

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده شیمی

## سنتز و شناسایی پلی هیدرازیدهای آروماتیک غیر مسطح مشتق شده از باز تروگر

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش شیمی آلی

منصوره خردمندفرد

استاد راهنما

دکتر امیر عبدالملکی



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی آلی منصوره خردمندفرد  
تحت عنوان

## سنتز و شناسایی پلی هیدرازیدهای آروماتیک غیر مسطح مشتق شده از باز تروگر

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۲۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- |                        |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| دکتر امیر عبدالملکی    | ۱- استاد راهنمای پایان نامه      |
| پروفسور شادپور ملک پور | ۳- استاد مشاور                   |
| پروفسور عبدالحسین دباغ | ۲- استاد داور                    |
| دکتر مجید کلاهدوزان    | ۳- استاد داور                    |
| پروفسور بیژن نجفی      | ۴- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

## تشکر و قدردانی

خداوندا!

سپاس تو را به جای آورده و پیشانی بر خاک بندگی تو می‌سایم به خاطر هر آنچه به پاس رحمت بی‌کرانت بر من ارزانی داشتی و هر آنچه به پاس حکمت مدبرانه خود از من دریغ فرمودی. خداوندا! این بنده سرتاپا نقصان را در مسیر بندگی خود و خدمت به خلقت استوار قدم بفرما .

سپاس ویژه از آن پدرم و مادرم که پس از خداوند متعال بزرگترین تکیه‌گاه من در زندگی‌ام هستند. خاضعانه‌ترین بوسه‌ها را بر دستان پدر و مادرم نثار می‌کنم و موفقیت‌های خود را مدیون گرمای وجود این دو عزیز می‌دانم. همچنین تشکر ویژه ای از همسر عزیزم دارم که صبورانه مرا یاری نمودند. از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر امیر عبدالملکی که در طی انجام این پژوهش با نهایت دلسوزی به راهنمایی و یاری من پرداختند، با تمام وجود سپاسگزارم و صمیمانه‌ترین مراتب تشکر قلبی خود را تقدیم ایشان می‌کنم.

از تمامی اساتید بزرگوارم در دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان ، به خصوص جناب آقای دکتر نجفی سپاسگزارم و در آخر نیز تشکر صمیمانه ای از تمامی دوستان خود در این مدت تحصیلی دارم..

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان  
است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
یازده	فهرست جداول
دوازده	فهرست طرح‌ها و شکل‌ها
۱	چکیده

### فصل اول: مقدمه

۲	۱-۱-۱- سنتز پلیمر
۲	۱-۱-۱-۱- پلیمر شدن تراکمی
۳	۲-۱- مقاومت حرارتی در پلیمرها
۵	۱-۲-۱- دسته بندی پلیمرهای مقاوم حرارتی
۷	۳-۱- پلی هیدرازیدها
۸	۱-۳-۱- روش‌های مختلف تهیه ی پلی هیدرازیدها
۱۲	۲-۳-۱- تهیه ی پلی هیدرازیدها با استفاده از مایعات یونی
۱۳	۳-۳-۱- پلی آمید هیدرازیدهای آروماتیک
۱۹	۴-۳-۱- کاربرد پلی هیدرازیدها
۱۹	۴-۱- پلی ۴،۱،۳-اکسادیازولها
۲۰	۱-۴-۱- سنتز پلی (۴،۱،۳-اکسادیازولها)
۲۳	۲-۴-۱- کاربرد پلی (۴،۱،۳-اکسادیازولها)
۲۴	۵-۱- پلی (۴،۱،۲-تری آزولها)
۲۸	۶-۱- هدف

### فصل دوم: بخش تجربی

۲۹	۱-۲- دستگاه‌های شناسایی
۳۰	۲-۲- تهیه و آماده سازی مواد شیمیایی اولیه
۳۰	۱-۲-۲- مواد شیمیایی

- ۲-۲-۲- خشک نمودن  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , DMF, NMP ..... ۳۰
- ۲-۲-۳- خشک کردن لیتیم کلرید (LiCl) و کلسیم کلرید ( $\text{CaCl}_2$ ) و منیزیم سولفات ( $\text{MgSO}_4$ ) ..... ۳۱
- ۳-۲- تهیه دی اسید کلریدهای ۳a-۳d ..... ۳۱
- ۲-۳-۱- تهیه ۴،۴-دی کربونیل کلرید دی فنیل سولفون ..... ۳۱
- ۲-۴- سنتز منومر ..... ۳۲
- ۲-۴-۱- تهیه ۲،۸-بیس (اتوکسی کربونیل) -  $\text{H}_{12}\text{H}_6$ -۱۱،۵-متانودی بنزو - [۱،۵][f,b] - دی آزو کین ۳۲
- ۲-۴-۲- تهیه ۲،۸-بیس (کربوکسیلیک) -  $\text{H}_{12}\text{H}_6$ -۱۱،۵-متانودی بنزو - [۱،۵][f,b] - دی آزو کین دی هیدرازید ..... ۳۳
- ۲-۵- سنتز پلیمر ..... ۳۳
- ۲-۶- سنتز پلی (۳،۱،۴-اکسادیازول) ..... ۳۵
- فصل سوم: بحث و نتیجه گیری
- ۳-۱- شناسایی ساختار ترکیب های سنتز شده ..... ۳۶
- ۳-۱-۱- تهیه ۲،۸-بیس (اتوکسی کربونیل) -  $\text{H}_{12}\text{H}_6$ -۵،۱۱-متانودی بنزو [۱،۵][f,b] - دی آزو کین (۱) ..... ۳۶
- ۳-۱-۲- تهیه ۲،۸-بیس (کربوکسیک) -  $\text{H}_{12}\text{H}_6$ ، ۵،۱۱-متانودی بنزو [۱،۵][f,b] - دی آزو کین دی هیدرازید (۲) ..... ۳۹
- ۳-۲- تهیه دی اسید کلرید های (۳a-۳d) ..... ۴۳
- ۳-۳- تهیه پلی هیدرازید ..... ۴۵
- ۳-۳-۱- تهیه پلی هیدرازیدهای جدید مشتق شده از دی هیدرازید (۲) و دی اسیدهای مختلف به روش مستقیم ..... ۴۵
- ۳-۳-۲- تهیه پلی هیدرازیدهای جدید مشتق شده از دی هیدرازید (۲) و دی اسید کلریدهای مختلف ..... ۴۷
- ۳-۴- بررسی خواص انحلالی پلیمرها ..... ۵۵
- ۳-۵- بررسی خواص حرارتی PH های (PH1-PH2) ..... ۵۶
- ۳-۶- بررسی طیف سنجی پراش پرتو - ایکس (PH1-PH2) ..... ۵۸
- ۳-۷- تهیه پلی (۱،۳،۴-اکسادیازول) ..... ۵۹
- ۳-۸- بررسی طیف سنجی پراش پرتو - ایکس POD ..... ۶۱



۶۲	..... نتیجه گیری
۶۳	..... آینده‌نگری
۶۴	..... مراجع
۶۸	..... فهرست علائم اختصاری به کار رفته در متن پایان‌نامه

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱) نمونه‌هایی از گروه‌های انتهایی برای تهیه پلیمرهای پایدار حرارتی.....	۵
جدول (۲-۱) نمونه‌ای از پلیمرهای هتروسیکلی.....	۶
جدول (۳-۱) نمونه‌هایی از کوپلیمرهای تراکمی هتروسیکلی.....	۷
جدول (۴-۱) سنتز گروهی از پلی هیدرازیدها با فرمول [-RCONHNHCOR'NHNHCO-] از طریق پلیمر شدن در دمای پایین.....	۱۰
جدول (۵-۱) خواص حرارتی پلی هیدرازیدهای آروماتیک حاوی سیلیکون و حاوی هگزا فلئورو اینو پروپیلیدن.....	۱۱
جدول (۱-۳) آنالیز عنصری ترکیب دی هیدرازید (۲).....	۴۳
جدول (۲-۳) شرایط سنتز، ویسکوزیته‌ی ذاتی و خواص لایه‌ای پلی هیدرازیدها.....	۴۸
جدول (۳-۳) نتایج مربوط به حلالیت پلیمرها.....	۵۶
جدول (۴-۳) آنالیز حرارتی پلیمرهای PH1 و PH2.....	۵۸
جدول (۵-۳) رفتار کششی پلی هیدرازیدها.....	۵۹
جدول (۶-۳) نتایج آنالیز عنصری ترکیب POD.....	۶۲

## فهرست طرح‌ها و شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	طرح (۱-۱) نمونه ای از واکنش پلیمر شدن تراکمی.....
۴	طرح (۲-۱) نمونه ای از یک پلیمر حاوی گروه کاربو.....
۴	طرح (۳-۱) نمونه ای از پلیمرهای دارای گروه های هالوژنه.....
۸	طرح (۴-۱) واکنش پلیمر شدن محلول در دمای پایین.....
۹	طرح (۵-۱) واکنش پلیمر شدن تراکمی مستقیم با تری فنیل فسفیت و لیتیم کلراید.....
۱۲	طرح (۶-۱) مکانیسم فعال شدن دی اسید به وسیله ی IL/TPP.....
۱۳	طرح (۷-۱) سنتز پلی هیدرازید با استفاده از مایع یونی.....
۱۴	طرح (۸-۱) سنتز پلی آمید هیدرازید.....
۱۴	طرح (۹-۱) سنتز کو پلی آمید هیدرازید.....
۱۵	طرح (۱۰-۱) سنتز پلی آمید هیدرازیدهای کاملا آروماتیک.....
۱۱، ۱۲	طرح (۱۱-۱) سنتز یک سری پلی هیدرازید جدید از منومر ۹،۱۰-دی هیدرو-۹،۱۰-تانو آنتراسن-۱۱،۱۲-
۱۵	دی هیدرازید.....
۱۶	طرح (۱۲-۱) سنتز پلی بی فنیل هیدرازید جدید.....
۱۷	طرح (۱۳-۱) سنتز پلی هیدرازیدهای حاوی گروه های فسفونیک اسید.....
۱۸	طرح (۱۴-۱) سنتز پلیمر PCAH.....
۱۸	طرح (۱۵-۱) طرح پیشنهادی تشکیل مشتقات آمینوپیرازول.....
۱۹	طرح (۱۶-۱) نمونه ای از واکنش تهیه ی پلیمر به روش تراکمی مستقیم.....
۲۰	طرح (۱۷-۱) سنتز پلی اکسادیازول از طریق منومر های تترازول.....
۲۱	طرح (۱۸-۱) روش سنتزی دیگر پلی اکسادیازولها.....
۲۱	طرح (۱۹-۱) سنتز پلی اکسادیازول از طریق واسطه های پلی هیدرازیدی.....
۲۲	طرح (۲۰-۱) سنتز پلی اکسادیازول از طریق اولئوم.....
۲۲	طرح (۲۱-۱) توتومری آمید-ایمید برای تشکیل حلقه اکسادیازول.....
۲۳	طرح (۲۲-۱) چند نمونه از پلی اکسادیازولهای نیمه هادی.....

طرح (۱-۲۳) نمونه‌ای از پلی اکسادیازول دارای خاصیت لومینسانس .....	۲۴
طرح (۱-۲۴) روش سنتزی پلی ۲،۱،۴-تری آزول .....	۲۴
طرح (۱-۲۵) روش سنتزی دیگر پلی ۲،۱،۴-تری آزول .....	۲۵
طرح (۱-۲۶) ساختار شیمیایی باز تروگر .....	۲۶
طرح (۱-۲۷) کمپلکس باز تروگر با دی‌اسیدهای متفاوت .....	۲۷
طرح (۱-۲۸) واکنش باز تروگر با دی آلکیل هالید .....	۲۸
طرح (۳-۱) سنتز ترکیب (۱) .....	۳۶
طرح (۳-۲) مکانیسم سنتز دی استر .....	۳۷
طرح (۳-۳) سنتز ترکیب (۲) .....	۴۰
طرح (۳-۴) واکنش دی هیدرازید (۲) و دی اسید کلریدهای (۳a-۳d) و تشکیل پلی هیدرازیدهای PH1-PH4	
..... (۱)	۴۷
طرح (۳-۵) سنتز پلی اکسادیازول از PH2 .....	۶۰
شکل (۳-۱) طیف FT-IR ترکیب (۱) .....	۳۷
شکل (۳-۲) طیف <sup>1</sup> H-NMR ترکیب دی استر .....	۳۹
شکل (۳-۳) طیف FT-IR ترکیب (۲) .....	۴۰
شکل (۳-۴) طیف <sup>1</sup> H-NMR ترکیب (۲) .....	۴۱
شکل (۳-۵) طیف <sup>13</sup> C-NMR ترکیب (۲) .....	۴۲
شکل (۳-۶) طیف FT-IR ترکیب ۴،۴-دی کربونیل کلرید دی فنیل سولفون .....	۴۳
شکل (۳-۷) طیف FT-IR ترکیب ۴،۴-دی کربونیل کلرید دی فنیل اتر .....	۴۴
شکل (۳-۸) طیف FT-IR ترکیب ایزوفتالوئیل دی کلرید .....	۴۴
شکل (۳-۹) طیف FT-IR ترکیب ترفتالوئیل دی کلرید .....	۴۵
شکل (۳-۱۰) طیف FT-IR پلی هیدرازید حاصل از پلیمر شدن تراکمی مستقیم ۴،۴-دی فنیل اتر دی	
کربوکسیلیک اسید و دی هیدرازید (۲) .....	۴۶
شکل (۳-۱۱) طیف <sup>1</sup> H-NMR پلی هیدرازید حاصل از پلیمر شدن تراکمی مستقیم ۴،۴-دی فنیل اتر دی	
کربوکسیلیک اسید و دی هیدرازید (۲) .....	۴۶
شکل (۳-۱۲) طیف FT-IR مربوط به PH1 .....	۴۸

۴۹	.....	شکل (۱۳-۳) طیف $^1\text{H-NMR}$ مربوط به PH1
۵۰	.....	شکل (۱۴-۳) طیف FT-IR مربوط به PH2
۵۱	.....	شکل (۱۵-۳) طیف $^1\text{H-NMR}$ مربوط به PH2
۵۲	.....	شکل (۱۶-۳) طیف FT-IR مربوط به PH3
۵۳	.....	شکل (۱۷-۳) طیف $^1\text{H-NMR}$ مربوط به PH3
۵۴	.....	شکل (۱۸-۳) طیف FT-IR مربوط به PH4
۵۵	.....	شکل (۱۹-۳) طیف $^1\text{H-NMR}$ مربوط به PH4
		شکل (۲۰-۳) نمودار TGA پلی هیدرازیدهای (PH1-PH2) تحت اتمسفر ازت با سرعت حرارت دهی $10^\circ\text{C/min}$
۵۷	.....	
		شکل (۲۱-۳) نمودار DSC ترکیب (PH1-PH2) تحت اتمسفر ازت با سرعت حرارت دهی $5810^\circ\text{C/min}$
۵۹	.....	شکل (۲۲-۳) الگوی پراش پرتو ایکس (PH1-PH2)
		شکل (۲۳-۳) طیف FT-IR مربوط به (a) پلی هیدرازید PH <sub>2</sub> (b) پلیمر تحت دمای $250^\circ\text{C}$ به مدت ۳۰ دقیقه
		(c) پلیمر تحت دمای $320^\circ\text{C}$ به مدت ۳۰ دقیقه (d) POD تشکیل شده در دمای $350^\circ\text{C}$ به مدت ۶۰ دقیقه
۶۲	.....	شکل (۲۴-۳) الگوی پراش پرتو ایکس POD

## چکیده

دی هیدرازید جدید حاوی باز تروگر، ۲۸- بیس (کربوکسیلیک) -H<sub>12</sub>H<sub>6</sub>-۱۱،۵- متانودی بنزو-[۱،۵][f,b]- دی آزوکین دی هیدرازید از تراکم پارا آمینو اتیل بنزوات با هگزا متیلن تترا آمین در حضور تری فلئورواستیک اسید و تبدیل به دی هیدرازید، از طریق واکنش با هیدرازین هیدرات با راندمان و خلوص بالا تهیه گردید.

یک سری از پلی هیدرازیدهای آروماتیک جدید از دی هیدرازید حاوی باز تروگر V شکل و دی آسیل کلریدهای آروماتیک مختلف از طریق پلیمر شدن تراکمی محلول در دمای پایین تهیه شدند. همه پلی هیدرازیدها بی شکل بوده و در بسیاری از حلال های آلی شبیه N,N'-دی متیل استامید و N-متیل-۲-پیرولیدون به راحتی حل می شوند. این پلیمرها می توانند از حالت محلول به صورت فیلم های شفاف، محکم و انعطاف پذیر در آورده شوند. آن ها پایداری حرارتی مناسب همراه با دمای انتقال شیشه ای خوب (۱۶۳-۱۷۲°C)، دمای ۱۰٪ افت وزن بالای ۴۶۰°C و وزن باقیمانده آنها در دمای ۸۰۰°C در اتمسفر ازت بیش از ۳۹٪ می باشد.

**کلمات کلیدی:** پلی هیدرازیدها، پلیمرهای پایدار حرارتی، باز تروگر، آمورف، پلیمرهای حاوی هترو اتم، پلی (۱،۳،۴-اکسادیازول ها)

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱- سنتز پلیمر

پلیمرها به دلیل استفاده متنوع در زمینه‌های علمی و صنعتی از ضروریات زندگی مدرن می‌باشند. تفاوت رفتار بین ترکیبات آلی و مواد پلیمری به جهت اندازه بزرگ و شکل ویژه پلیمرها می‌باشد که به آن‌ها خواص فیزیکی و شیمیایی بی نظیری می‌دهد.

در سال ۱۹۲۹ پلیمرها توسط کاروترز<sup>۱</sup> و بر اساس روش تهیه به دو دسته افزایشی<sup>۲</sup> و تراکمی<sup>۳</sup> تقسیم شدند. مهمترین تفاوت عمده این دو روش، در ماهیت گونه‌هایی است که می‌توانند با یکدیگر واکنش دهند و نیز مدت زمانی که جهت رشد کامل اندازه مولکول‌های پلیمر لازم است. مارک<sup>۴</sup> در سال ۱۹۵۰ میلادی این تقسیم بندی را بر اساس مکانیسم واکنش، به دو دسته پلیمر شدن افزایشی (زنجیری)<sup>۵</sup> و تراکمی (مرحله‌ای)<sup>۶</sup> اصلاح کرد [۱-۲].

---

1- Carothers

2- Polyaddition

3- Polycondensation

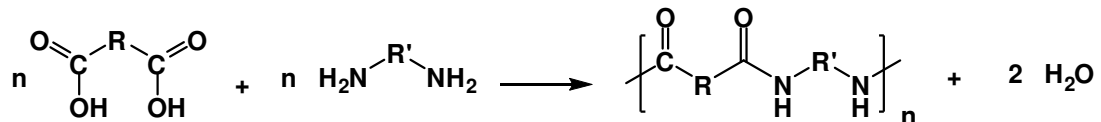
4- Marck

5- Addition Polymerization-

6- Condensation Polymerization

### ۱-۱-۱- پلیمر شدن تراکمی

پلیمر شدن تراکمی، یک نمونه از پلیمر شدن رشد مرحله‌ای است که در آن مولکول‌ها به یکدیگر می‌پیوندند و به طور عمده تعداد کمی مولکول آب از دست می‌دهند. نوع محصول نهایی ایجاد شده در واکنش پلیمر شدن تراکمی، وابسته به تعداد گروه‌های عاملی است که در انتهای منومرهای شرکت کننده قرار دارد. اگر منومرها دارای بیش از دو گروه عاملی باشند، ممکن است پلیمرهای شبکه‌ای تشکیل گردد. نسبت مولی دو واکنشگر باید یکسان باشد در غیر این صورت پلیمری با جرم مولکولی پایین تولید می‌گردد. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکل، استفاده از ترکیبات دو عاملی مثل هیدروکسی کربوکسیلیک اسید به عنوان منومر می‌باشد. این مولکول دارای یک گروه اسیدی در یک طرف و یک گروه هیدروکسی در انتهای دیگر است. که در صورت خالص بودن، تساوی گروه‌های عاملی تضمین می‌شود.



R, R' = aliphatic and aromatic groups

طرح (۱-۱): نمونه‌ای از واکنش پلیمر شدن تراکمی [۳]

چنانچه غلظت محصولات تراکمی مانند آب زیاد باشد، ممکن است واکنش متوقف شود و یا در جهت عکس پیش رود. معمولاً این مشکل را با خارج نمودن محصول حاصل از تراکم، بر طرف می‌سازند [۳].

### ۲-۱- مقاومت حرارتی در پلیمرها

مقاومت حرارتی یکی از زمینه‌های مهم در علوم پلیمری می‌باشد. طبق یک تعریف کلی، پلیمری دارای مقاومت حرارتی است که در  $250^\circ\text{C}$  به مدت طولانی، در  $500^\circ\text{C}$  به مدت متوسط و در  $1000^\circ\text{C}$  برای مدت کوتاهی، خواص فیزیکی خود را حفظ کند. پلیمرهای مقاوم حرارتی برای استفاده در دماهای بالا بایستی دارای ویژگی‌های زیر باشند:

دمای ذوب (نرم شدگی) بالای  $177^\circ\text{C}$ ، دمای تخریب حرارتی بالای  $450^\circ\text{C}$  و پایداری شیمیایی، الکتریکی و تابشی در دمای بالاتر از  $177^\circ\text{C}$  و کاهش وزن پایین در دماهای بالا [۴].

فاکتورهایی که در پایداری حرارتی این پلیمرها نقش دارند شامل موارد زیر می‌باشند:

الف) انرژی پیوند نوع اول، پایداری رزونانسی ( $40-70 \text{Kcalmol}^{-1}$ ) به گونه‌ای که پلیمرهای مقاوم حرارتی عمدتاً حاوی حلقه‌های آروماتیک یا هتروسیکل هستند که پایداری رزونانسی مربوطه را دارا می‌باشند.

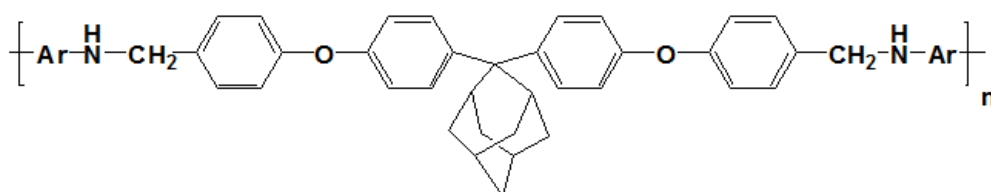


ب) نیروهای پیوندی نوع دوم که شامل پیوندهای هیدروژنی ( $10-6 \text{ Kcalmol}^{-1}$ )، برهم کنشهای قطبی، نیروهای واندروالس و ... می‌باشد و پایداری قابل ملاحظه‌ای به پلیمر می‌دهند. انرژی پیوند C-F به طور مشخصی بیشتر از C-H است و به این ترتیب حلقه‌های آروماتیکی فلئورینه پایداری حرارتی بیشتری نسبت به همانند هیدروژنی خود دارند.

ج) تقارن مولکولی (نظم ساختار، شفافیت)

د) خلوص پلیمرها، بسیار با اهمیت است به نحوی که پلیمرهای حاوی بقایای فلزی یا ترکیبات آلی فلزی پایداری حرارتی کمتری نسبت به پلیمرهای مشابه خود دارند [۴].

وقتی مواد آلی در دمای بالا حرارت داده می‌شوند به تشکیل ترکیبات آروماتیک تمایل پیدا می‌کنند. پلیمرهای آروماتیک به خاطر ساختار سختشان، دمای انتقال شیشه‌ای<sup>۱</sup> ( $T_g$ ) بسیار بالا، ویسکوزیته بالا و قابلیت حلالیت کم دارند. بنابراین سخت‌تر از انواع دیگر پلیمرها هستند. پلیمرهای مقاوم حرارتی باید ویژگی‌هایی از قبیل نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر تخریب اکسایشی در دماهای بالا، مقاومت در برابر سایر فرایندهای تجزیه گرمایی غیر اکسایشی و نیز پایداری در برابر عوامل شیمیایی و اشعه را دارا باشند. برای افزایش حلالیت این نوع پلیمرها، روش‌های مختلفی وجود دارد بدون آن که خواص مطلوب پلیمرها تحت تاثیر قرار گیرد [۵]. پیوستن گروه‌های انعطاف پذیر مانند اتر یا سولفون در اسکلت پلیمر موجب افزایش حلالیت، کاهش ویسکوزیته و کاهش پایداری حرارتی می‌شود [۴]. از دیگر گروه‌های موثر که حضورشان در ساختار پلیمر موجب افزایش پایداری حرارتی و اکسایش حرارتی<sup>۲</sup> می‌شود، گروه‌های کاردو<sup>۳</sup> هستند. در پلیمرهای کاردو، گروه‌های حلقه‌ای به صورت عمودی در اسکلت صفحه‌ای قرار می‌گیرند. از این گروه می‌توان به گروه‌های فلئورن، فتالید و فتالیمیدن اشاره کرد (طرح ۱-۲) [۶-۷].



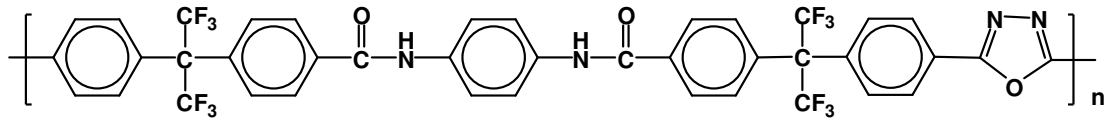
طرح (۱-۲): نمونه‌ای از یک پلیمر حاوی گروه کاردو [۸]

1- Glass transition temperature

2- Thermo oxidative stability

3- Cardo

روش دیگر، شامل قرار دادن گروه‌های پلی هالوژنه در ساختار پلیمر می‌باشد. به این ترتیب در اثر افزایش فاصله بین زنجیرهای پلیمر، بر همکنش زنجیرهای پلیمری کاهش می‌یابد (طرح ۳-۱)



طرح (۳-۱): نمونه ای از پلیمرهای دارای گروه های هالوژنه [۹]

روش دیگر شامل قرار دادن گروه‌های حجیم و آویزان همانند حلقه‌های فتالیمیدی در زنجیرهای جانبی پلیمر می‌باشد. با این کار علاوه بر افزایش حلالیت پلیمرها، به دلیل افزایش تحرک مولکولی، پایداری حرارتی آنها نیز زیاد می‌شود [۱۰-۱۱].

از طریق قرار دادن گروه‌های واکنش دهنده و اعمال حرارت می‌توان دسته وسیعی از پلیمرهای پایدار حرارتی را سنتز کرد که این گروه‌های واکنش دهنده به انتهای الیگومر متصل شده و یا به عنوان گروه آویزان<sup>۱</sup> به زنجیر اصلی متصل می‌شوند. در جدول (۱-۱) به معرفی تعدادی از آنها پرداخته شده است [۴].

جدول (۱-۱): نمونه‌هایی از گروه‌های انتهایی برای تهیه پلیمرهای پایدار حرارتی [۴]

مقاومت حرارتی تقریبی (°C)	نام ترکیب	ساختار شیمیایی
۲۲۰	سیانات	$\text{—O—C}\equiv\text{N}$
۲۲۰	بنزوسیکلو بوتن	
۲۳۰	مالیمید	
۲۵۰	تری فلوئورو وینیل اتر	$\text{—CF}=\text{CF}_2$
۲۵۰	اتینیل	$\text{—C}\equiv\text{C—H}$
۳۵۰	فیل اتینیل	$\text{—C}\equiv\text{C—}$

به طور کلی پلیمرهای مقاوم حرارتی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

الف) پلیمرهای تراکمی ساده: در این دسته از پلیمرها، حلقه‌های آروماتیک بر اساس اتصالات ساده تراکمی به هم متصل شده‌اند. این پلیمرها شامل پلی آمیدها، پلی اترها، پلی کتون‌ها و پلی هیدرازیدها می‌باشند.

ب) پلیمرهای هتروسیکلی<sup>۲</sup>: حلقه‌های آروماتیک آن‌ها توسط حلقه‌های هتروسیکلی به یکدیگر متصل شده‌اند. از این دسته پلیمرها می‌توان به پلی ایمیدازول‌ها، پلی بنزوئیس تiazول‌ها، پلی کینوکسالین‌ها و سایر ترکیبات هتروسیکلی منظم اشاره کرد. در جدول ۱-۲ به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است [۴].

جدول (۱-۲): نمونه‌ای از پلیمرهای هتروسیکلی [۴]

نام ترکیب	ساختار شیمیایی
پلی ایمید (PI)	
پلی بنزو کسازول (PBO)	
پلی بنزو تiazول (PBT)	
پلی بنزایمیدازول (PBI)	
پلی N-فنیل بنزایمیدازول (PPBI)	
پلی فنیل کویینوکسالین (PPQ)	

1- Pendant groups

2- Heterocyclic polymers

ج) کوپلیمرهای تراکمی هتروسیکلی: ترکیبی از اتصالات تراکمی ساده و حلقه های هتروسیکلی آروماتیک می باشند مانند پلی آمید-ایمیدها، پلی یورتان ایمیدها، پلی استر-ایمیدها، و پلی آمید-هیدرازیدها که در جدول (۱-۳) معرفی شده اند.

جدول (۱-۳): نمونه هایی از کوپلیمرهای تراکمی هتروسیکلی

مرجع	نام ترکیب	ساختار
[۱۳]	پلی (استر-ایمید)	
[۱۴]	پلی (استر-آمید)	
[۱۵]	پلی (آمید-اکسادیازول)	
[۱۶]	پلی (آمید-هیدرازید)	
[۱۳]	پلی (استر-ایمید)	

د) پلیمرهای نردبانی: دارای دو ردیف اتصال در یک زنجیر می باشند. پیرون ها ، پلی بنزایمیدازو پیروлонها و پلی کینوکسالینها در این گروه قرار دارند [۱۲].