

...!

المرحمن

الرحيم

بناام خدا



دانشکده شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
گرایش شیمی تجزیه

# بررسی و اصلاح ساختار پلیمر قالب ملکولی (قالب یونی) یون جیوه II

**استاد راهنما :**

اقای دکتر سید محمد رضا میلانی حسینی

**استاد مشاور :**

اقای دکتر طاهر علیزاده

**دانشجو :**

مجید پیرامون

آذر ۱۳۸۵

سپاس بی‌کران خداوند عز و جل را که طاعتش موجب نعمت است و به شکر  
اندرش مزید علت. او که این موقعیت را برای ما فراهم کرد و ما را بر انجام  
آن فایق سافت.

با سپاس فراوان از پدر و مادر عزیز و بزرگوار و مهربانم که بزرگترین نعمات  
خداوندی برای من بوده‌اند.

با تشکر فراوان از آقای دکتر سید محمد رضا میلانی و آقای دکتر طاهر علیزاده  
که مطمئناً "انجام این پروژه بدون زحمات و راهنمایی‌های ایشان ممکن  
و میسر نبود.

با تشکر بی‌شمار از آقای دکتر یعقوب اسدی و دو تن از دانشجویان ایشان ،  
آقای آرمین کیانی و خانم الهام زینی که با وجود مشغله‌های فراوان ، زحمات  
آنالیز نمونه‌های بنده را تقبل کردند.

با قدردانی از آقای محمد میرزائی و آقای عباس رحیمی ، دو تن از دوستان  
بزرگوارم که در تمام مراحمی که به کمک آنها نیاز داشتم ، مرا یاری کردند.

و در آخر بر خود لازم می‌دانم از تمامی دوستان و هم‌آزمایشگاهی‌هایم که  
نامشان ذکر نشد ، قدردانی کنم و برای همه دوستان آرزوی شادکامی ، پیروزی  
و سربلندی داشته باشم.

امیدوارم خداوند بلند مرتبه همه را زیر الطاف پر مهر خویش از ناکامی‌ها  
مصون بدارد.

# بررسی و اصلاح ساختار پلیمرهای قالب ملکولی

## یون جیوه II

استاد راهنما : دکتر سید محمد رضا میلانی مسینی

استاد مشاور : دکتر طاهر علیزاده

دانشجو : مجید پیرامون

## چکیده

معرفی پلیمرهای قالب یونی در آنالیز مقادیر بسیار ناچیز کاتیونها گام بسیار بزرگی در شیمی جداسازی و تغلیظ بود. تکنیک قالب‌گیری یونی روشی را بوجود آورد که فلزات با ارزش را از ترکیبات معدنی و محلولهای رقیق جداسازی کند. همچنین آلودگی‌های فلزات سنگین نظیر کادمیوم، جیوه، نیکل و دیسپرسیوم را از ضایعات صنعتی برطرف نماید.

در این کار پلیمر قالب یونی جیوه II از پلیمریزاسیون ۴- وینیل پیریدین به عنوان منومر عاملی، اتیلن گلیکول دی متاکریلات به عنوان شبکه‌ساز، ۲-۲ آزوبیس ۲- متیل پروپیون نیتریل به عنوان آغازگر و کاتیون جیوه II به عنوان آنالیت هدف با روش پلیمریزاسیون تعلیقی تشکیل شد. پس از حذف یون جیوه از پلیمر به وسیله شستشو، حفراتی متناسب با شکل و اندازه جیوه بر جای ماند که پلیمر را قادر می‌سازد، به طور گزینش‌پذیر جیوه را از محلولهای بسیار رقیق جداسازی و تغلیظ کند. تمام آنالیزهای انجام شده با دستگاه اسپکتروسکوپی جفت شده القایی انجام شد. بهینه‌سازی بر روی pH، زمان، دما، حلالهای آلی و چندین عامل دیگر صورت گرفت.

این پلیمر ضریب توزیع بالایی نسبت به پلیمر کنترل از خود نشان داد. گزینش‌پذیری پلیمر برای جیوه نسبت به سایر کاتیونها نظیر کادمیوم، سرب، روی، کبالت، مس و ... بسیار بالا بود. راندمان جذب بالای ۹۵٪ بدست آمد و انحراف استاندارد نسبی ۱٫۵٪ شد.

## فهرست فصول

۱ ..... فصل اول : آشنایی با پلیمرها

۲ ..... مقدمه

۳ ..... ۱. تاریخچه

۴ ..... ۲. تقسیم بندی پلیمرها

۵ ..... ۱. ۲. پلیمرهای طبیعی (رزینها)

۶ ..... ۲. ۲. پلیمرهای مصنوعی

۷ ..... ۳. معرفی پلیمرها

۸ ..... ۳. ۱. دیدی بر اندازه‌ی پلیمرها

۹ ..... ۳. ۲. آشنایی با برخی تعاریف و اصطلاحات پلیمر

۱۱ ..... مراجع فصل اول

۱۲ ..... فصل دوم : تکنولوژی قالبگیری ملکولی

۱۳ ..... مقدمه

۱۴ ..... ۱. فرایند قالبگیری ملکولی چیست ؟

۱۶ ..... ۲. تاریخچه MIP

۱۷ ..... ۳. تکنیک قالبگیری ملکولی

۱۸ ..... ۴. انواع برهمکنش‌ها در قالبگیری ملکولی

۲۰ ..... ۵. منومر عاملی

۲۱	۶. منومر شبکه‌ساز .....
۲۲	۷. حلال .....
۲۴	۸. آغازگر .....
۲۵	۹. روشها مختلف سنتز MIP .....
۲۵	۹. ۱. پلیمریزاسیون توده‌ای .....
۲۶	۹. ۲. پلیمریزاسیون امولسیون .....
۲۷	۹. ۳. پلیمریزاسیون رسوبی .....
۲۸	۹. ۴. پلیمریزاسیون تعلیقی .....
۲۸	۹. ۵. سایر روشها .....
۲۹	۱۰. روشهای تشخیص ساختار و مشخصات پلیمر ایجاد شده .....
۲۹	۱۰. ۱. آزمایش جذب حلال .....
۲۹	۱۰. ۲. آزمایش جذب نیتروژن .....
۳۰	۱۰. ۳. آزمایش داخل کردن جیوه .....
۳۰	۱۰. ۴. تکنیک ISEC .....
۳۱	۱۰. ۵. تکنیک میکرو آنالیز عنصری .....
۳۱	۱۰. ۶. تکنیک FT-IR .....
۳۱	۱۰. ۷. تکنیک NMR حالت جامد .....
۳۱	۱۰. ۸. تکنیک SEM .....
۳۲	۱۱. کاربردهای MIP .....

۳۲	..... ۱.۱۱ تکنیک‌های کروماتوگرافی
۳۳	..... ۲.۱۱ کاپیلاری الکتروفورز
۳۴	..... ۱.۱۱.۲ MIP به صورت ذرات کروی مجتمع
۳۴	..... ۱.۱۱.۲ MIP به عنوان پوشش دهنده سطحی
۳۴	..... ۱.۱۱.۳ MIP به عنوان مونولیت
۳۴	..... ۳.۱۱ استخراج فاز جامد
۳۵	..... ۴.۱۱ کاتالیزور
۳۶	..... ۵.۱۱ MIP به عنوان عامل شناساگر در سنسورها
۳۷	..... ۱.۱۲ معایب و مشکلات MIP
۳۸	..... مراجع فصل دوم

## ۴۱ ..... **فصل سوم: قالبگیری یونی**

۴۲	..... مقدمه
۴۲	..... ۱. مقدمه‌ای بر قالبگیری یونی
۴۳	..... ۲. نگاهی بر سنتز پلیمرهای قالب ملکولی گزینش‌پذیر برای یونهای فلزی
۴۴	..... ۱.۲ انتخاب و آماده‌سازی منومر
۴۴	..... ۲.۲ تهیه کمپلکس
۴۵	..... ۳.۲ تهیه پلیمر
۴۷	..... ۳. روشهای ویژه قالب‌گیری یونی
۴۷	..... ۱.۳ آغاز تحقیقات در مورد قالب‌گیری یونی



۴۹	.....	۳. ۲. گسترش قلمرو قالب‌گیری یونی
۵۴	.....	۴. قالب‌های یونی در محیط‌های مایع/ژلاتین
۵۵	.....	۵. قالب‌گیری سطح
۵۶	.....	۶. غشاهای تراوا برای یونهای فلزی
۵۸	.....	۷. نتیجه‌گیری
۶۰	.....	مراجع فصل سوم

## فصل چهارم: جیوه ، خدای رومیان ..... ۶۳

۶۴	.....	مشخصات عمومی جیوه
۶۷	.....	۱. راه‌های ورود جیوه به محیط زیست
۶۸	.....	۲. سمیت جیوه
۶۸	.....	۲. ۱. متیل جیوه
۶۹	.....	۲. ۲. جیوه عنصری
۶۹	.....	۳. دیگر ترکیبات جیوه
۷۰	.....	۴. کاربردهای جیوه
۷۲	.....	۵. روش‌های پیش تغلیظ جیوه
۷۲	.....	۵. ۱. ملغمه با طلا
۷۲	.....	۵. ۲. استخراج مایع - مایع
۷۳	.....	۵. ۳. استخراج فاز جامد
۷۳	.....	۵. ۴. سایر روشها
۷۴	.....	۶. روش‌های اندازه‌گیری جیوه

۷۴	..... ۱. رنگ‌سنجی
۷۴	..... ۲. طیف‌سنجی جذب اتمی
۷۵	..... ۳. طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی
۷۵	..... ۴. پلاروگرافی
۷۵	..... ۵. سایر روشها
۷۷	..... مراجع فصل چهارم

## فصل پنجم: سنتز پلیمر قالب یونی جیوه II ..... ۷۹

۸۰	..... مقدمه
۸۱	..... ۱. مواد و دستگاه‌های استفاده شده در این پروژه
۸۱	..... ۱.۱. مواد مصرفی مورد نیاز
۸۲	..... ۲. دستگاه‌های مورد استفاده
۸۳	..... ۱.۳. دستگاه شناسایی و اندازه‌گیری کمی جیوه II
۸۳	..... ۲. سنتز و آماده سازی پلیمر برای جذب
۸۳	..... ۱.۲. سنتز پلیمر قالب یونی جیوه II
۸۵	..... ۲.۲. سنتز پلیمر کنترل
۸۶	..... ۲.۳. شستشوی پلیمر برای خارج کردن جیوه II
۸۶	..... ۲.۴. انتخاب حلال
۸۶	..... ۳. بهینه‌سازی شرایط شستشو و تغلیظ
۸۶	..... ۳.۱. بهینه سازی شرایط شستشو
۸۶	..... ۳.۱.۱. انتخاب نوع محلول شوینده

۸۸	..... ۳. ۱. ۲. انتخاب زمان شستشو
۸۹	..... ۳. ۱. ۳. بررسی اثر pH روی شستشو
۹۰	..... ۳. ۱. ۴. تاثیر متانول بر روی شستشوی پلیمر
۹۱	..... ۳. ۲. بررسی پارامترهای مختلف روی جذب
۹۱	..... ۳. ۲. ۱. بهینه سازی زمان جذب
۹۲	..... ۳. ۲. ۲. بررسی اثر حلالهای الی بر روی جذب
۹۳	..... ۳. ۲. ۳. اثر دما بر روی جذب جیوه
۹۳	..... ۳. ۲. ۴. اثر pH بر روی جذب جیوه
۹۴	..... ۴. تعیین و بهبود خواص پلیمر قالب یونی
۹۴	..... ۴. ۱. بررسی تاثیر غلظت شبکه‌ساز بر خصوصیات IIP
۹۶	..... ۴. ۲. گزینش پذیری
۹۹	..... ۴. ۳. مقایسه پلیمر قالب یونی و پلیمر کنترل
۱۰۰	..... ۴. ۴. تعیین فاکتور غنی‌سازی
۱۰۰	..... ۴. ۵. بررسی تکرارپذیری
۱۰۱	..... ۴. ۶. رسم منحنی کالیبراسیون
۱۰۲	..... ۵. بررسی طیف‌های گرفته شده از پلیمر قالب یونی جیوه II
۱۰۲	..... ۵. ۱. طیف SEM
۱۰۵	..... ۵. ۲. طیف IR
۱۰۶	..... ۶. بحث و نتیجه‌گیری
۱۰۷	..... ۷. پیشنهادات
۱۰۸	..... مراجع فصل پنجم

## فهرست جداول

### فصل اول : آشنایی با پلیمرها

### فصل دوم : تکنولوژی قالبگیری ملکولی

جدول ۱ : خصوصیات فیزیکی عمومی ترین حلالهای استفاده شده در سنتز MIP.....۳۲

### فصل سوم : قالبگیری یونی

### فصل چهارم : جیوه ، خدای رومیان

جدول ۱ : ایزوتوپهای جیوه و نیمه عمر آنها.....۶۵

### فصل پنجم : سنتز پلیمر قالب یونی جیوه II

جدول ۱: راندمان جذب جیوه توسط IIP در زمانهای متفاوت.....۹۱

جدول ۲: میزان جذب جیوه توسط پلیمرهای قالب یونی با درصدهای متفاوت شبکه‌ساز

.....۹۵

جدول ۳: میزان جذب ۱۷ یون مزاحم در Hg-IIP در غلظت ppm ۷۰.....۹۷

جدول ۴: میزان جذب ۱۷ یون مزاحم در Hg-IIP در غلظت ppm ۱۰.....۹۷

جدول ۵ : راندمان جذب در هفت آزمایش مشابه.....۱۰۱

## فهرست شکل‌ها

### فصل اول : آشنایی با پلیمرها

#### فصل دوم : تکنولوژی قالبگیری ملکولی

- شکل ۱ : قوانین حاکم بر قالبزنی مولکولی با توجه به نظریه قفل و کلید فیشر..... ۱۵
- شکل ۲ : اصول کلی فرایند قالبگیری ملکولی..... ۱۵
- شکل ۳ : Klaus Mosbach..... ۱۷
- شکل ۴ : واکنش مابین phenyl- $\alpha$ -D-mannopyranosidase و 4-vinylphenylboronic acid ..... ۱۹
- شکل ۵ : برهمکنش بین متاکریلیک اسید و نیکوتین..... ۱۹
- شکل ۶ : پرکاربردترین منومرهای عاملی استفاده شده در سنتز MIP..... ۲۱
- شکل ۷ : عمومی‌ترین شبکه‌سازهای مورد استفاده در سنتز MIP..... ۲۲
- شکل ۸ : متداول‌ترین آغازگرهای مورد استفاده در سنتز MIP..... ۲۵
- شکل ۹ : طیف SEM گرفته شده از ذرات MIP..... ۳۲
- شکل ۱۰ : نمایش شماتیک استفاده از MIP به عنوان کاتالیزور..... ۳۶

#### فصل سوم : قالبگیری یونی

- شکل ۱ : دو روش ویژه برای ساخت پلیمر قالب یونی..... ۴۶
- شکل ۲ : لیگاندهای استفاده شده برای قالبگیری سطحی..... ۵۵

#### فصل چهارم : جیوه ، خدای رومیان

- شکل ۱ : نماد کیمیاگری استفاده شده برای جیوه در گذشته دور..... ۶۶

#### فصل پنجم : سنتز پلیمر قالب یونی جیوه II

- شکل ۱ : نمای شماتیک فرایند قالبگیری..... ۸۰
- شکل ۲ : کمپلکس یون جیوه II با چهار لیگاند 4-vp و دو یون  $\text{NO}_3^-$ ..... ۸۴
- شکل ۳ : پلیمر قالب یونی جیوه II و پلیمر کنترل ..... ۸۵
- نمودار ۱: بررسی اثر نوع حلال بر شستشوی IIP..... ۸۷
- نمودار ۲: بهینه‌سازی زمان شستشوی IIP..... ۸۸
- نمودار ۳: بررسی اثر pH بر روی شستشوی IIP..... ۸۹
- نمودار ۴: تاثیر متانول بر روی شستشوی IIP..... ۹۰
- نمودار ۵: زمان جذب بهینه جیوه توسط IIP..... ۹۱
- نمودار ۶: تاثیر حضور حلالهای آلی بر جذب توسط IIP..... ۹۲
- نمودار ۷: بررسی اثر دما بر جذب توسط IIP..... ۹۳
- نمودار ۸: تاثیر pH بر روند جذب IIP..... ۹۴
- نمودار ۹ : تاثیر تغییر درصد شبکه‌ساز بر میزان جذب جیوه توسط پلیمر قالب یونی جیوه..... ۹۶
- نمودار ۱۰ : میزان جذب یونهای مزاحم در Hg-IIP در غلظت ۷۰ ppm..... ۹۸
- نمودار ۱۱: مقایسه NIP و Hg-IIP از نظر میزان جذب جیوه..... ۹۹
- نمودار ۱۲ : راندمان جذب در هفت آزمایش مشابه..... ۱۰۱
- نمودار ۱۳: منحنی کالیبراسیون رسم شده برای Hg-IIP..... ۱۰۲
- شکل ۴: طیف‌های SEM گرفته شده از پلیمر قالب یونی جیوه II ، سنتز شده به روش پلیمریزاسیون تعلیقی..... ۱۰۳
- شکل ۵: طیف‌های SEM گرفته شده از پلیمر قالب یونی جیوه II ، سنتز شده به روش پلیمریزاسیون توده‌ای ..... ۱۰۴
- شکل ۶: طیف IR گرفته شده از پلیمر قالب یونی جیوه..... ۱۰۵

# آشنایی با پلیمرها

## مقدمه

علم شیمی یک علم پرهیجان است و تعداد شاخه های آن بدون وقفه رو به افزایش است. علم شیمی ماکرومولکولها یکی از پرشورترین این شاخه ها می باشد. علم پلیمر که شاخه ای از شیمی آلی به شمار می آید، از علوم بسیار جوانی است که برای اولین بار توسط مطالعات و تحقیقات پروفیسور استادینگر<sup>۱</sup> در بین دو جنگ جهانی اول و دوم پا به عرصه ی وجود گذاشت، ولی رشد و توسعه ی آن چنان سریع بوده است که آگاهی یافتن از آن ضروری به نظر می رسد. پلیمرهای مصنوعی در زندگی روزمره ی ما مصرفی چشمگیر یافته و نیز کاربردهای صنعتی گوناگونی پیدا کرده اند. این مواد جانشین شیشه، فلزات، سرامیک، چوب و مقوا شده اند. ریزمولکولها عمدتاً دارای وزن مولکولی کمی هستند و وزن آنها بین ۵۰ تا ۲۵۰ است. ولی پلیمرها محدودیتی برای وزن مولکولی ندارند و تا بیش از چند هزار و در مولکولهای سه بعدی، تا بیش از چندین هزار تغییر می کند. واژه پلیمر از کلمات یونانی (Poly) به معنای "بسیار" و (Meros) به معنای "قسمت" گرفته شده است. همچنین در کلمه ی بسیار (بس) به معنای بسیار و (پار) به معنای واحد بسیار تکرار شونده، واژه ی بسیار را می سازند. طبیعت خیلی پیش از آنکه انسان بتواند بسپارهای سنتزی را بسازد، بسپارهایی مانند سلولز را ساخته بود. سلولز جزء اصلی تشکیل دهنده ی الیاف پنبه و چوب است. پروتئینها، کائوچو و برخی رزینها از این دسته بسپارها هستند. بدن ما نیز خود از بسپارها تشکیل شده است. ماهیچه ها، پروتئینها، ژنها و کروموزومها همه از بسپار ساخته شده اند. لباسی که بر تن می کنیم از این مولکولهای بلند که به شکل لیف درآمده اند تشکیل شده است. ظروف آشپزخانه که هر روز مصرف می کنیم، لاستیک خودروها- که از الاستومر هستند- روکش کابل های برق، شیشه ها، چسبها، رنگها، پوششها، دریچه های مصنوعی قلب، سرنگ های یکبار مصرف و تمام قطعات لاستیکی و پلاستیکی که در ماشینها کاربرد دارند، همگی پلیمر هستند. به طور خلاصه می توان گفت، محصولات پلیمری در

---

۱. Stadinger



مقایسه با کل مواد مورد مصرف در جهان، از مواد غیر پلیمری (فلزات و استیل)، پیشی گرفته است. در واقع پلیمرها نه تنها جای خود را در میان مواد باز کرده‌اند، بلکه توانسته‌اند جایگزین آنها نیز بشوند.

## ۱. تاریخچه

انسان به قدمت عمر خود از پلیمرها استفاده کرده است. از گوشت و سبزی‌ها برای خوراک، چوب و نی برای خانه‌سازی، چرم و پنبه برای لباس و کاغذ برای ارتباطات استفاده کرده است، که همگی پلیمرهای طبیعی هستند. بومیان آمریکای مرکزی از برخی درختان شیرابه‌هایی استخراج می‌کردند که شیرابه بعدها نام لاتکس به خود گرفت. در دوران باستان (بیش از پنج هزار سال پیش)، سامری‌ها از آسفالت برای پوشش کف پیاده‌روها استفاده می‌کردند و در مصر باستان تابوت‌های حجاری شده را با پلیمرهای طبیعی (مانند وارنیش<sup>۱</sup>) جلا می‌دادند. این پلیمرها در قرون وسطی نیز برای حفاظت چوب و نقاشی‌ها کاربرد داشتند. در ابتدای قرن هفدهم استفاده از ترشحات پلیمری کرم ابریشم آغاز شد و با کشف چارلز گودیر<sup>۲</sup> در سال ۱۸۳۹ میلادی دوره‌ی موسوم به عصر جدید آغاز شد. وی متوجه شد که در اثر مخلوط کردن لاتکس طبیعی با سولفور و حرارت دادن آن ماده‌ای قابل ذوب ایجاد می‌شود که می‌توان از آن محصولات مختلفی نظیر چرخ ارابه یا توپ تهیه کرد. این دانشمند به چگونگی تبدیل لاستیک به لاستیک ولکانیزه پی برده بود. لاستیک تقریباً صد سال پیش از آن از طریق آمریکای جنوبی به اروپا معرفی شده بود و نام آن از اولین کاربرش که مداد پاک کن بود، (Rubber) گذاشته شد. در ۱۸۶۹ میلادی، سلولوئید از واکنش اسیدها با سلولز و تهیه‌ی سلولزنیترات حاصل شد. در این سال‌ها پلیمرها به شکل الیاف و دیگر اشکال تهیه شدند که بسیاری از آنها تا جنگ جهانی اول مورد استفاده قرار نگرفتند. اولین پلیمرهای مصنوعی تجاری پلاستیکهای فنول-فرمالدهید بودند که آتو باکلند آنها را در سال ۱۹۰۷ ساخت و باکلیت نام گرفتند که در تهیه قطعات الکتریکی، کلیدها، پریزها و وسایل گوناگون مصرف زیادی دارند. در اثنای جنگ جهانی دوم موادی مثل نایلون

---

۱. Varnish

۲. Goodyear

پلی اتیلن-آکریلیک موسوم به پرسپکس به دنیا عرضه شد. نئوپرن را شرکت دوپان در سال ۱۹۳۲ ابداع و به شکل تجارتي ابتدا با نام دوپرن و بعدها نئوپرن عرضه کرد. بسیاری از پلاستیکها در حین تحقیقات، و بسیاری به طور اتفاقی تهیه شده‌اند. یکی از معروف‌ترین این تحقیقات (که منجر به کشف نایلون شد) کارهای کاروتز بود. این کارها در سال ۱۹۳۹ به منظور تولید الیاف جدید صورت گرفت، بلکه به هدف فراگیری بیشتر در مورد پلیمرها انجام شد.

اولین قدم در زمینه صنعت پلاستیک توسط فردی به نام *واسپاهیات* انجام گرفت. وی در تلاش بود ماده‌ای را به جای عاج فیل تهیه کند. وی توانست فرآیند تولید نیترات سلولز را از سلولز ارائه کند. در دهه ۱۹۷۰ پلیمرهای هادی به بازار عرضه شدند که کاربرد بسیاری در صنعت رایانه دارند زیرا مدارها و ICهای رایانه‌ها از این مواد تهیه می‌شوند.

اغلب پلیمرها عایق الکتریکی هستند. عایق بودن پلیمرها به پیوند کووالانسی موجود بین اتمها در زنجیرهای مولکولی ارتباط دارد. اما تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر نشان داد که امکان ایجاد خاصیت هدایت الکتریکی در امتداد محور مولکولها وجود دارد. این نوع پلیمرها اساساً از پلی استیلن تشکیل شده‌اند. با نفوذ دادن عناصری مانند فلزات قلیایی یا هالوژنها (فرایند دوپینگ) به زنجیرهای مولکولی پلی استیلن، به ترتیب نیمه هادیهای پلیمری از نوع N و P به دست می‌آیند. افزودن عناصر یا دوپینگ سبب می‌شود که الکترونها بتوانند در امتداد اتمهای کربن در زنجیر حرکت کنند. در سالهای اخیر مواد هوشمند پلیمری جایگاه تازه‌ای برای خود در سنسورها پیدا کردند [۱].

## ۲. تقسیم بندی پلیمرها

به طور کلی فرایند پلیمریزاسیون می‌تواند به صورتهای مختلفی مانند افزایشی، مرحله‌ای و ... انجام گیرد. در پلیمریزاسیون افزایشی، تعدادی از واحدهای تکراری به یکدیگر اضافه شده و مولکول بزرگتری را به نام پلیمر تولید می‌کنند. در این نوع پلیمریزاسیون ابتدا در مرحله اول رادیکال آزاد، با دادن انرژی (حرارتی یا نوری) به مولکولهای اتیلین با پیوند دوگانه و شکست پیوند دوگانه، به وجود

می‌آید. سپس رادیکالهای آزاد با اضافه شدن به واحدهای تکراری، مراکز فعالی به نام آغازگر را ایجاد می‌کنند و هر یک از این مراکز به واحدهای تکراری دیگر اضافه شده و رشد پلیمر ادامه می‌یابد. از نظر تئوری، درجه پلیمریزاسیون افزایشی می‌تواند نامحدود باشد، که در این صورت مولکول زنجیره‌ای بسیار طولی از اتصال تعداد زیادی واحدهای تکراری به یکدیگر شکل می‌گیرد. اما عملاً رشد زنجیر به صورت نامحدود صورت نمی‌گیرد. هر چه قدر تعداد مراکز فعال یا آغازگرهای شکل گرفته بیشتر باشد، تعداد زنجیرها زیادتر و نتیجتاً طول زنجیرها کوچکتر میشود و بدین دلیل است که خواص پلیمرها تغییر می‌کند. البته سرعت رشد نیز در اندازه طول زنجیرها موثر است. هنگامی که واحدهای تکراری تمام و زنجیرها به یکدیگر متصل شوند، رشد خاتمه می‌یابد.

از دیگر روشهای پلیمریزاسیون، پلیمریزاسیون مرحله‌ای است که در آن منومرها با یکدیگر واکنش شیمیایی داده و پلیمرهای خطی را به وجود می‌آورند. در بسیاری از واکنشهای پلیمریزاسیون مرحله‌ای، مولکول کوچکی به عنوان محصول فرعی شکل می‌گیرد. این نوع واکنشها گاهی، پلیمریزاسیون کندانسیونی نیز نامیده می‌شوند [۲].

از نظر صنایع مادر پلیمرها به چهار گروه صنایع لاستیک، پلاستیک، الیاف پوششی و چسب تقسیم بندی می‌شوند. اینها صنایع مادر در پلیمرها می‌باشند، اما صنایع وابسته به پلیمرها هم فراوان هستند. پلیمرها از لحاظ منبع به سه گروه اصلی تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از پلیمرهای طبیعی، طبیعی اصلاح شده و مصنوعی.

## ۱.۲. پلیمرهای طبیعی (رزینها)

منابع طبیعی رزینها، حیوانات، گیاهان و مواد معدنی می‌باشد. این پلیمرها به سادگی شکل پذیر بوده لیکن دوام کمی دارند. رزینهای رایج عبارتند از روزین، آسفالت، تار، کهربا، سندروس، لیگنپین، لاک شیشه‌ای. رزینهای طبیعی اصلاح شده شامل سلولز و پروتئین می‌باشد. سلولز قسمت اصلی گیاهان

بوده و به عنوان ماده اولیه قابل دسترسی برای تولید پلاستیکها می‌باشد. کازئین ساخته شده از شیر تنها پلاستیک مشتق شده از پروتئین است که در عرصه تجارت نسبتاً موفق است.

## ۲.۲. پلیمرهای مصنوعی

پلیمرهای مصنوعی را می‌توان از طریق واکنشهای پلیمریزاسیون بدست آورد. از مواد پلیمری می‌توان در تهیه پلاستیکها، چسبها، رنگها، ظروف عایق، مواد پزشکی بهره جست. پلاستیکها به تولید طرحهای جدید در اتومبیلها، وسایل نقلیه سریع، هاورکرافت، قایقها، ترنها، آلات موسیقی، وسایل خانه، یراق آلات ساختمانی و سایر کاربردها کمک نموده‌اند. در ادامه به بررسی کاربرد چندین پلیمر می‌پردازیم:

### \* پلی‌استایرن

این پلیمر به صورت گسترده‌ای در ساخت پلاستیکها و رزینهای مانند عایقها و قایقهای فایبرگلاس، در تولید لاستیک، مواد حدواسط رزینهای تعویض یونی و در تولید کوپلیمرهایی مانند ABS و SBR کاربرد دارد. محصولات تولیدی از استایرن در بسته‌بندی، عایق الکتریکی-حرارتی، لوله‌ها، قطعات اتومبیل، فنجان و دیگر موادی که در ارتباط با مواد غذایی می‌باشند، استفاده می‌شوند.

### \* لاستیکهای سیلیکون

مخلوط بسیار کانی-الی هستند که از پلیمریزاسیون انواع سیلانها و سیلوکسانها بدست می‌آیند. با اینکه گراند ولی مقاومت قابل توجه در برابر گرما، به استفاده منحصر از این لاستیکها در مصارف بالا منجر شده است. این ترکیبات اشتعال‌پذیری نسبتاً پایین، گرانروی کم در درصد بالای رزین، عدم سمیت، خواص بالای دی‌الکتریک، حل‌ناپذیری در آب و الکلها و ... دارند. به دلیل همین خواص ترکیبات سیلیکون به عنوان سیال هیدرولیک و انتقال گرما، روان‌کننده و گریس، درزگیر برای مصارف برقی، رزینهای لایه‌کاری و پوشش و لعاب مقاوم در دمای بالا و الکلها و مواد صیقل‌کاری قابل استفاده‌اند. بیشترین مصرف اینها در صنایع هوا فضا است.