

واژه‌های کلیدی:

پلی اوره
پلیمری شدن رشد مرحله‌ای
دی‌ایزوسیانات
دی‌آمین
پوشش

مروری بر تهیه، خواص و کاربردهای پلی‌اوره‌ها

سحر شجاعی^۱، شهرام مهدی پور عطائی^{۲*}

۱ بناب، دانشگاه بناب، گروه مهندسی پلیمر

۲ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

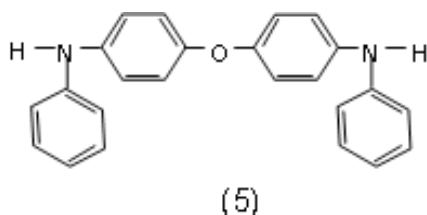
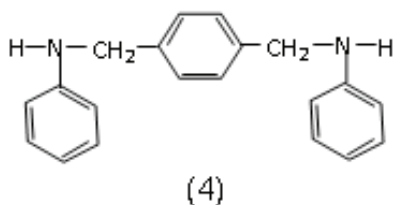
چکیده ...

اگر چه شیمی و فناوری پلی‌اوره‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده است، اما شیمی اوره به صدها سال پیش برمی‌گردد. اوره اولین بار توسط وهلر در سال ۱۸۲۹ سنتز شد. از نظر ساختاری اوره همانند دی‌آمیدی است که از کرینیک اسید مشتق شده است. مطالعه اولیه بر روی پلی‌اوره‌ها توسط بایر انجام شد. پلی‌اوره‌ها دسته‌ای از الاستومرها هستند که امروزه کاربرد وسیعی در صنعت پیدا کرده‌اند. در سال ۲۰۱۴ مصرف جهانی پلی‌اوره در حدود ۴۵۰۰۰ تن بود که بیش از ۷۰٪ آن در زمینه پوشش‌ها و موارد مشابه و حدود ۲۵٪ آن در حوزه تولید تجهیزات بود. این پلیمرها عموماً از واکنش دی‌ایزوسیانات‌ها با دی‌آمین‌ها از طریق سازوکار پلیمری شدن رشد مرحله‌ای تهیه می‌شوند.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

s.mehdipour@ippi.ac.ir

و قابل حل به آسانی تهیه می‌شوند که دارای Tg پایین در مقایسه با پلی‌اوره‌های استخلاف نشده مربوط هستند.



به طور کلی، ایزوسیانات‌ها با ترکیبات دارای هیدروژن فعال واکنش می‌دهند. سرعت واکنش به صورت زیر تغییر می‌کند.

OH > نوع اول > NH₂ آروماتیک > NH₂ آلیفاتیک

OH > فنلی > نوع سوم > OH نوع دوم > H₂O

R-NHCOO-R' > COOH > RNHCONH-R' > R-NHCOO-R'

آمین‌های آلیفاتیک حتی در دماهای پایین فوق‌العاده واکنش‌پذیر هستند. هر چه قدرت بازی آمین بیشتر باشد واکنش‌پذیری آن بیشتر است. آمین‌های آروماتیک نوع اول و آلیفاتیک نوع دوم واکنش‌پذیری مشابهی دارند. آمین‌های آروماتیک نوع اول نسبت به آمین‌های آلیفاتیک نوع اول سرعت کمتری دارند. ضمن این‌که عموماً آمین‌های آروماتیک نوع دوم واکنش‌پذیری کمتری دارند (جدول ۲).

جدول ۲ واکنش‌پذیری نسبی آمین‌ها با فنیل ایزوسیانات در دمای اتاق در °C

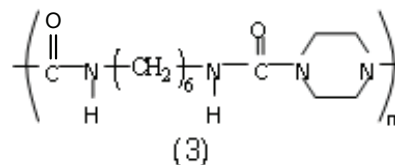
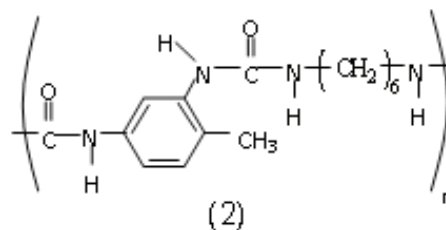
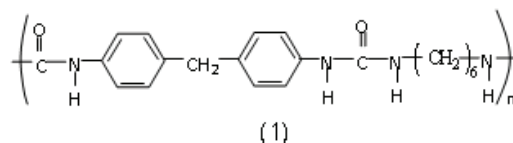
آمین	فعالیت نسبی
NH ₃	۱/۰۰
Ethylamine	۹/۷۲
n-propylamine	۸/۲۲
n-butylamine	۹/۱۷
n-amylamine	۹/۱۷
Aniline	۰/۵۳

در مطالعات اخیر، تعدادی از پلی‌اوره‌های آلیفاتیک-آروماتیک و هتروسیکلیک-آروماتیک با بازده‌های بالا به ترتیب از هگزامتیلن دی‌آمین با MDI و TDI و پپرازین با HDI تهیه شده‌اند. با توجه به جدول ۱، پلی‌اوره حاصل از TDI نسبت به MDI ساختار متفاوتی دارد. ساختار پلی‌اوره حاصل از TDI نامتقارن بوده و در نتیجه کاملاً بی‌شکل است و گرانیروی بالایی دارد. در رابطه با فرآورش پلی‌اوره‌های آروماتیک با توجه به نقطه ذوب بالا و محدودیت حلالیت آن‌ها مشکلاتی وجود دارد [۴].

جدول ۱ کوپلی‌اوره‌های آلیفاتیک-آروماتیک و هتروسیکلیک-آروماتیک تهیه شده از دی‌آمین‌ها و دی‌ایزوسیانات‌ها را در محلول دی‌متیل استامید/اکریلو نیتریل [۴].

Polyurea	Yield(%)	$\eta_{inh}^a (dl g^{-1})$	T _g (°C)	T _m (°C)
۱	۹۴	۰/۶۸	۲۰۰	۲۶۶
۲	۹۷	۱/۳۴	۲۱۰	آمورف
۳	۹۶	۱/۴۰	۲۰۰	۲۷۰

(a) محلول (gr/dl) ۰/۲ از اسید سولفوریک ۹۵٪ در دمای ۲۵°C



برای غلبه بر این مشکلات از دی‌آمین‌های آروماتیک-N-استخلاف شده همراه با MDI و TDI در محلول تتراکلرواتان برای تشکیل اوره استفاده می‌شود که پیوند هیدروژنی بین گروه‌های اوره‌ای حذف می‌شود. بنابراین با دی‌آمین-N-فنیل دار شده (۴) و (۵) پلی‌اوره‌های بی‌شکل

استوکيومتری یکسان در دماهای بالا پلی‌اوره‌ها به همراه آزادسازی آمونیاک، تهیه می‌شوند. واکنش می‌تواند در حالت مذاب یا در محلول انجام شود. از واکنش اوره و دو دی‌آمین مختلف کوپلی اوره‌های تصادفی تهیه می‌شوند.

۲-۵ پلیمره شدن دی‌آمین‌ها با لیتیم کربنات

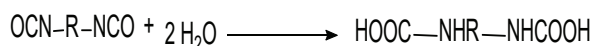
پلی‌اوره‌های با وزن مولکولی متوسط از واکنش تراکمی لیتیم کربنات با دی‌آمین‌های آروماتیک در حضور تری-فنیل فسفین و هگزاکلرواتان در پیریدین تهیه می‌شوند.

۲-۶ پلیمره شدن دی‌آمین‌ها با کربنیک استرها

از واکنش دی‌آمین‌ها و کربنیک استرها در دماهای بالا (۲۳۰-۲۱۰°C) در حلال کروزل یا فنل، پلی‌اوره‌ها سنتز می‌شوند. واکنش با $MgCl_2$ در حضور پیریدین به عنوان کاتالیست در دمای ۱۳۰-۱۲۰°C انجام می‌شود. آمینولیز کربنیک استرها فعال مانند بیس (پارانیتروفنیل) کربنات یا بیس (۲ و ۴-دی‌نیتروفنیل) کربنات، پلی‌اوره‌های با گرانیروی بالا می‌دهد. سرعت این واکنش با دی‌آمین‌های آلیفاتیک به مراتب از دی‌آمین‌های آروماتیک بیشتر است.

۲-۷ پلیمره شدن دی‌ایزوسیانات‌ها با آب

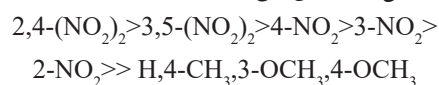
پلی‌اوره‌ها از واکنش دی‌ایزوسیانات و آب نیز تهیه می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۴ واکنش دی‌ایزوسیانات‌ها با آب

کربامیک اسید ناپایدار به این دلیل که به آمین تجزیه شده به سرعت با ایزوسیانات واکنش می‌دهد، مطلوب است. دی‌آمین با سرعت بیشتری نسبت به آب با دی‌ایزوسیانات عمل نکرده واکنش می‌دهد و در نتیجه پلی‌اوره با بازده بالا به دست می‌آید. واکنش‌پذیری آب با دی‌ایزوسیانات‌ها مشابه الکل‌های نوع دوم است. اثر استخلاف در واکنش آب و ایزوسیانات مشابه نتایج واکنش ایزوسیانات با آمین‌ها است. گفتنی است که این واکنش در تهیه فوم‌ها کاربرد دارد زیرا در طی این فرایند گاز دی‌اکسیدکربن آزاد می‌شود که در تهیه فوم

اثر استخلاف‌ها روی واکنش‌پذیری ایزوسیانات به ترتیب ذیل کاهش می‌یابد:



استخلاف‌های الکترون‌گیرنده روی ایزوسیانات، ثابت سرعت را افزایش می‌دهند. واکنش بین ایزوسیانات‌ها و آمین‌ها از نوع خود کاتالیست است، اما می‌تواند توسط آمین‌های نوع سوم یا اسیدها کاتالیز شود. واکنش بین دی-آمین‌ها و دی‌ایزوسیانات‌ها معمولاً از نوع پلیمره شدن محلولی یا پلیمره شدن بین سطحی است [۶ و ۵].

در پلیمره شدن توده‌ای پلیمرهای شبکه‌ای، غیرقابل حل و غیرقابل ذوب به جای پلی‌اوره‌های خطی مورد نظر به دست می‌آیند. شبکه‌ای شدن از برهم‌کنش گروه‌های ایزوسیانات آزاد فعال با اتم‌های هیدروژن فعال از گروه‌های اوره حاصل می‌شود.

۲-۲ پلیمره شدن دی‌آمین‌ها با دی‌اکسیدکربن یا مشتقات آن‌ها

از پلیمره شدن تراکمی دی‌آمین‌ها با دی‌اکسیدکربن یا مشتقات آن‌ها پلی‌اوره‌هایی با بازده بالا تهیه می‌شوند. پلی-اوره و پلی‌تیواوره‌های با وزن مولکولی بالا از واکنش دی‌اکسید کربن و دی‌آمین‌ها در حضور دی‌فنیل فسفیت و پیریدین در دمای ۴۰°C و فشار ۲۰ atm به دست می‌آیند. واکنش با تری‌فنیل فسفیت انجام نمی‌شود. اما در حضور مقدار کاتالیزوری از پیریدین هیدروکلراید پیش می‌رود. استفاده از اتیلن کلروفسفیت بازده واکنش بین دی-سولفیدکربن یا دی‌اکسیدکربن گازی و دی‌آمین‌های آروماتیک را تحت شرایط ملایم برای تولید پلی‌تیواوره‌ها و پلی‌اوره‌ها افزایش می‌دهد. برای واکنش دی‌اکسیدکربن با دی‌آمین‌ها در غیاب کاتالیست، دما و فشارهای بالا مورد نیاز است [۷].

۲-۳ پلیمره شدن دی‌آمین‌ها با فسژن

پلی‌اوره‌ها، از واکنش فسژن و دی‌آمین نیز تهیه می‌شوند. به طور مشابه بیس (کربامیل کلرید)‌ها از دی‌آمین و فسژن تهیه می‌شوند.

۲-۴ پلیمره شدن دی‌آمین‌ها با اوره

از واکنش دی‌آمین‌های آلیفاتیک یا آروماتیک و اوره با

می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۳ انواع پلی‌اوره‌ها

۱-۳ هموپلی‌اوره‌ها

هموپلی‌اوره ساختار قطبی دارد و دارای پیوندهای هیدروژنی است که نقطه ذوب و بلورینگی بالای آن‌ها از این دو عامل ناشی می‌شود.

دمای ذوب هموپلی‌اوره‌ها با ساختار هتروسیکلی یا آروماتیک کمی بالاتر از نقطه ذوب آن‌ها با ساختار آلیفاتیک است. تقارن در حلقه ۱ و ۴- فنیلن در زنجیر پلیمر، نقطه ذوب را افزایش می‌دهد، در حالی که حلقه‌های ۱ و ۳- فنیلن به میزان کمتری دمای ذوب را افزایش می‌دهند.

۲-۳ کوپلی‌اوره‌ها

کوپلی‌اوره‌ها کاربردهای عملی زیادی دارند. فرمول عمومی کوپلی‌اوره‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است، که R و R' می‌توانند آلیفاتیک، آروماتیک یا هتروسیکلیک باشند.



شکل ۵ ساختار عمومی کوپلی‌اوره‌ها

تلفیق ساختار پلی‌اوره با سایر پلیمرها نظیر پلی‌یورتان، پلی‌استر، پلی‌آمید و سایر پلیمرها منجر به گسترش کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف شده است.

۳-۳ پلی‌اوره‌های بلور مایع

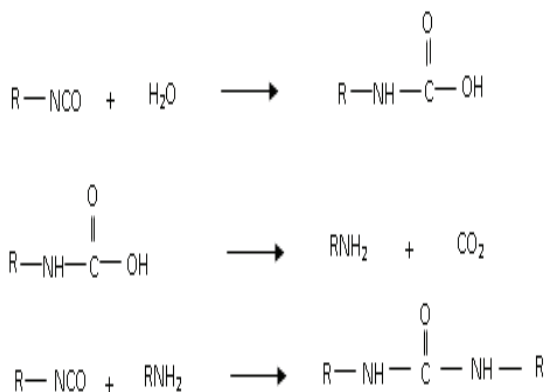
روش‌های مناسبی برای تلفیق خواص شاخص پلیمرهای بلور مایع و پلی‌اوره‌ها وجود دارد. با این وجود پلی‌اوره‌های بلور مایع کمتر در مقالات مشاهده می‌شوند، زیرا دمای ذوب پلی‌اوره‌های آروماتیک در بیشتر موارد بالاتر از دمای تخریب آن‌ها است که از چگالی بالای پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی و زنجیر صلب ماکرومولکولی ناشی می‌شود.

در سال ۱۹۹۷ ولینسکا (Wolinska) پلی‌اوره بلور مایع را از واکنش ۴-دی‌آمینو بی‌فنیل با ۲ و ۴-تولوئن دی‌ایزوسیانات و پلی‌اکسی‌ترامتیلن دی‌ال تهیه کرد و در سال ۱۹۹۹ دو نوع از پلی‌اوره‌های بلور مایع از ۴-دی‌آمینو بی‌فنیل یا ارتوتولوئیدین با ۱ و ۶-هگزان دی‌آمین و ۲ و ۴-تولوئن دی‌ایزوسیانات تهیه شدند.

پلی (اوره - استر) ها نیز از جمله پلیمرهای بلور مایع نوین هستند که منومر اولیه آن‌ها از واکنش ۲ و ۴-تولوئن دی‌ایزوسیانات با پارا-آمینو فنل در حلال DMF تهیه می‌شود و سپس از واکنش دی‌ال با ترفتالوئیل کلراید در حلال دی‌متیل استامید، پلیمر بلور مایع اوره - استر تهیه می‌شود [۸].

۳-۴ رزین‌های پلی‌اوره

رزین‌های پلی‌اوره از واکنش منومرهای شامل گروه عاملی آمینی یا پلی‌آمین‌ها با ایزوسیانات‌ها مشتق می‌شوند. گروه ایزوسیانات می‌تواند با آب واکنش دهد و پوشش‌های پلی‌اوره‌ای با پخت رطوبتی را تولید کند. فرایند واکنش پخت با رطوبت در معادله‌های شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ فرایند واکنش پخت با رطوبت

گروه ایزوسیانات با آب واکنش کرده و حد واسط کربامیک‌اسید را تولید می‌کند، که ناپایدار بوده، به سرعت به آمین و دی‌اکسیدکربن تجزیه می‌شود. آمین حاصل با گروه دیگری از ایزوسیانات واکنش می‌دهد و شبکه اوره‌ای را تولید می‌کند [۹].

۴ خواص فیزیکی و شیمیایی پلی‌اوره‌ها

۱-۴ دمای ذوب

ساختار قطبی پلی‌اوره‌ها باعث می‌شود که نقطه ذوب بالاتری نسبت به پلی‌آمیدهای مربوطه داشته باشند زیرا انسجام (چسبندگی) مولکول در آن‌ها بیشتر است. پلی‌اوره‌های آلیفاتیک نقطه ذوب پایین‌تری نسبت به پلی‌اوره‌های آروماتیک دارند. در پلی‌اوره‌های آلیفاتیک با افزایش گروه متیلن نقطه ذوب کاهش می‌یابد.

۴-۲ دمای انتقال شیشه‌ای (Tg)

Tg به ساختار بستگی دارد و برای ساختارهای آلیفاتیک زیر ۱۰۰°C و برای پلی‌اوره‌های آروماتیک بالای ۱۰۰°C است.

۴-۳ حلالیت‌پذیری

پلی‌اوره‌ها به دلیل ساختار قطبی که دارند در حلال‌های آلی کمتر حل می‌شوند، پلی‌اوره‌های آلیفاتیک در حلال‌هایی نظیر فنل، کروزل و اسیداستیک قابل حل هستند، اما پلی‌اوره‌های آروماتیک در حلال‌های قطبی غیرپروتونی نظیر DMF، NMP قابل حل هستند. تقارن یا عدم تقارن منومرهای آروماتیک در حلالیت پلی‌اوره‌ها مؤثر است.

۴-۴ جمع‌شدگی در طول پخت

چون شکل‌گیری پلی‌اوره‌های الاستومری بر اساس واکنش گرماسخت است، در طول پخت مقداری جمع‌شدگی خطی اتفاق می‌افتد. این انبساط/انقباض حرارتی به علت تغییرات دما نیست. مقدار کل جمع‌شدگی به ترکیبات فعال ایزوسیانات و اجزای ترکیب رزین بستگی دارد. حتی اگر سامانه‌های الاستومری ازدیاد طولی بیش از ۲۰٪ داشته باشند، این افزایش جمع‌شدگی خطی ممکن است به حدی شدید باشد که گوشه‌ها و لبه‌های به کار گرفته شده را پیچانده و منجر به تخریب شود. سامانه‌های الاستومری پلی‌اوره باید برای پوشش‌ها و کاربردهای مشخص، از پیش طراحی شوند.

۴-۵ مقاومت در برابر هوازدگی

از دیدگاه عملکردی، سامانه‌های آروماتیک پلی‌اوره مقاومت خوبی در برابر نور ماورابنفش دارند ولی حتی با استفاده از تثبیت‌کننده‌های نور UV و آنتی‌اکسیدان‌ها در محیط‌های بیرونی بعد از مدتی، کم‌رنگ یا بی‌رنگ می‌شوند. سامانه‌های آلیفاتیک پلی‌اوره، مقاومت عالی در برابر تخریب توسط اشعه ماورابنفش دارند و برای انواع کاربردهای داخلی و بیرونی استفاده می‌شوند. با اصلاح سامانه‌های آروماتیک و با قرار دادن ایزوسیانات‌ها یا زنجیر افزایش‌دهنده‌های آلیفاتیک، بهبود در ثبات رنگ به دست می‌آید. با این حال این پلیمرها هنوز هم ترکیبات آروماتیک در زنجیر اصلی پلیمری دارند و در عمل ثبات رنگی کاملی ندارند.

۴-۶ پایداری حرارتی

پلی‌اوره‌ها پایداری حرارتی بالاتری نسبت به پلی‌یورتان‌ها و پایداری حرارتی پایین‌تری نسبت به پلی‌آمیدها دارند. پایداری

حرارتی گروه اوره‌ای به فاز آن در دمای حرارتی وابسته است. برای مثال پلی‌هگزامتیلن اوره با نقطه ذوب ۳۰۰°C را می‌توان تا دمای ۲۶۰°C بدون تخریب حرارت داد.

۴-۷ پایداری هیدرولیزی

پلی‌اوره‌ها از پایداری شیمیایی خوبی در برابر آب‌کافت تحت شرایط اسیدی و بازی برخوردار هستند [۱۰ و ۱۱].

۵ کاربرد پلی‌اوره‌ها

پلی‌اوره‌ها کاربردهای متنوعی دارند. از پلی‌اوره‌ها در جوهرها، رنگدانه‌ها، داروها و میکروکپسول‌دار کردن علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. پلی‌اوره‌های شامل گروه‌های کربوکسیلیک و سولفونیک، پلی‌الکترولیت‌هایی با ویژگی آب‌دوستی و اثرات بافری هستند و به عنوان مبادله‌گر یونی عمل می‌کنند، که برای زدودن قیر، روغن و مواد دیگر از آب زائد به طریق شناورسازی به کار می‌روند.

همچنین از آن‌ها به عنوان عایق الکتریکی سیم‌های مسی، با انعطاف‌پذیری بالا و مقاومت در برابر گرما و ساییدگی استفاده می‌شود.

برای استخراج نفت از چاه‌های نفتی با تزریق پلی‌آمین و پلی‌ایزوسیانات در چاه، پلی‌اوره تولید می‌شود که در تجمع شن‌های روغنی و جلوگیری از ریزش و متورم شدن خاک رس نقش دارد. از پلیمرهای تجاری حاوی گروه اوره‌ای برای پوشش سطح استفاده می‌شود. کاربرد پلی‌اوره‌های بلور مایع در پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر، پیژوالکتریک‌ها، غشاهای نفوذپذیر، مواد دارویی و مواد مقاوم در برابر آب‌کافت گزارش شده است.

سامانه‌های دو جزئی پوشش و لایه‌نشانی پلی‌اوره‌ای جدیدترین فناوری در صنعت پوشش و لایه‌نشانی به شمار می‌روند. سامانه‌های پلی‌اوره برخی مواقع به عنوان سامانه‌های دو جزئی اصلاح‌شده پلی‌یورتانی توصیف شده‌اند، ولی با این که هر دو سامانه برخی ویژگی‌های مشترک دارند ولی سامانه پلی‌اوره به خودی خود فناوری منحصر به فردی است.

سامانه‌های دو جزئی پلی‌اوره، همانند سامانه‌های دو جزئی پلی‌یورتان عمل کرده، معمولاً در کمتر از ۳۰ ثانیه، بدون استفاده از کاتالیست پخت شده خشک می‌شوند.

سرعت خشک شدن این سامانه‌ها منجر می‌شود که در طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی، به شکل مقاوم و یکنواخت رفتار نمایند. زمان واکنش خشک شدن تقریباً



شکل ۹ مخازن پوشش داده شده با پلی‌اوره

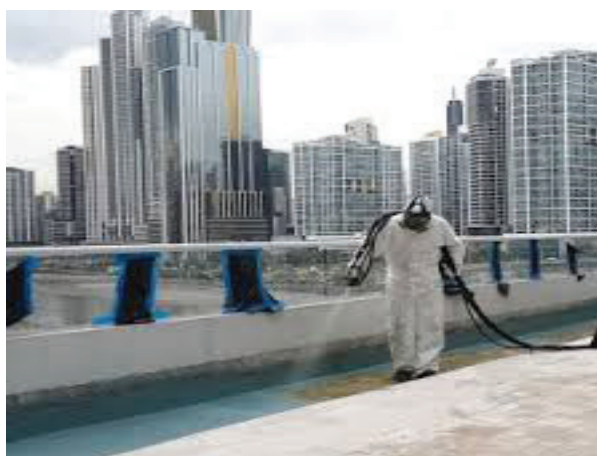
آمینی و یا زنجیرافزاینده‌های با گروه پایانی آمینی باشد. رزین پلیمری با گروه پایانی آمینی باید فاقد هرگونه بخش هیدروکسیلی باشد. وجود عامل هیدروکسیل نتیجه تبدیل ناقص به رزین پلیمری با گروه پایانی آمینی است.

همچنین ممکن است ترکیب رزین حاوی مواد افزودنی یا اجزای پرکننده باشد، این مواد افزودنی ممکن است شامل ترکیبات هیدروکسیل دار همانند رنگدانه‌های پیش پراکنده در حامل پلی‌ال باشد. پلی‌اوره‌ها به عنوان ماده چند منظوره مسدودکننده و درزگیر استفاده می‌شوند. پلی‌اوره‌ها درزگیرهایی منعطف و با دوام هستند که مانع ورود هوا می‌شوند و قابل استفاده در انواع درزهای ساختمان هستند (شکل ۷). پلی‌اوره به دلیل خاصیت ازدیاد طول زیاد و استحکام کششی بالا برای پر کردن ترک‌ها مناسب است. زمان پخت سریع و عدم حساسیت به رطوبت برای نصب سریع‌تر، منجر به کاربردهای گسترده‌تر می‌شود (شکل ۸). پوشش‌های پلی‌اوره، مخازن فولادی را از خوردگی، مواد شیمیایی و هوازدهی و عوامل محیطی حفاظت می‌کنند. پلی‌اوره‌ها برای افزایش طول عمر مخازن، کارآمد بوده، ویژگی‌های ساختاری مناسبی ارائه می‌دهند. پوشش‌ها و آسترهای پلی‌اوره در مقابل بسیاری از مواد شیمیایی و صنعتی مقاوم هستند. با مزایای کاربرد سریع و توانایی چسباندن بسترهای آماده شده مناسب، پلی‌اوره‌ها برای پوشش اولیه مخازن ذخیره‌سازی، گزینه ایده‌آلی هستند (شکل ۹).

سامانه‌های کف‌پوش پلی‌اوره علاوه بر مزایای سامانه‌های کف‌پوش پلی‌یورتان، قابلیت نصب و کاربری سریع دارند.



شکل ۷ سامانه درزگیری با پلی‌اوره



شکل ۸ ترمیم ترک‌ها با پلی‌اوره

مستقل از رطوبت محیط است. سامانه‌های پلی‌اوره معمولاً فاقد حلال یا ترکیبات آلی فرار هستند.

سامانه‌های پلی‌اوره با فعالیت کاهش یافته، واکنش کندتر و زمان پخت قابل تنظیم و اصلاح شده در زمینه درزگیر و سامانه‌های پرکننده کاربرد پیدا کرده‌اند.

پوشش‌های الاستومر پلی‌اوره از واکنش میان جزء ایزوسیانات و جزء مخلوط رزین به دست می‌آید، ایزو سیانات‌ها می‌توانند آروماتیک یا آلیفاتیک باشند و می‌توانند منومر، پلیمر یا هر مخلوط افزایشی از ایزوسیانات پیش پلیمری باشند.

پیش پلیمر یا پیش پلیمر کاذب می‌تواند از رزین پلیمری با گروه پایانی آمینی یا رزین پلیمری با گروه پایانی هیدروکسیلی تشکیل شود.

مخلوط رزین باید از رزین پلیمری با گروه پایانی

پلی‌اوره‌ها برای محیط‌های پر رفت و آمد بسیار مقاوم و عالی هستند. آن‌ها در اتاق‌های تمیز/کثیف به عنوان عایق آب و پوشش محافظ برای جلوگیری از نوظافت روزانه استفاده می‌شوند. در مکان‌های حساس، با طراحی کف‌پوش‌های پلی‌اوره‌ای بهبودیافته و انعطاف‌پذیر، می‌توان از آن‌ها به عنوان ضربه‌گیر برای محافظت از اشیایی که ممکن است روی کف بیفتند، استفاده کرد (شکل ۱۰).

برخی پلی‌اوره‌ها به علت خاصیت آب‌گریزی و مقاومت در برابر مواد شیمیایی معمولاً در قطعات ماشین استفاده می‌شوند. ماشین‌های باری سبک با پوششی از جنس پلی‌اوره از استحکام و مقاومت در مقابل سایش بهره‌مند می‌شوند. این ماشین‌ها معمولاً برای حمل بارهایی مانند زغال، شن و دیگر مواد سایشی استفاده می‌شوند (شکل ۱۱) [۵ و ۹-۷ و ۱۱].

۶ نتیجه‌گیری

پلی‌اوره‌ها، گروه مهمی از پلیمرهای تراکمی هستند که معمولاً از واکنش دی‌ایزوسیانات‌ها با دی‌آمین‌ها تهیه می‌شوند. خواص منحصر به فرد این پلیمرها موجب شده است تا کاربردهای گسترده‌ای از این پلیمرها در صنایع مختلف بروز کند. پلی‌اوره‌ها در جوهرها، رنگدانه‌ها، داروها و میکروکپسول‌دار کردن علف‌کش‌ها، مبادله‌گر یونی، عایق الکتریکی برای سیم‌ها، استخراج نفت، انواع پوشش‌ها و پوشش‌های سطح، مواد زیست تخریب‌پذیر، غشاهای نفوذپذیر، مواد دارویی و مواد مقاوم در برابر آبکافت و موارد دیگر کاربرد دارند.



شکل ۱۰ کف‌پوش پلی‌اوره‌ای



شکل ۱۱ پوشش پلی‌اوره‌ای بر روی ماشین باری

مراجع

1. Joshi M., Jauhari S., Polyureas: Synthesis, Characterization and Dyeing Application in Nylon and Polyester, *Polym. Plast. Technol. Eng.* 50, 485-489, **2011**.
2. Mahammad I.A., Mahadevan V., Srinivasan M., Synthetic Studies on Aliphatic-Aromatic Copolyureas, *Eur. Polym. J.* 25, 427-429, **1989**.
3. Mehdipour-Ataei S., Bahri-Laleh N., Rabei A., Saidi S., Structure-Property Relationships of Soluble Poly(ester-urea)s Containing Naphthyl Groups, *High Perform. Polym.* 19, 283-295, **2007**.
4. Joshi M., Jauhari S., Desai K.R., Polyureas: Synthesis and Characterization, *Chem Tech.* 3, 29-32, **2011**.
5. Sendijarevic V., Sendijarevic A., Sendijarevic I., Bailey R.E., Pemberton D., Reimann K.A., Hydrolytic Stability of Toluene Diisocyanate and Polymeric Methylenediphenyl Diisocyanate Based Polyureas Under Environmental Conditions, *Environ. Sci. Technol.* 38, 1066-1072, **2004**.
6. Ehsani S., Mehdipour-Ataei S., Mahmoodi A., Synthesis and Characterization of Novel Pyridine-Based Polyureas with Enhanced Solubility and High Thermal Stability, *J. Appl. Polym. Sci.* 126, 608-613, **2012**.
7. Das G., Deka H., Karak N., Bio-Based Sulfonated Epoxy/Hyperbranched Polyurea-Modified MMT Nanocomposites, *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.* 62, 330-335, **2013**.
8. Hedao R.K., Mahulikar P.P., Chaudhari A.B., Rajput S.D., Gite V.V., Fabrication of Core-Shell Novel Polyurea Microcapsules Using Isophorone Diisocyanate (IPDI) Trimer for Release System, *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.* 62, 109-118, **2013**.
9. Buecking K.A., New Spraying Technology Comes Onto the Scene: Polyurea Two-Component Sprayed Elastomers: Systems, Properties, Possible Applications, *Eur. Coat. J.* 10, 730-731, **1998**.
10. Esfahanizadeh M., Sabbaghian E., Mehdipour-Ataei S., Jalilian S., Babanzadeh S., Synthesis and Characterization of New Polyureas with Improved Thermal Stability from a Novel Ether Keto Diamine, *Adv. Polym. Technol.* 34, 1-9, **2015**.
11. Yin W., Lu, H., Leventis N., Rubenstein D.A., Characterization of the Biocompatibility and Mechanical Properties of Polyurea Organic Aerogels with the Vascular System: Potential as a Blood Implantable Material, *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.* 63, 352-360, **2014**.