

# پلی کربنات‌ها: روش‌های سنتز و کاربردها

## Polycarbonates: Synthetic methods and Applications

حسن دبیری اصفهانی، اعظم رحیمی، سلوی فرهنگ زاده، نوشین سجادی

مرکز تحقیقات پلیمر ایران

دریافت: ۷۳/۳/۱، پذیرش: ۷۳/۵/۲۲

### چکیده

رزین‌های پلی کربنات با مشخصه اتصال‌های  $O-C(=O)-O$  در مقیاس تجاری در سال ۱۹۶۰ تولید و عرضه شدند. این مواد به دلیل چقرمگی در قطعات قالبگیری شده در شمار گرماترمهای مهندسی به حساب می‌آیند. رشد فزاینده مصرف پلی کربنات‌ها در جهان به دلیل مزایای بیشمار از جمله پایداری ابعادی، مقاومت در برابر ضربه و شفافیت آنهاست.

کاربرد این رزین‌ها روز به روز گسترده‌تر می‌شود و پژوهش‌های وسیعی در جهت بهبود خواص این ترکیبات در حال انجام است. مهمترین کاربرد این مواد در ساخت شیشه‌های نشکن، کالاهای مصرفی و خانگی مانند بطری‌های چندبار مصرف و ظرفشویی‌ها؛ وسایل الکتریکی مانند جعبه تقسیم برق، تجهیزات عکاسی و نوری؛ وسایل ورزشی؛ ساختمان؛ وسایل پزشکی مانند دستگاه دیالیز و بسته‌بندی؛ سیستم‌های ذخیره داده‌های نوری لیزر؛ ارتباطات و فیلم‌هاست. امروزه پلی کربنات‌ها به سه روش استری کردن تبادل، فزون دار کردن محلول و فزون دار کردن سطح مشترک تولید می‌شوند و در این زمینه شرکت‌های تولید کننده طراحی‌های مختلفی را برای واحدهای صنعتی خود ارائه کرده‌اند. این طراحی‌ها بر مبنای شرایط اقتصادی و صنعتی، ظرفیت و نوع پلی کربنات تولیدی متفاوت‌اند. پژوهش‌هایی نیز در زمینه تولید بدون فزون انجام گرفته که به مرحله بهره‌برداری صنعتی نرسیده است. با توجه به مصرف روز افزون پلی کربنات‌ها در ایران و وارداتی بودن آن، پژوهش درباره روش‌های ساخت این رزین‌ها در جهان و انتخاب روشی مناسب با توجه به شرایط صنعتی و اقتصادی کشور آغاز شد تا پس از تولید آزمایشگاهی و به دست آوردن داده‌های لازم کار با طراحی و ساخت یک واحد نیمه صنعتی ادامه پیدا کند. هم‌اکنون روش مورد نظر پس از بررسی‌های کامل انتخاب شده و تولید آزمایشگاهی بیس فنول A، یکی از مواد اولیه عمده پلی کربنات، آغاز شده است.

واژه‌های کلیدی: پلی کربنات، بیس فنول A، روش‌های سنتز، استری کردن تبادل، فزون دار کردن

**Key Words:** polycarbonate, bisphenol A, synthetic methods, transesterification, phosgenation

### مقدمه

برابر تغییر شکل در اثر گرما و خواص الکتریکی سبب توسعه کاربردهای این پلاستیک‌ها شده است. انواع جدید کاربردهای در حال رشد سریع عبارت‌اند از: شیشه کاری، روشنایی و علایم [۳].

در انواع جدید پلی کربنات بر خواصی چون مقاومت در برابر شعله و پرتوهای فرابنفش، مقاومت مار، سختی ساختار در ترکیب با استحکام ضربه‌ای، مناسبیت برای قالبگیری چرخشی و اسفنج‌های

رزین‌های پلی کربنات برای نخستین بار در مقیاس تجاری در سال ۱۹۶۰ تولید و به بازار عرضه شدند [۱]. روند روبه رشد مصرف پلی کربنات‌ها در بازارهای جهانی به دلیل کاربردهای متنوع و در حال توسعه آن در دهه‌های اخیر بسیار چشمگیر بوده است. پلی کربنات‌ها با داشتن چقرمگی در قطعات قالبگیری شده در طبقه گرماترمهای مهندسی برجسته قرار می‌گیرند [۲]. ترکیب بی‌نظیر خواص از جمله شفافیت، مقاومت در

جدول ۱ - قیمت و مصرف پلی کربنات در ایران و جهان.

مصرف (سال / تن)				قیمت	
ایران		جهان		ایران	جهان
				(تن / ریال)	(تن / دلار)
۱۳۷۸ >	۱۳۷۷	۱۳۷۲	۱۹۹۲	۱۹۸۴	۳۲۰,۰۰۰
۷۰۰۰	۴۰۰۰	۳۵۰۰	۵۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰	۴۰۰۰
۸۰۰۰					

خش و آب و خواص مکانیکی خوب رقیب مناسبی برای شیشه در صنایع نوری به شمار می‌روند [۴، ۵].

#### پلی کربناتهای آروماتیک

پلی کربناتهای آروماتیک از نوع  $\text{[ArOCOO]}_n$  می‌باشند که Ar یک ساختار آروماتیک است.

پلی کربناتهای آروماتیک از واکنش بیس فنولها با مشتقات کربنیک اسید تهیه می‌شوند. بیس فنول معمولاً ۲،۲ - بیس (۴ - هیدروکسی فنیل) پروپان (بیس فنول A) و مشتقات کربنیک اسید، فسژن یا دی فنیل کربنات است. روش سنتز بدون فسژن در حال بررسی است [۶]. آرایش مونومرهای متراکم در پلیمر می‌تواند خطی، شاخه دار یا درشت مولکول باشد که با شرایط واکنش کنترل می‌شود.

با مونومرهای تک عاملی مانند فنول می‌توان زنجیر را پایان داد که این مونومرها قادرند وزن مولکولی را تنظیم کنند و خواص پلیمر را تحت تاثیر قرار دهند. با استفاده از ترکیبات چند عاملی می‌توان پلیمر را شاخه دار کرد [۶].

روشهای تهیه پلی کربناتهای آروماتیک عبارتند از: استری کردن تبدلی، فسژن دار کردن محلول، فسژن دار کردن سطح مشترک و سنتز بدون فسژن که در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرند.

#### بحث

در این بخش روشهای تهیه شیمیایی و صنعتی، مقایسه روشها از نظر اقتصادی و صنعتی، خواص و کاربردها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### روشهای تهیه شیمیایی

همان طور که اشاره شد چند روش برای تهیه پلی کربنات با استفاده از بیس فنول A (BPA) وجود دارد که به ترتیب درباره آنها بحث می‌شود.

#### استری کردن تبدلی

در فرایند استری کردن تبدلی [۷]، دی استرهای آروماتیک کربنیک اسید بادی هیدروکسی دی آریلها در حضور کاتالیزورهای بازی متراکم

ساختاری تاکید می‌شود. نفوذ پلی کربناتها در بازارهای سنتی سایر رزینها و فلزات، به دلیل روند نزولی قیمت آنها با افزایش ظرفیت تولید است. متوسط قیمت این رزین در سه سال گذشته در بازارهای بین‌المللی تن / دلار ۴۰۰۰ و در ایران تن / دلار ۵۰۰۰ بوده است. جدول ۱ قیمت و مصرف پلی کربنات در ایران و جهان و جدول ۲ تولیدکنندگان عمده را نشان می‌دهد [۲، ۳].

جدول ۲ - تولیدکنندگان عمده پلی کربنات [۲، ۳].

نام منطقه	تولیدکنندگان عمده
آمریکا	جنرال الکتریک، موبی وداو
اروپا	بایر، جنرال الکتریک، آتیک، ATO و روسیه
خاور دور	تاجین، میتسوبیشی، دامیستو و چین

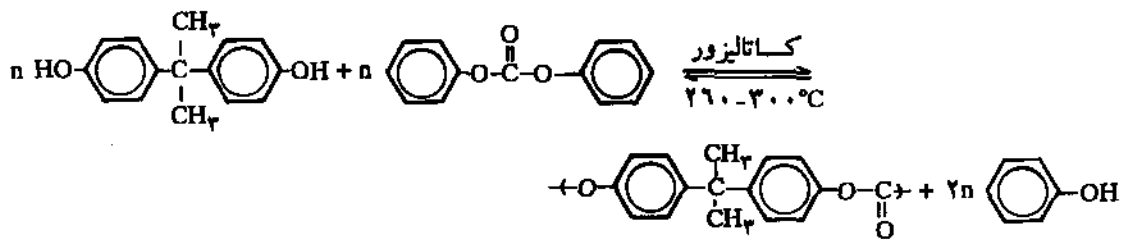
#### پلی کربناتهای آلیفاتیک

این نوع پلی کربنات نسبت به نوع آروماتیک آن از اهمیت کمتری برخوردار است. مواد اولیه برای پلی کربناتهای آلیفاتیک دیولها و کربناتها می‌باشند. روشهای معمول تهیه این نوع پلی کربناتها شامل استری کردن تبدلی (transesterification) دیولها بادی آلکیل کربناتهای سبکر، دیوکسولانونها یا دی فنیل کربنات در حضور کاتالیزورهایی چون فلزات قلیایی، قلع و آمیزه‌های تیتان است.

بر خلاف پلی کربناتهای آروماتیک نوع آلیفاتیک آن به ندرت به عنوان گرما نرم به کار می‌رود. پلی کربناتهای آلیفاتیک به صورت محصول هم تراکمی توده (block cocondensate)، خواص سایر محصولات هم تراکمی پلیمری را اصلاح می‌کنند. پلی کربناتهای آلیفاتیک دارای گروه هیدروکسیل، به طور گسترده به عنوان جزء دیولها در سنتز پلی یورتانها و الاستومرهای پلی یورتان - اوره به کار می‌روند [۱].

پلیمرهای دارای پیوندهای عرضی بیس آلکیل کربناتها توسط پلیمر شدن رادیکال آزاد تهیه می‌شوند و به ویژه آن دسته که پایه دی اتیلن گلیکول دارند، به علت شفافیت نوری زیاد و مقاومت در برابر

می شوند و پلی کریناتهای با وزن مولکولی بالا به دست می آیند، مثلاً:



به طور کمی برداشته شود [۱].

فسژن دار کردن سطح مشترک

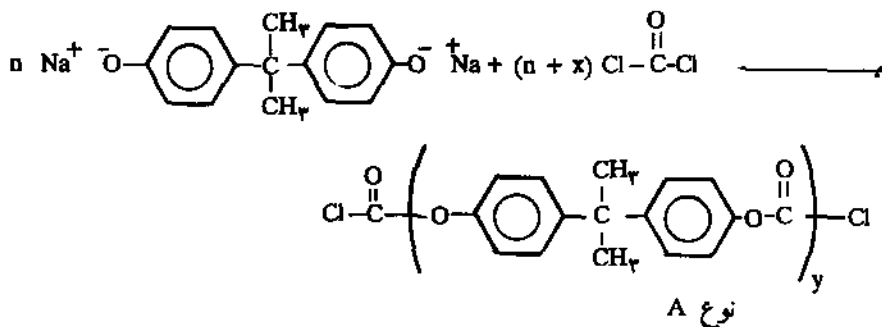
پلیمر شدن سطح مشترک ابتدا در فارین فابریک بایر AG ابداع شد و توسط بیشتر تولید کنندگان پلی کرینات به کار برده می شود [A]. در مرحله اول، نمک دی سدیم بیس فنول A در محلول قلیایی آبی یا به صورت تعلیق در حضور یک حلال آلی بی اثر فسژن دار می شود. این ترکیب حلالی مناسب برای فسژن است. این حلال طی واکنش نیز محیطی برای آریل کلروکریناتها و الیگوکریناتهای تشکیل شده، به شمار می آید. حلالهای متداول عبارتند از: هیدروکرینهای کلردار مانند متیل کلرید، ۱ و ۲ - دی کلرواتان، کلروبنزن و کلروفرم و همچنین تتراهیدروفران، دیوکسان و اتیلول [۱].

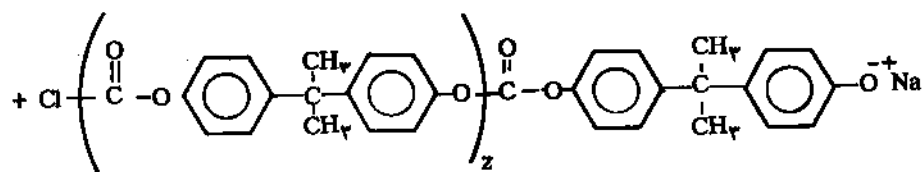
در مرحله دوم، الیگوکریناتها روی کاتالیزورها، که می توانند قبل یا در حین فسژن دار کردن اضافه شوند، تراکم می شوند و پلی کریناتهای با وزن مولکولی بالا تولید می کنند. آمینهای نوع سوم به عنوان کاتالیزور اثر ویژه دارند. با استفاده از یک آمین به عنوان کاتالیزور، واکنش به یک پلیمر شدن تراکمی شباهت پیدا می کند. در مرحله اول، مونومرها و الیگومرهای نوع C, B, A تهیه می شوند:

برای به دست آوردن محصولات با وزن مولکولی بالا باید تعادل به سمت راست برود که با تقطیر فنول در فشار کاهش یافته در دمای بالا عملی می شود [۶]. مزایای استری کردن تبدیلی مذاب، غیاب حلالها و مراحل بازیابی مربوط و به عمل آوردن آسان پلیمر است. ولی برای دماهای بالا، فشارهای پایین و گرانروی مذاب بالای پلیمر، دستگاه پیچیده ای لازم است. به علاوه، واکنشهای جانبی رنگ اندکی زرد به محصول می دهند و در حالت مذاب تنظیم وزن مولکولی با همان دقتی که در فرایندهای تراکمی به دست می آید، مشکل است. در نتیجه، این فرایند برای تولید دامنه وسیعی از محصولات مناسب نیست [۱].

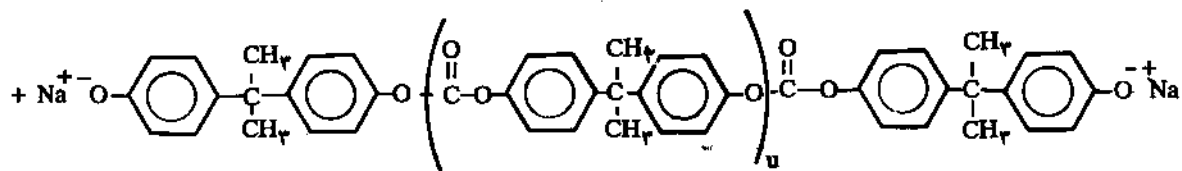
فسژن دار کردن محلول

پلیمر کردن محلول برای دوره کوتاهی کاربرد داشت. بیس فنول A در مخلوطی از هیدروکرینهای کلردار و پیریدین، فسژن دار می شود [۷]. پیریدین به عنوان پذیرنده اسید و کاتالیزور تراکم عمل می کند. اجرای واکنش آسان است، زیرا فسژن در محیط بی آب آبکافت نمی شود. از سوی دیگر، پیریدین گران است و بازیابی آن هزینه بر می دارد. حضور حتی مقادیر ناچیز پیریدین طی فراورش گرانم پلیمر ممکن است منجر به تغییر رنگ شود. بنابراین، این ماده باید در خلال کار





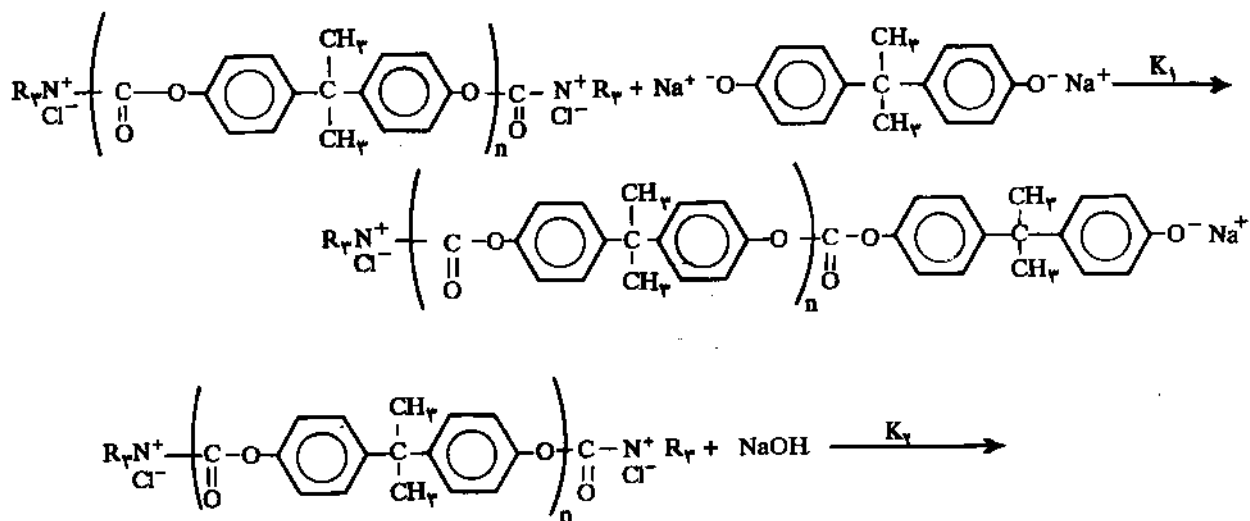
نوع B

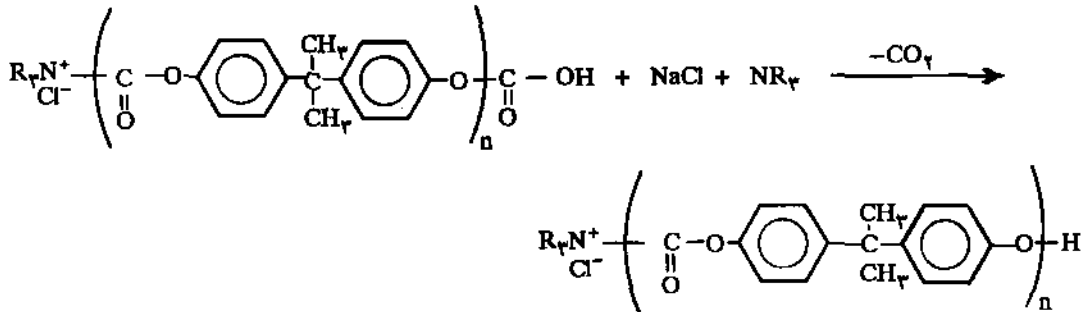


نوع C

در مرحله دوم، پلیمر شدن در حضور کاتالیزورهای آمین نوع سوم صورت می‌گیرد. برای متراکم شدن به پلی کربناتهای با وزن مولکولی بالاتر نسبت کلروفورمات به گروههای فنولات انتهایی، که در مرحله اول تثبیت می‌شود، باید بیشتر از واحد باشد که به دلیل شیوه اثر کاتالیزورهای آمینی مصرفی، به ویژه تری اتیل آمین، است. فرض می‌شود که آمینها با گروههای کلروفورمات انتهایی واکنش می‌دهند تا محصولات اضافی شبه نمک تولید کنند که باعث می‌شوند کربن کربونیل آسانتر در معرض بخشهای هسته دوست قرار گیرد. فنولات و یونهای OH<sup>-</sup> به عنوان هسته دوست با هم رقابت می‌کنند و واکنشهای زیر روی می‌دهد:

که در آن x از ۰ تا ۱۰۰٪، y از ۰ تا ۱۰۰٪، z از ۰ تا ۱۰۰٪ و u از ۰ تا ۱۰۰٪ تغییر می‌کند. ترتیب واکنش بالا هم در دو فاز و هم در مرز فازها به نوع ترکیب بستگی دارد. فسژن (حدود ۲۰٪ اضافی) حل شده در فاز آبی با بیس فنول A موجود به صورت نمک دی سدیم در فاز قلیایی آبی واکنش می‌دهد و مونو یا دی کلروفورمات تشکیل می‌شود. این واکنش در مرز فازها صورت می‌گیرد. واکنش به سرعت انجام می‌گیرد و تلفات فسژن به دلیل آبکافت کم است. این واکنش با متراکم شدن بیس فنول A مونو- یا دی کلروفورماتها در واکنشی که کندتر از تشکیل آنهاست دنبال می‌شود. واکنش کلروفورمات با گروههای فنولات انتهایی، الیگومرهای واکنش پذیر نوع C, B, A تولید می‌کند [۱].





تهیه محلول پلی کرینات توصیف شده است [۱۰]. در حال حاضر، روشهای برتر خشک کردن افشانه‌ای و کار با یک اکسترودر فرارزدایی (devolatilization) است. روشهای تهیه قدیمی تر از رسوبگیری پلی کرینات با افزایش تولوئن، سیکلو هگزان یا پروپان بهره می‌جستند. در روش جدیدی از ۴- هیدروکسی بتزوئیک اسید، ۴- هیدروکسی بنزن سولفونیک اسید، ۴- N' - دی متیل آمینو فنول و مشتقات یدو آمونیوم به عنوان عوامل پایان دهنده زنجیر دو عاملی در واکنش بین بیس فنول A و فسژن استفاده شده است. بدین ترتیب تهیه α و ω کربوکسیلیک و سولفونیک اسید پلی کریناتها به روشی قابل کنترل ممکن شده است [۱۱].

پلیمر شدن سطح مشترک فراگیری وسیعی در تولید صنعتی انواع گسترده‌ای از پلی کریناتها دارد، که از مزایای آن علاوه بر عدم مصرف حلالها و بازیابی آنها، عدم نیاز به روشهای تهیه پیچیده است. در جدول ۳ مزایا و معایب هر سه فرایند تولید پلی کرینات ارائه شده‌اند [۲].

#### سنتز بدون فسژن

واکنش دی هیدروکسی دی آریل آلکان و کربن مونوکسید برای تولید پلی کریناتهای با وزن مولکولی بالا توسط یک روش کاتالیزوری هنوز مراحل آزمایشگاهی را می‌گذرانند. فرایند مستلزم اکسایش فنولهای دو عاملی توسط هوا و به کمک کمپلکسهای فلزی گروه VIII B، به طور عمده ترکیبهای P، است.

آمینهای نوع سوم ممانعت شده به عنوان بازهای کمکی مصرف می‌شوند. دلایل بازده کم این روش مقادیر خیلی اضافی کاتالیزور و باز مورد نیاز و وزنهای مولکولی پایین قابل دستیابی (۱۷۰۰ تا ۱۱۰۰۰) است. از مشکلات دیگر این روش، جداسازی پلی کرینات است.

واکنش کاتالیزوری بین فنول و کربن مونوکسید برای تولید دی فنیل کرینات به عنوان ماده اولیه برای استری کردن تبادلی در حال بررسی است. برای پلیمر کردن سطح مشترک پلی کریناتهای درشت

ثابت سرعت (K<sub>p</sub>) برای افزایش هسته دوستی کاتالیزوری باید بزرگتر از ثابت سرعت آبکافت (K<sub>d</sub>) گروههای کلروفورمات انتهایی باشد. در این صورت اطمینان حاصل می‌شود که وقتی تعداد اضافی گروههای کلروفورمات انتهایی وجود داشته باشد، تمام گروههای فنولات انتهایی که با آبکافت تشکیل شده‌اند، فوراً تبدیل می‌شوند. اگر نسبت کلروفورمات به گروههای فنولات انتهایی به مقدار ۱ کاهش یابد، مثلاً اگر K<sub>p</sub> < K<sub>d</sub> باشد، متراکم شدن پایان می‌یابد، که علت آن پایین بودن گروههای فنولات انتهایی اضافی و درجه پلیمر شدن است.

مصرف کاتالیزورهای انتقال فاز که معمولاً نمکهای انیم عناصر گروه V (نیترژن، فسفر یا آرسنیک) هستند باعث می‌شود که تشکیل پلیمر به گونه‌ای دیگر باشد. این کاتالیزورها برای بیس فنولهای ممانعت شده فضایی (تترامیل - و تترابرومیس فنول A) [۹] مفیدند که به عنوان حاملهای بین فازهای آبی و آلی عمل می‌کنند. کاتیون نمک انیم با آنیون فنولات واکنش می‌دهد و یک زوج یون آلی دوست تشکیل می‌شود که به فاز آلی مهاجرت می‌کند. در این فاز بخش فنولات با فسژن یا الیگوکریناتهای دارای گروههای کلروفورمات انتهایی واکنش می‌دهد. سرعت واکنش با نفوذ محصولات اضافی به درون فاز آلی و نفوذ برگشتی نمک انیم باز تشکیل شده به فاز آبی تعیین می‌شود.

درجه پلیمر شدن بستگی به اختلاط موثر امولسیون و محتوای قلیایی فاز آبی دارد. pH ثابت ۱۲ مطلوب است، هر چند pH ۸ تا ۱۰ نیز توصیه شده است. دما بین ۱۰ تا ۳۵°C است، ولی نوشتارهای ثبت شده اخیر فرایند به اصطلاح فسژن دار کردن داغ را توصیف کرده‌اند. وزن مولکولی مطلوب، M<sub>w</sub>، بیس فنول A پلی کرینات ۱۰،۰۰۰ تا ۲۰۰،۰۰۰ را می‌توان با افزودن پایان دهنده‌های زنجیر به دست آورد.

پس از تکمیل پلیمر شدن، فاز آلی شامل پلی کرینات از فاز آبی جدا می‌شود، که این فاز شامل نمکهای معدنی و قلیایی اضافی است. فاز آلی با آب شسته می‌شود تا خنثی و عاری از الکترولیت گردد (در صورت لزوم با اسید هم شسته می‌شود). چند روش خصوصی نیز برای

معایب	مزایا	فرایند
<ul style="list-style-type: none"> <li>- وجود واکنشهای جانبی ایجاد کننده رنگ زرد در محصول</li> <li>- مناسب نبودن برای تولید دامنه وسیعی از محصولات</li> <li>- نیاز به دستگاه پیچیده</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- غیاب حلالها</li> <li>- عدم نیاز به مراحل بازیابی</li> <li>- به عمل آوردن آسان</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>استری کردن تبادل</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- گرانی پیریدین</li> <li>- هزینه اضافی برای بازیابی پیریدین</li> <li>- عدم حذف مونومر با حذف پیریدین</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- اجرای آسان واکنش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>فسون دار کردن محلول</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>گزارش نشده</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- کمی تلفات فسون به دلیل آبکافت</li> <li>- انجام واکنش در دمای پایین (<math>30^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>- عدم نیاز به روشهای پیچیده</li> <li>- امکان تولید صنعتی انواع زیادی از پلی کربناتها</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>فسون دار کردن سطح مشترک</li> </ul>

۹۷٪ و اوزان مولکولی متوسط عددی تا ۱۵۸۰۰ قابل دستیابی است [۱۲].

#### روشهای تهیه صنعتی

اساس تمام پلی کربناتهای تجاری بیس فنول A (BPA) است، ولی BPA کلرومتیل استخلاف شده، محصولات پلی کربنات با خواص جالبی تولید می‌کند.

فرایندهای تجاری مهمتر برای تهیه پلی کربناتها مستلزم واکنش BPA با فسون در سطح مشترک یک محیط آلی بی اثر مثلاً متیلن کلرید و یک فاز آبی سود سوزآور است [۲].

انواع تریقی و اکستروژن پلی کربناتها مستلزم وزن مولکولی وزنی متوسط ( $M_w$ ) حدود ۳۵۰۰۰ دالتون است. پلی کربناتها معمولاً خواص خود را در پایتیر از ۲۰۰۰۰ دالتون از دست می‌دهند و بالاتر از ۴۰۰۰۰ دالتون در فراروش مشکلاتی ایجاد می‌کنند.  $M_w$  لازم برای تهیه فیلم حدود ۸۵۰۰۰ است [۱۳].

پلی کربناتهای شاخه‌دار برای کاربردهای قالبگیری دمشی با استفاده از ترکیبات فنولی سه عاملی تولید می‌شوند. دو فرایند معمول تهیه پلی کربناتها، پیوسته و نا پیوسته است.

حلقه‌ای، شرایط باید اصلاح شود. محلولی از بیس فنول A بیس کلروفرمات در متیلن کلرید بی آب به سرعت وارد یک محلول قلیایی آبی تری اتیل آمین می‌شود. مخلوط برای مدت معینی به هم می‌خورد و روی فاز آلی پلی کربنات دار به شیوه‌های معمول کار می‌شود.

نبرد گروههای انتهایی و گرانیروی پایین، حضور پلیمرهای درشت حلقه‌ای را نشان می‌دهد. با وجود این، تهیه وزنهای مولکولی ویژه با روشی انتخابی و تکرارپذیر مشکل است. پارامترهای بحرانی موثر بر وزن مولکولی ناشناخته‌اند و علت پیچیدگی پلیمر شدن تراکمی سطح مشترک این است که تنها در حضور مونوفنولها به عنوان تنظیم کننده‌های وزن مولکولی می‌توانند به صورت تکرارپذیر اجرا شوند [۱].

روش دیگر سنتز مستقیم پلی کربنات از واکنش کربن دیوکسید با مخلوطی از دیول، الکیل هالید و پتاسیم کربنات در یک راکتور و در فشار اتمسفر است. دیولهای مورد استفاده عبارت‌اند از: ۶،۱- هگزامتیلن دیول، ۴،۱۴- بوتن دیول، ۴،۱- دی متیل ۱- ۴،۱- بوتان دیول و ۴،۱- سیکلو هگزایلن دیول. در مورد دی هالید ۴،۱- بیس (کلرو متیل) بنزن، بهره‌های خوبی به دست آمده است. سایر دی هالیدها عبارت‌اند از: ۴،۱- دی برموبوتان و ۴،۱- دی یدوبوتان. با این روش بهره‌های تا

فرایند ناپیوسته

واکنش ناپیوسته در بیشتر فرایندهای سطح مشترک تجاری دخالت دارد. یک توالی عملیات نمونه به ترتیب زیر است: فسژن گازی یا مایع به راکتوری پمپ می‌شود که به خوبی به هم می‌خورد و شامل BPA در یک پاشیدگی آبی - آلی است.

محلول آبی سود طی واکنش اضافه می‌شود تا یک pH قلیایی تثبیت گردد. در پایان واکنش، که کمتر از یک ساعت طول می‌کشد (به طراحی واحد بستگی دارد)، فاز آلی شامل پلیمر از فاز آبی جدا می‌شود. آن‌گاه، برای حذف کاتالیزور که بازگردانی می‌شود و حذف ناخالصیها مانند سدیم کلرید محلول پلیمر شسته می‌شود. سپس محلول شسته شده با تبخیر ناگهانی (flashing) تغلیظ می‌گردد و از یک اکسترودر فرارزدایی (حذف مواد فرار) برای تولید نوارهای مذاب عبور می‌کند.

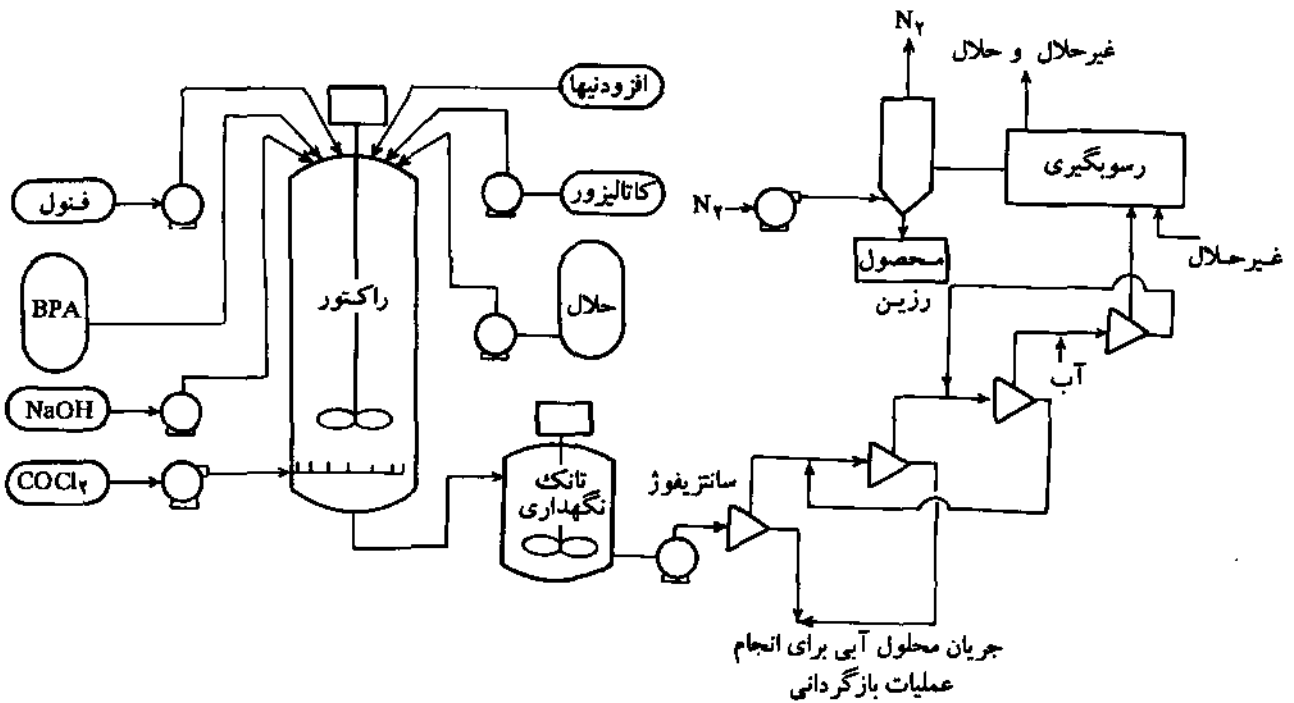
آن‌گاه، نوارها سرد شده و به صورت حبه خرد می‌شوند. ولی، فرارزدایی به طور مؤثر آخرین آثار حلال را حذف نمی‌کند. به روش جانشین، یک ضد حلال مثل متانول یا بخار ابر گرم [۱۴] می‌تواند برای رسوبگیری پلی کربنات به صورت پودر مصرف شود که پس از آن محصول خشک می‌شود.

عموماً برای آمیزه‌های رنگی، شکل پودری به عنوان محصول نهایی بر جبهای ترجیح داده می‌شود. بسته به ظرفیت واحد و کامل بودن

گروه تولیدی پلی کربنات، محلول آبی NaCl یا دور ریخته می‌شود یا برای تولید NaOH جهت بازگردانی الکترولیز می‌گردد. کلری که همراه با هیدروژن طی الکترولیز تولید می‌شود می‌تواند به فسژن تبدیل شود (شکل ۱). از آنجا که محدودیتهایی در حمل فسژن در مقیاس زیاد وجود دارد، فسژن در محل توسط سازندگان پلی کربنات تولید می‌شود [۳].

فرایند پیوسته

در حال حاضر، تنها چند فرایند پیوسته کاربرد تجاری دارند، ولی در دو دهه اخیر چندین فرایند ثبت شده وجود داشته است. فرایندهای ناپیوسته انعطاف پذیری کافی را برای برنامه‌های تولید گوناگون، مثلاً برای ساختن انواع محصولات، دارند. از سوی دیگر، فرایندی بر پایه واکنش پیوسته، دست کم در مورد یک نوع اختصاصی، می‌تواند مزایای مهمی از لحاظ فرایند پذیری، کنترل، ثبات محصول و صرف سرمایه کاهش یافته داشته باشد. تمام طراحیهای فرایند پیوسته یک عنصر مهم مشترک دارند. فسژن دار کردن BPA پیش از پلیمر شدن تراکمی کلروفرماتها، الیگومری در حضور یک کاتالیزور تولید می‌کند. سه شکل راکتور در گزارشها وجود دارد. طراحیها براساس راکتورهای تانکی به هم خورده مداوم (CSTR ها)، راکتور ستونی و طراحیهای هیبرید شامل راکتور ستونی و CSTR [۳].



شکل ۱ - نمودار ساخت پلی کربنات [۴].

## مقایسه روشها از نظر اقتصادی و صنعتی

به طور کلی، سه فرایند برای تهیه پلی کربنات وجود دارد که متناسب با بازار مصرف و وضعیت صنعتی - اقتصادی کشور باید یکی از آنها را برگزید. نبودن اطلاعات جامع و کاملی از وضعیت بازار مصرف پلی کربنات در ایران و عدم آشنایی مصرف کنندگان داخلی با انواع موجود آن در جهان موجب می شود تا انتخاب روش مناسب به طور عمده بر مبنای نوع پلی کربنات مصرفی قرار نگیرد، زیرا نوع پلی کربنات به دست آمده از هر یک از روشهای یاد شده با یکدیگر متفاوت است و در بعضی از آنها امکان گسترده‌گی دامنه محصولات میسر نیست. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، هر یک از فرایندها مزایا و معایب خاص خود را دارند که در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

مزایا و معایب گزارش شده فرایندهای مختلف تهیه پلی کربنات، نظیر نیاز به دمای بالا و حذف حلال، روی قیمت کلی یا کیفیت محصول تاثیر عمده می گذارد. فرایند استری کردن تبادلی دارای کمترین پتانسیل برای تولید پلی کربناتهاست. در این فرایند مذاب، حلال به کار نمی رود. بنابراین، انواع اکستروژن و قالب‌ریزی با حلال (solvent casting) آن به علت گرانروی بالای مذاب قابل تولید نیستند. در نهایت مقادیر جزئی مونومر یا الیگومر در محصول باقی می ماند و خطر آلودگی مواد غذایی در صورت تماس با آنها وجود دارد. در این روش امکان جداسازی مرحله‌ای با حلال وجود ندارد.

در مورد قیمت اگر تنها انواع قالبگیری تزریقی ساخته شود، با فرایند استری کردن تبادلی می توان ارزانترین محصول را به دست آورد. به علت عدم توانایی این فرایند در ایجاد انواع مختلف پلی کربنات، ککشی بازار به سمت این فرایند کمتر از سایر فرایندهاست. در جدولهای ۴ و ۵ روشهای یساده شده از نظر شرایط عملیاتی و سرمایه گذاری مقایسه شده‌اند. به نظر می رسد که روش استری کردن تبادلی به علت محدود بودن نوع محصول، دمای بالا و فشار پایین فرایندی نامناسب است. زیرا، دمای بالا و مذاب بودن فاز، پیچیدگی دستگاهها، تجهیزات و سیستمهای کنترل به کار رفته را به دنبال دارد. همچنین، تامین خلاء در صنعت خود هزینه‌ای اضافی را تحمیل می کند. زیرا در این روش از خلاء ۵ mmHg / ۰ و دمایی بیش از ۲۰۰°C استفاده می شود. اصولاً ایجاد فشار یا خلاء در واحدهای صنعتی مستلزم هزینه اضافی است، زیرا سیستمهای کنترل نصب شده بر تجهیزات خط تولید، به خصوص اگر فرایند پیوسته باشد، حتماً وارداتی بوده و مسئله نصب و نگهداری آنها مشکل آفرین است. علاوه بر آن، تجهیزات خط تولید گرانتر است و میزان سرمایه ثابت تولید را بالا می برد.

انواع رزینهای با کیفیت بالا توسط فرایندهای فسون دار کردن

محلول و سطح مشترک تولید می شوند. بر طبق برآوردها قیمت تمام شده محصول در این روش بیشتر از سایر روشهاست. زیرا، از پیریدین به عنوان پذیرنده اسید استفاده می شود. پیریدین ماده‌ای وارداتی و گران قیمت است و باید بازیابی شود. تجربه نشان داده است که ساخت تجهیزات بازیابی در ایران بسیار پرهزینه است. این بار مالی اضافی باعث افزایش سرمایه ثابت تولید می شود. بنابراین، در هر دو روش یاد شده بالا رفتن سرمایه ثابت تولید، افزایش قیمت تمام شده محصول را به دنبال خواهد داشت.

بنابراین، با توجه به جدول ۵ و مطالب یاد شده روش برتر، روش فسون دار کردن سطح مشترک خواهد بود. روشی که مورد پذیرش اغلب شرکتهای تولید کننده پلی کربنات در جهان نیز بوده و در عمل به کار گرفته شده است.

روش فسون دار کردن سطح مشترک می تواند به صورت پیوسته یا ناپیوسته باشد. فرایند پیوسته مستلزم طراحی پیچیده تر و سیستمهای کنترل در خط تولید (on line) می باشد. در اغلب موارد راکتورها و سیستمهای کنترل سوار شده بر آنها در خارج از کشور ساخته می شود. وارداتی بودن سیستمها، وابستگی واحد صنعتی به متخصصان خارجی را در صورت بروز هرگونه اشکال به دنبال دارد. قیمت تمام شده محصول در فرایندهای پیوسته کمتر از فرایندهای ناپیوسته است ولی این مسئله را نیز می توان با افزایش ظرفیت تولید در توسعه بعدی واحد برطرف کرد، چون با افزایش تولید، قیمت تمام شده محصول کاهش می یابد. از آنجا که میزان مصرف پلی کربنات در ایران روبه رشد است، بنابراین، بازار ایران کشش افزایش تولید را نیز دارد.

بدین ترتیب و با توجه به کلیه مطالب یاد شده روش فسون دار کردن سطح مشترک ناپیوسته انتخاب می شود.

## خواص بیس فنول A پلی کربنات

وزن مولکولی: بیس فنول A دارای وزن مولکولی متوسطی بین ۲۰,۰۰۰ تا ۲۰۰,۰۰۰ می باشد. جدول زیر وزن مولکولی مورد نیاز در فرایندهای مختلف را نشان می دهد:

تورینگ	تشکیل فیلم	اکستروژن	تورینگ
(دالتون) $\bar{M}_w$	۸۵,۰۰۰	۴۵,۰۰۰	۲۲,۰۰۰
			-۳۲,۰۰۰

انحلال پذیری: پلی کربنات در آب، الکلها، اسیدهای آلی و هیدروکربنهای آلیفاتیک و آلیفاتیک حلقه‌ای حل نمی شود. این پلیمر



جدول ۴ - مقایسه روشهای گزارش شده از نظر سرمایه گذاری، قیمت تمام شده و نوع راکتور [۲].

روشها	فسون دار کردن محلول (پیوسته)	فسون دار کردن محلول (ناپیوسته)	فسون دار کردن سطح مشترک (پیوسته)	فسون دار کردن سطح مشترک (ناپیوسته)	استری کردن تبادلی
نوع راکتور	به هم خورده پیوسته	به هم خورده ناپیوسته	به هم خورده پیوسته	لوله‌ای و به هم خورده ناپیوسته	به هم خورده پیوسته
پذیرنده اسید	پیریدین	پیریدین	سود سوزآور	سود سوزآور	ندارد
ظرفیت (Mton/yr)	۹,۰۰۰	۹,۰۰۰	۹,۰۰۰	۹,۰۰۰	۴,۵۰۰
سرمایه گذاری کل (\$)	۱۶,۷۱۲,۰۰۰	۱۷,۰۱۹,۰۰۰	۱۵,۲۲۶,۰۰۰	۱۶,۱۳۹,۰۰۰	۷,۱۴۰,۰۰۰
قیمت تمام شده محصول (c/lb)	۶۸/۳۶	۶۹/۳۳	۶۴/۰۸	۶۴/۷۵	۶۵/۳۸

جدول ۵ - مقایسه روشهای گزارش شده از نظر شرایط عملیاتی [۲].

روشها	فسون دار کردن محلول (پیوسته)	فسون دار کردن محلول (ناپیوسته)	فسون دار کردن سطح مشترک (پیوسته)	فسون دار کردن سطح مشترک (ناپیوسته)	استری کردن تبادلی
دمای عملیاتی (°C)	۴۰	۴۰	۲۰	۲۰	۲۶۰
فشار عملیاتی (mmHg)	-	-	-	-	۰/۵
فسون اضافی	%۳۰	%۳	%۲۰	%۳/۵	-
پیریدین اضافی	%۵۰	%۵۰	-	-	-
سود اضافی	-	-	%۲۰	%۱۵	-

در کلروفورم، سیس ۱ و ۲ دی کلرواتان، تراکلرواتان، متیلن کلرید و پیریدین حل می‌شود. عوامل تورم زا: بنزن، کلروبنزن، اتیل استات، استون، استونیتریل و کرین تراکلرید از آن جمله اند.

پایداری گرمایی: پلیمر خشک ساعتها دماهای تا ۳۱۰°C را تحمل می‌کند و برای دماهای ۳۲۰ تا ۳۵۰°C زمان تحمل کمتری دارد و بالاتر از آن تجزیه آغاز می‌شود [۱۵، ۱۶]. این ماده در برابر سوختن نیز مقاوم است.

است. این جایگاه از الوار ساخته می‌شود و در سطوحی که باید نور از آنها عبور کند ورقه سه لایه ماکرولون یا پلکسی گلاس اکستروژن شده به ضخامت ۱۵mm به کار می‌رود [۲۲].

در ارتباطات و الکترونیک، قطعات پلی کرینات شامل رابطها، مبدلها، جداکننده محفظه‌ها، چراغهای راهنما، سیستمهای کنترل، عدسیها و اجزای مختلف تجهیزات تلفن می‌شود. از اسفنجهای ساختاری پلی کرینات [۲]، برای ساخت کابین یکپارچه تلفن توسط قالبگیری تریقی استفاده شده است. برای ساخت این کابین یک پرس عمودی ۲۵۰۰ تنی و سه واحد تریقی ویژه برای ۹۰ kg ظرفیت در هر بار تریقی به کار گرفته شده است [۲۳].

در وسایل خانه کاربردهای انتهایی شامل انواع وسایل کوچک خانه (چاقوهای الکتریکی و مخلوط کنها)، وسایل الکتریکی کوچک (مته‌ها و قیچی علف زنی) و وسایل بزرگ مانند ماشین خودکار فروش و جعبه‌های نوشابه‌هاست. در تمام این کاربردها از مقاومت زیاد در برابر ضربه و دمای تغییر شکل بالای پلی کریناتها و همچنین خاصیت عایق بودن آنها بهره می‌جویند. از کاربردهای دیگر پلی کرینات، استفاده از این رزین در ساخت ظروف شیر چندبار مصرف است. از این ظروف، بدون افت استحکام کششی یا تغییر حجم می‌توان ۱۰۰ بار استفاده کرد و هنگامی که بطریها به پایان عمر مفید خود رسیدند می‌توان آنها را بازگردانی کرد و بدین ترتیب به طور مؤثری زباله‌های جامد را کاهش داد [۲۴، ۲۵].

اخیراً پلی کریناتها در وسایل پزشکی کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند. مثلاً از پلی کرینات با نام تجاری ماکرولون در ساخت محفظه گرمایی یک مرطوب کننده تنفسی نیز استفاده شده است [۲۶]. یک مخزن شفاف و محکم، که تحمل سترون سازی را دارد، برای استفاده طی جراحی قلب نیز از رزین پلی کرینات تهیه شده است [۲۷]. کاربرد دیگر پلی کرینات در وسایل پزشکی، مصرف آن در بدنه زیست راکتوری است که برای تولید مغز استخوان انسان به کار می‌رود [۲۸]. در بسیاری از موارد کاربرد از جمله چراغها و علائم، شفافیت پلی کریناتها اهمیت اساسی را دارد. با افزایش کاربرد سیستمهای روشنایی پرنور در خیابانها، پارکها و پارکینگها و سایر مناطق عمومی نیاز به پلاستیکهای شفاف و دارای دماهای تغییر شکل گرمایی بالا نیز رو به افزایش گذاشته است. به علاوه، پلی کریناتها برای سایر کاربردهای روشنایی و تابلوها و علائم بیرون منازل و مغازه‌ها که باید در برابر جو و ضربه مقاومت کنند، مناسب‌اند [۲].

نوعی از پلی کرینات، ماکرولون AL است که بر اساس بیس فنول A تهیه می‌شود و برای سیستمهای روشنایی خودروها به ویژه حباب چراغهای ماشین به کار می‌رود که مشخصات آن شامل خلوص و

خواص مکانیکی: خواص مکانیکی پلی کریناتها مانند استحکام خمشی، کششی و ضربه‌ای و ازدیاد طول تا پارگی بالاست و با افزایش وزن مولکولی تا ۲۲,۰۰۰ ازدیاد سریعی را نشان می‌دهد. پس از آن روند افزایش آرامتری می‌یابد.

ساختار و بلورینگی: خواص مکانیکی - نوری پلی کریناتها مشابه پلیمرهای بی‌شکل متداول است. این مواد به سه روش متبلور می‌شوند:

۱- گرما دادن طولانی در دمای بالا (۱۸۰°C به مدت ۸ روز)،

۲- استفاده از حلالها یا سیستمهای حلالی مانند استون [۱۵]،

۳- کشش الیاف یا فیلمها در دمای ۱۸۶°C [۱۵، ۱۶].

پلی کرینات بسیار بلوری در دمای ۲۶۰°C ذوب می‌شود. انحلال پذیری و گاز تراوایی پلیمر پایین و مقاومت در برابر حلال آن زیاد است. خواص نوری: PC به علت ماهیت آروماتیک قابل توجه خود ضریب شکست زیادی (حدود ۱/۵۸۴) دارد. نور تراوایی انواع بی‌رنگ و شفاف در ناحیه مرئی ۸۹٪ است. برای جلوگیری از جذب نور UV که سبب زردی محصول و کاهش استحکام ضربه‌ای می‌شود، پایدار کننده‌های UV مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۶].

در جدول ۶ به برخی از خواص پلی کرینات نوع قالبگیری تریقی اشاره شده است [۳].

#### اصلاحات

اصلاحات شامل نور پایدار سازی [۱۹ - ۱۷]، گرما پایدار سازی در برابر آبکافت، بهبود رفتار جریانی، افزایش گرانروی ساختاری، بهبود خواص رهاسازی از قالب، بهبود بازدارندگی اشتعال و تقویت با الیاف شیشه است [۲۰].

#### کاربردهای پلی کریناتها

پلی کریناتها در کاربردهای الکتریکی، کالاهای مصرفی و خانگی، خودروها، تجهیزات عکاسی و نوری، وسایل ورزشی، ساختمان و شیشه کاری، وسایل پزشکی، بسته بندی، سیستمهای ذخیره داده نوری لیزر، ارتباطات و فیلمها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

در شیشه کاری ورقهای پلی کرینات که با پوشش دهی از نظر مقاومت در برابر خراش و سایش بهبود یافته‌اند، جای شیشه گرانتر را می‌گیرند. امروزه پلی کریناتها در ساختمان نیز کاربردهای فراوانی یافته‌اند. اخیراً کاربرد ماکرولون، که نام تجاری نوعی پلی کرینات است، در ساخت سقف جدید استادیوم ورزشی در نورنبرگ گزارش شده است. این سقف کم وزن است و نور را به خوبی از خود عبور می‌دهد [۲۱]. همچنین، اخیراً از ماکرولون و نوعی دیگر به نام پلکسی گلاس در ساخت جایگاه زرافه‌ها در باغ وحش شهر ماگدبرگ استفاده شده

جدول ۶ - خواص پلی کرینات نوع قالبگیری تزریقی [۲]

۱۴۹°C	دمای انتقال شیشه‌ای
۱۲۵°C	حداکثر دمای کاربرد مداوم
۳۰۰-۴۰۰ Pa.S	گرانروی مذاب
۱/۵۹	ضریب شکست (۲۵°C)
۳/۱۷	ثابت دی الکتریک در ۶۰ Hz
۲۱۵ - ۲۲۵°C	دامنه ذوب
۶۲MPa	استحکام کششی
۹۳MPa	استحکام خمشی
۸۵۰ J/m	استحکام ضربه‌ای (با ضخامت ۳/۲ mm با شکاف).
%۱۱۰	ازدیاد طول تا پارگی

مراجع

- 1 Mark H.F. et al., *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Second Ed., 11, John Wiley & Sons, 1988.
- 2 Oliver L.D., *SRI*, 50A, Stanford Research Institute, Sep. 1975.
- 3 Sikdar S.K., *Chemtech.*, 112,1987.
- 4 U.S. Pat. 3,497,478; Feb.24,1970.
- 5 U.S. Pat. 4,260, 564; Aug. 15,1979.
- 6 Kroschwitz J.I., *Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, John Wiley & Sons, 648-779, 1990.
- 7 *Chem. Eng.*, 174,Nov.1960.
- 8 U.S. Pat. 3,530,094; Dec.1, 1966.
- 9 Serini V., Freitag D. and Vernaleken H.,*Angew. Makromol. Chem.*, 55, 175, 1976.
- 10 U.S. Pat.3,427,370; July 25,1969.
- 11 Degee P., Jerome R. and Teyssie P., *Polym.*,35, 2, 371-6, Jan. 1994.
- 12 Oi S., Nemoto K., Matsuno S. and Inoue Y., *Makromol. Chem. Rapid. Commun.*, 15, 2, 133-7, Feb. 1994.
- 13 Schnell H., *Chemistry and Physics of Polycarbonates*, Wiley-Interscience, New york, 1964.
- 14 *Hydrocarbon Proc.*, 216, Nov.1979.
- 15 Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, Vol.18, 1982 .
- 16 *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, A 19, 348-352, 1991.
- 17 Gupta A., Rembaum A. and Moacanin I., *Macromolecules*, 11, 1285, 1978.
- 18 Gupta A., Liang R. Moacanin I., Goldbeck R. and Klinger D., *Macromolecules*, 13, 262, 1980.
- 19 Factor A. and Chu M.L., *Polymer Degradation and Stability*, 2, Appiled Science Publishers, London, 203, 1980.
- 20 Kircher K., *Reinf. Plast.*, Nov.-Dec.1981.
- 21 *Spektrum*, 39, 10-3, 1994.
- 22 Mudler D., *Spektrum*, 40, 24-31, 1994.
- 23 *Plast. Rubb. Wkly.*, 1520, 9, 28th Jan., 1994.
- 24 O'Donnell K., *Recycle '93 Conference Proceedings Davos*, 22nd-26th March 1993.

پایداری بیشتر در برابر تنشهای گرمایی و به ویژه خواص نوری بهتر است [۲۹].

یکی از کاربردهای جدید پلی کریناتها در تکنولوژی ریزکرکرها (microlouvres) است. ریزکرکرها برای جلوگیری از بازتاب نور جلو داشبرد ماشین در چشم راننده به هنگام رانندگی و محفوظ ماندن اطلاعات روی صفحه نمایشگر در ماشینهای حساب تولیداران بانکها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۰].

نتیجه گیری

کاربرد رزینهای پلی کرینات به دلیل خواصی چون شفافیت، مقاومت زیاد در برابر ضربه، دمای تغییر شکل بالا و خواص خوب الکتریکی در بسیاری از زمینه‌ها روبه گسترش است. امروزه پلی کرینات در بسیاری از موارد جایگزین شیشه شده است و روز به روز در وسایل پزشکی موارد استفاده بیشتری پیدا می‌کند. با رشد روز افزون بازار مصرف پلی کرینات در ایران و جهان توجه متخصصان به این پلاستیک جلب شده است. هم اکنون پژوهشگران بسیاری در زمینه تهیه آمیزه‌های گوناگون این مواد و بهینه کردن خواص آن فعالیت می‌کنند.

همان طور که اشاره شد سه روش شیمیایی متداول برای تهیه پلی کرینات عبارت‌اند از: استری کردن تبادل، فسژن دار کردن سطح مشترک و فسژن دار کردن محلول. با توجه به مزایا و معایب هر یک از این روشها و مقایسه آنها از نظر اقتصادی و صنعتی و شرایط فعلی کشور روش فسژن دار کردن سطح مشترک نایبوسته انتخاب شد که علاوه بر آسانی اجرای عملیات تولید از بازده بالا و تنوع محصولات برخوردار است. مرحله بعدی پژوهش تولید آزمایشگاهی پلی کرینات بر مبنای این روش است و کار تا طراحی یک واحد نیمه صنعتی ادامه خواهد یافت.

- 25 Heidenreich K., Reprint (Lebensmittel- Zeitung, 18, 58-59  
30/4/92).
- 26 Eur. Plast. News, 21, 3, 31, March 1994.
- 27 Mach. Des., 66, 2, 42, 24th Jan. 1994.

- 28 Chem. Eng. Prog., July 1993.
- 29 Leverkusen 1992.
- 30 Plast. Eng., 49, 5, 31, May 1993.

از پاورقی صفحه ۱۷۸

آمینهای آروماتیک در آبهای سطحی و غذاها یافت شده‌اند. عامه مردم ممکن است اضافه بر آن در معرض محصولات انتهایی قرار گیرند که در آنها از آمینهای آروماتیک استفاده شده است، که رنگهای پارچه، محصولات لاستیکی، حشره کشها، افزودنیهای غذا و مواد آرایشی از آن جمله‌اند. برآورد شده است که در آمریکا بیش از ۱۵ میلیون نفر با فیلین دی آمینها در محصولات خریداری شده مواجهه می‌شوند، علی‌رغم اینکه حجم تولید این مواد نسبتاً پایین (کمتر از  $10^6$  کیلوگرم در سال) است. تنها گزارشهای حاکی از تعداد افرادی که به دلایل شغلی در معرض آمینهای آروماتیک قرار گرفته‌اند مربوط به ایالات متحده است که در آنجا چند صد هزار نفر در معرض ۲ و ۴ دی آمینو آنیزول (آرایشگرها و متخصصان زیبایی) و مقادیر کمی ۲ و ۳ دی متیل بنزیدین قرار می‌گیرند و هزاران نفر در معرض اورتو - تولوئیدین، N و N دی متیل آنیلین، تعدادی از فیلین دی آمینها، بنزیدین، ۲ و ۳ دی کلروبنزیدین، ۴ و ۴ متیلن بیس (۲ - کلرو آنیلین) و پارادی متیل آمینو آزوبنزن هستند.

#### سمیت

به طور کلی مواجهه با آمینهای آروماتیک از راههای مختلف صورت می‌گیرد، ولی در انسان مواجهه پوستی اهمیت ویژه‌ای دارد. در حیوانات آزمایشگاهی، آمینهای آروماتیک در اندامهای دفع کننده مانند کبد، مخاط روده، کلیه و مثانه توزیع می‌شوند. بخش عمده این مواد با سرعت و شدت متابولیسم می‌شوند. در بسیاری موارد تنها مقادیر کمی از آمین اولیه در مقایسه با متابولیتها دفع می‌شود. معمولاً اکسایش نیتروژن و ترکیب شدن برای تولید گلوکوکورونید، مزدوجهای سولفات یا استیل اتفاق می‌افتد. گاهی متابولیسم به ترکیبات بالقوه سمی تر اهمیت پیدا می‌کند، برای مثال رنگهای بر پایه بنزیدین ممکن است به بنزیدین کاهش یابند و ۲ - نفتیل آمینهای استخلاف شده روی N الکیل گیری شده و به ۲ - نفتیل آمین تبدیل می‌شوند.

گزارش شده است که آمینهای آروماتیک موجب متهموگلوبین میا (حضور متهموگلوبین در خون) در حیوانات آزمایشگاهی یا انسان شده و تعدادی نیز التهاب یا ضایعاتی در مثانه ایجاد کرده‌اند.

معلوم شده است که بسیاری آمینهای آروماتیک و ترکیبات وابسته موجب برافروختگی پوست در اثر تماس با مواد حساسیت زا و سایر واکنشهای حساسیت زا می‌شوند. این بیماری توسط فیلین دی آمینها و برخی بنزیدینها، ۴ و ۴ - دی آمینودی فیلین - متانها، نفتیل آمینها و آمینو آزوبنزنها نیز ایجاد می‌شود. اگر چه، آزمایش حساسیت پوستی در تشخیص عامل حساسیت زا کمک می‌کند، ولی مواجهه با مخلوطی از انواع مواد شیمیایی و امکان حساسیت زایی متقابل آنها ارزیابی وسعت مسئله را برای بیشتر ترکیبات مشکل می‌کند. در حال حاضر، تعدادی از آمینهای آروماتیک سرطانزا یا مشکوک به سرطانزایی هستند.

IRPTC Bulletin,

Vol.9, No.1, June 1988

علوم تکنولوژی  
سال هفتم، شماره سوم