



السلام صل على محمد و آل محمد

ب

١٢٨١١١

وزارت علوم تحقیقات و فناوری



دانشگاه علوم پایه دامغان

دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته شیمی گرایش آلی- پلیمر

سنتز و بررسی خواص پلی آمیدهای کاملاً آروماتیک جدید
حاوی اتصالات حجیم دی فنیل اتر

استاد راهنما:

دکتر حسین بهنیافر

گروه انفلاستات لارک سن پور
شهر دامغان

۱۳۸۸ / ۲ / ۱۶

توسط:

سعید خسروی برنا

تیرماه ۱۳۸۷

۱۱۱۵۶۲

بسم الله الرحمن الرحيم

سنتز و بررسی خواص پلی آمیدهای کاملاً آروماتیک جدید
حاوی اتصالات حجیم دی فنیل اتر

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی

بعنوان بخشی از فعالیتهای لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد شیمی


گرایش شیمی آلی - پلیمر

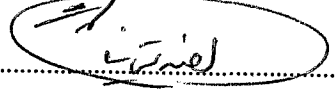
از دانشگاه علوم پایه دامغان

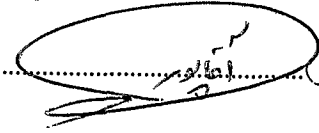
توسط:

سعید خسروی

ارزیابی و تصویب توسط کمیته داوران با درجه عالی :

۱- دکتر حسین بهنیا فر، استادیار شیمی آلی - پلیمر (استاد راهنما).....


۲- دکتر بتول اخلاقی نیا، دانشیار شیمی آلی - پلیمر (داور).....


۳- دکتر سید قاسم آقاپور، استادیار شیمی آلی (داور).....


۲۵ تیرماه ۱۳۸۷

همسر عزیزم؛ زهره سادات فیض آبادی

که در تمامی مراحل زندگی قدم به قدم همراه من، هم قدم شدی

و با همت و فداکاری خود نگذاشتی خللی در زندگی بوجود آید

و بارهایی نامی دلسوزانه خودم را در امر به پایان رساندن این پروژه یاری نمودی

تقدیم به همسر عزیزم و دختر محترم سارا

تقدیر و تشکر

من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

شکر و سپاس بی‌کران خداوند را که اگر تنهاترین تنهائیان شویم باز او هست او جانشین همه نداشته‌هاست. این دستمایه اندک حاصل دو سال تلاش و راهنماییهای پرفیض استاد محبوب،

جناب آقای دکتر بهنیا فر

بود که با ارشادات و راهنماییهای حکیمانه، چون شمعی فروزان، معین ظلمتکده مان شده‌اند. باشد که این دستمایه ناچیز رهگشای زندگی و ملحوظ نظر صاحب نظران و جوانان عزیز قرار گیرد.

با سپاسگزاری مخصوص از

اساتید محترم سرکار خانم دکتر اخلاقی نیا و جناب آقای دکتر سید قاسم آقا پور که زحمت مطالعه و داوری پایان نامه اینجانب را تقبل فرمودند کمال تشکر را از ایشان دارم.

با سپاسگزاری مخصوص از اساتید بزرگوار:

دکتر پورموسوی و دکتر ملک زاده

که در انجام و اتمام این پروژه یار و غمخوار بنده بودند.

و با تشکر و سپاسگزاری فراوان از:

آقایان: حمید صادقی، مصطفی قربانی، سید جواد حسینی،

مجید هداوندخانی، سید علی شریفیان، امیر سلامی آشتیانی، آیدین پورحسن

خانم‌ها: بلند، افضلی، ملک شاهی، هاتفی پور، زینتی، محمدیان

که مرا در انجام این پروژه در طی دو سال تحصیلی یاری نمودند.

سعید خسروی

چکیده:

دو پلی (آمید - اتر) جدید کاملاً آروماتیک با پلی تراکمی شدن فعال شده با تری فنیل فسفیت یک دی آمین حاوی حلقه‌های فنوکسی فنیل به نام ۲،۲ - بیس (*p*- فنوکسی فنیل) - ۴،۴ - دی - آمینودی فنیل اتر (PPAPE) و دو کومونومر دی کربوکسیلیک اسید آروماتیک شامل ایزوفتالیک اسید (IPA) و بی فنیل - ۲،۲ - دی کربوکسیلیک اسید (BDA) تهیه شدند. به منظور اهداف مقایسه‌ای دو پلی (آمید - اتر) مرجع نیز با واکنش ۴،۴ - دی آمینودی فنیل اتر (DADPE) با همان کومونومرها تحت شرایط مشابه تهیه شدند. کلیه پلیمرها به طور کامل با طیف سنجی - های FT-IR، UV، NMR شناسایی شدند. یکی از این پلیمرها که دارای بالاترین میزان انحلالپذیری بود توسط کروماتوگرافی ژل تراوا (GPC) مطالعه شد. به کمک مقایسه با پلیمرهای فاقد گروههای مذکور اثرات گروههای جانبی *p*- فنوکسی فنیل متصل شده به زنجیرهای درشت مولکولی بر روی خواص پلیمرها از جمله انحلال پذیری، بلورینگی، رفتار الکتروشیمیایی، مقاومت حرارتی و انعطاف پذیری فیلم مورد بررسی قرار گرفت. پلیمرهای بدست آمده از PPAPE در حلالهای آلی مختلف همچون *N*- متیل - ۲ - پیرولیدون (NMP)، *N,N*- دی متیل فرماید (DMF)، *N,N*- دی متیل استامید (DMAC)، دی متیل سولفوکسید (DMSO) انحلالپذیری عالی نشان دادند. این پلی (آمید - اتر)ها دارای دماهای انتقال شیشه‌ای کمتر بوده و از خود مقاومت گرمایی عالی نشان دادند. در قیاس با پلیمرهای فاقد گروههای آویزان پلی (آمید - اتر)های حاوی دو باله *p*- فنوکسی فنیل، انحلالپذیری بالاتر و T_g کمتر داشتند. بعلاوه فیلمهای نازک آنها انعطاف پذیری بیشتری در قیاس با دو پلیمر مرجع داشت.

۳۷	۱-۱-۳ سنتز -۴،۴- دی نیترو دی فنیل اتر
۳۸	۲-۱-۳ سنتز -۲،۲- دی یدو-۴،۴- دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
۴۱	۳-۱-۳ سنتز -۲،۲- بیس (پارا- فنوکسی فنیل)- ۴،۴- دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
۴۵	۴-۱-۳ سنتز -۲،۲- بیس (پارا- فنوکسی فنیل)- ۴، ۴- دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
۵۰	۲-۳ سنتز و بررسی برخی از خواص پلیمرها
۶۴	۳-۳ نتیجه گیری
۶۶	مراجع
۶۹	واژه نامه فارسی- انگلیسی
۷۱	واژه نامه انگلیسی- فارسی

فصل اول: مقدمه

۳	۱-۱ پلی آمیدهای آلیفاتیک
۴	۱-۱-۱ سنتز پلی آمیدهای آلیفاتیک
۸	۲-۱ پلی آمیدهای آروماتیک
۱۱	۱-۲-۱ سنتز پلی آمیدهای آروماتیک
۱۴	۳-۱ روشهای دستگاهی مطالعه برخی از خواص پلیمرها
۱۴	۱-۳-۱ تجزیه گرماوزنی (TGA)
۱۵	۲-۳-۱ گرماسنجی روبشی دیفرانسیلی (DSC)
۱۷	۳-۳-۱ تفرق اشعه X زاویه باز (WAXD)
۱۸	۴-۳-۱ ولتامتری چرخه‌ای (CV)
۲۰	۵-۳-۱ کروماتوگرافی ژل تراوا (GPC)
۲۳	۴-۱ ارتباط ساختار شیمیایی پلیمر با خواص آن
۲۸	۵-۱ هدف و راهکار مطالعه جاری

فصل دوم: بخش تجربی

۳۰	۱-۲ مواد شیمیایی
۳۰	۲-۲ دستگاهوری
۳۱	۳-۲ سنتز مونومر
۳۱	۱-۳-۲ سنتز ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر
۳۲	۲-۳-۲ سنتز ۲،۲-دی-یدو-۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
۳۳	۳-۳-۲ سنتز ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
۳۴	۴-۳-۲ سنتز ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) ۴،۴-دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
۳۵	۴-۲ تهیه پلی (آمید- اتر)ها

فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

۳۷	۱-۳ سنتز ترکیبات اولیه مونومر
----	-------------------------------

فصل اول: مقدمه

- شکل ۱-۱ جایگاه پلی آمید در بین انواع پلیمرها از نظر میزان تولید در دهه اخیر ۲
- شکل ۲-۱ واکنش سنتز آمید طی فرایند هیدرولیز ۵
- شکل ۳-۱ سنتز نایلون-۶،۶ ۶
- شکل ۴-۱ پیوند هیدروژنی در ساختار نایلون-۶،۶ ۶
- شکل ۵-۱ سنتز نایلون-۶ با پلیمر شدن حلقه‌گشا ۷
- شکل ۶-۱ پیوند هیدروژنی در کولار ۱۱
- شکل ۷-۱ ترموگرام TGA برای دو نمونه پلیمر ۱۵
- شکل ۸-۱ قسمتهای مختلف دستگاه DSC ۱۶
- شکل ۹-۱ ترموگرام نوعی DSC برای یک نمونه پلیمر ۱۷
- شکل ۱۰-۱ دیفرکتوگرامهای XRD شش نوع پلی ایمید ۱۸
- شکل ۱۱-۱ ولتاموگرام چرخه‌ای نوعی برای یک سیستم برگشت پذیر ۱۹
- شکل ۱۲-۱ ولتاموگرام چرخه‌ای نوعی برای یک سیستم شبه برگشت پذیر ۱۹
- شکل ۱۳-۱ یک کروماتوگرام GPC ۲۰
- شکل ۱۴-۱ ویسکومترهای (الف) اوبلوه‌د (ب) استوالد ۲۲
- شکل ۱۵-۱ گرانش‌های ذاتی برای چند نمونه پلی (آمید-ایمید) ۲۳
- شکل ۱۶-۱ ترموگرام DSC دو آرامید با ساختار شیمیایی متفاوت ۲۵
- شکل ۱۷-۱ ترموگرام TGA دو آرامید با ساختار شیمیایی متفاوت ۲۶
- شکل ۱۸-۱ ساختار مونومرها و کومونومرهای طرح جاری ۲۹

فصل دوم: بخش تجربی

- شکل ۱-۲ ۱-۲-۲ دی یدو-، ۴، ۴- دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE) ۳۳
- شکل ۲-۲ ۲-۲-۲ بیس (پارا- فنوکسی فنیل) -، ۴، ۴- دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE) ۳۵
- شکل ۳-۲ ۳-۲ تصویر پلیمرهای (۱) DADPE/IPA (۲) DADPE/BDA (۳) PPAPPE/IPA (۴) - PPAPPE/BDA ۳۶

فصل سوم: بحث و نتیجه گیری

- ۳۷ شکل ۱-۳ سنتز ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر
- ۳۸ شکل ۲-۳ طیف FT-IR . ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر
- ۳۸ شکل ۳-۳ سنتز ۲،۲-دی یدو- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
- ۳۹ شکل ۴-۳ طیف FT-IR ۲،۲-دی یدو- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
- ۴۰ شکل ۵-۳ طیف $^1\text{H-NMR}$ ۲،۲-دی یدو- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
- ۴۱ شکل ۶-۳ طیف $^{13}\text{C-NMR}$ ۲،۲-دی یدو- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (DINPE)
- ۴۲ شکل ۷-۳ مکانیسم واکنش جفت شدن سوزوکی
- ۴۳ شکل ۸-۳ سنتز ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل)- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
- ۴۳ شکل ۹-۳ طیف FT-IR ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) - ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
- ۴۴ شکل ۱۰-۳ طیف $^1\text{HNMR}$ ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) - ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
- ۴۵ شکل ۱۱-۳ طیف $^{13}\text{CNMR}$ ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل)- ۴،۴-دی نیترو دی فنیل اتر (PPNPE)
- ۴۶ شکل ۱۲-۳ سنتز ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل)- ۴،۴-دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
- ۴۷ شکل ۱۳-۳ طیف FT-IR ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) - ۴،۴-دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
- ۴۸ شکل ۱۴-۳ طیف $^1\text{H-NMR}$ ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) - ۴،۴-دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
- ۴۹ شکل ۱۵-۳ طیف $^{13}\text{C-NMR}$ ۲،۲-بیس (پارا- فنوکسی فنیل) - ۴،۴-دی آمینو دی فنیل اتر (PPAPE)
- ۵۰ شکل ۱۶-۳ مکانیسم پلیمریزاسیون تراکمی به روش فسفریلاسیون برای تهیه پلی (آمید- اتر)ها
- ۵۱ شکل ۱۷-۳ تهیه پلیمر PPAP/BDA با روش فسفریلاسیون
- ۵۲ شکل ۱۸-۳ ساختار چهار پلی (آمید- اتر)
- ۵۳ شکل ۱۹-۳ طیف UV نوعی برای پلیمر PPAP/IPA
- ۵۴ شکل ۲۰-۳ کروماتوگرام ژل-تراوا (GPC) برای پلیمر PPAP/IPA
- ۵۵ شکل ۲۱-۳ طیف FT-IR پلیمر PPAP/BDA
- ۵۶ شکل ۲۲-۳ طیف $^1\text{H-NMR}$ پلیمر DADPE/BDA
- ۵۷ شکل ۲۳-۳ دیفرکتوگرام XRD پلیمرهای (الف) DADPE/BDA (ب) PPAP/BDA
- ۵۹ شکل ۲۴-۳ ترموگرامهای TGA برای پلیمرهای PPAP/ IPA و PPAP/ BDA

- شکل ۳-۲۵ ترموگرامهای DSC برای پلیمرهای PPAPe/ IPA و PPAPe/ BDA ۶۱
- شکل ۳-۲۶ و لتاموگرامهای CV برای پلیمرهای (الف) DADPE/ IPA (ب) DADPE/ BDA (ج) ۶۳
- PPAPe/ IPA (د) PPAPe/ IPA

فصل اول: مقدمه

صفحه	
۳	جدول ۱-۱ مقایسه سختی الباف پلی آمیدی با فولاد
۱۰	جدول ۲-۱ نمونه‌های تجاری چند نوع پلیمر آروماتیک
۲۴	جدول ۳-۱ تغییرات در دمای انتقال شیشه با تغییر در ساختار پلیمر
۲۸	جدول ۴-۱ مقایسه T_g چند نمونه پلی آمید آروماتیک

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

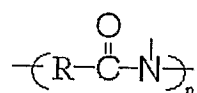
۵۳	جدول ۱-۳ سنتز و برخی از ویژگیهای چهار پلی (آمید-اتر)
۵۶	جدول ۲-۳ نتایج طیفی $^1\text{H-NMR}$ چهار پلیمر
۵۸	جدول ۳-۳ نتایج آزمون بررسی رفتار حرارتی پلیمرها
۶۲	جدول ۴-۳ انحلالپذیری پلیمرها در چند حلال

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در سال ۱۹۳۵ گروهی از محققان شرکت دوپانت^۱ به سرپرستی والاس هیوم کاروتز^۲ توانستند اولین پلی آمید آلیفاتیک را سنتز کنند [۱]. این پلی آمید، نایلون-۶،۶ نام گرفت و توسط این شرکت به تولید تجاری رسید. در ادامه، شیمیدان آلمانی، پائل اسکلاک^۳ و همکارانش [۲] دیگر پلی آمید آلیفاتیک مهم، نایلون-۶ را تهیه نمودند. سپس همگام با ورود نایلون‌های ۱۱ و ۱۲ به بازار فروش، پلی آمیدهای نیمه آروماتیک و تمام آروماتیک دیگری نیز به طور موفقیت آمیز عرضه شدند [۳-۵]. پلی آمیدها در واقع دسته‌ای از پلیمرها به شمار می‌روند که محصول پلیمری شدن تراکمی می‌باشند. وجه مشترک کلیه پلی آمیدها حضور گروه عاملی آمیدی (-CONH-) در ساختار پلیمر است، گروهی که منشاء ظهور خواصی ویژه در آنهاست. نمایش عمومی ساختار شیمیایی یک پلی آمید به صورت زیر است:

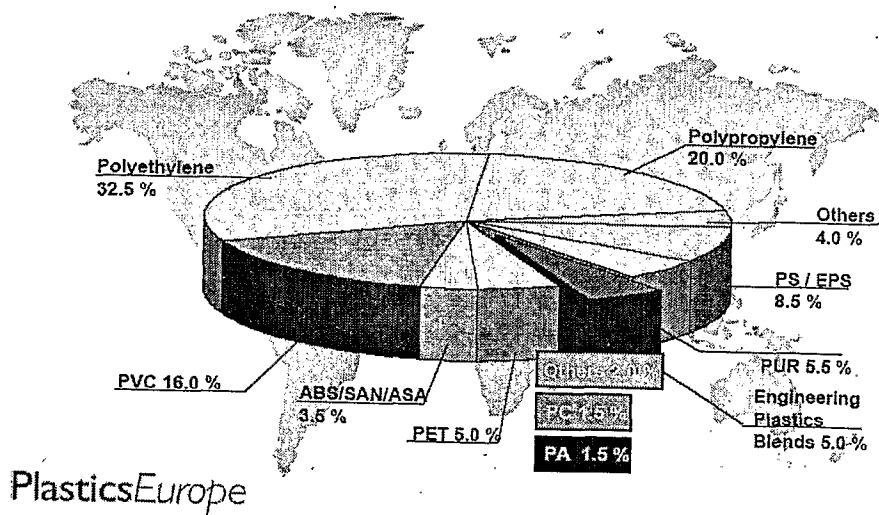


بسته به اینکه R چه باشد طیف وسیعی از پلی آمیدها به صورت طبیعی یا سنتزی موجودند. بخش هیدروکربنی بین اتصالهای آمیدی می‌تواند آلیفاتیک، نیمه آروماتیک و یا تمام آروماتیک باشد که روی انعطاف‌پذیری و نظم ساختاری زنجیر اثر گذار است و برای تشکیل فاز بلوری اهمیت ویژه‌ای دارد.

1 Dupont
2 Wallace hume Corothers
3 Paul Schlack

حوزه تحت مطالعه ما می‌تواند حتی گسترده‌تر شود اگر بخواهیم پلی‌آمیدهای زیستی^۱ را نیز در آن لحاظ کنیم جایی که از پروتئینها و انواع آنزیمها سخن به میان می‌آید. به هر حال این مقوله تنها به انواع غیر زیستی پلی‌آمیدها اشاره دارد.

پلی‌آمیدها را بر حسب اینکه R یک گروه آلیفاتیک باشد یا آروماتیک عموماً به دو دسته پلی‌آمیدهای آلیفاتیک (نایلون^۲) و پلی‌آمیدهای آروماتیک تقسیم می‌کنند که البته نمونه‌های نیمه آروماتیک نیز در بین انواع سنتزی به وفور یافت می‌شوند. در دهه اخیر جایگاه پلی‌آمیدها را در بین انواع پلیمرهای سنتزی می‌توان در شکل ۱-۱ ملاحظه نمود.



شکل ۱-۱ جایگاه پلی‌آمیدها در بین انواع پلیمرها از نظر میزان تولید در دهه اخیر

در جدول ۱-۱ سختی سه نوع الیاف پلی‌آمیدی و نیز فولاد با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به این جدول سختی پلی‌آمیدها نسبت به فولاد تحسین برانگیز است.

- 1 Biopolyamides
- 2 Nylon

جدول ۱-۱ مقایسه سختی الیاف پلی آمیدی با فولاد

سختی الف	الیاف	
۰/۴۴-۰/۵۶	پنبه	طبیعی
۰/۴-۰/۷۱	پلی آمید آلیفاتیک (نایلون)	سنتزی
۱/۸-۲/۰	پلی آمید آروماتیک (نومکس، کولار)	
۰/۳۱	فولاد	معدنی

الف واحد آن نیوتن بر تکس (وزن ۱۰۰۰ متر از الیاف بر حسب گرم) است.

۱-۱ پلی آمیدهای آلیفاتیک

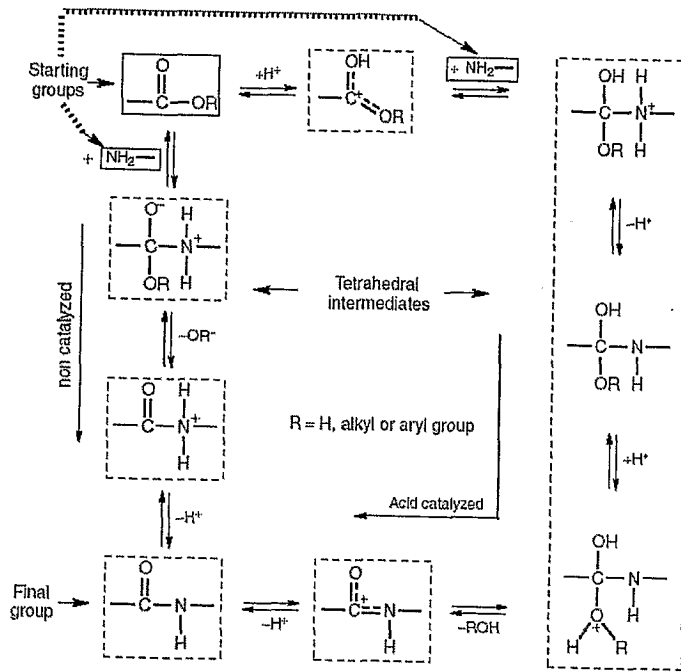
این دسته از پلی آمیدها جزء پرکاربردترین مواد برای رفع نیاز بشر به شمار می روند. از وسیعترین زمینه کاربرد پلی آمیدهای آلیفاتیک (نایلونها) می توان در مهندسی مکانیک از جمله در تولید دنده، بادامک، یاتاقان، بوشن و طوقه، در سیستم خنک سازی اتومبیل، ساخت کیسه هوا همچون در ساخت ورق، پروفیل، لوله، شیلنگ، فیلم، عینک محافظ آفتاب، روکش مقاوم کابل، چرخ دنده، قاب چراغ اتومبیل، فلاش دوربین، تسمه بسته بندی، کلاه ایمنی، کلاه گیس، نخ بخیه جراحی، طناب، برس و موی عروسک، قطعات قالب گیری استریل شونده در پزشکی و داروسازی اشاره داشت [۶]. نایلونها دارای ویژگیهای عمومی و ویژگیهای منحصر به فردی هستند. این ویژگیها باعث شده تا روز به روز نگاه جامعه بشری به این سو گرایش پیدا کند. ویژگیهای خوب مکانیکی، شیمیایی، جرم مخصوص پایین، ضد زنگ بودن، مقاومت خوردگی بسیار بالا، چقرمگی، سختی، مقاومت سایشی، مقاومت در برابر هیدروکربنها

و مقاومت گرمایی بر ارزشمند بودن این دسته از مواد می‌افزاید [۷-۸]. از ویژگیهای تخصصی آنها می‌توان به تفاوت در نسبت گروه‌های $\text{CH}_2/\text{CONH}_2$ و زوج یا فرد بودن تعداد کربن‌ها اشاره داشت. پلی‌آمیدهایی که تعداد اتم آنها زوج باشد مانند PA6، PA10 و PA12 دارای ماکزیم نیروی جاذبه بین مولکولی بین گروه CO و NH خواهند بود که این امر عامل اصلی در بالا بودن ویژگی مکانیکی این نوع پلی‌آمیدها به حساب می‌آید. گروه‌های قطبی آمیدی (-CONH) سبب جاذبه شدید بین مولکولی و در نتیجه بلورینگی می‌شود. قابلیت جذب رطوبت پلی‌آمیدها با تعداد گروه‌های CH_2 موجود بر روی گروه CONH_2 رابطه معکوس دارد. با افزایش تعداد گروه‌های CH_2 موجود بر روی گروه CONH، پلی‌آمید قادر است رطوبت کمتری جذب کند.

۱-۱-۱ سنتز پلی‌آمیدهای آلیفاتیک

روشهای مختلفی برای سنتز پلی‌آمیدهای آلیفاتیک وجود دارد که در ادامه به چند نمونه از آنها به اختصار اشاره می‌شود.

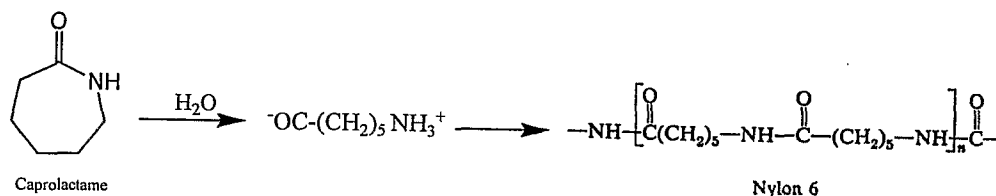
فرایند هیدرولیز: مطابق شکل ۱-۲ واکنش گروه کربوکسیل با گروه آمین ضمن خروج آب، گروه آمیدی را ایجاد می‌نماید [۹-۱۰].



شکل ۱-۲ واکنش سنتز آمید طی فرایند هیدرولیز

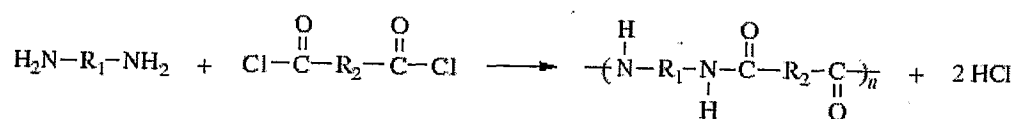
شکل ۱-۳ سنتز نایلون-۶،۶ را مطابق روش هیدرولیز نشان می‌دهد. نایلون-۶،۶ از برهمکنش هگزامتیلن دی‌آمین و آدیپیک اسید که نوعی پلیمریزاسیون تراکمی کاتالیز شده با اسید است تهیه می‌شود.

باز شدن حلقه لاکتام: نایلون-۶ بعنوان مهمترین نایلون پس از نایلون-۶،۶ با این روش تهیه می‌شود. در این واکنش کاپرولاکتام (آمید حلقوی)، ۱۰ تا ۵ درصد آب (کاتالیزور) و یک تنظیم‌گر جرم مولکولی مثل استیک اسید بعنوان محدودکننده واکنش به داخل ظرف خورانده شود. در شکل ۵-۱ سنتز نایلون-۶ با این روش نشان داده شده است [۱۱-۱۳].



شکل ۵-۱ سنتز نایلون-۶ با پلیمر شدن حلقه گشا

واکنش دی‌آمین با دی‌اسید کلرید: در این روش محصول جانبی تراکم هیدروکلرید اسید است. این اسید، آمین اولیه را به نمک آن تبدیل کرده و مانع پیشرفت واکنش می‌شود. برای جلوگیری از اتفاق آن اندکی پتاسیم هیدروکسید یا سدیم هیدروکسید استفاده می‌شود تا اسید تولید شده در محیط مهار شود [۱۴-۱۵].



واکنش دی‌ایزوسیانات با دی‌اسید: واکنش تهیه پلی‌آمید آلیفاتیک با این روش در معادله شیمیایی زیر آمده است [۱۶].

