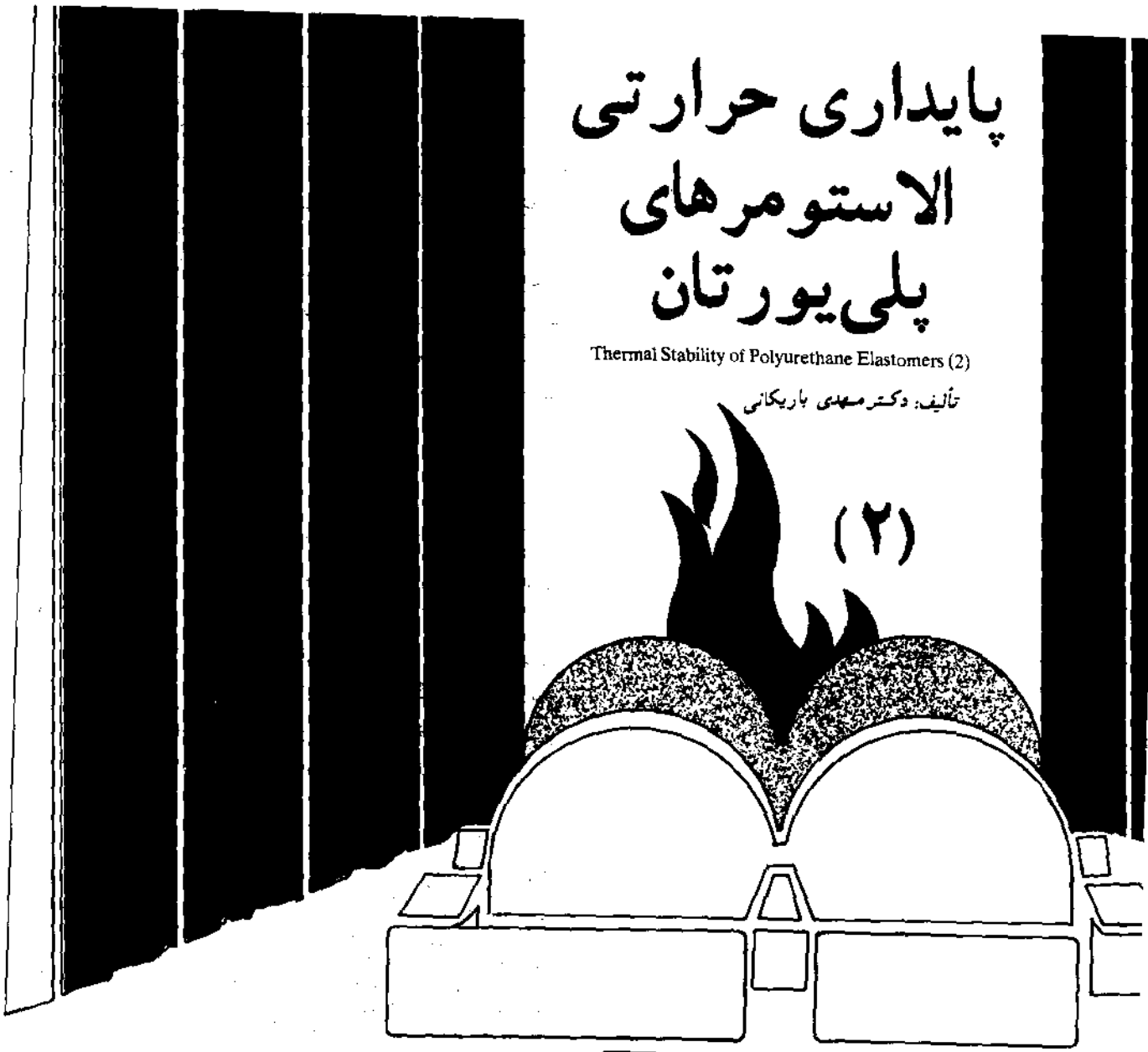
پایداری حرارتی الاستومرهای پلی‌یورتان

Thermal Stability of Polyurethane Elastomers (2)

تألیف: دکتر مهدی باریکانی

(۲)



واژه‌های کلیدی:
پلی یورتانها، پایداری حرارتی، پایداری حرارتی پلی‌یورتانها، اثر مواد تشکیل دهنده، اثر پیوندهای عرضی، اثر نسبتهای مولی

چکیده:
مطالعات انجام شده در مورد پایداری حرارتی الاستومرهای پورتان نشان داده است که ماهیت مواد تشکیل دهندهٔ آنها در تقویت این پایداری بسیار مؤثرند. بنابراین در این مبحث ابتدا اثر ساختاری مواد تشکیل دهندهٔ پلی‌یورتان الاستومرها اعم از دی‌ایزوسیاناتها، زنجیر افزاینده‌ها و همچنین اثر نسبت مولی هر یک از آنها را بر پایداری حرارتی مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهیم. سپس به تشریح دیگر عوامل موثر بر پایداری حرارتی مثل تعداد و انواع پیوندهای عرضی و تأثیر حلقه‌های ایزوسیانورات می‌پردازیم.

اثر ساختاری دی‌ایزوسیاناتها

دی‌ایزوسیاناتهایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: ۱و۴ــ سیکلوهگزان‌دی‌ایزوسیانات (CHDI)، پارافنیلن دی‌ایزوسیانات (PPDI)، ۴ و ۴ ــ دی‌فنیل‌متان دی‌ایزوسیانات (MDI)، ۴ و ۴ ــ دی‌سیکلوهگزیل متان دی‌ایزوسیانات ($H_{12}MDI$) و مخلوط ایزومرهای ۲ و ۴ ــ و ۲ و ۶ ــ تولوئن دی‌ایزوسیانات (TDI) با نسبت مولی ۸۰ به ۲۰.

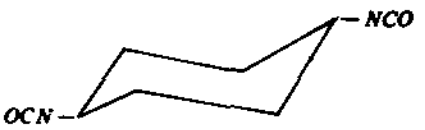
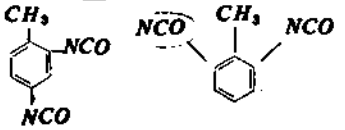
Key Words: Polyurethanes, Thermal Stability, Thermal Stability of Polyurethanes, Effect of Raw Materials, Effect of Crosslinking, Effect of Molar Ratios

پلی‌کاپرولاکتون با وزن مولکولی ۲۰۰۰ به عنوان پلی‌ال و ۱ و ۴ ـ بوتان دی‌ال نیز به عنوان زنجیر افزاینده مورد استفاده قرار گرفتند. در ضمن هر دو ترکیب حداقل به مدت یک ساعت قبل از سنتز در دمای ۸۰°C و تحت خلاء گازگیری و رطوبت‌گیری شدند. جدول شماره ۱ مواد مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد.

بررسی پایداری حرارتی الاستومرها

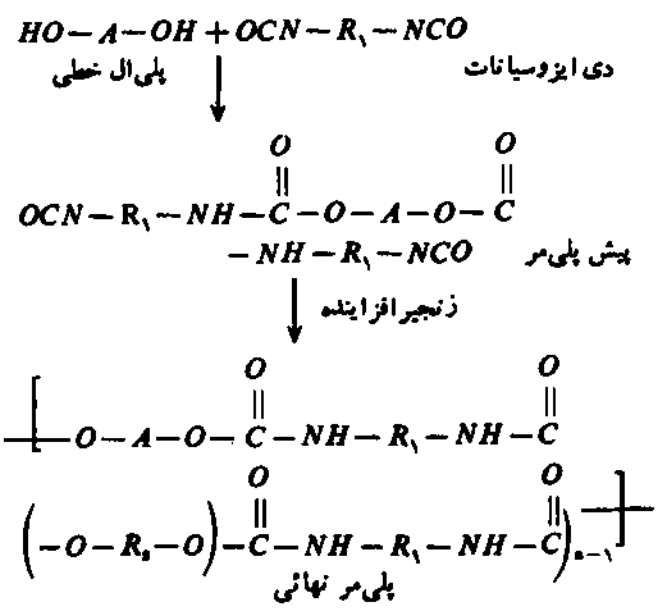
پایداری حرارتی الاستومرهای تهیه شده را توسط دستگاه DMTA *(Dynamic Mechanical Thermal Analyzer)* و DSC *(Differential Scanning Calorimetry)* مورد مطالعه قرار دادیم

جدول ۱ ـ مواد مورد استفاده در سنتز و فرمولبندی الاستومرهای پلی یورتان

نام مواد	علامت اختصاری	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی	فروشنده
پلی کاپرولاکتون	*Capa 225*	$HO\left[(CH_2)_5-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\right]_n-R-\left[-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}(CH_2)_5-\right]_n-OH$	۲۰۰۰	*Interox Chemical*
ترانس ـ ۱ و ۴ ـ سیکلوهگزان دی ایزوسیانات	*CHDI*		۱۶۶	*Akzo Chemie*
پارافنیلن دی ایزوسیانات	*PPDI*	$OCN-C_6H_4-NCO$	۱۶۰	*Akzo Chemie*
۴ و ۴ ـ دی فنیل متان دی‌ایزوسیانات		$OCN-C_6H_4-CH_2-C_6H_4-NCO$	۲۵۰	*Bayer*
۴ و ۴ ـ دی سیکلوهگزیل متان دی ایزوسیانات		$OCN-C_6H_{10}-CH_2-C_6H_{10}-NCO$	۲۶۲	*Bayer*
تولوئن دی ایزوسیانات (ایزومرهای ۲ و ۴ ـ و ۲ و ۶ ـ)			۱۷۴	*Bayer*
۱ و ۴ ـ بوتان دی‌ال		$HO-CH_2CH_2CH_2CH_2-OH$	۹۰	*GAF*

سنتز

سنتز تمام پلی‌مرها به روش پیش پلی‌مری انجام شد. بدین ترتیب که دی‌ایزوسیاناتها را به پلی‌ال ذوب شده در یک ظرف پلی‌مر شدن، اضافه می‌کنیم و ظرف را در حمام روغن ۱۲۰°C قرار می‌دهیم. در ضمن یک جریان خفیف گاز نیتروژن خشک نیز در ظرف پلی‌مر شدن جریان دارد و مخلوط به طور مداوم توسط یک همزن هم‌زده می‌شود. هم‌زدن این مخلوط برحسب نوع ایزوسیانات و میزان فعالیت آن به مدت ۳۰ تا ۹۰ دقیقه ادامه می‌یابد. سپس با افزودن زنجیر افزایندهٔ ۱ و ۴ ـ بوتان دی‌ال خشک به پیش پلی‌مر به دست آمده واکنش را خاتمه می‌دهیم (شکل ۱). پس از توزیع یکنواخت رنگ در مخلوط که نشانهٔ مخلوط شدن کامل مواد با یکدیگر است عمل ریخته‌گری مخلوط حاصل را در یک ظرف آلومینیمی صاف و صیقلی که به مادهٔ جدا کننده نیز آغشته شده است انجام می‌دهیم تا صفحه‌ای به ضخامت ۲ میلی‌متر به دست آید. پس از عمل ریخته‌گری ظرف را در یک کورهٔ با دمای ۱۲۰°C و به مدت ۲۰ تا ۲۴ ساعت قرار می‌دهیم تا واکنش پلی‌مر شدن کامل شود. صفحات به دست آمده را به مدت حداقل یک هفته در دمای اطاق و رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد نگهداری می‌کنیم و سپس آنها را مورد مطالعه و آزمایش قرار می‌دهیم.



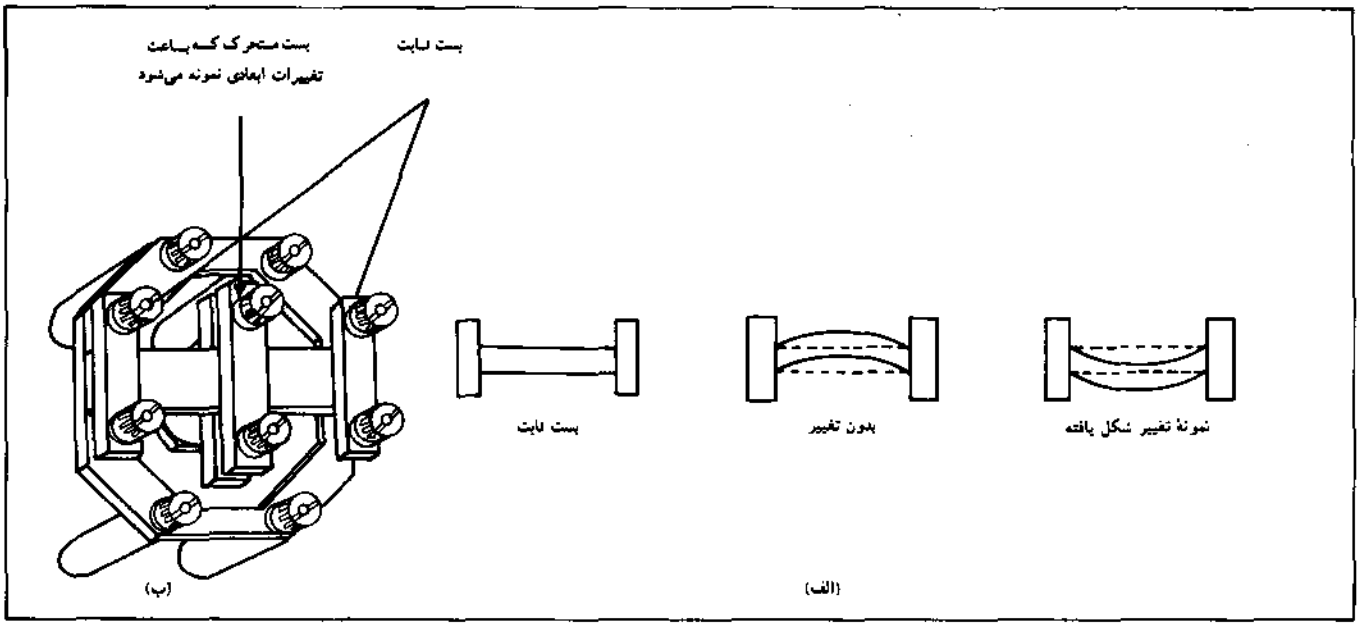
شکل ۱ ـ روش پلی‌مری مورد استفاده در سنتز الاستومرهای پلی‌یورتان

برای این منظور نمونهٔ مورد آزمایش را به صورت یک نوار چهارگوش و با ابعاد ۲×۱۰×۴۰ میلی‌متر تهیه می‌کنیم و آن را تحت تغییر شکل رفت و برگشتی توسط دستگاه قرار می‌دهیم (شکل ۲). سپس با تغییر دما تغییرات E (Storage modulus) و تانژانت δ (Tan δ) را ثبت می‌کنیم. با استفاده از این اطلاعات بدست آمده پایداری حرارتی پلی‌مرها را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. اندازه‌گیری DMTA در فرکانس ۱ هرتز و گسترهٔ دمائی ۱۴۰ - تا ۲۵۰°C انجام گردید و سرعت گرم کردن نمونه ۴ درجه در دقیقه بود.

تعریف می‌کنیم. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که پلی‌یورتانهای بر پایه CHDI نسبت به بقیه پلی‌یورتانها از پایداری حرارتی بالاتری برخوردارند به این ترتیب که کاهش مدول در پلی‌یورتانهای بر پایه CHDI بر اساس فرمول فوق از دمای ۱۸۱°C شروع می‌شود و شروع این کاهش در یورتانهای بر پایه $H_{12}MDI$ در حدود دمای ۱۰۰°C اتفاق می‌افتد. کاهش مدول پلی‌یورتانهای تهیه شده از بقیه دی‌ایزوسیاناتها، در حد فاصل بین این دو دما قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج به دست آمده ترتیب زیر در مورد پایداری حرارتی یورتانها برحسب نوع دی‌ایزوسیانات برقرار است:

$$CHDI > PPDI > MDI > TDI > H_{12}MDI$$

افزایش پایداری حرارتی



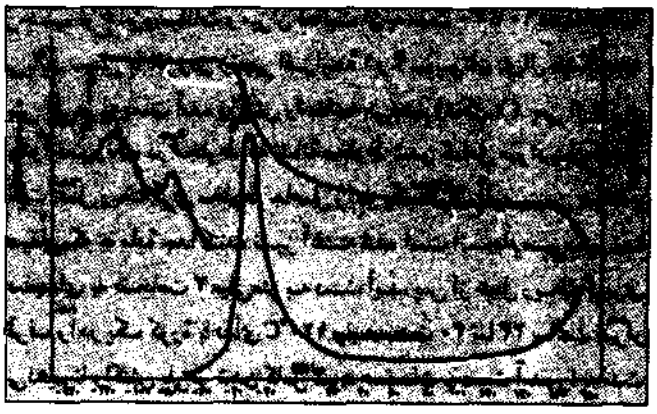
شکل ۲ الف ــ تغییر شکل رفت و برگشتی نمونه‌ها ــ ب ــ نمونهٔ پورتان بسته شده در دستگاه DMTA جهت آزمایش

یک نمونه از ترموگرام DMTA مربوط به الاستومرهای پلی‌یورتان در شکل ۳ نشان داده شده است. مدول در حوالی دمای گذر شیشه‌ای (T_g) سریعاً کاهش می‌یابد و پس از وارد شدن به ناحیهٔ لاستیکی تا حدود دمای ۱۴۰°C ثابت می‌ماند. در دمای بالاتر از ۱۴۰°C پلی‌مر نرم شده و مجدداً کاهش مدول شروع می‌شود تا اینکه پلی‌مر کاملاً ذوب گردد. تمام پلی‌یورتانهای تهیه شده رفتار حرارتی کلی فوق را از خود نشان می‌دهند.

اثر ساختاری دی‌ایزوسیاناتها بر پایداری حرارتی

اثر ساختار شیمیایی دی‌ایزوسیاناتهای مختلف را بر پایداری حرارتی الاستومرهای یورتان، با مقایسه پایداری الاستومرهای تهیه شده از پنج نوع مختلف دی‌ایزوسیانات بررسی کردیم. نکته قابل توجه اینکه تنها عامل متغیر در این نوع الاستومرها صرفاً نوع دی‌ایزوسیانات است. فرمول پایه‌ای که جهت تهیه الاستومرهای مربوطه به کار برده شد شامل Capa225/Diisocyanate/1,4-BD با نسبت مولی 1:2.6:1 بود. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است. دمایی را که در آن LogE به طور مشخص تغییر می‌کند به عنوان حد پایداری الاستومرها

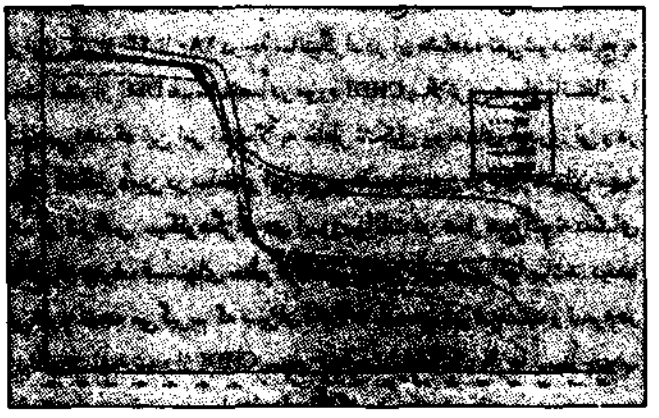
ذکر این نکته نیز مهم است که در مورد پلی‌یورتانهای بر پایه H_{12} MDI، مدول در ناحیه لاستیکی ثابت نمی‌ماند و مرتباً به سیر نزولی خود ادامه می‌دهد در صورتی که در پلی‌یورتانهای بر پایه CHDI در گستره دمایی ۲۰ + تا ۱۸۰°C+ و یا بالاتر (بسته به نوع فرمولبندی) مدول هیچ گونه تغییری نمی‌کند و همواره ثابت می‌ماند.



شکل ۳ ــ نمونه‌ای از ترموگرام DMTA برای الاستومرهای پلی‌یورتان در فرکانس ۱ هرتز و سرعت گرم کردن ۴°C در دقیقه.

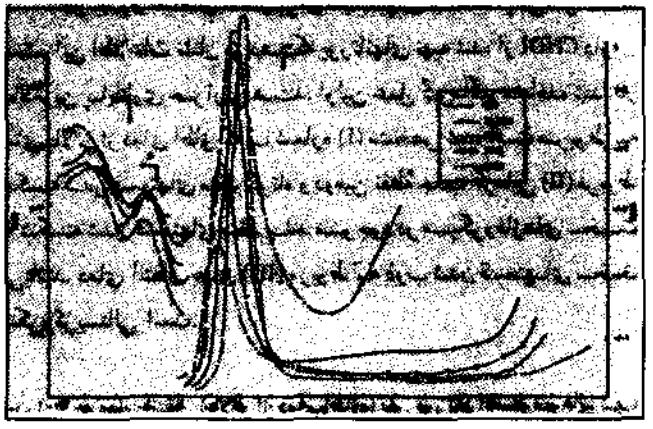
جدول ۲ ــ بالاترین دمایی که مقدار LogE برای پورتان الاستومرهای تهیه شده ثابت می‌ماند.

شماره نمونه	نوع دی‌ایزوسیانات	logÉ (N/m^2)	دما °C
B63	CHDI	۷/۴	۱۸۱
B125	PPDI	۷/۱	۱۵۵
B138	MDI	۶/۴	۱۵۰
B135	TDI	۶/۱	۱۳۵
B134	H_{12}MDI	۶/۲	۱۰۰



شکل ۴ ــ LogE چند نمونه پلی‌یورتان به منظور نشان دادن ارتباط پایداری حرارتی با ساختار دی‌ایزوسیانات در آنها.

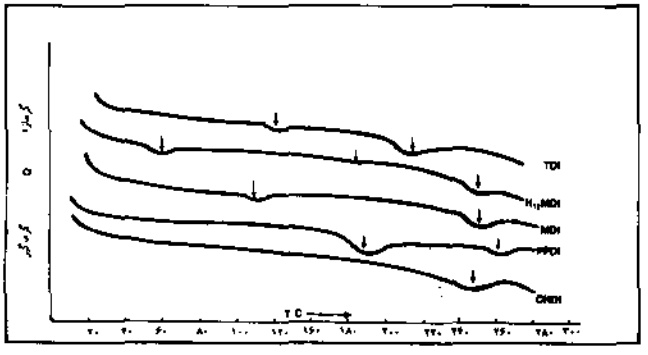
شکل ۵، تانژانت δ مربوط به پلی‌یورتانهای مختلف را نشان می‌دهد. این پلی‌مرها که تنها نوع دی‌ایزوسیانات آنها متفاوت است هر کدام دارای سه پیک آسایش (Relaxation Peak) هستند که با علامتهای γ، β، α نشان داده شده‌اند. اثر کلی ساختار دی‌ایزوسیاناتها در تغییر فاز اصلی مشاهده می‌شود که در گسترهٔ دمایی ۱۵ - تا ۳۵°C - صورت می‌گیرد (جدول ۳). به هر حال پلی‌یورتانهای تهیه شده از CHDI در مقایسه با پلی‌یورتانهای تهیه شده از بقیه دی‌ایزوسیاناتها در دماهای پایین خواص بهتری از خود نشان می‌دهند. قابل ذکر است که اندازهٔ پیکهای γ، δکوچکتر از α است.



شکل ۵ ــ رابطه دمایی tanδ در مورد پلی‌یورتانهای تهیه شده از دی‌ایزوسیاناتهای مختلف.

مطالعات *DSC*

اسکن (Scan) DSC مربوط به پلی‌یورتانهای تهیه شده از دی‌ایزوسیاناتهای مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. پیکانهای نشان داده شده در شکل مشخص کنندهٔ دماهای انتقال هستند. جدول ۴ نیز موقعیت این نقاط را مشخص می‌سازد. نقاط جذب گرمایی (Endotherm) مشاهده شده در دماهای بالاتر از دمای اطاق مربوط به قسمتهای سخت تشکیل دهندهٔ پلی‌یورتان است. دمایی را که اولین جذب گرمایی، پس از دمای اطاق در آن اتفاق می‌افتد به عنوان حد پایداری حرارتی انتخاب کرده‌ایم.



شکل ۶ ــ اسکن DSC پلی یورتانهای تهیه شده از دی ایزوسیاناتهای مختلف

جدول ۳ ــ دمای گذر β،α در مورد پلی‌یورتانهایی که از دی‌ایزوسیاناتهای مختلف تهیه شده‌اند.

شماره نمونه	نوع دی‌ایزوسیانات	دمای گذر β		دمای گذر α	
		tanδ	°C دما	tanδ	°C دما
B63	CHDI	۰/۰۳۲	- ۷۸	۰/۲۸۵	- ۳۳
B125	PPDI	۰/۰۳۱	- ۷۸	۰/۳۷۵	- ۳۰
B138	MDI	۰/۰۲۷	- ۷۸	۱/۱	- ۱۵
B135	TDI	۰/۰۳۲	- ۷۸	۱	- ۲۱
B134	H_{12}MDI	۰/۰۳	- ۷۸	۰/۵۷۵	- ۲۲

در جدول ۴ دمای انتقال برای سیستمهای مختلف پلی‌مر آمده است. این اطلاعات نشان می‌دهند که پورتانهای تهیه شده از CHDI دارای بالاترین پایداری حرارتی هستند. اولین عمل گرماگیر مشاهده شده در دمای بالاتر از دمای اطاق که با شماره (I) مشخص شده است مربوط به شکسته شدن قسمتهای منظم کوتاه و دومین نقطهٔ جذب گرمایی (II) مربوط به شکسته شدن قسمتهای منظم بلند موجود در میکروفازهای سخت می‌باشد. دمای انتقال بعدی (III) مربوط به ذوب شدن قسمتهای سخت میکروکریستالی است.

جدول ۴ ــ دمای انتقال (بالاتر از دمای اطاق) پلی یورتان الاستومرهای تهیه شده از دی ایزوسیاناتهای مختلف

شماره نمونه / نوع دی ایزوسیانات	نوع دی ایزوسیانات / شماره نمونه	دمای انتقال I	دمای انتقال II	دمای انتقال III
B135	TDI	—	۱۴۲	۲۱۵
B134	H_{12}MDI	۸۰	۱۸۵	۲۵۰
B138	MDI	—	۱۳۰	۲۵۰
B135	PPDI	۱۹۰	۲۲۱	۲۶۱
B63	CHDI	—	—	۲۲۹

نتیجه‌گیری

با ذکر این نکته که روش DMTA به عنوان یک روش سریع شناسایی تغییرات مدول در یک گسترهٔ وسیع دمایی شناخته شده است.

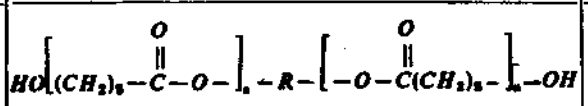
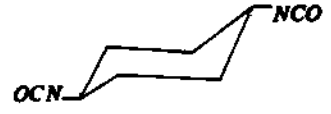
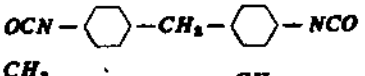
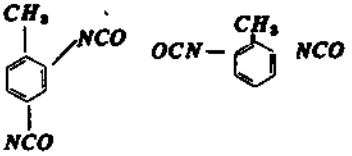
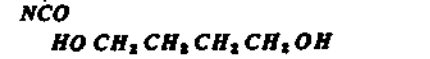
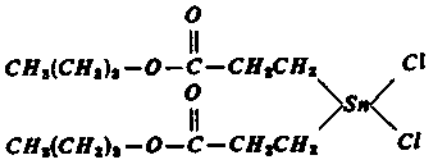
خلاصه نتایج به دست آمده از اثر ساختار شیمیایی دی ایزوسیاناتها بر پایداری حرارتی پلی یورتانها را می‌توان چنین بیان کرد:

۱ ــ بررسی اثر ساختار شیمیایی پنج دی ایزوسیانات مختلف برپایداری حرارتی پلی یورتان تهیه شده از آنها با فرمول عمومی Capa225 / Diisocyanate / 1,4-BD و نسبت مولی 1/2.6/1 نشان داد که پلی‌مرهای تهیه شده از CHDI از پایداری حرارتی بالاتری نسبت به بقیه برخوردارند و ترتیب قرار گرفتن آنها برحسب پایداری حرارتی چنین است:

$$CHDI > PPDI > MDI > TDI > H_{12}MDI$$

۲ ــ مقدار LogE′ در پلی یورتانهای تهیه شده از ترانس سیکلوهگزان دی ایزوسیانات ثابت مانده و هیچ‌گونه کاهشی در اثر دما و افزایش آن از ۲۳ تا ۱۸۰ درجهٔ سانتیگراد در آن مشاهده نمی‌شود. نتایج به دست آمده از DSC هم مشخصاً در مورد CHDI بالاترین دمای انتقال را نشان می‌دهد که این امر احتمالاً به خاطر تشکیل پیوندهای هیدروژنی و در پی آن تشکیل دُمین در ساختار این پلی‌مرهاست. چون در یورتانهای تهیه شده از ترانس سیکلوهگزان دی ایزوسیانات در عمل هیچ‌گونه دمای انتقال که معرف قسمتهای منظم کوتاه در زنجیر پلی مری آنها باشد، دیده نمی‌شود نتیجه می‌گیریم که میزان اختلاط قسمتهای سخت و نرم در یورتانهای تهیه شده از CHDI بسیار کم است و تفکیک فازها نسبتاً خوب و قسمتهای سخت در ساختارهای دُمین متمرکز شده‌اند.

جدول ۵

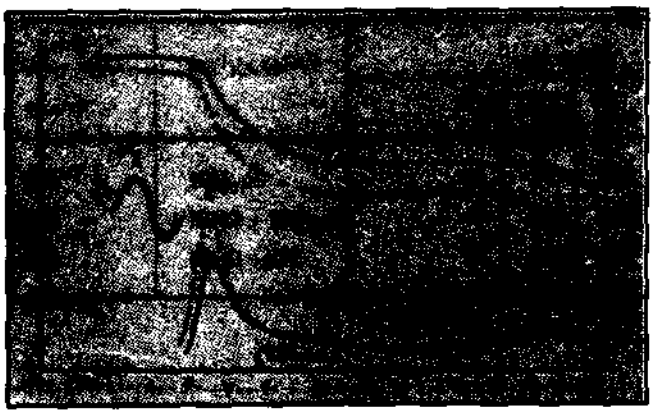
نام مواد	علامت اختصاری	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی	فروننده
پلی کاپرو لاکتون	Capa 225		۲۰۰۰	Interox Chemical
ترانس او ۴ــ سیکلوهگزان دی‌ایزوسیانات	CHDI		۱۶۶	Akzo Chemie
۴ و ۴′ــ دی سیکلوهگزیل متان دی‌ایزوسیانات	$H_{12}MDI$		۲۶۲	Bayer
تولوئن دی ایزوسیانات	TDI		۱۷۴	Bayer
۱ و ۴ــ بوتان دی ال	1,4-BD		۹۰	GAF
دی کاربوتوکسی اتیل کلرید قلع	T220		—	Akzo Chemie

اثر نسبتهای مولی بر پایداری حرارتی

برای نشان دادن اثرات نسبتهای مولی مختلف پلی ال ـ دی ایزوسیانات بر پایداری حرارتی الاستومرهای پلی یورتان، الاستومرهایی به همان روش سنتز قبلی و براساس فرمولبندی Polyol/CHDI/1,4-BD با نسبتهای مولی ۱:۲:۱ و ۱:۳:۲ سنتز و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مواد مورد استفاده در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

مطالعات *DMTA*

در این *مطالعات* با بررسی رفتار دینامیکی ـ مکانیکی پلی‌مرهای تهیه شده در یک گسترهٔ دمائی معین و مقایسه آنها و انتخاب نقطهٔ شروع تغییرات مشخص $LogE'$ به عنوان حد پایداری حرارتی اثرات نسبتهای مولی بر پایداری حرارتی پلی یورتانها مطالعه شد (شکل ۷).



نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش نسبت مولی، پایداری حرارتی افزایش می‌یابد (جدول ۶). و این افزایش در پلی یورتان با نسبت مولی ۱:۳:۲ حدود $20^{\circ}C$ بالاتر از پلی یورتان با نسبت مولی ۱:۲:۱ است. دلیل افزایش پایداری حرارتی به علت افزایش قسمتهای سخت CHDI در زنجیر پلی یورتان مربوطه است. نسبتهای مولی بیشتر از ۱:۳:۲ به دلیل سخت شدن پلی مر و خارج شدن آن از حالت الاستومری مورد بررسی قرار نگرفت. در این بررسی همچنین ملاحظه شد که ارتفاع Tanδ با افزایش نسبت مولی کاهش می‌یابد.

جدول ۶ ـ بالاترین دمایی که در آن مقدار $LogE'$ با تغییرات نسبت مولی ثابت می‌ماند

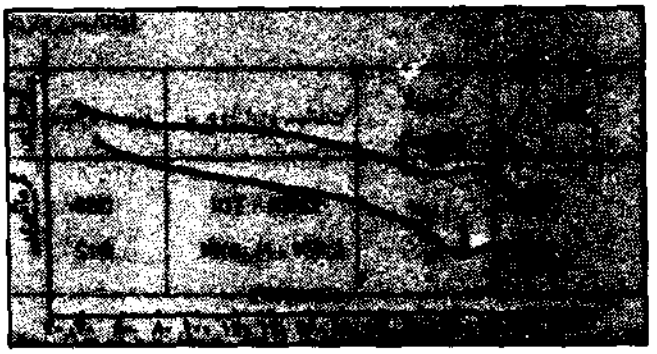
نسبت مولی	$LogE'(N/m^2)$	T°C
۱/۲/۱	۷/۲	۱۶۰
۱/۳/۲	۷/۶	۱۸۰

مطالعات *DSC*

مطالعات DSC نیز نشان دهندهٔ افزایش پایداری حرارتی با افزایش نسبت مولی است. دمای انتقال مربوط به قسمتهای سخت که مشخص کنندهٔ پایداری حرارتی است در جدول ۷ و ترموگرام مربوط به دو نسبت مولی مختلف در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

جدول ۷ ـ دمای انتقال الاستومرهای پلی یورتان جهت نشان دادن اثر نسبتهای مولی بر پایداری حرارتی

شماره نمونه	پلی‌ال	دی ایزوسیانات	زنجیر افزاینده	نسبت مولی	دمای انتقال °C
B89	Capa225	CHDI	1,4 -BD	۱/۲/۱	۲۲۲
B84	Capa 225	CHDI	1,4-BD	۱/۳/۲	۲۲۸



شکل ۸ ـ اسکن DSC پلی یورتان الاستومر تهیه شده از Capa225/CHDI/ 1,4 – BD با نسبتهای مولی مختلف

اثر ساختاری مخلوط دی ایزوسیاناتها بر پایداری حرارتی

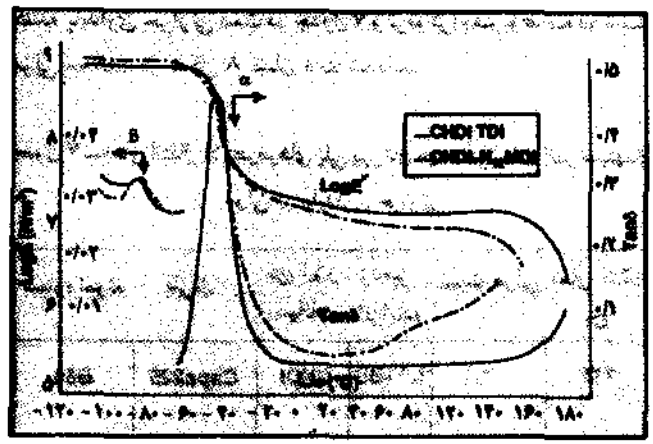
در این بررسی دی ایزوسیانات CHDI به عنوان یک دی ایزوسیانات همراه با TDI و $H_{12}MDI$ به کار برده شد و اثر آن بر پایداری حرارتی پلی یورتان تولید شده مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات *DMTA*

نتایج مطالعات انجام شده توسط DMTA در شکل ۹ و جدول ۸ نشان داده شده‌اند. اطلاعات به دست آمده نشان می‌دهند که به کارگیری CHDI به عنوان یک دی ایزوسیانات کمکی در یورتانهای تهیه شده از TDI و $H_{12}MDI$ باعث افزایش پایداری حرارتی آنها می‌گردد و یورتانهای تهیه شده از TDI + CHDI در مقایسه با $H_{12}MDI$ + CHDI از پایداری حرارتی بیشتری برخوردارند.

$$TDI + CHDI > H_{12}MDI + CHDI$$

افزایش پایداری حرارتی



شکل ۹ ــ LogE جهت نشان دادن رابطه پایداری حرارتی با ساختار مخلوط دی‌ایزوسیاناتها

شماره نمونه	نوع دی‌ایزوسیانات	LogE (N/m²)	T°C
B38	CHDI +TDI	۷/۴	۱۵۵
B12	CHDI +H_{12}MDI	۷	۱۳۰

جدول ۸ ــ بالاترین دمایی که در آن مقدار LogE در مورد پلی‌یورتان الاستومرها ثابت می‌ماند. وقتی که مخلوط دی‌ایزوسیاناتها به کار برده شده‌اند.

مطالعات *DSC*

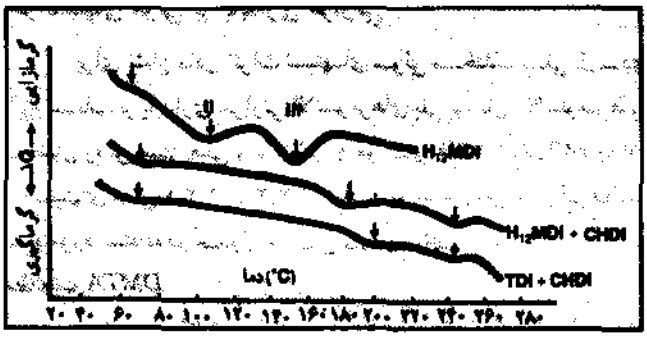
شکل ۱۰ نشان دهندهٔ نمودارهای به دست آمده از مطالعات DSC در مورد سه سری از پلی‌یورتانها با فرمولبندی

Capa225 / H_{12} MDI+ CHDI / 1,4-BD, Capa 225 / H_{12}MDI / 1,4-BD, Capa 225 / TDI +CHDI/1,4-BD

و با نسبت مولی ۱/۳/۲ است و پیکانها موقعیت دمای انتقال را در آنها نشان می‌دهند. این دماهای انتقال در جدول ۹ نیز آورده شده‌اند. با توجه به اطلاعات به دست آمده ملاحظه می‌شود که پایداری حرارتی پلی‌مر تهیه شده از مخلوط H_{12}MDI + CHDI بیشتر از پایداری حرارتی پلی‌مر تهیه شده از H_{12}MDI است که این امر نیز مؤید اثر مثبت CHDI بر پایداری حرارتی است و ترتیب پایداری حرارتی الاستومرهای تهیه شده برحسب نوع دی ایزوسیانات چنین است:

TDI + *CHDI* > H_{12}*MDI* + *CHDI* > H_{12}*MDI*

افزایش پایداری حرارتی

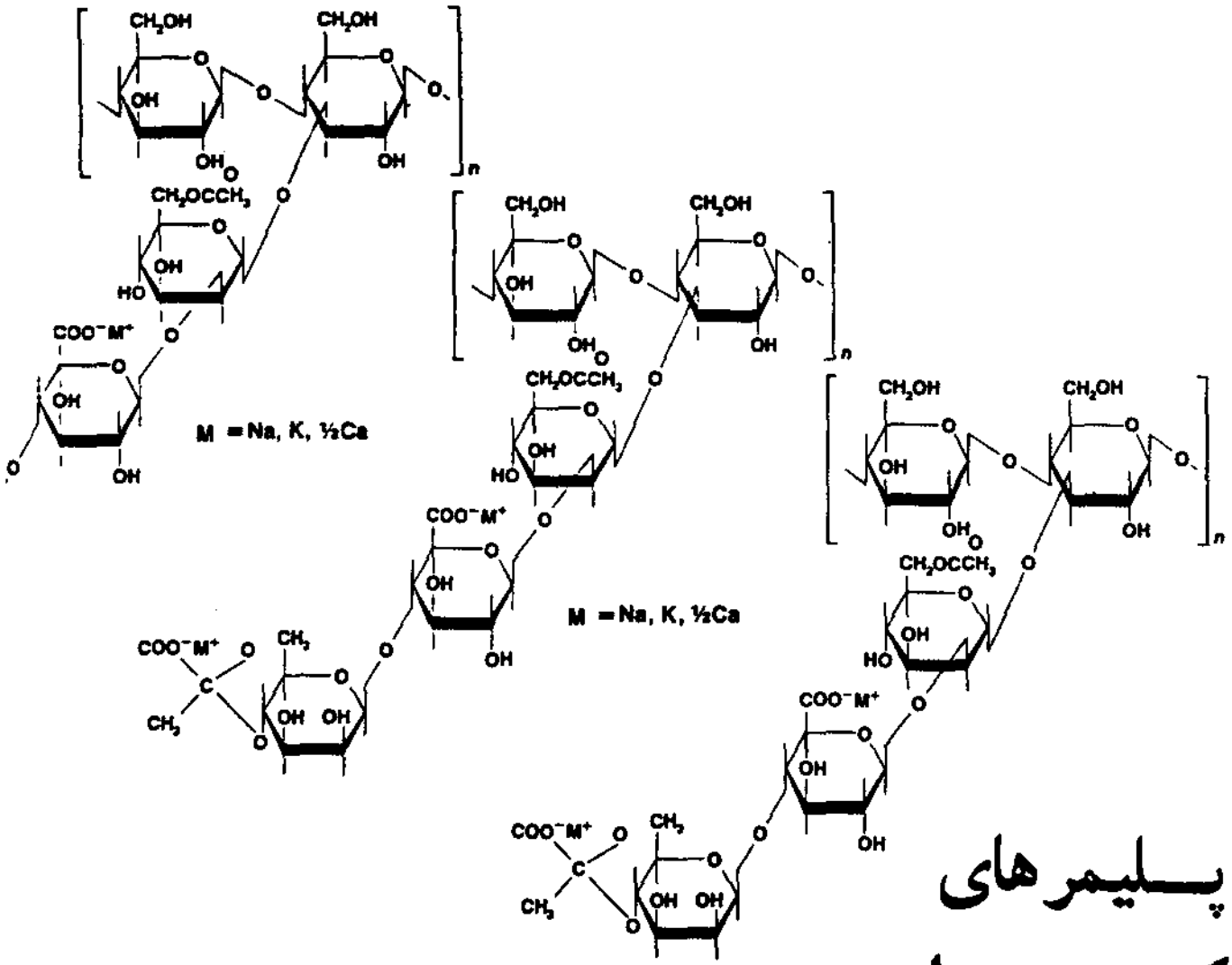


شکل ۱۰ ــ اسکن مربوط به DSC جهت نشان دادن اثر CHDI بر دمای انتقال الاستومرهای پورتان تهیه شده از مخلوط دی ایزوسیاناتها

جدول ۹ ــ دمای انتقال پورتان الاستومرهای تهیه شده از مخلوط دی ایزوسیاناتها جهت نشان دادن اثر CHDI بر دمای انتقال

شماره نمونه	دی ایزوسیانات	دمای انتقال		
		I	II	III
B27	H_{12}MDI	۶۲	۱۰۴	۱۵۲
B12	H_{12}MDI + CHDI	۷۰	۱۸۳	۲۴۳
B38	TDI+ CHDI	۶۷	۱۹۶	۲۴۳

ادامه دارد...



پلیمرهای کربوهیدرات: موادی طبیعی با کارکردی عالی (۱)

Carbohydrate Polymers:
Nature's High-performance Materials.

By: R. H. Marchessault, Chem Tech September 1984.
Trans: O. Rabbani.
ترجمه: دکتر عذرا ربانی

واژه‌های کلیدی:
کربوهیدرات، گلیکانها، سلولز، اگزوپلی ساکاریدها، صمغ گزانتین، صورت‌بندی گلیکانها

Key Words:

Carbohydrates, Glycans, Cellulose, Exopoly Saccharides, Xanthan Gum, Glycans Conformation