

سنتز الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان و بررسی پارامترهای ساختاری مؤثر بر خواص آنها

Synthesis of Thermoplastic Polyurethane Elastomers and Effect of Structural Parameters on Their Properties

مهدی باریکانی، محمد برمر

مرکز تحقیقات پلیمر ایران

دریافت: ۷۴/۴/۱۸؛ پذیرش: ۷۴/۵/۱۰

چکیده

الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان که دسته مهمی از الاستومرهای پلی یورتان می باشند، عموماً خواص فیزیکی و مکانیکی بسیار خوبی دارند. هدف کار حاضر سنتز الاستومرهای گرمانرم در مقیاس آزمایشگاهی بوده است.

برای ساخت این مواد از روش پیش پلیمر استفاده شد. سپس، نقش پارامترهای ساختاری بر خواص الاستومرهای سنتز شده مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از یک پلی ال بر پایه پلی استر و تولون دی ایزو سیانات، همراه با زنجیر افزاینده های دی الی مختلف استفاده شد. برای بررسی شکل شناسی و خواص الاستومرهای سنتز شده، آزمونهای فیزیکی - مکانیکی مختلف، تجزیه گرمایی مکانیکی - دینامیکی، تجزیه گرماوزنی، کشش، پارگی و سختی انجام گرفت. در این مقاله نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: سنتز، شکل شناسی، پیش پلیمر، خواص فیزیکی و مکانیکی، پایداری گرمایی

Key Words: *Synthesis, morphology, prepolymer, mechanical and physical properties, thermal stability*

برد [۲ و ۳]. مجموع خواص یاد شده باعث رشد روزافزون مصرف این مواد صنعتی گردیده است.

به طور کلی، کاربردهای الاستومرهای پلی یورتان را می توان به چند دسته اصلی تقسیم کرد، که عبارت اند از صنایع خودروسازی، کفش، قطعات مکانیکی عمومی، چسب و قطعات آب بندی، روکش غلتکها و سطوح مختلف دیگر، قطعات پزشکی، شیلنگ، لوله و صنایع ساختمانی [۴].

در شکل ۱ ساختار زنجیرهای TPUE مشاهده می شود. این

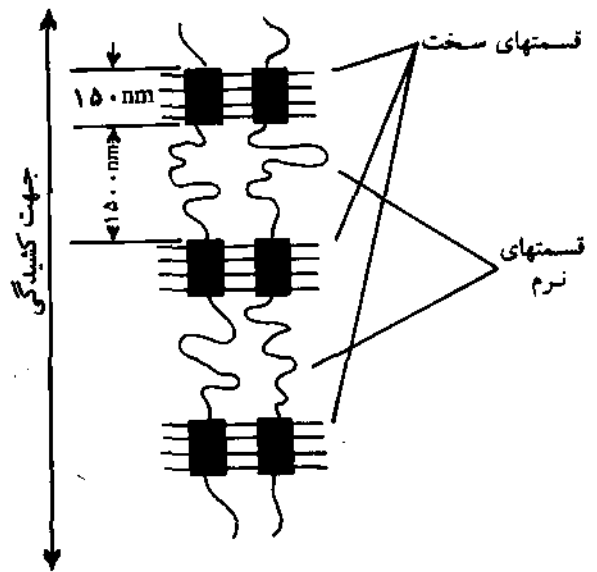
مقدمه

الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان (TPUEs) از واکنش یک پلی ال ($M_w = 2000$)، یک دی ایزوسیانات و یک دی ال با جرم مولکولی کم به دست می آیند [۱]. از ویژگیهای مهم الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان، در مقایسه با لاستیکهای معمولی، فرایند پذیری خوب به علت گرمانرمی و خواص عالی مکانیکی است. از جمله این خواص می توان از چقرمگی، جهندگی، انعطاف پذیری در دمای پایین، مقاومت سایشی، سختی از ۵۰ shore A تا ۷۰ shore D و مقاومت در برابر روغنها نام

۳- اندازه نسبی ساختارهای نرم و سخت.

موارد اول و دوم به انتخاب نوع پلی ال، دی ایزوسیانات و نوع زنجیر افزاینده بستگی دارد. ولی مورد سوم متأثر از نسبت مولی مواد مورد استفاده است.

واکنش سنتز الاستومرهای پلی یورتان از نوع واکنشهای مرحله‌ای است، که بر اساس گروههای فعال واکنش پذیر عمل می‌کنند. گروههای واکنش دهنده، یکی گروههای هیدروکسی مربوط به پلی ال و زنجیر افزاینده و دیگری گروههای ایزوسیانات می‌باشند، که باید به نسبت استوکیومتری مورد استفاده قرار گیرند. مثلاً بر مبنای یک مول پلی ال، اگر دو مول دی ایزوسیانات به کار رود باید یک مول زنجیر افزاینده نیز مصرف شود. یا اگر از ۴ مول دی ایزوسیانات استفاده می‌شود باید ۳ مول زنجیر افزاینده به کار رود. با افزایش میزان مصرف مولی دی ایزوسیانات و زنجیر افزاینده می‌توان قسمت سخت را بزرگتر کرد و در نتیجه خواص متفاوتی از الاستومر سنتز شده، به دست آورد.



شکل ۱- قسمتهای نرم و سخت در یک الاستومر پلی یورتان.

تجربی

در این قسمت مواد مورد مصرف، دستگاههای مورد استفاده و روش سنتز بیان می‌شود.

مواد

پلی ال مورد استفاده بر پایه پلی استر، با نام تجاری CAPA ۲۲۵، ساخت شرکت اینتروکس (Interox) می‌باشد. دی ایزوسیانات و زنجیر افزاینده‌های دی الی متعلق به شرکت مرک (Merck) هستند. این مواد به ترتیب عبارت از مخلوط ایزومری ۶۰۲ و ۴۰۲- تولون دی ایزوسیانات (TDI) با نسبت ۲۰ به ۸۰، اتیلن گلیکول (EG)، ۱، ۳- پروپان دی ال (PD)، ۱، ۴- بوتان دی ال (BD)، ۱، ۶- هگزان دی ال (HD) و ۱ و ۱۰- دکان دی ال (DD) می‌باشند.

تمام مواد نامبرده قطبی هستند و به علت نمگیری همواره مقداری آب همراه دارند. از سوی دیگر، آب با گروههای ایزوسیانات واکنش می‌دهد و ضمن مصرف گروههای یاد شده، گاز دی اکسید کربن تولید می‌کند. نتیجه این واکنش از بین رفتن حالت استوکیومتری مواد و ایجاد حالت اسفنجی در سیستم الاستومر است، که در اثر آنها خواص الاستومر پلی یورتان افت خواهد کرد. بنابراین، حذف آب از مواد واکنش دهنده در مرحله آماده سازی مواد ضروری است. این عمل با استفاده از یک آون تحت خلاء صورت می‌گیرد. دمای آون و مدت زمان قرار گرفتن نمونه در آون، با توجه به نوع مواد متفاوت است.

دستگاهها

دستگاههای مورد استفاده برای آزمایشهای کشش، پارگی، سختی،

زنجیرها از دو بخش نرم و سخت تشکیل می‌شوند. همین جدایی فاز بین قسمتهای نرم و سخت باعث نشان دادن رفتار الاستومری این مواد است، به طوری که وجود پیوندهای قوی هیدروژنی در قسمتهای سخت نقش پیوندهای عرضی فیزیکی را در این مواد بازی می‌کنند [۵]. زمانی که این زنجیرها تحت تنش قرار می‌گیرند، به علت وجود پیوندهای هیدروژنی در قسمتهای سخت، تنش به قسمتهای نرم منتقل شده و باعث تغییر شکل آنها از حالت مارپیچی به حالت کشیده می‌شود. در اثر این رفتار، پلیمرها ازدیاد طول قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کنند و با برداشتن تنش قسمتهای نرم، دوباره به حالت مارپیچی خود برمی‌گردند.

به طور کلی، ساختار زنجیر از پلی ال، دی ایزوسیانات و زنجیر افزاینده تشکیل می‌شود. قسمت نرم که معمولاً پلی استر یا پلی اتر است، بر خواص الاستومر در دماهای پایین مؤثر بوده و قسمت سخت مشخص کننده محدوده کاربرد این قطعات است. به عبارت دیگر، خواص کشسانی مربوط به قسمتهای نرم و خواص فیزیکی - مکانیکی از قبیل سختی، مدول و مقاومت در برابر پارگی مربوط به قسمتهای سخت است.

در واقع وجود پیوندهای هیدروژنی قوی در قسمتهای سخت، مشخص کننده خاصیت استحکام تا پارگی لاستیک یا همان استحکام نهایی است.

بنابراین، خواص این الاستومرها می‌تواند متأثر از سه پارامتر

مهم زیر باشد [۶]:

۱- ساختار شیمیایی قسمت نرم،

۲- ساختار شیمیایی قسمت سخت،

رعایت می‌شود، الاستومر پلی یورتان به دست آمده از بیشترین جدایی فاز و در نتیجه بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی برخوردار است [۷]. یکی از مشکلات جدی بر سر راه سنتر الاستومرهای پلی یورتان، ایجاد حباب در محصول است. از عوامل مهم مؤثر بر این پدیده می‌توان عمل نمگیری، زمان و دمای واکنش و سرانجام تغییرات دور همزن را برشمرد. لازم به تذکر است که وجود حباب در الاستومر باعث افت قابل توجه خواص فیزیکی و مکانیکی الاستومر می‌شود.

نتایج و بحث

پس از سنتر موفقیت‌آمیز الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان در مقیاس آزمایشگاهی، با تغییر نوع زنجیر افزاینده آثار ساختاری این عوامل بر خواص الاستومرهای سنتر شده، بررسی گردید. نخستین آزمایشی که روی نمونه‌ها صورت گرفت، تعیین پایداری گرمایی با روش تجزیه گرما وزنی (TG) بود. در این آزمایش نمونه‌ها با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ گرما داده شدند. این آزمایش در جو نیتروژن انجام شد.

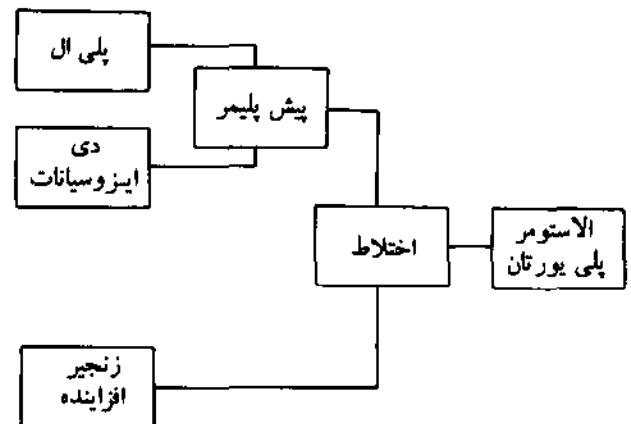
نتایج مربوط به آزمایش نمونه‌ها در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش وزن مولکولی زنجیر افزاینده یا افزایش تعداد کربن این عوامل، پایداری گرمایی نیز افزایش می‌یابد. برای این پدیده دو دلیل وجود دارد که به آنها اشاره می‌شود. اگر سیستم فرمولبندی ثابتی را در نظر بگیریم که در آن تنها زنجیر افزاینده فرق کند، با افزایش تعداد کربن زنجیر افزاینده، وزن مولکولی زنجیر پلیمری نیز افزایش می‌یابد. چون شرایط واکنش برای تمام سیستمهای پلیمر شدن یکسان انتخاب شده، طبیعی است که پلیمرهای حاصل دارای درجه پلیمر شدن نسبتاً یکسانی می‌باشند. از سوی دیگر، هر زنجیر پلیمری از واکنش تعداد بسیار زیادی از مولکولهای پلی ال، دی ایزوسیانات و زنجیر افزاینده تشکیل می‌شود. بنابراین با افزایش وزن مولکولی زنجیر افزاینده، وزن مولکولی زنجیر پلیمر نیز افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، تعداد پیوندهای کووالانسی برای هر زنجیر بیشتر خواهد شد. بنابراین، به علت وجود پیوندهای بیشتر و در نتیجه توزیع انرژی گرمایی در طول زنجیر، پایداری گرمایی نیز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، هر چه تعداد کربن زنجیر افزاینده کمتر شود، اندازه قسمتهای سخت کوچکتر می‌شود و همین مسئله به توزیع نواحی سخت در نواحی نرم کمک می‌کند. به عبارت دیگر هر چه تعداد کربن زنجیر افزاینده بیشتر شود، اندازه قسمتهای سخت بزرگتر می‌شود و در نتیجه نواحی سخت بزرگتری به وجود می‌آید که این امر به جدایی فاز بهتر نواحی سخت از نواحی نرم کمک می‌کند. در اثر جدایی فاز، تراکم نواحی سخت بیشتر می‌شود و انرژی زیادتری برای از بین رفتن پیوندهای فیزیکی آنها صرف می‌شود. در نتیجه پایداری گرمایی افزایش می‌یابد.

تجزیه گرما وزنی و تجزیه گرمایی مکانیکی - دینامیکی به ترتیب مدل‌های Instron 6025، Zwick 3123، STA، PL - و PL - DMTA MK II بوده اند.

سنتر

روشی که برای سنتر الاستومرهای گرمانرم پلی یورتان مورد استفاده قرار گرفت، روش پیش پلیمر بود (شکل ۲). سیستم فرمولبندی پلی ال، دی ایزوسیانات و زنجیر افزاینده با نسبت مولی ۲ : ۳ : ۱ در نظر گرفته شد و چون هدف سنتر الاستومر گرمانرم بود، مواد با درجه عاملیت ۲ مورد استفاده قرار گرفتند. در روش پیش پلیمر ابتدا پلی ال با تمام دی ایزوسیانات واکنش می‌دهد. در این مرحله غلظت گروههای ایزوسیاناتی چندین برابر گروههای هیدروکسی است. با مصرف گروههای هیدروکسی، واکنش خاتمه می‌یابد و احتمال رشد زنجیر و پیشرفت پلیمر شدن بسیار ضعیف است. بالا رفتن گرانیروی تأییدی بر توقف واکنش است.

عمل تشکیل پیش پلیمر در شرایط دمایی و زمانی مناسب صورت می‌گیرد. در مرحله بعد به سیستم پیش پلیمر که فقط دارای گروههای ایزوسیاناتی است، زنجیر افزاینده دی الی افزوده می‌شود. با واکنش بین گروههای هیدروکسی زنجیر افزاینده و گروههای ایزوسیاناتی، قسمتهای سخت تشکیل می‌شوند. واکنش بین این گروهها سریع و باعث افزایش قابل ملاحظه گرانیروی سیستم می‌شود. بنابراین در این مرحله علاوه بر دما و زمان واکنش، دور همزن نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا علاوه بر اینکه اختلاط کامل مورد نیاز است، باید از هرگونه حبس شدن هوا در سیستم نیز اجتناب کرد. پس از گذر از این مرحله، عمل ریخته‌گری صورت می‌گیرد. در روش پیش پلیمر به علت ترتیبی که در مورد انجام واکنشها



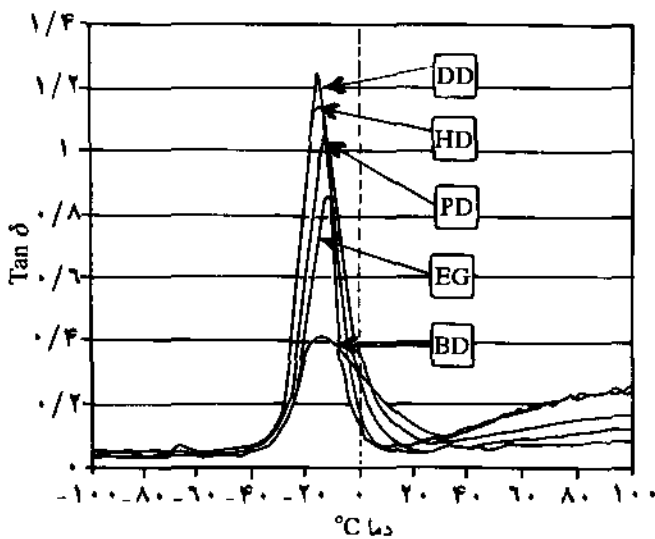
شکل ۲ - روش پیش پلیمر.

جدول ۱- دماهای انتقال α برای الاستومرهای سنتز شده با TDI/CAPA ۲۲۵ و زنجیر افزاینده‌های دی‌الی مختلف (نسبت مولی ۲:۳:۱).

نوع زنجیر افزاینده	دمای انتقال α
EG	-۱۱/۵
PD	-۱۳/۵
BD	-۱۵
HD	-۱۵/۵
DD	-۱۵/۵

جدول ۲ نتایج مربوط به آزمایش کشش را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، الاستومر سنتز شده با زنجیر افزاینده بوتان دی ال کمترین استحکام کششی را دارد.

همچنین الاستومرهای سنتز شده با زنجیر افزاینده‌های دکان دی ال و هگزان دی ال به ترتیب از بیشترین مقادیر استحکام کششی برخوردارند. طول زنجیر افزاینده به کار رفته در سنتز الاستومر می‌تواند دو اثر متضاد بر خواص استحکام کششی داشته باشد. هرچه طول زنجیر افزاینده کمتر باشد، تراکم پیوندهای یورتانی بیشتر می‌شود و چگالی پیوندهای هیدروژنی بیشتری حاصل می‌گردد. از سوی دیگر، کوتاهتر شدن زنجیر افزاینده، کاهش اندازه نواحی سخت را به دنبال دارد و تفکیک فازی ضعیفتری را ایجاد می‌کند. بنابراین، خواص کششی ارائه شده از سوی الاستومر پلی یورتان، برآیندی از این دو اثر است. در

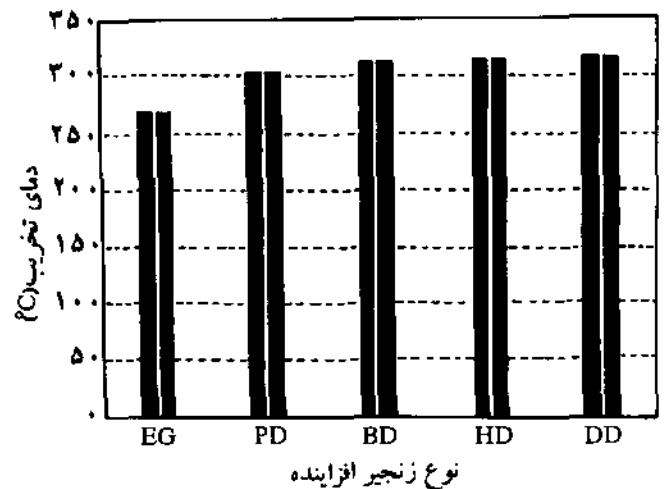


شکل ۴- مقایسه منحنیهای $\tan \delta$ برای الاستومرهای سنتز شده با TDI/CAPA ۲۲۵ و زنجیر افزاینده‌های دی‌الی مختلف (نسبت مولی ۲:۳:۱).

آزمایش تجزیه گرمایی مکانیکی - دینامیکی برای تعیین دمای انتقال α که می‌تواند معیار بسیار خوبی از دمای انتقال شیشه‌ای باشد و نیز مطالعات شکل شناسی نمونه‌ها انجام شد. جدول ۱ دماهای انتقال α را برای الاستومرهای سنتز شده نشان می‌دهد. تغییرات دمای انتقال α با تغییر زنجیر افزاینده ناچیز و در حد 4°C می‌باشد، بدین ترتیب که از $11/5^{\circ}\text{C}$ - برای اتیلن گلیکول شروع شده و به $15/5^{\circ}\text{C}$ - برای هگزان دی ال و دکان دی ال ختم می‌شود. علت کاهش دمای انتقال α ، به انعطاف پذیری نسبی قسمتهای سخت با زنجیر افزاینده‌های بزرگتر مربوط می‌شود.

همچنین در شکل ۴ منحنیهای $\tan \delta$ (که بیانگر نسبت مدول اتلافی به مدول حقیقی پلیمر است) برای نمونه‌های بالا مقایسه شده‌اند. میزان باریک بودن این منحنیها مبین تفکیک فازی بهتر فازهای نرم و سخت است [۸]. با مشاهده شکل مشخص می‌شود که الاستومرهای سنتز شده با زنجیر افزاینده ۱ و ۱۰- دکان دی ال از بیشترین تفکیک فازی و الاستومرهای سنتز شده با زنجیر افزاینده ۱ و ۴- بوتان دی ال از کمترین تفکیک فازی برخوردارند.

خواص کششی الاستومرهای سنتز شده نیز مطابق با روش آزمون استاندارد ASTM 412 صورت گرفت، و تنش در مقادیر ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰٪ ازدیاد طول و سرانجام در نقطه پارگی گزارش شده است. در این آزمونها، سرعت دستگاه 200 mm/min بود. همچنین برای تهیه نمونه‌های دمبلی شکل جهت آزمون کشش از روش آزمون استاندارد ASTM D412 با قالب دمبلی از نوع C استفاده شد.



شکل ۳- مقایسه پایداری گرمایی الاستومرهای سنتز شده با TDI/CAPA ۲۲۵ و زنجیر افزاینده‌های مختلف: اتیلن گلیکول (EG)، ۱، ۳- پروپان دی ال (PD)، ۱، ۴- بوتان دی ال (BD)، ۱، ۶- هگزان دی ال (HD) و ۱، ۱۰- دکان دی ال در جو نیتروژن (نسبت مولی ۲:۳:۱).

جدول ۲ - خواص کششی الاستومرهای سنتر شده با ۲۲۵ TDI/CAPA و زنجیر افزاینده‌های مختلف دی الی (نسبت مولی ۲ : ۳ : ۱)

نوع زنجیر افزاینده	تشن در ۱۰۰٪ ازدیاد طول N/mm ²	تشن در ۲۰۰٪ ازدیاد طول N/mm ²	تشن در ۳۰۰٪ ازدیاد طول N/mm ²	تشن در نقطه پارگی N/mm ²	ازدیاد طول (%)
EG	۱/۸	۲/۱۳۸	۲/۵۷۰	۸/۲۸۱	۴۱۱/۹
PD	۱/۶۴۱	۱/۸۵۷	۲/۰۸۳	۷/۷۱۹	۴۴۸
BD	۱/۴۲	۱/۴۰۱	۱/۴۳۴	۵/۴۸۸	۵۳۹
HD	۱/۶۵۲	۱/۷۹۷	۱/۸۶۰	۱۳/۴	۵۷۵
DD	۱/۲۵۹	۱/۲۰۹	۱/۱۸۵	۱۱/۲۱	۷۴۷/۷

از آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی دیگری که روی الاستومرهای سنتر شده پلی یورتان صورت گرفت، اندازه‌گیری مقاومت پارگی بود. تهیه نمونه و روش آزمایش بر اساس BS 903 (part A3) انجام گرفت. بر اساس این روش یک نوار به ابعاد ۱۲ x ۳۵ mm تهیه و در وسط آن یک ترک ۲ mm ایجاد شد. سپس دو سر نمونه توسط دستگاه کشش کشیده شد و ماکسیم نیروی لازم برای پارگی کامل به دست آمد. از تقسیم این نیرو (بر حسب KN) بر ضخامت نمونه (بر حسب متر)، مقاومت پارگی محاسبه می‌شود. جدول ۳ نتایج مربوط به این محاسبات را نشان می‌دهد. قابل توجه است که نتیجه گزارش شده برای الاستومر سنتر شده با زنجیر افزاینده دکان دی ال مقدار نهایی نیست، زیرا این نمونه به علت مقاومت خیلی زیاد در مقابل پارگی، با نشان دادن یک ازدیاد طول قابل توجه از میان فکهای دستگاه لیز خورد و خارج شد (این آزمایش با خراش دادن نمونه جهت ایجاد اصطکاک

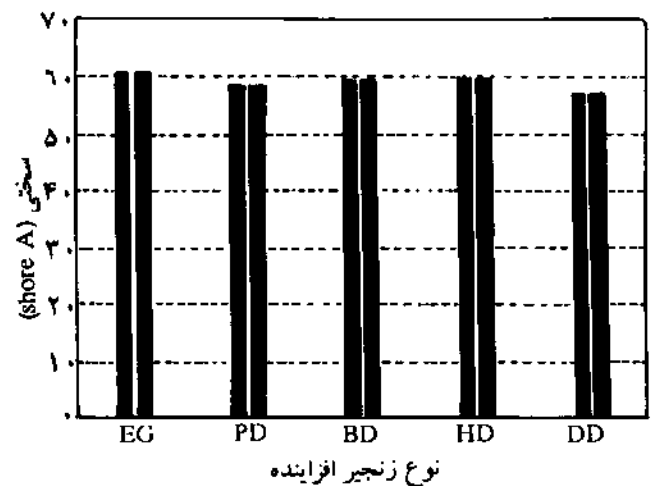
جدول ۳ - نتایج مربوط به آزمایش مقاومت پارگی برای الاستومرهای سنتر شده با ۲۲۵ TDI/CAPA و زنجیر افزاینده‌های مختلف دی الی (نسبت مولی ۲ : ۳ : ۱).

نوع زنجیر افزاینده	KN/M
EG	۲۲/۲۸۷
PD	۵۴/۹۲
BD	۴۳/۹۷۳
HD	۵۸/۶۱۲
DD	۳۴/۸۶۱*

* این رقم، مقدار نهایی مقاومت پارگی نیست، چون نمونه قبل از پارگی کامل از میان فکهای دستگاه لیز خورده است.

صورتی که نمونه‌های الاستومر سنتر شده با زنجیر افزاینده‌های هگزان دی‌ال و دکان دی‌ال را در نظر بگیریم، همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، منحنی $\tan \delta$ برای هر دو الاستومر از باریکی نسبتاً یکسانی برخوردار است. بنابراین، از نظر تفکیک فازی تقریباً معادل می‌باشند. پس، این اثر برای هر دو یکسان است، ولی الاستومر سنتر شده با زنجیر افزاینده دکان دی‌ال، به علت طول بیشتر زنجیر افزاینده و تراکم کمتر پیوندهای یورتانی، استحکام کششی کمتری دارد.

نتایج مربوط به آزمایش سختی در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج به دست آمده تغییرات سختی را بین مقادیر ۶۰ - ۵۷ shore A نشان می‌دهد. بنابراین، ساختار زنجیر افزاینده‌های دی‌الی اثر قابل ملاحظه‌ای بر مقادیر سختی نمونه‌های یاد شده ندارد.



شکل ۵ - مقادیر سختی برای الاستومرهای مختلف که با ۲۲۵ TDI/CAPA و زنجیر افزاینده‌های مختلف دی‌الی (نسبت مولی ۲ : ۳ : ۱) سنتر شده‌اند.

بهرتر و جلوگیری از لیز خوردن بارها تکرار شد، ولی نمونه به طور کامل پاره نشد).

نتیجه گیری

مطالعات شکل شناسی توسط روش تجزیه گرمایی مکانیکی - دینامیکی روی الاستومرهای سنتز شده نشان می دهد که با بلندتر شدن زنجیر افزاینده، قسمت های سخت نیز بزرگ شده و تفکیک فازی بهتری حاصل می شود. بنابراین، خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری انتظار می رود. نتایج مربوط به آزمایشهای پایداری گرمایی، کشش و پارگی نیز همین مسأله را تأیید می کند. البته، بعضی از انحرافات که در نتایج کشش و پارگی مشاهده می شود، به اثر مخالف دیگری در ارتباط با تغییر اندازه قسمت های سخت بر می گردد. زیرا، با تغییر اندازه زنجیر افزاینده، فاصله بین پیوندهای یورتانی نیز تغییر می کند و چگالی این پیوندها متفاوت می شود. بدین ترتیب، با بزرگ شدن قسمت سخت تفکیک فازی بهتری صورت می گیرد ولی چگالی پیوندهای یورتانی کمتر می شود. خواص به دست آمده برابندی از این دو اثر است.

مراجع

- 1 Hager S.L., McRury T.B., Gerkin R.M. and Critchfield F.E.; Urethane Block Polymers Kinetics of Formation and Phase Development, *Urethane Chemistry and Applications*.

کارل شیمپ مارول

کارل مارول در زمینه شیمی آلی به مدت ۷۲ سال فعالیت استثنایی داشت. وی از سال ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۱ عضو هیئت علمی دانشگاه ایلینوی بود و پس از بازنشستگی در ۱۹۸۷ در دانشگاه آریزونا همچنان به کار خود ادامه داد. او در حدود ۶۰ سال مشاور شرکت دوپان بود.

مارول دانشمندی برجسته در رشته شیمی آلی است و از او به عنوان پدر شیمی سنتز پلیمر یاد می شود. سهم وی در سنتز آلی را می توان به روشنی با مرور مجموعه ای گردآوری شده از ۲۶۴ روش تهیه که وی تقریباً ۲۰٪ از آنها را ارائه یا تصحیح کرده است، دریافت.

مارول در مزرعه ای نزدیک وینزویل تحصیل کرد، که در آنجا زبانهای لاتین و یونانی را آموخت. وی در ۱۹۱۱ تحصیل شیمی در دانشگاه وسلیمان ایلینوی را آغاز کرد. وی این رشته را به دلیل تشویق عمومی خود که معلم دبیرستان بود و با هدف کشاورز شدن انتخاب کرد، زیرا نسل جدید کشاورزان نیاز به دانش علمی برای بهره گیری بیشتر از کار خود داشتند. کارل مارول در وسلیمان ایلینوی علاقه خاصی به شیمی آلی پیدا کرد و با استفاده از کمک هزینه تحصیلی در دانشگاه ایلینوی تحصیلات عالی خود را شروع کرد. او هنگامی که از درس خواندن فارغ می شد تا دیر وقت شب در آزمایشگاه کار می کرد، در نتیجه شبها دیر می خوابید، ولی با این حال قبل از اینکه در اتاق پذیرایی بسته شود جلوی میز صبحانه حاضر می شد. همکاران دانشجویی مارول به این نتیجه رسیدند که این تنها زمانی بود که او عجله می کرد و به او لقب "اسپید" (به معنای سریع) داده بودند.

همان گونه که از ادبیات علمی بعد از ۱۹۲۰ و اسناد و جوایز بیشمار اسپید مارول استنباط می شود، هنگامی که وی به گروه شیمی دانشگاه ایلینوی ملحق شد، به عنوان نخستین حرکت با سنتز شروع کرد و سپس جسورانه به زمینه های نوآرایی، شیمی رادیکال آزاد، اثرپذیری مغناطیسی، پیوند هیدروژنی، ایزومری فضایی، ساختار ترکیبات آلی جیوه ای و فسفری و پلیمرها، که از همه مهمتر بود، روی آورد. وی عقیده بقیه در پاورقی صفحه ۱۱۲