاصله را نسبت به غلظت آغازگر رسم کنید. و دلیل نتایج را با استفاده از رابطه سینتیک واکنش توضیح دهید.
- ۲- ویسکوزیته پلیمرها را بدست آورده و مقایسه کنید. دلیل نتایج حاصل را توضیح دهید. می توان به هر گروه یک نمونه پلیمر را که در حضور یکی از غلظتهای آغازگر تهیه شده، برای اندازه گیری η_{inh} تحویل داد.

عنوان آزمایش ۶: تهیه پلی استایرن به روش پلیمریزاسیون تعلیقی Suspension Polymerization

هدف: آشنایی با روش پلیمریزاسیون تعلیقی و تفاوت آن با روش بالک (توده)

مباحث نظری: اغلب پلیمرها در صنعت با این روش تهیه می‌شوند. در این روش مونومر یا مخلوطی از مونومرها در فاز مایعی (فاز پیوسته) که در آن نامحلول هستند، بصورت قطرات معلق در آمده (فاز پراکنده) و پلیمریزه می‌شوند. فاز (فاز پیوسته) به گونه‌ای است که پلیمر حاصل از واکنش نیز در آن نامحلول بوده و بصورت دانه رسوب می‌کند.

در روش تعلیقی آغازگر در مونومر محلول است و در فاز پیوسته نامحلول است. این روش به نام‌های دیگری مانند پلیمریزاسیون دانه ای یا مرواریدی (Peal) یا (Bead) نیز معروف است. این نوع پلیمریزاسیون از روش بالک (Bulk) (توده) اقتباس شده است و راهی است جهت برطرف کردن معایب روش بالک. عیب عمده روش بالک ضعف سیستم در انتقال حرارت، به دلیل افزایش ویسکوزیته است که این امر باعث تسریع پلیمریزاسیون‌های موضعی و در نتیجه پراکندگی توزیع اوزان مولکولی می‌شود.

در روش تعلیقی ممکن است قطرات مونومری در حین برخورد بهم بچسبند و تشکیل توده دهند، که این مساله در انتقال حرارت ایجاد مشکل می‌کند. لذا به کمک برخی از انواع پلیمرهای محلول در آب مانند پلی وینیل الکل یا ترکیبات معدنی یا تالک محیط را پایدار کرده و این مشکل را برطرف می‌کنند. برای پایداری محیط سوسپانسیون نیز از ترکیبات معدنی غیرمحلول در آب مانند باریوم سولفات، منیزیم هیدروکسید و آلومینیم هیدروکسید استفاده می‌شود.

این روش مرتب در حال توسعه بوده و پلیمر و کوپلیمر انواع مونومرها مانند استرهای آکریلیک اسید، استرهای متاکریلات، استایرن، دی وینیل بنزن، کلرور وینیل، تترافلورواتیلن و کلروتتری فلورو اتیلن با این روش تهیه می‌شود. قطر ذرات پلیمری ۰/۰۰۱ تا ۰/۵ سانتی متر است که اندازه و شکل آنها به نوع و شدت هم زدن و عوامل دیگر بستگی دارد.

پایدار کننده‌های سوسپانسیونی در مورد استیرن، فسفات‌های قلیایی خاکی، کربنات‌ها، سیلیکات‌ها، نشاسته و ژلاتین و برخی مواد پلیمری می‌باشند. همچنین با استفاده از ۰/۵٪ روغن‌های معدنی با نقطه جوش زیاد که باعث جذب آب در دانه‌های پلیمری می‌شود، می‌توان دانه‌های شفاف بدست آورد.

روش کار (۱): شستشوی مونومرها

مواد لازم: مونومر به مقدار ذکر شده (۲۵ میلی لیتر وینیل استات یا ۲۰ میلی لیتر استایرن یا ۳۰ میلی لیتر متیل متاکریلات) (برای پنج گروه از دانشجویان کافی است)، محلول سود ۲٪ (برای مونومر وینیل استات ۱۵۰ میلی لیتر) (برای مونومر استایرن ۴۰ میلی لیتر)، (برای مونومر متیل متاکریلات ۷۰ میلی لیتر) (برای پنج گروه از دانشجویان کافی است)، کلرید کلسیم خشک

وسایل لازم: قیف جداکننده (دکانتور)، ارلن ۵۰ یا ۱۰۰ میلی لیتری.

تذکر: شستشوی مونومر را کافی است یک گروه برای بقیه انجام دهد. یا توسط متصدی آزمایشگاه انجام شود. مراحل کار منحصرًا زیر هود انجام شود.

۲۵ میلی لیتر مونومر وینیل استات را به کمک قیف جداکننده سه بار متوالی هر بار توسط ۵۰ میلی لیتر محلول سود ۲٪ شستشو داده و دو فاز را جدا کنید. سپس دو بار و هر بار توسط ۳۰ میلی لیتر آب مقطر بشویید و مونومر را جدا کرده و داخل ارلن کوچک درداری بریزید.

برای مونومر استایرن، ۲۰ میلی لیتر از مونومر را به کمک دکانتور و سه بار، هر بار توسط ۱۰-۵ میلی لیتر محلول سود ۲٪ بشویید و سپس سه بار با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر شستشو دهید و مونومر را داخل ارلن بریزید. درمورد مونومر متیل متاکریلات، ۳۰ میلی لیتر مونومر را سه بار، هر بار توسط ۲۰ میلی لیتر محلول سود ۲٪ شستشو داده و سپس سه بار و هر بار توسط ۳۰ میلی لیتر آب مقطر بشویید. مونومر را جدا کرده در یک ارلن بریزید.

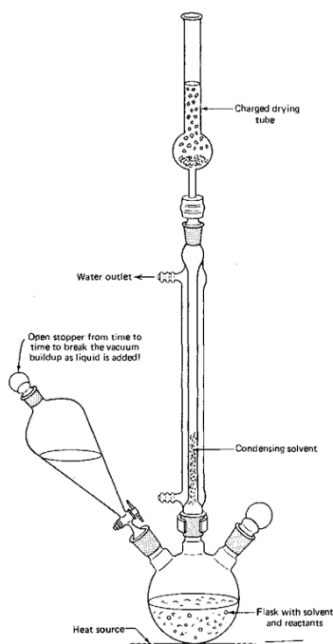
در تمام این موارد اگر مونومر پس از شستشو با آب کدر به نظر می‌رسد مقداری کلرید کلسیم خشک داخل آن بیندازید و هم بزینید تا شفاف شود آنگاه با سرریز کردن یا صاف کردن مونومر را جدا کنید.

روش کار (۲): پلیمریزاسیون تعلیقی مونومر

مواد لازم: ۳-۴ میلی لیتر مونومر به ازای هر گروه لازم است، ۱۰ میلی لیتر محلول فسفات سدیم $10\% \frac{W}{V}$ ، ۱۰ میلی لیتر محلول کلرور کلسیم $10\% \frac{W}{V}$ ، ۵ میلی لیتر آمونیاک غلیظ، یک گرم بنزوئیل پروکسید، ۵۰ میلی لیتر محلول اسید کلریدریک ۲٪، مقدار کمی سیلیکون گریس مذاب، بالون ۵۰ تا ۱۰۰ میلی لیتری، پلی وینیل الکل.

وسایل لازم: کندانسور رفلاکس، قیف قطره چکان (یا قطره چکان)، ترمومتر، هیتر مجهز به همزن، مگنت یک سانتی، حمام آب گرم یا حمام روغن، دو بشر کوچک یا لوله آزمایش، قیف بوختر، کاغذ صافی، بالون سه دهانه ۱۰۰ (با بالون دو یا یک دهانه نیز می توان انجام داد)، پیپت مدرج یا سرنگ انسولین برای حجم سنجی های دقیق.

طرز کار: این آزمایش نیاز به یک بالون سه دهانه دارد، که دهانه وسط متصل به کندانسور رفلاکس، یکی از دهانه ها مجهز به قیف قطره چکان حاوی مونومر و آغازگر و دیگری مجهز به قیف قطره چکان حاوی آب مقطر و کلرور کلسیم می باشد شکل (۱).



شکل ۶: سیستم واکنش

ابتدا به بالون ۷ میلی لیتر آب مقطر $0/12$ میلی لیتر محلول فسفات سدیم و $0/17$ میلی لیتر آمونیاک اضافه می شود. آن را به کندانسور رفلاکس متصل کرده و در حمام آب 90°C قرار دهید. سپس دور همزن را ۶۰-۱۰۰ دور در دقیقه تنظیم کنید. در یک بشر کوچک ۲ میلی لیتر آب مقطر بریزید و به آن $0/25$ میلی لیتر محلول کلرور کلسیم 10% اضافه کنید (مخلوط ۱) این محلول را به کمک قیف قطره چکان یا قطره چکان در طول ۳۰

دقیقه به بالون اضافه کنید. (چه مشاهده می کنید؟) دمای حمام را روی از 70°C تنظیم کنید و پس از برقراری تعادل گرمایی، در بشر کوچک دیگری $3/3$ میلی لیتر مونومر تقطیر شده یا شسته شده بریزید و به آن $0/13$ گرم بنزوئیل پروکسید اضافه کنید تا حل شود (مخلوط ۲). این محلول را در طول ۱۰ دقیقه به بالون اضافه کنید. (چه مشاهده می کنید؟) دقت کنید دمای حمام در طول این مدت از 70°C پایین تر یا بالاتر نرود. در حالی که سرعت همزن ثابت است به مدت ۲ ساعت به رفلاکس در حمام $70-90^{\circ}\text{C}$ ادامه دهید. (دقت کنید پس از چه مدت دانه های پلیمر ظاهر می شوند) اگر دانه ها ظاهر نشده ۲ ساعت دیگر به رفلاکس ادامه دهید. پس از این مدت، محصول را توسط قیف بوختر صاف کنید و آن را توسط $5-10$ میلی لیتر اسید کلریدریک 2% و سپس با 10 میلی لیتر آب مقطر شستشو دهید تا خنثی شود. و در آن 40°C خشک کنید. (در صورتیکه زمان آزمایشگاه به اتمام رسیده محصول را در هوای آزمایشگاه خشک کنید و جلسه بعد توزین کنید). پلیمر را وزن کرده و راندمان را حساب کنید. نمونه را به متصدی آزمایشگاه تحویل دهید.

در صورتی که بالون یک دهانه در اختیار دارید به ترتیب زیر عمل کنید. به یک بالون یک دهانه 100 میلی لیتری حاوی مگنت، 7 میلی لیتر آب مقطر، $0/12$ میلی لیتر محلول فسفات سدیم 10% ، و $0/17$ میلی لیتر آمونیاک غلیظ اضافه کنید آن را به کندانسور رفلاکس متصل کرده و در حمام آب 90°C قرار دهید. پس از برقراری تعادل دمایی هیتر را خاموش کنید و دور همزن را $60-100$ دور در دقیقه تنظیم کنید. در حالی که بالون را در حمام آب ثابت نگه داشته اید کندانسور را جدا کرده و درب بالون را با کاغذ آلومینیم سردی ببوشانید و به کمک قطره چکان به ترتیب ابتدا مخلوط (۱) و سپس مخلوط (۲) را از طریق سوراخ کوچکی که در کاغذ آلومینیم ایجاد کرده اید به محتویات بالون اضافه کنید. ابتدا اندازه قطراتی که از قطره چکان شما می چکد را با آب مقطر بدست آورید. به این ترتیب مشخص کنید 2 و $3/3$ میلی لیتر آب مقطر معادل چند قطره با قطره چکان شما می شود. حال محاسبه کنید برای اینکه این تعداد قطره در طول 30 دقیقه یا 10 دقیقه چکانده شود هر یک قطره به فواصل چند دقیقه ای باید به محتویات بالون اضافه شود. پس از این محاسبه مخلوط های (۱) و (۲) را با سرعت مناسب اضافه کنید. مخلوط ۱ را در طول 30 دقیقه به بالون اضافه کنید این عمل باعث تشکیل فسفات کلسیم می شود که برای پخش مونومر در محیط لازم است. (چه تغییری در اثر اضافه کردن این مخلوط مشاهده می شود). مخلوط ۲ را در طول 10 دقیقه به بالون اضافه کنید. (چه مشاهده می کنید) دقت کنید دمای حمام در طول این مدت از 70°C پایین تر یا بالاتر نرود. (در این مدت سعی کنید سرعت عمل داشته باشید). کندانسور رفلاکس را دوباره به بالون متصل کرده و در حالی که سرعت همزن ثابت است به مدت 2 ساعت به رفلاکس در حمام $70-90^{\circ}\text{C}$ ادامه دهید. (دقت کنید پس از چه مدت دانه های پلیمر ظاهر می شوند) بقیه مراحل مانند دستور کار فوق دنبال می شود.

تذکر: محلول زیر صافی به ظرف ضایعات حلال منتقل شود.

تذکر مهم: (یکی از گروهها به عنوان گروه شاهد عین طرز کار را دنبال کند. یکی از گروهها (۱) به بالون خود، که حاوی مخلوط آب مقطر، محلول فسفات سدیم و آمونیاک است، ۲-۳ قطره روغن معدنی یا مقدار کمی پلی وینیل الکل، اضافه کند و گروه دیگری (۲) دوبرابر گروه اول پلی وینیل الکل اضافه کند. و این دو گروه بقیه مراحل آزمایش را مانند فوق انجام دهند آنگاه شکل دانه‌های محصول را در این حالت با یکدیگر و با گروه شاهد مقایسه کنید). همچنین یکی از گروهها (۳) برای تهیه مخلوط (۲) از ۰/۲۶ گرم بنزوئیل پراکسید استفاده کند و زمان ظهور دانه ها، راندمان و ویسکوزیته پلیمر حاصل را با گروه شاهد مقایسه کنید. گروه دیگری (۴) مانند گروه شاهد عمل کند با این تفاوت که دما را ۲۰ درجه بالاتر از گروه شاهد حفظ کند. آنگاه شکل دانه‌های محصول و زمان ظهور دانه ها، راندمان و ویسکوزیته پلیمر حاصل را با گروه شاهد مقایسه کنید.

گزارش کار:

- ۱- سوالات پرسیده شده در متن را به دقت پاسخ دهید.
- ۲- راندمان محصول را محاسبه و گزارش کنید.
- ۳- ویسکوزیته پلیمر حاصل را بدست آورید. (این پاسخ را در آزمایش ویسکومتری دنبال کنید).
- ۴- به سوالات مقایسه ای گروههای مختلف با گروه شاهد پاسخ دهید. از این مشاهدات چه تحلیلی دارید؟

سوالات تحقیقی:

- ۱- مزایا و معایب پلیمریزاسیون تعلیقی چیست؟ چگونه این روش معایب پلیمریزاسیون بالک را برطرف می‌کند.
- ۲- نقش پایدار کننده و همزن چیست؟
- ۳- اثر غلظت پایدار کننده، آغازگر و دما بر سرعت پلیمریزاسیون چیست؟
- ۴- چه بازدارنده‌ای همراه مونومر وجود داشت؟ در حین شستشو چه مشاهده کردید؟
- ۵- یکی از کاربردهای صنعتی این روش را ذکر کنید؟ کدام یک از شرکتهای پتروشیمی ایران از این روش استفاده می‌کنند؟ محصول حاصل چیست؟

عنوان آزمایش ۷: اندازه‌گیری ویسکوزیته پلیمرها

هدف: آشنایی با مفهوم وزن مولکولی پلیمرها، اهمیت وزن مولکولی، شناخت انواع ویسکومتری

مباحث تئوری: میزان ویسکوزیته پلیمر می‌تواند ملاکی برای وزن مولکولی پلیمر باشد بطوری که در شرایط یکسان، افزایش ویسکوزیته دال بر افزایش وزن مولکولی است. برای اندازه‌گیری ویسکوزیته پلیمرها روش‌های مختلفی وجود دارد که متداول‌ترین آنها براساس اندازه‌گیری زمان جاری شدن محلول یا مذاب پلیمر از لوله موئینه با طول معین است. ویسکومترها انواع مختلفی دارند که هر کدام برای اندازه‌گیری رنج خاصی از ویسکوزیته مواد مناسب اند.

براساس زمان جاری شدن محلول پلیمر و حلال شاهد، می‌توان ویسکوزیته نسبی η_r ، ویسکوزیته کاهش یافته η_{red} ، ویسکوزیته ویژه یا مخصوص η_{sp} ویسکوزیته درونی η_{inh} و ویسکوزیته ذاتی $[\eta]$ را محاسبه کرد. رابطه بین وزن مولکولی متوسط ویسکومتری پلیمر M_v ، با ویسکوزیته ذاتی پلیمر $[\eta]$ توسط معادله مارک-هووینگ بیان شده است.

$$[\eta] = k(M_v)^a$$

K و a برای یک نمونه پلیمر خاص، و یک حلال بخصوص و در یک دمای معین، مقادیر ثابتی می‌باشند.

ویسکوزیته ذاتی عبارت از حد ویسکوزیته مخصوص است وقتی غلظت به صفر میل می‌کند (در رقت بینهایت)

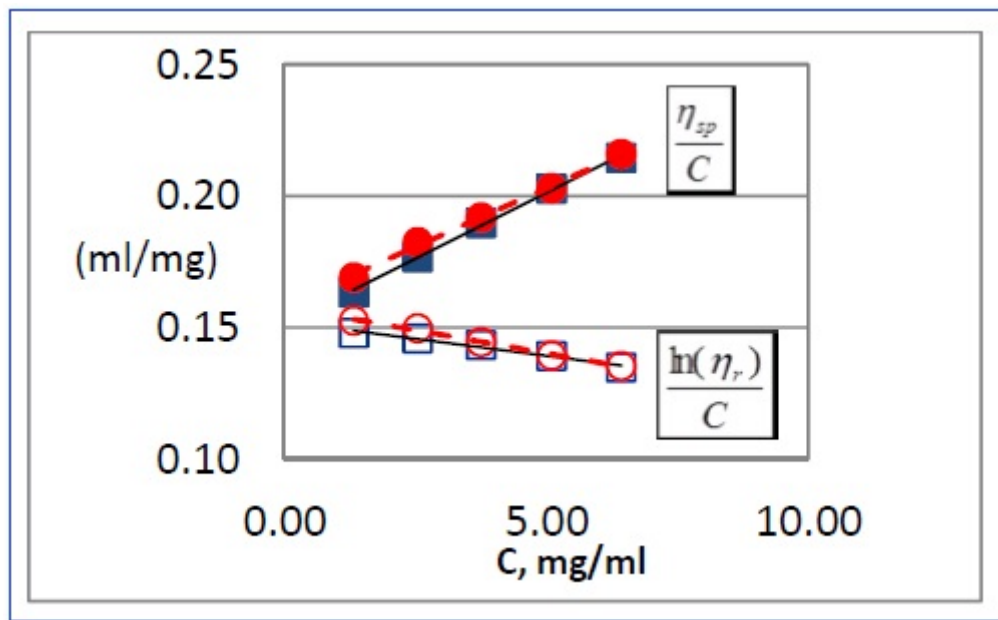
$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \eta_{sp}/C$$

ویسکوزیته مخصوص عبارت است از نسبت ویسکوزیته محلول η' به ویسکوزیته حلال η_0 (ویسکوزیته نسبی η_r) منهای یک. ویسکوزیته نسبی را از روی نسبت زمان جاری شدن محلول پلیمر t ، به زمان جاری شدن حلال خالص t_0 بدست می‌آورند.

$$\eta_{sp} = \eta'/\eta_0 - 1 = t/t_0 - 1 = \eta_r - 1$$

η_{sp} تابع خطی غلظت حل شونده نیست لذا برای بدست آوردن M_v باید مقادیر نسبت η_{sp}/C را در غلظت‌های مختلف بدست آورد. این مقادیر را بر حسب C بر روی نموداری رسم می‌کنند و به سمت صفر برون یابی (Extrapolate) می‌کنند از محل برخورد خط با محور Y یعنی در غلظت صفر $[\eta]$ ویسکوزیته ذاتی بدست

می‌آید. حال با دانستن مقادیر k ، a و باتوجه به رابطه مارک-هووینگ وزن مولکولی متوسط پلیمر بدست می‌آید. به عنوان مثال شکل (۷)



شکل ۷: مثال برون یابی غلظتها به سمت صفر براساس نسبت ویسکوزیته ویژه یا ویسکوزیته داخلی به غلظت و تعیین ویسکوزیته ذاتی

در این آزمایش شما باتوجه به سه غلظت مختلف محلول پلیمر که کار کردید و با بدست آوردن نسبت زمان جاری شدن محلول پلیمر و حلال برای هر مورد η_r ، را بدست آورید. سپس با انجام محاسبات لازم، نسبت ویسکوزیته ویژه به غلظت را محاسبه، و برحسب غلظت، چنین نموداری را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و باتوجه به اینکه برای پلی استایرن در حلال تولوئن و دمای 25°C مقادیر $k=1.34 \times 10^{-4}$ ، $\alpha=0.71$ می‌باشد. وزن مولکولی M_v را بدست آورید.

روش دیگر رسم نمودار این است که مقادیر $\log \frac{\eta_r}{C}$ را بر حسب C رسم می‌کنند آنگاه نمودار را به سمت صفر برون‌یابی می‌کنند که باز هم نتیجه مشابهی با روش اول خواهد داشت. در واقع این روش بسط $\frac{\eta_{sp}}{C}$ به صورت سری زیر است:

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + k_1[\eta]^2 C + k_2[\eta]^3 C^2 + \dots$$

برای دقت بیشتر می‌توان روی یک محور مختصات مشترک، هر دو نوع منحنی را رسم نمود و با برون‌یابی دوبل، به نقطه یکسانی رسید. در غلظت‌های کم (رقت بینهایت) هر دو گراف خطی‌اند. اما برای انحنادار و

غیرخطی روش برون‌یابی دوبل، با دقت بیشتری عمل می‌کند. در این آزمایش شما نمودار دیگری نیز براساس رسم مقادیر $\log \frac{\eta_r}{c}$ بر حسب C رسم کنید. و محاسبات لازم را برای بدست آوردن M_v انجام داده نتایج را با مقادیر حاصل از نمودار قبل مقایسه کنید. همچنین نتایج را در مورد دو نوع پلی استایرن که از دو روش ساخته شده‌اند مقایسه کنید.

روش کار (۱): اندازه‌گیری ویسکوزیته ویژه و وزن مولکولی متوسط پلی استایرن

مواد لازم: یک گرم نمونه پلیمر (برای این آزمایش از انواع پلیمرهای موجود در آزمایشگاه یا پلیمرهایی که خود تاکنون ساخته‌اید استفاده کنید و نتایج را با یکدیگر مقایسه کنید. ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر حلال (حلال را باتوجه به نوع پلیمر و با توجه به تست حلالیت که در آزمایش قبل انجام داده‌اید انتخاب کنید، ترجیحا حلالی که پلیمر را در دمای اتاق خیلی سریع و آسان حل می‌کند انتخاب کنید)، ۱۰۰ میلی لیتر استون.

تذکر: اگر از پلی استایرن استفاده می‌کنید، این پلیمر در اتیل استات، استون، تولوئن، زایلن، متیل اتیل کتون محلول است. در صورتیکه از این پلیمر استفاده می‌کنید، می‌توانید از این حلال‌ها استفاده کنید. ولی توجه داشته باشید اگر از گرانول‌های تجاری، استفاده می‌کنید پلیمر شما، خالص نبوده و همراه با مواد افزودنی است.

وسایل لازم: بالون ژوزه ۱۰۰ میلیتری ۴ عدد، تا ۵۰۰ میلی لیتری، پوآر لاستیکی، ویسکومتر، کرنومتر، ترمومتر، حمام آب، قطره چکان بزرگ یا پیپت

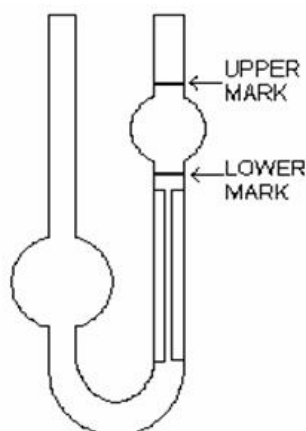
یک گرم از پلیمر موردنظر را به دقت وزن کرده در بالون ژوزه ۱۰۰ میلی لیتری توسط حلالی که پلیمر را بخوبی حل می‌کند، حل کرده و به حجم برسانید. سپس با استفاده از این محلول‌های ۱٪ و ۰/۵٪ و ۰/۲۵٪ را هم بسازید.

تذکر: برای کلیه گروهها در آزمایشگاه، یک بالون ژوزه ۱۰۰ سی سی از هرکدام از درصدهای ۱ و ۰/۵ و ۰/۲۵ کافی است.

(برای این آزمایش می‌توانید از پلی‌استایرنی‌هایی که به روشهای مختلف طی آزمایشات گذشته ساخته‌اید و از حلال تولوئن استفاده کنید. در طی این آزمایش می‌توانید ویسکوزیته و وزن مولکولی پلی استایرن حاصل از آزمایش تعلیق و سایر آزمایش‌های پلیمری‌اسیون استایرن را بدست آورید و آنها را با یکدیگر مقایسه کنید).

می توان به هر گروه یکی از نمونه های پلی استایرن که به روش بالک یا تعلیقی و ... تهیه شده اند را واگذار نمود و گروهها نتایج حاصل از نمونه خود را با هم مقایسه کنند. در صورتی که فرصت کافی باشد بهتر است هر گروه ویسکوزیته همه نمونه های پلی استایرن را مستقل بدست آورد.

طرز کار: یک ویسکومتر استوالد (شکل ۳) تمیز و خشک را توسط گیره به پایه ای بطور ثابت و عمودی متصل کنید.



شکل ۸: ویسکومتر استوالد

ابتدا توسط پیپت یا قطره چکان به داخل ویسکومتر از حلال موردنظر (تولوئن) به اندازه ای که تا علامت روی شاخه U شکل آن پر شود، اضافه کنید (معمولا ۱۰-۲۵ سی سی). توسط پوآر از طرف شاخه باریک تر ویسکومتر، حلال را پمپ کنید (عمل مکش)، تا حلال تا بالای علامت دوم لوله موئین بالا کشیده شود، سپس به حلال اجازه دهید جاری شود. به محض اینکه سطح حلال از علامت بالایی لوله موئین گذشت کرنومتر را روشن کنید و زمانی که سطح حلال به علامت پایینی لوله موئین می رسد کرنومتر را متوقف کنید (زمان لازم برای طی فاصله بین دو علامت t_0). این عمل را برای اطمینان تکرار کنید تا به نتایج متوالی مشابهی برسید. ویسکومتر را از حلال خالی کرده با استون شستشو داده و در آن خشک کنید. بگذارید ویسکومتر سرد شود. سپس عمل اندازه گیری زمان جاری شدن حلال را، برای هر یک از سه محلول پلیمری که تهیه کردید به همان ترتیب فوق تکرار کنید t_1, t_2, t_3 . دقت کنید که دمای حلال و نیز محلولها در همه حال $25^\circ C$ باشد. لذا برای اطمینان از ثابت ماندن دما، می توانید بالون ژوژه های محتوی حلال و محلولها و نیز ویسکومتر را در حمام آب $25^\circ C$ قرار دهید.

تذکر: پس از انجام هر آزمون ویسکوزیته، تولوئن را در ظرف تولوئن مستعمل یا حلال ضایعاتی و استون را در ظرف استون مستعمل سرریز کنید.

گزارش کار:

۱- جدول زیر را کامل کرده به سوالات مربوطه پاسخ دهید.

۲- نحوه محاسبه η_r و η_{sp} را نشان دهید.

۳- نمودار ویسکوزیته برحسب غلظت را رسم و $[\eta]$ را بدست آورید. وزن مولکولی PS را محاسبه کنید.

$t_0=?$	η_r	η_{sp}	$\eta_{inh}=(\ln t/t_0)/C$
$t_1=?$			
$t_2=?$			
$t_3=?$			

۴- ویسکوزیته و وزن مولکولی نمونه های پلی استایرن تهیه شده به روشهای مختلف چه تفاوتی دارند؟ چرا؟

سوالات تحقیقی:

۱) انواع ویسکومترهای موئینه شیشه ای چه هستند و در چه مواردی کاربرد دارند؟ نام و شکل آنها را مشخص کنید

۲) وزن مولکولی متوسط عددی چیست و با چه روشهایی اندازه گیری می شود؟

۳) مقادیر α و k را برای پلی استایرن و حلالهای اتیل استات، زایلن و بنزن بدست آورید.

عنوان آزمایش ۸: تهیه فوم پلی یورتان

هدف: آشنایی با پلیمرهای شبکه ای و چگونگی تشکیل فوم، اندازه گیری زمان انبساط فوم

مباحث نظری: پخش توده‌ای از حباب‌های گاز در یک محیط مایع یا جامد فوم یا کف (foam) نامیده می‌شود. فوم جامد به اسفنج یا ابر معروف است. امروزه به دلیل سهولت در امر تولید، سادگی دستگاه‌های مورد نیاز، مرغوبیت کیفی، فومهای پلی یورتان بر سایر فومها برتری یافته‌اند.

اسفنج‌های نرم یا سخت، خود از پلیمرهای ترموست یا ترموپلاست تهیه می‌شوند. از جمله می‌توان به فومهای پلی‌یورتان، پلی‌ایزوسیانات و اپوکسی بعنوان اسفنج‌های ترموست سخت و فومهای پلی‌یورتان و سیلیکون اسفنجی بعنوان اسفنج‌های ترموست نرم، و نیز فومهای پلی‌استایرن و پلی‌وینیل کلراید بعنوان اسفنج‌های ترموپلاستیک سخت و فومهای پلی‌وینیل کلراید، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن بعنوان اسفنج‌های ترموپلاستیک نرم اشاره کرد. بسته به نوع اجزای سازنده و طرز تهیه، یک اسفنج نرم یا سخت تولید می‌شود.

مواد اصلی سازنده پلی‌یورتانها عبارتند از: ۱-دی یا پلی‌ایزوسیاناتها ۲-دی یا پلی‌هیدروکسیل‌ها. این مواد به کمک کاتالیزورهای مناسب مانند آمین‌های نوع سوم، ترکیبات فلزی قلع مانند دی‌بوتیل قلع دی‌لورات به سرعت وارد واکنش تولید یورتان می‌شوند. مواد دیگری که در تهیه فومهای پلی‌یورتان بکار می‌روند عبارتند از: ۱- عامل کاهش دهنده کشش سطحی ۲- عامل تولید گاز ۳- پرکننده‌ها ۴- حلالها ۵- مقاوم کننده‌ها در برابر اشعه ۶- و بطور کلی موادی که برای ایجاد خاصیت بخصوصی به یورتانها اضافه می‌شوند. از جمله ایزوسیاناتهای مورد استفاده در فوم‌سازی می‌توان تولوئن دی‌ایزوسیانات (T.D.I) را نام برد که مخلوطی از ایزومرهای ۲،۴- و ۲،۶- به نسبت ۸۰ به ۲۰ درصد است و در تهیه فومهای نرم استفاده می‌شود. همچنین ۴،۴-دی‌فنیل متان دی‌ایزوسیانات (M.D.I) که در تهیه فومهای سخت کاربرد دارد.

از جمله ترکیب‌های هیدروکسیل که در تهیه فومهای پلی‌یورتان بکار می‌رود پلی‌استرها، پلی‌اترها و پلیمرهای هیدروکربن، با گروههای انتهایی ای OH هستند. در تهیه فوم، واکنش اصلی بین گروههای هیدروکسیل و ایزوسیانات منجر به تشکیل پلیمر و واکنش بین گروههای ایزوسیانات و آب منجر به تولید گاز می‌شود. کاتالیزورهایی که بکار می‌روند نقش مهمی در ایجاد خصوصیتی نظیر قدرت و استحکام زیاد و قابلیت فشرده‌گی حداقل دارند. از جمله این کاتالیزورها، آمین‌های نوع سوم می‌باشند که در تهیه فومهای سخت به تنهایی یا به همراه N,N,N',N' -تترا متیل اتیلن دی‌آمین یا دی‌متیل اتانول آمین استفاده می‌شوند. در روش بکار رفته، میزان نسبت غلظت دو کاتالیزور (آمینی و قلع) باید معین باشد و نیز ترتیب اضافه کردن مواد باید رعایت شود.

کاتالیزور آلی فلزی به منظور تسریع واکنش ایزوسیانات و هیدروکسیل، و کاتالیزور آمینی جهت تسهیل واکنش آب و ایزوسیانات است. متیلن کلراید یک عامل پف کننده شیمیایی است. سیلیکون باعث توزیع یکنواخت آب در پلی ال است. بعنوان عامل کاهش دهنده کشش سطحی می توان از تری ال با وزن مولکولی کم استفاده کرد و بعنوان عامل پرکننده از کربنات کلسیم با الیاف شیشه استفاده می شود. در مواردی که می خواهیم میزان مشبک بودن ساختار افزایش یابد و پلیمر از مقاومت وزنی بالایی برخوردار شود از گلیسیرول نیز استفاده می شود.

روش کار (۱): تهیه اجزا اول و دوم فوم در آزمایشگاه و سپس تهیه فوم

مواد لازم: ۴/۵ گرم ایزوسیانات TDI، ۸/۳ گرم پلی ال یا پلی اتر مانند پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰ یا ۱۰۰۰، ۰/۲۵ گرم روغن سیلیکون، ۰/۰۸۳ گرم کاتالیست آمینی تری اتیل آمین به همراه دی متیل اتانول آمین، ۰/۱۶۶ گرم کاتالیست قلع (آلی فلزی)، ۱/۸۳ گرم متیلن کلراید، ۰/۴۲ گرم آب مقطر، ۰/۱ گرم گلیسیرول، (مقادیر مواد به ازاء هر گروه است)

وسایل لازم: بشر متوسط ۱۰۰ یا ۱۲۵ میلی لیتری (یا لیوان یکبار مصرف)، همزن مغناطیسی، مگنت، حمام آب ۲۵°C، ترمومتر، لوله آزمایش با درپوش (یا شیشه پنی سلین خشک و تمیز با درپوش)، همزن شیشه‌ای، کرنومتر، پیپت مدرج با حجم یک و ۵ و ۱۰ سی سی، ۵ عدد سرنگ انسولین برای حجم‌های در حد دهم سی سی تذکر: می توان از مگنت و همزن مغناطیسی استفاده نکرد و به جای آن با همزن شیشه ای اختلاط کامل انجام داد. برای مایعات با توجه به دانسیته آنها می توان به جای توزین، از حجم سنجی برای برداشتن مقادیر لازم از آنها استفاده کرد (موارد ۲ تا ۶ در طرز کار تهیه جزء اول).

طرز کار: ابتدا در یک بشر (تهیه جزء اول) به ترتیب این مواد را توزین کرده به هم اضافه کنید:

(۱) ۸/۳ گرم پلی ال (این پلی ال می تواند پلی اتیلن گلیکول، پلی وینیل الکل یا هر پلیمری با گروه انتهایی هیدروکسیل باشد)

(۲) ۰/۴۲ گرم آب مقطر

(۳) ۰/۰۸۳ گرم کاتالیزور آمینی (یک آمین نوع سوم آلیفاتیک مانند تری اتیل آمین به همراه دی متیل اتانول آمین یا N',N',N,N-تترا متیل اتیلن دی آمین)

(۴) ۰/۱۶۶ گرم کاتالیزور قلع مانند دی بوتیل دی لورات قلع یا هر ترکیب آلی فلزی حجیم دیگر قلع)

(۵) ۰/۲۵ گرم روغن سیلیکون

(۶) ۱/۸۳ گرم متیلن کلراید

(۷) در صورت لزوم ۰/۱ گرم گلیسرول (برخی گروهها به عنوان شاهد اضافه نکنند)

در یک بشر یا لیوان یکبار مصرف این مواد را به کمک همزن شیشه‌ای یا اسپاتول خوب با هم مخلوط کنید. در صورت لزوم می‌توانید ۰/۱ گرم نیز گلیسرول برای افزایش استحکام استفاده کنید. ظرف را در حمام آب 25°C قرار دهید داخل آن مگنت بیندازید و توسط همزن با دور پایین هم بزنید.

(تهیه جزء دوم) به اندازه ۴/۵ گرم از دی ایزوسیانات TDI را در لوله آزمایش یا شیشه پنی سیلین وزن کرده به ظرف اول اضافه کنید. (باید سرعت عمل داشته باشید) قبل از مخلوط کردن مواد و بعد از مخلوط کردن چه مشاهده می‌کنید. بعد از اضافه کردن دو مخلوط به یکدیگر ۸ ثانیه اجازه دهید واکنش کامل شود و به حداکثر مقدار پف کردن برسد. (توجه داشته باشید که مراحل انجام واکنش را زیر هود انجام دهید). از لحظه‌ای که مواد را مخلوط می‌کنید تا تکمیل واکنش این موارد را اندازه‌گیری کنید:

(۱) $\text{Cream Time} = T_C$ از زمانی که مواد را مخلوط می‌کنید تا زمانی که مخلوط شروع به بالا آمدن و پف کردن می‌کند و به صورت خمیر در می‌آید.

(۲) $\text{Expansion Time} = T_E$ زمان انبساط از لحظه اختلاط مواد تا زمانی که حداکثر انبساط حاصل می‌شود.

(۳) $\text{Curing Time} = T_{CU}$ زمان سخت شدن از لحظه اختلاط مواد تا زمانی که فوم حالت می‌گیرد، سخت می‌شود.

محصول را وزن کرده و راندمان را بدست آورید. نمونه را به متصدی آزمایشگاه تحویل دهید.

تذکر مهم: به دلیل اینکه TDI مایع است برای اینکه برای توزین و انتقال ایزوسیانات از ظرف دوم به ظرف اول دچار مشکل و خطا نشوید می‌توانید با توجه به دانسیته TDI حجم لازم از آنرا محاسبه

کرده و به کمک پیپت مدرج حجم لازم را برداشته به ظرف اول منتقل کنید و بالا فاصله پیپت را با استون چند بار بشویید. (استون را در ظرف استون مستعمل سرریز کنید)

گزارش کار:

(۱) زمانهای T_C, T_E, T_{Cu} را به تفکیک مشخص کنید.

(۲) مراحل محاسبه راندمان را نوشته همچنین عدد نهایی را گزارش کنید. توضیح شما برای عدد به دست آمده چیست؟

(۳) سختی فومهای گروه شاهد با دیگر گروهها را مقایسه کنید. چه توضیحی برای مشاهده خود دارید؟

(۴) فوم خود را به ابعاد معینی برش زده و دانسیته آنرا محاسبه کنید.

روش کار (۲): تهیه فوم با استفاده از اجزا اول و دوم فوم که به طور تجاری تهیه شده است

مواد لازم: جزء اول و دوم فوم پلی یورتان که در بازار به طور تجاری موجود است. (برای هر گروه از هر جزء ۱۰-۲۰ گرم کافی است)

وسایل لازم: بشر متوسط ۱۰۰ یا ۱۲۵ میلی لیتری (یا ترجیحا لیوان یکبار مصرف دو عدد برای هر گروه)، حمام آب 25°C ، ترمومتر، همزن شیشه‌ای، کرنومتر

تذکر: یکبار آزمایش را با فرمولاسیون فوم تجاری نرم و یکبار آزمایش را با فرمولاسیون فوم تجاری سخت انجام دهید. می توانید از قالبهای آماده استفاده کنید و شکلهای زیبایی از محصول خود تهیه کنید.

جزء اول و دوم را جداگانه در دو بشر یا لیوان یکبار مصرف به اندازه ۲۰-۳۰ گرم وزن کنید. دو ظرف را در حمام آب 25°C بگذارید تا به تعادل برسند. جزء دوم را به ظرف اول اضافه کنید. (باید سرعت عمل داشته باشید) کاملا آنها را با همزن شیشه ای مخلوط کنید. قبل از مخلوط کردن مواد و بعد از مخلوط کردن چه مشاهده می کنید. بعد از اضافه کردن و اختلاط کامل دو مخلوط با یکدیگر، ۸ ثانیه اجازه دهید واکنش کامل شود و به حداکثر مقدار پف کردن برسد. (توجه داشته باشید که مراحل انجام واکنش را زیر هود انجام دهید). از لحظه ای که مواد را مخلوط می کنید تا تکمیل واکنش این موارد را اندازه گیری کنید:

(۱) $\text{Cream Time} = T_C$ از زمانی که مواد را مخلوط می کنید تا زمانی که مخلوط شروع به بالا آمدن و پف

کردن می کند و به صورت خمیر در می آید.

(۲) $Expansion\ Time = T_E$ زمان انبساط از لحظه اختلاط مواد تا زمانی که حداکثر انبساط حاصل می‌شود.

(۳) $Curing\ Time = T_{CU}$ زمان سخت شدن از لحظه اختلاط مواد تا زمانی که فوم حالت می‌گیرد، سخت می‌شود.



شکل ۹: تهیه فوم پلی یورتان

گزارش کار:

- (۱) زمانهای T_C, T_E, T_{CU} را به تفکیک مشخص کنید.
- (۲) مراحل محاسبه راندمان را نوشته همچنین عدد نهایی را گزارش کنید. توضیح شما برای عدد به دست آمده چیست؟
- (۳) فوم خود را به ابعاد معینی برش زده و دانسیته آنرا محاسبه کنید.
- (۴) چه تفاوتی از لحاظ خواص و دانسیته بین فوم سخت و نرم هست؟

سوالات تحقیقی:

- (۱) کلیه واکنش‌های جانبی و اصلی انجام شده در تشکیل فوم برحسب واکنش ایزوسیانات، پلی ال، و آب را بنویسید.
- (۲) (Foaming Agent) هر یک از عوامل دمنده فیزیکی و شیمیایی در بین اجزاء واکنش کدام است و چه می‌کند؟
- (۳) نقش آب و روغن سیلیکون چیست؟ با ذکر واکنش‌ها توضیح دهید.

- ۴) چند نمونه از موادی که بعنوان عامل تولید گاز، کاهش دهنده کشش سطحی و پرکننده بکار می‌روند نام ببرید.
- ۵) کاربرد فومهای سخت و فومهای نرم پلی یورتان را بنویسید.
- ۶) چند روش پیشنهادی جهت اندازه‌گیری دانسیته محصول خود ارائه دهید، دانسیته محصول خود را با چگالی متداول فومهای پلی یورتان مقایسه کنید.
- ۷) چه موادی بعنوان افزایش دهنده مقاومت در برابر شعله در فوم پلی یورتان بکار می‌روند؟
- ۸) ساختمان شیمیایی چند نوع دی یا پلی ایزوسیانات و نیز دی یا پلی آل که در تهیه فومهای پلی یورتان استفاده می‌شوند را بنویسید.
- ۹) فوم نرم و سخت چرا فرق دارند. از لحاظ اجزا سازند فرمول و ساختار مولکولی فوم این تفاوت را بررسی کنید.

عنوان آزمایش ۹: تهیه نخ نایلون ۶،۶ به روش بین سطحی

هدف: انجام واکنش پلیمریزاسیون بین سطحی، شناخت ماهیت روش، مقایسه آن با روش توده

مباحث نظری: در این روش از واکنشگرهای فعال استفاده می‌شود، واکنش در سطح مشترک دو حلال غیر قابل امتزاج با سرعت زیاد و در دمای پایین انجام می‌شود. در این روش از واکنش دی آمین با دی اسیل کلراید برای تهیه پلی آمید و از واکنش آلکوکسید با اسیل کلراید برای تهیه پلی استر استفاده می‌شود. محصول جانبی واکنش نمک یا اسید کلراید است که باید به طریقی از محیط خارج شود. (چگونه؟) در این روش شرایط استوکیومتری بین واکنشگرها، از طریق سرعت نفوذ آنها در سطح مشترک تامین می‌شود. لذا کنترل دقیق وزن یا خلوص واکنشگرها به اندازه روش بالک مهم نیست. (چرا؟)

روش کار (۱): انجام واکنش پلیمریزاسیون بین سطحی

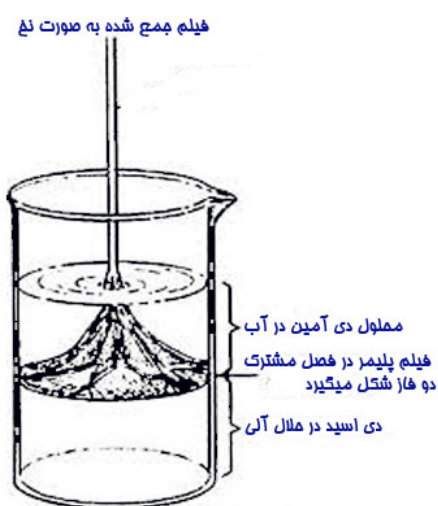
مواد لازم: ۲۵-۵۰ میلی لیتر محلول $\frac{W}{V}$ ۵٪ آدیپیل کلراید در سیکلوهگزان یا تتراکلراید کربن (۵ سی سی سی بازا هر گروه)، ۲۵-۵۰ میلی لیتر محلول $\frac{W}{V}$ ۵٪ هگزا متیلن دی آمین در آب کربن (۵ سی سی سی بازا هر گروه)، ۱۰ میلی لیتر محلول رقیق (۲ مول در 10°C) آمونیاک، ۱۰ میلی لیتر سود ۲۰٪.

وسایل لازم: قطره چکان، بشر ۲۵ میلی لیتری، همزن شیشه‌ای بلند و نازک، سیم مسی بلند که سر آن به صورت قلاب در آمده است، لوله آزمایش کوچک با بشر کوچک.

طرز کار: درون یک بشر کوچک ۲۵ میلی لیتری، ۵ میلی لیتر محلول ۵٪ دی آمین بریزید و به آن حدود ۱۰ قطره محلول سود ۲۰٪ اضافه کنید. با دقت و به آرامی از طریق جدار بشر، ۵ میلی لیتر محلول ۵٪ دی اسید کلراید را با قطره چکان به محلول قلیایی دی آمین، اضافه کنید. خواهید دید که واکنش خیلی سریع است و بلافاصله لایه‌ای فیلم مانند از پلیمر بر سطح محلول دی آمین، (در سطوح تماس دو فاز آلی و آبی) تشکیل می‌شود. توسط یک سیم مسی که انتهای آن را به صورت قلاب درآورده‌اید یا به کمک میله شیشه‌ای، ابتدا پلیمر را از جداره بشر آزاد کنید سپس سر قلاب را در مرکز فیلم فرو برده بدون اینکه آن را سوراخ یا پاره کنید به آرامی بالا بکشید به موازات بالا کشیدن نخ، جریان ملایم و پیوسته‌ای از واکنشگر دی اسید کلراید به کمک قطره چکان برقرار سازید به طوری که همزمان با تشکیل پلیمر بر سطح بشر، نخ را نیز بتوانید بالا بکشید و به این ترتیب مرتب به طول رشته افزوده می‌شود. برای راحتی کار وقتی طول نخ اندکی افزایش یافت آن را دور همزن بچرخانید، بعد از جدا شدن نخ و خاتمه افزایش واکنشگرها، مخلوط را هم بزیند تا واکنش کامل شود. بقیه

توده پلیمر را که به این نحو تشکیل شده است با سرریز کردن حلال جدا کنید. هر دو نمونه را (نخ+توده) بگذارید در آون خشک شود. آن را وزن کرده و راندمان را حساب کنید. نمونه را به متصدی آزمایشگاه تحویل دهید.

در روشی دیگر می‌توانید درون یک بشر، ۵ میلی لیتر محلول ۰.۵٪ اسید کلراید بریزید. سپس در یک لوله آزمایش یا بشر کوچک دیگری ۵ میلی لیتر محلول ۰.۵٪ دی آمین به اضافه ۵ قطره محلول رقیق آمونیاک ریخته، آنگاه با استفاده از قطره چکان محلول دی آمین را به آرامی از جدار بشر به محلول دی اسید کلراید اضافه کنید و مانند روش فوق نخ درست کنید.



شکل ۱۰: آزمایش پلیمریزسیون بین سطحی تهیه نایلون ۶،۶

روش کار (۲): کشیدن الیاف نایلون (ذوب ریسی)

مواد لازم: حدود ۱ گرم از تکه‌های نایلون حاصل از مرحله قبل (می‌توان محصول چند گروه را ادغام کرد)

وسایل لازم: بوته چینی، چراغ گاز یا هیتر، سه پایه و توری، سیم مسی.

طرز کار: حدود یک گرم از تکه‌های نایلون را درون یک بوته چینی به آرامی گرم کنید تا ذوب شود سپس حرارت را قطع کرده و به کمک یک سیم نازک یا سنجاق، از درون پلیمر مذاب سعی کنید رشته‌های نازک را

بیرون بکشید این عمل را به آرامی و بطور پیوسته انجام دهید. استحکام، شکل و رنگ الیاف بدست آمده از این روش را با روش قبل مقایسه کنید.

گزارش کار:

- ۱) طرح کامل واکنش، واحد تکرار شونده پلیمر حاصل و محصول جانبی را مشخص کنید.
- ۲) راندمان محصول را محاسبه کنید.
- ۳) تفاوت های ظاهری محصول مرحله اول و محصول پس از کشیدن نخ چیست؟ چرا؟ عمل کشیدن روی نایلون چه تاثیری دارد؟
- ۴) هریک از اجزاء واکنش که به محیط اضافه شدند چه نقشی دارند؟

پرسشهای تحقیقی:

- ۱) مزایا و معایب پلیمریزاسیون بین سطحی کدامند؟
- ۲) نقش بهم زدن را در پلیمریزاسیون بین سطحی توضیح دهید.
- ۳) چرا در این روش از مونومرهای فعال استفاده می شود؟
- ۴) دلیل افزایش باز چیست؟ چرا به مقدار معینی اضافه می شود؟ این مقدار چه نسبتی با مقدار مونومرها دارد؟ کمتر یا بیشتر بودن آن چه اثری دارد؟ باز به کدام مونومر اضافه می شود؟ چرا؟
- ۵) در صنعت برای تهیه چه پلیمرهایی از این روش استفاده می شود؟
- ۶) این روش چه تفاوتی با روش توده دارد؟
- ۷) قبل و بعد از عمل کشیدن نایلون از لحاظ خواص ماکروسکوپی و میکروسکوپی چه ویژگی هایی دارد؟ و جزء کدام دسته از پلیمرها از لحاظ کاربرد دسته بندی می شود؟
- ۸) روشهای رسیدن الیاف چیست و چه اثری دارد؟

عنوان آزمایش ۱۰: شبکه ای کردن یک پلیمر به منظور تولید الاستومر

هدف: بررسی تغییر در خواص فیزیکی پلیمر در اثر شبکه ای کردن و بررسی اثر مقدار عامل شبکه‌ای کننده، مقایسه خواص این پلیمر با سایر پلیمرهای شبکه ای

مباحث نظری: اگر ماده ای مانند فنر، پس از پیچاندن، کشیدن یا فشردن به شکل اولیه اش برگردد، بسیار شبیه به گونه‌ای رفتار گونه ای از پلیمرها موسوم به الاستومر (کشسان) مشابه ماده ای مانند فنر، پس از پیچاندن، کشیدن یا فشردن است که به شکل اولیه اش باز می گردد. الاستومر خواص کشسانی دارد یعنی پس از تغییر شکل (دفورمه شدن)، شکل و اندازه اولیه خود را بازیابی می کند. لاتکس مایعی که در این آزمایش استفاده خواهد شد دارای گویچه های کوچکی از هیدروکربن‌های (یا پلی وینیل استات) معلق در آب است که به عنوان چسب استفاده می شود. با متصل کردن این گویچه ها بوسیله سدیم بورات که یک عامل ایجاد پیوند های عرضی است، الاستومر مورد نظر ما به دست می آید که در خمیر بازی کودکان کاربرد دارد. زنجیرهای الاستومر بوسیله پیوند های بسیار ضعیف بین مولکولی کنار هم نگه داشته شده است که انعطاف پذیری پیوند و چرخش حول زنجیره پلیمر شبکه ای شده را تامین می کند. اگر پیوند های عرضی در پلیمری دائمی باشند، پلیمر ترموست خواهد بود حتی اگر بالای دمای انتقال شیشه ای خود باشد. ولی اگر پیوند های عرضی غیر دائمی باشند پلیمر می تواند ترموپلاست باشد.

مواد لازم: محلول ۵۵ درصد چسب چوب در آب هر گروه ۲۰ میلی لیتر، محلول ۴ درصد بوراکس هر گروه ۱۰ میلی لیتر، رنگ خوراکی

وسایل لازم: لیوانهای پلی استایرنی، هم زن، و دستکش لاتکس- یک تکه کاغذ روزنامه- خط کش ۳۰ سانتی- لامپ برق روشن- یخچال

تذکر: پوشیدن عینک ایمنی و روپوش آزمایشگاه توصیه می شود، بوراکس در حالت جامد و محلول باعث سوزش چشم می شود. همچنین از دستکش برای ورز دادن استفاده کنید و دست ها پس از ورز دادن الاستومر بایستی شسته شوند.

طرز کار: ۲۰ میلی لیتر از محلول چسب چوب را درون لیوان پلی استایرنی بریزید و ۱۰ میلی لیتر از محلول بوراکس همراه با هم زدن مداوم، به آن بیفزائید. مخلوط را سریعاً هم بزنید. پس از چند دقیقه الاستومر را از لیوان خارج کرده و با دست ورز دهید. از چسبیدن قطعات کوچک مخلوط به دستکش خود نگران نشوید زیرا

این قطعات به زودی با توده اصلی مخلوط میشوند. ورز دادن را تاجائی انجام دهید که پایداری مطلوب برای توده الاستومری به دست آید.

با استفاده از یک خط کش، توده کروی را از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری انداخته و ارتفاع بازگشت آنرا اندازه‌گیری کنید. الاستومر را به آهستگی کشیده و به حالت اولیه برگردانید. سپس همین کار را با سرعت انجام داده و نتایج را مقایسه و یادداشت کنید.

الاستومر را روی مطالب چاپ شده یک روزنامه قرار داده و آنرا محکم به روزنامه فشار دهید سپس آنرا برداشته و نتیجه را ببینید. دستها را در پایان کار با آب و صابون بشوئید. الاستومر خود را به مدت ۱۰ دقیقه درون یخچال گذاشته و دوباره ارتفاع بازگشت آن را پس از سقوط از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری اندازه‌گیری کنید. سپس الاستومر را در فاصله‌ی ۱۵ سانتیمتری یک لامپ برق روشن به مدت ۵ دقیقه قرار داده و مجدداً این ارتفاع را اندازه‌گیری نمائید.

گزارش کار:

- ۱) ارتفاع بازگشت الاستومر را در دمای اتاق، پس از خروج از یخچال، و پس از گذاشتن زیر لامپ گزارش دهید. دلیل آن چیست؟
- ۲) نتیجه کشش سریع و آهسته الاستومر چیست؟ چرا؟
- ۳) نتیجه قرار دادن الاستومر روی روزنامه چه بوده است؟

پرسشهای تحقیقی:

- ۱) چگونه خواص فیزیکی چسب (مخلوط آبی) با افزودن سدیم بورات تغییر می‌کند.
- ۲) فکر میکنید اثر افزودن مقدار بیشتری از سدیم بورات به مخلوط چه باشد؟
- ۳) چطور می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کدام الاستومر بیشتر خاصیت کشسان دارد؟
- ۴) چرا با وجود اینکه گاز درون تایر ماشین در تابستان‌ها گرم‌تر است، تایر اتومبیل در تابستان، پنجر به نظر می‌رسد؟
- ۵) چرا جهش یک توپ بسکتبال در یک روز سرد زمستان در درون و بیرون سالن ورزشی متفاوت است؟
- ۶) چرا برخی اوقات در زمستان، با شروع حرکت ماشین، تایر به سختی و همراه با ضربه حرکت می‌کند و تنها پس از طی مسافتی، به حالت اولیه باز می‌گردد؟
- ۷) شما قبلاً یک پلیمر شبکه‌ای مانند رزین پلی‌استر را مشاهده و بررسی کردید. چه تفاوتی بین رزین پلی‌استر شبکه‌ای شده و الاستومر از لحاظ سختی، انعطاف، برگشت پذیری تغییر شکل، جهندگی، وجود دارد؟ این تفاوت خواص را چگونه به ساختار مولکولی پلیمرها ربط می‌دهید؟

عنوان آزمایش ۱۱: تهیه یک آمینو پلاست؛ رزین اوره - فرمالدهید

هدف: بررسی واکنش شبکه‌ای شدن تصادفی و مقایسه آن با سیستم شبکه‌ای فوم پلی یورتان و رزین پلی استر

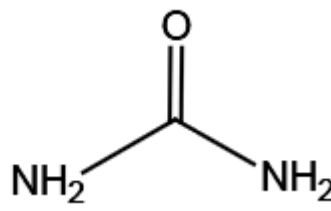
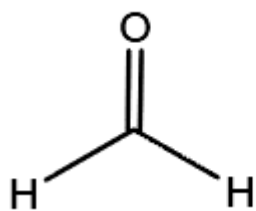
مباحث نظری: آمینو پلاست‌ها رزین‌هایی هستند که از واکنش آمین‌ها یا آمیدها با آلدهیدها بدست می‌آیند. مهم‌ترین نوع این پلیمرها که اهمیت تجاری زیادی پیدا کرده‌اند عبارتند از رزین اوره - فرمالدهید و رزین ملامین - فرمالدهید. محصولات نهایی که از پلیمریزاسیون مونومرهای فوق حاصل می‌شود، ساختمان سه بعدی دارند یعنی ترموست و در نتیجه غیر قابل حل و ذوب هستند. تهیه این پلیمرها اغلب شامل دو مرحله می‌شود، در مرحله اول رزین با وزن مولکولی کم تهیه می‌شود که همان پیش پلیمر تصادفی است. در مرحله یا مراحل بعد واکنش تا ایجاد یک ساختمان شبکه‌ای پیش می‌رود.

رزین‌های اوره-فرمالدهید بدلیل پائین بودن قیمت اوره به عنوان ماده اولیه، ارزان تهیه می‌شوند.

خواص این رزین عبارتند از مقاومت حرارتی تا 90°C ، مقاومت الکتریکی عالی، مقاومت در برابر ترک خوردگی، مقاومت در برابر مواد شیمیایی. علاوه بر این، محصولات مربوطه هیچگونه رنگ، بو یا طعمی را به مواد غذایی و آشامیدنی منتقل نمی‌کنند. از این رو از این رزین‌ها در ساخت وسایل منزل و بهداشتی نظیر ظروف غذا، اسباب بازی، سوئیچ، کلید و پریز، سرپیچ لامپ، لوازم دستشویی و ... استفاده می‌شود.

مولکول‌های فرمالدهید قدرت پلیمریزه شدن با یکدیگر را دارند بنابراین این آلدهید در صنعت به صورت محلول آبی ۳۷ تا ۴۰ درصد تهیه و به فروش می‌رسد. در غلظت‌های بالاتر این ماده در آب پلیمریزه می‌شود و رسوب می‌کند و در نتیجه غلظت آن در محلول کاهش می‌یابد.

اوره به صورت کریستال‌های سفید رنگ با نقطه ذوب $132/6^{\circ}\text{C}$ وجود دارد و در آب به خوبی حل می‌شود.



مواد لازم: ۵ گرم اوره، ۶ میلی لیتر فرمالدئید، اسید سولفوریک ۰/۵ نرمال

وسایل لازم: لوله آزمایش، کاغذ PH

طرز کار: در یک لوله آزمایش ۵ g اوره و ۶ ml فرمالدهید را مخلوط کنید و لوله را تکان دهید تا اوره کاملاً حل شود سپس PH محلول را با سه یا چهار قطره اسید سولفوریک ۰/۵ N نرمال به ۴ برسانید و زمان لازم برای تشکیل رسوب در لوله آزمایش را اندازه‌گیری کنید. مقداری از این رسوب را بیرون آورده و حلالیت آن را در آب بررسی کنید.

گزارش کار:

- (۱) زمان تشکیل پلیمر و حلالیت آن در آب را گزارش دهید.
- (۲) واکنش تشکیل پلیمر را با فرمول بنویسید.
- (۳) چرا محیط واکنش را اسیدی می‌کنیم؟

سوالات تحقیقی:

۱. برای تهیه رزین ملامین- فرمالدهید از چه مونومر هایی استفاده می‌شود؟
۲. اگر هدف تهیه یک پیش پلیمر غیر شبکه‌ای از اوره- فرمالدهید باشد (که در صنعت نیز رایج است) چگونه می‌توان آنرا انجام داد؟
۳. چه تفاوتی بین سیستم واکنش شبکه‌ای شدن رزین فرمالدئید - اوره با رزین پلی استر غیر اشباع و فوم پلی یورتان است؟

منفرقه	نوع پلاستیک	بوی بخار	ظاهر شعله	واکنش بخار	تغییرات در حین اشتعال	رفتار ماده از نظر اشتعال پذیری
	سلولز بوتیرات استر	اسید استیک و بوتیریک اسید، کاغذ سوخته	زرد تیره لبه آبی، تا اندازه ای دوده ای جرقه می زند	اسیدی	---	مشتعل می شود
	مثل سلولز	کمی خوشبو - کاغذ سوخته	زرد - سبز	خشی	ذوب می شود تبدیل به ذغال می شود	نوام با ذوب شدن مشتعل می شود
پس از حذف شدن شعله نیز می سوزد	سلولز استات	اسید استیک، کاغذ سوخته	زرد-سبز، جرقه می زند	اسیدی	ذوب می شود، می چکد به سرعت می سوزد و ذغال می شود	نوام با ذوب شدن مشتعل می شود
	پلی پورتان (ایزوسیانات)	تند-زنده	زرد - نارنجی دود خاکستری	---	ذوب می شود، می چکد به سرعت می سوزد	شدیدا مشتعل می شود و سریع می سوزد
	سلوفان	کاغذ سوخته	روشن، شبیه شعله کاغذ	خشی	به سرعت و کاملاً می سوزد و به ذغال تبدیل می شود	شدیدا قابل اشتعال
	الیاف ولکانیه	کاغذ سوخته	روشن	خشی		به آهستگی می سوزد
	نیتروسلوز و سلولزید	نیترژن دیوکسید، سلولزید بوی کافور نیز می دهد	روشن، بخارهای قهوه ای	شدیدا اسیدی	به شدت و کامل می سوزد گاز خرمایی رنگ و NO تولید می کند	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد، براحتی شعله ور می شود
	پلی اتیلن ترنفتالات	خوشبو	زرد - نارنجی دوده ای	---	نرم می شود، ذوب می شود و می چکد	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد، به سختی شعله ور می شود
در حالت مذاب مانند آدامس کش می آید	پلی پورتان	بوی تند نامطلوب	آبی با کناره زرد	خشی	ذوب می شود و می چکد	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد

دنباله جدول

متفرقه	نوع پلاستیک	بوی بخار	ظاهر شعله	واکنش بخار	تغییرات در حین اشتعال	رفتار ماده از نظر اشتعال پذیری
	رزینهای آلکید	سوزش آور و محرک		خنثی	ذوب و تجزیه و سیاه میشود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد، به سختی شعله ور می شود
	پلی وینیل بوتیرال	شبیبه کره فاسد	متعادل به آبی با لبه زرد	اسیدی	ذوب می شود و قطراتی تشکیل می شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد
مانند پلی وینیل بوتیرال چکه نمی کند	پلی وینیل استال	اسید استیک	ارغوانی	اسیدی	می سوزد اما ذوب نمی شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد
مانند پلی وینیل بوتیرال چکه نمی کند	پلی وینیل فرمال	کمی خوشبو	زرد - سفید	اسیدی	با ایجاد قطره می سوزند	
قطرات ایجاد می کند که به سوختن ادامه می دهند پلیمری بسیار قابل اشتعال	پلی اتیلن	شبیبه بوی پارنتین شمع خاموش شده	فروزان با مرکز آبی	خنثی		
قابل اشتعال، بعد از دور شدن شعله با شعله آبی و چکه کننده می سوزد (مانند پلی اتیلن)	پلی پروپیلن	شبیبه بوی پارنتین	فروزان با مرکز آبی	خنثی		
استر پوشیده با پشم شیشه نرم نمی شود و می سوزد اما استر پوشیده نرم می شود و بطور بکثراخت می سوزد	پلی استرها	بوی خوشبو شبیه استرها	زرد فروزان دوده ای	خنثی	می سوزد اما ذوب نمی شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد به سهولت شعله ور می شود
	پلی استایرن	خوشبو	فروزان دوده ای	خنثی	نرم می شود و می سوزد	
	پلی متیل استایرن	خوشبو	فروزان دوده ای	خنثی		

دنباله جدول

متفرقه	نوع پلاستیک	بوی بخار	ظاهر شعله	واکنش بخار	تغییرات در حین اشتعال	رفتار ماده از نظر اشتعال پذیری
	پلی وینیل استات	اسید استیک	زرد تیره، فروزان تا حدی دوده ای	اسیدی	نرم می شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد. به آسانی شعله ور می شود
به سهولت شعله ور می شود	لاستیک طبیعی	شبه لاستیک سوخته	زرد تیره - دوده ای	خشتی	نرم می شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد. به آسانی می سوزد اما اندکی با تاخیر شعله ور می شود
	پلی متیل متاکریلات	خوشبو، بوی انگور	فروزان زرد با لبه آبی، کمی دوده ای همراه با صدای ترق و ترق	خشتی	نرم شده و اندکی تیره می شود (به مقدار کمی) به ذغال تبدیل می شود	
به سهولت شعله ور می شود	لاستیک بوتیل و بوتنا و لکانیده	شبه لاستیک سوخته	زرد دوده ای	خشتی	نرم می شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله به سوختن ادامه می دهد
به سهولت شعله ور می شود	لاک	شبه موم	زرد لبه آبی	خشتی	ذوب و تجزیه می شود	
به سهولت شعله ور می شود	پلی اکریلاتها	زنده	فروزان تا اندازه ای دوده ای	خشتی	ذوب و تجزیه می شود	
	پلی اکسی متیلن (پلی فرمالدئید)	فرمالدئید	فروزان متمایل به آبی	خشتی	---	
	سلولز پروپیونات	پروپیونیک اسید، کاغذ سوخته	زرد تیره - تا حدی دوده ای، جرقه می زند	اسیدی	ذوب می شود و قطراتی می دهد که سوختن آنها ادامه می یابد	

دنباله جدول

متفرقه	نوع پلاستیک	بوی بخار	ظاهر شعله	واکنش بخار	تغییرات در حین اشتعال	رفتار ماده از نظر اشتعال پذیری
---	پلی کربنات	بوی تند و نامشخص	فروزان دوده ای	خنثی (ابتدا اسیدی ضعیف)	ذوب می شود و در آتش تجزیه و سیاه می شود	در شعله می سوزد، با حذف شعله خاموش می شود
---	پلی آمید و نایلونها	بوی استخوان سوخته	آبی با کناره زرد و گاهی زرد نارنجی با لبه آبی	قلیائی	ذوب می شود و می چکد سپس تجزیه می شود	در شعله می سوزد و با حذف شعله خاموش می شود و به سختی مشتعل می شود
	پلی وینیل الکل	سوزش آور و محرک	فروزان	خنثی	نرم و ذوب می شود	در شعله می سوزد با حذف شعله باهستگی خاموش می شود
	بنزین سلولز	بنز آلدهید	فروزان - دودی	خنثی	ذوب شده تبدیل به ذغال می شود	
	رزینهای فنولسی ورقه ورقه	فنول و کاغذ سوخته	زرد	خنثی	تبدیل به ذغال می شود	
	رزینهای آنبیلین	آنبیلین، فرمالدئید	زرد، دوده ای	خنثی	متورم، نرم، تجزیه می شود	در شعله می سوزد با حذف شعله خودبخود خاموش می شود به سهولت شعله ور می شود
	سلولزتری استات	اسید استیک	زرد تیره، دوده ای	اسیدی	ذوب شده و قطراتی تشکیل می دهد	
	کوپلیمرهای وینیل کلرید وینیل استات	تند هیدروژن کلرید	زرد لبه سبز	اسیدی	نرم می شود	در شعله می سوزد با حذف شعله خاموش می شود خیلی سخت شعله ور می شود