

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

(گرایش شیمی آلی)

پلیمریزاسیون اتیلن توسط کاتالیست های

Late transition metal بر اساس فلز نیکل و کبالت

استاد راهنما

آقای دکتر غلامحسین ظهوری

استاد مشاور

آقای دکتر محمد یزدان بخش

نگارش

نرگس بهشتی

دی ۱۳۹۲

تقدیم به

اسوه های صبر و فداکاری، پدر و مادر عزیزم
که حامی و مشوق من در تمام لحظات زندگی ام
بوده اند.

تقدیر و سپاس

بر خود واجب می دانم که از زحمات، حمایت ها و راهنمایی های بی دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر غلامحسین ظهوری قدردانی نمایم. همچنین از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر نوید رمضانیان و جناب آقای دکتر سعید استادموحد که با راهنمایی هایشان مرا در انجام پروژه یاری نموده اند سپاسگزارم. از دوستان عزیزم خانم ها سلیمانزادگان، نورالهیان، لطفی، میان درهویی و سایر دوستانم در آزمایشگاه های تحقیقاتی شیمی پلیمر و شیمی آلی کمال تشکر را دارم و توفیق و سربلندی آنها را در تمام مراحل زندگی آرزومندم.

چکیده:

کاتالیست های ۱ و ۲- بیس (۲،۴،۶- تری متیل فنیل ایمینو) اسنفتن نیکل دی برماید (A_1) ، ۱ و ۲- بیس (۲،۴،۶- تری متیل فنیل ایمینو) اسنفتن کبالت دی کلرید (A_2) ، ۱ و ۲- بیس (۲،۳- دی متیل فنیل ایمینو) اسنفتن نیکل دی برماید (B) و ۱ و ۲- بیس (۳- متیل فنیل ایمینو) اسنفتن نیکل دی کلراید (C) تحت شرایط کنترل شده تهیه شده و با کمک کاتالیست متیل آلومینو کسان (MAO) برای پلیمریزاسیون اتیلن مورد استفاده قرار گرفتند. برای بدست آوردن شرایط بهینه پلیمریزاسیون در دما، فشار، زمان و نسبت های مختلف ($[Al]:[M]$) انجام گردید. بیشترین فعالیت کاتالیست A_1 در دمای $40^\circ C$ ، زمان ۱۰ دقیقه و نسبت مولی کمک کاتالیست به کاتالیست، $[Al]/[Ni]$ ، ۱:۲۰۰۰ به دست آمد و همچنین فعالیت کاتالیست با افزایش فشار مومنومر افزایش یافت. وزن مولکولی متوسط پلیمرهای به دست آمده از کاتالیست A_1 در دماها و فشارهای مختلف محاسبه شد که با افزایش فشار از ۱ تا ۶ بار، وزن مولکولی افزایش نشان داد. وزن مولکولی در دمای $40^\circ C$ و فشار ۱ بار $2/8 \times 10^5$ بدست آمد اما در دمای $60^\circ C$ به $1/95 \times 10^5$ کاهش یافت. بلورینگی و دمای ذوب پلیمرهای کاتالیست A_1 در فشارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد با افزایش فشار دمای ذوب پلیمر و بلورینگی افزایش می یابد. بیشترین فعالیت برای کاتالیست A_2 در دمای $20^\circ C$ و نسبت $[Al]/[Co]$ ۱:۱۰۰۰ و برای کاتالیست B و C در دمای $20^\circ C$ و $15^\circ C$ و نسبت $[Al]/[Ni]=2000$ بدست آمد.

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی و طبقه بندی انواع پلی اتیلن

۱-۱	مقدمه.....	۲
۲-۱	ساختار پلی اتیلن.....	۳
۳-۱	طبقه بندی انواع پلی اتیلن.....	۴
۱-۳-۱	پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE).....	۵
۲-۳-۱	پلی اتیلن با چگالی متوسط (MDPE).....	۵
۳-۳-۱	پلی اتیلن خطی با چگالی پایین (LLDPE).....	۵
۴-۳-۱	پلی اتیلن با چگالی پایین (LDPE).....	۶
۵-۳-۱	پلی اتیلن با چگالی بسیار پایین (VLDPE).....	۶
۶-۳-۱	پلی اتیلن با پیوند عرضی (PEX or XLPE).....	۷
۴-۱	خواص پلی اتیلن.....	۷
۵-۱	کاربردهای پلی اتیلن.....	۹

فصل دوم: توسعه پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن

۱-۲	مقدمه.....	۱۲
۲-۲	انواع پلیمریزاسیون اتیلن در صنعت.....	۱۲
۱-۲-۲	پلیمریزاسیون رادیکالی.....	۱۲

۲-۲-۲	پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن.....	۱۲
۳-۲	دسته بندی انواع کاتالیزورها برای پلیمریزاسیون α -اولفین ها.....	۱۳
۱-۳-۲	کاتالیزورهای فیلپس.....	۱۳
۲-۳-۲	کاتالیزورهای زیگلر-ناتا.....	۱۳
۳-۳-۲	کاتالیزورهای متالوسن.....	۱۸
۴-۳-۲	کاتالیزورهای فرامتالوسن.....	۲۰
۴-۲	انواع لیگاندها برای سنتز کاتالیست های Late transition metal.....	۲۳
۱-۴-۲	لیگاندهای دودندانه.....	۲۳
۲-۴-۲	لیگاندهای سه دندانه بیس (ایمینو).....	۲۵
۵-۲	فرایند SHOP.....	۲۷
۶-۲	سایر لیگاندها.....	۲۸
فصل سوم: سنتز کاتالیست های α -دی ایمین، سینتیک و مکانیسم پلیمریزاسیون		
۱-۳	مقدمه.....	۳۱
۲-۳	سنتز کاتالیست های α -دی ایمین.....	۳۱
۱-۲-۳	سنتز لیگاندهای α -دی ایمین.....	۳۱
۲-۲-۳	واکنش لیگاندها با پیش ماده کاتالیست.....	۳۳
۳-۳	کمک کاتالیست.....	۳۳

۳۴	نقش کمک کاتالیست در پلیمریزاسیون.....	۱-۳-۳
۳۵	سیتتیک پلیمریزاسیون.....	۴-۳
۳۸	مکانیسم پلیمریزاسیون.....	۵-۳
۴۰	نقش اجزای تشکیل دهنده کاتالیست.....	۶-۳
۴۰	نوع فلز واسطه.....	۱-۶-۳
۴۱	اثر استخلاف‌های حلقه آریل.....	۲-۶-۳
۴۲	اثر کمک کاتالیست.....	۳-۶-۳
۴۳	سپورت.....	۷-۳

فصل چهارم: بخش تجربی

۴۶	مقدمه.....	۱-۴
۴۶	مواد.....	۲-۴
۴۷	وسایل و تجهیزات.....	۳-۴
۴۷	گلاوباکس.....	۱-۳-۴
۴۸	راکتور پلیمریزاسیون.....	۲-۳-۴
۴۹	سیر کولاتور.....	۳-۳-۴
۴۹	پمپ خلاء.....	۴-۳-۴
۴۹	ستون تزریق منومر.....	۵-۳-۴

سیستم دستگاه تقطیر.....	۶-۳-۴	۴۹
سیستم نگهداری و انتقال اجزاء کاتالیست.....	۷-۳-۴	۴۹
بخش تجربی.....	۴-۴	۵۰
روش سنتز کاتالیست.....	۱-۴-۴	۵۰
محلول کمک کاتالیست.....	۲-۴-۴	۵۵
پلیمریزاسیون اتیلن.....	۳-۴-۴	۵۶
دستگاه ها و تکنیک های مورد استفاده.....	۴-۴-۴	۵۷

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

مقدمه.....	۱-۵	۶۲
بررسی تاثیر غلظت کمک کاتالیست MAO بر رفتار پلیمریزاسیون.....	۲-۵	۶۲
بررسی اثر تغییر دما بر رفتار پلیمریزاسیون.....	۳-۵	۶۵
بررسی اثر تغییر فشار بر رفتار پلیمریزاسیون.....	۴-۵	۶۶
بررسی سینتیک پلیمریزاسیون (تأثیر زمان بر رفتار کاتالیست).....	۵-۵	۶۸
محاسبه ی جرم ملکولی نمونه با استفاده از روش ویسکومتری.....	۶-۵	۶۹
بررسی تأثیر فشار بر متوسط وزن مولکولی.....	۱-۶-۵	۶۹
بررسی تأثیر دما بر متوسط وزن مولکولی.....	۲-۶-۵	۷۱
آنالیز حرارتی نمونه های پلیمری (DSC).....	۷-۵	۷۲

۱-۷-۵ اثر فشار بر بلورینگی و نقطه ذوب پلیمر..... ۷۳

۸-۵ پلیمریزاسیون با سایر کاتالیست ها..... ۷۵

۹-۵ نتیجه گیری:..... ۷۶

فصل ششم:

مراجع و ضمائم..... ۷۴

۱-۶ مراجع..... ۷۹

۲-۶ ضمائم..... ۸۵

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ سهم مصرف پلی اتیلن ها در مقایسه با سایر پلیمرها در جهان در سال ۲۰۰۲..... ۳
- شکل ۲-۱ ساختار سه بعدی و شیمیایی پلی اتیلن..... ۴
- شکل ۳-۱ پلی اتیلن با چگالی بالا، چگالی پایین خطی و چگالی پایین..... ۷
- شکل ۱-۲ سه نوع آرایش فضایی پلی پروپیلن..... ۱۵
- شکل ۲-۲ پلیمریزاسیون اتیلن با استفاده از کاتالیست زیگلر-ناتا..... ۱۵
- شکل ۳-۲ تهیه ی تیتانوسن دی کلراید..... ۱۸
- شکل ۴-۲ ساختار متیل آلومینوکسان..... ۱۹
- شکل ۵-۲ واکنش بین کاتالیست متالوسن و MAO..... ۲۰
- شکل ۶-۲ مکانیسم شاخه دار شدن پلی اتیلن توسط کاتالیست های α - دی ایمین..... ۲۱
- شکل ۷-۲ لیگاندها و کمپلکس های α - دی ایمین..... ۲۴
- شکل ۹-۲ ساختار کلی کاتالیست های ۲و ۶- بیس (آریل ایمینو) پیریدین..... ۲۵
- شکل ۸-۲ کمپلکس کلرید مس برای پلیمریزاسیون پلی اتیلن..... ۲۵
- شکل ۱۰-۲ لیگاندهای بیس ایمینو فوران و پیرول..... ۲۶
- شکل ۱۱-۲ مکانیسم فرآیند SHOP..... ۲۷
- شکل ۱۲-۲ سنتز کمپلکس های فرایند SHOP [..... ۲۸
- شکل ۱-۳ سنتز لیگاندهای α - دی ایمین..... ۳۲
- شکل ۲-۳ تنوع لیگاندهای سنتز شده [۵۷]..... ۳۲

- شکل ۳-۳ سنتز کمپلکس های α -دی ایمین [۵۸]..... ۳۳
- شکل ۴-۳ ساختارهای پیشنهاد شده برای آلومینو کسان ها [۵۹]..... ۳۴
- شکل ۵-۳ مکانیسم پلیمریزاسیون توسط کاتالیست های Late Transition Metal [۶۸]..... ۳۸
- شکل ۶-۳ مکانیسم های پیشنهاد شده برای فرآیند انتقال زنجیر [۶۹]..... ۳۹
- شکل ۷-۳ موقعیت های محوری (Ax) و استوایی (Eq) در کمپلکس α -دی ایمین نیکل [۵۴]..... ۴۱
- شکل ۸-۳ اثر استخلاف روی کمپلکس های α -دی ایمین بر وزن مولکولی پلی اتیلن [۷۲]..... ۴۲
- شکل ۹-۳ تشکیل کاتالیست late transition metal ساپورت شده [۷۶]..... ۴۳
- شکل ۱-۴ رآکتور Buchi مدل bmd 300..... ۴۸
- شکل ۲-۴ سنتز لیگاند [۷۷]..... ۵۰
- شکل ۳-۴ طیف HNMR لیگاند A..... ۵۱
- شکل ۴-۴ طیف IR لیگاند A..... ۵۲
- شکل ۵-۴ سنتز کاتالیست [۷۸]..... ۵۳
- شکل ۶-۴ ساختار کاتالیست های A₁, B, C..... ۵۳
- شکل ۷-۴ طیف IR کاتالیست A₁ [۲ و ۱- بیس (۲ و ۴ و ۶- تری متیل فنیل ایمینو) اسفتن نیکل دی برماید]. ۵۴
- شکل ۸-۴ سنتز کاتالیست A₂ [۲ و ۱- بیس (۲ و ۴ و ۶- تری متیل فنیل ایمینو) اسفتن کبالت دی کلرید] [۷۹]..... ۵۵
- شکل ۹-۴ شمایی از ویسکومتر آبلهود..... ۵۸
- شکل ۱-۵ نمودار بررسی تاثیر غلظت MAO بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۴
- شکل ۲-۵ نمودار تاثیر دما بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۶
- شکل ۳-۵ نمودار تاثیر فشار بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۷
- شکل ۴-۵ نمودار تاثیر زمان بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۸

- شکل ۵-۵ نمودار تاثیر فشار بر متوسط وزن مولکولی پلیمر..... ۷۰
- شکل ۶-۵ بررسی تاثیر دما بر متوسط وزن مولکولی پلیمر..... ۷۲
- شکل ۷-۵ نمودار DSC مربوط به فشار یک بار (جرم مورد استفاده ۵ mg)..... ۷۴
- شکل ۸-۵ نمودار DSC مربوط به فشار ۳ بار (جرم مورد استفاده ۵ mg)..... ۷۴
- شکل ۱-۶ طیف IR لیگاند B..... ۸۵
- شکل ۲-۶ طیف IR لیگاند C..... ۸۵
- شکل ۳-۶ طیف IR کاتالیست B [۲۱-۲- بیس (۲و۳- دی متیل فنیل ایمینو) اسنفتن نیکل دی برماید]..... ۸۶
- شکل ۴-۶ طیف IR کاتالیست C [۲۱-۲- بیس (۳- متیل فنیل ایمینو) اسنفتن نیکل دی برماید]..... ۸۶
- شکل ۵-۶ طیف IR کاتالیست A₂ [۲۱-۲- بیس (۲و۴و۶- تری متیل فنیل ایمینو) اسنفتن کبالت دی کلراید]..... ۸۷
- شکل ۶-۶ نمودار DSC مربوط به فشار ۵ بار (جرم مورد استفاده ۵ mg)..... ۸۷
- شکل ۷-۶ نمودار DSC مربوط به فشار ۶ بار (جرم مورد استفاده ۵ mg)..... ۸۸

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲ سیر تکاملی کاتالیست های زیگلر-ناتا..... ۱۷
- جدول ۲-۲ انواع لیگاندها برای ساخت کاتالیست Late transition metal..... ۲۹
- جدول ۱-۵ تاثیر غلظت MAO بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۳
- جدول ۲-۵ بررسی اثر تغییر دما بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۵
- جدول ۳-۵ تاثیر فشار بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۷
- جدول ۴-۵ تاثیر زمان بر رفتار پلیمریزاسیون..... ۶۸
- جدول ۵-۵ بررسی تاثیر فشار بر متوسط وزن مولکولی پلیمر..... ۷۰
- جدول ۶-۵ بررسی تاثیر دما بر متوسط وزن مولکولی پلیمر..... ۷۲
- جدول ۷-۵ اثر فشار بر میزان بلورینگی و نقطه ذوب پلی اتیلن..... ۷۳
- جدول ۸-۵ پلیمریزاسیون اتیلن با کاتالیست های B و C و A₂..... ۷۵

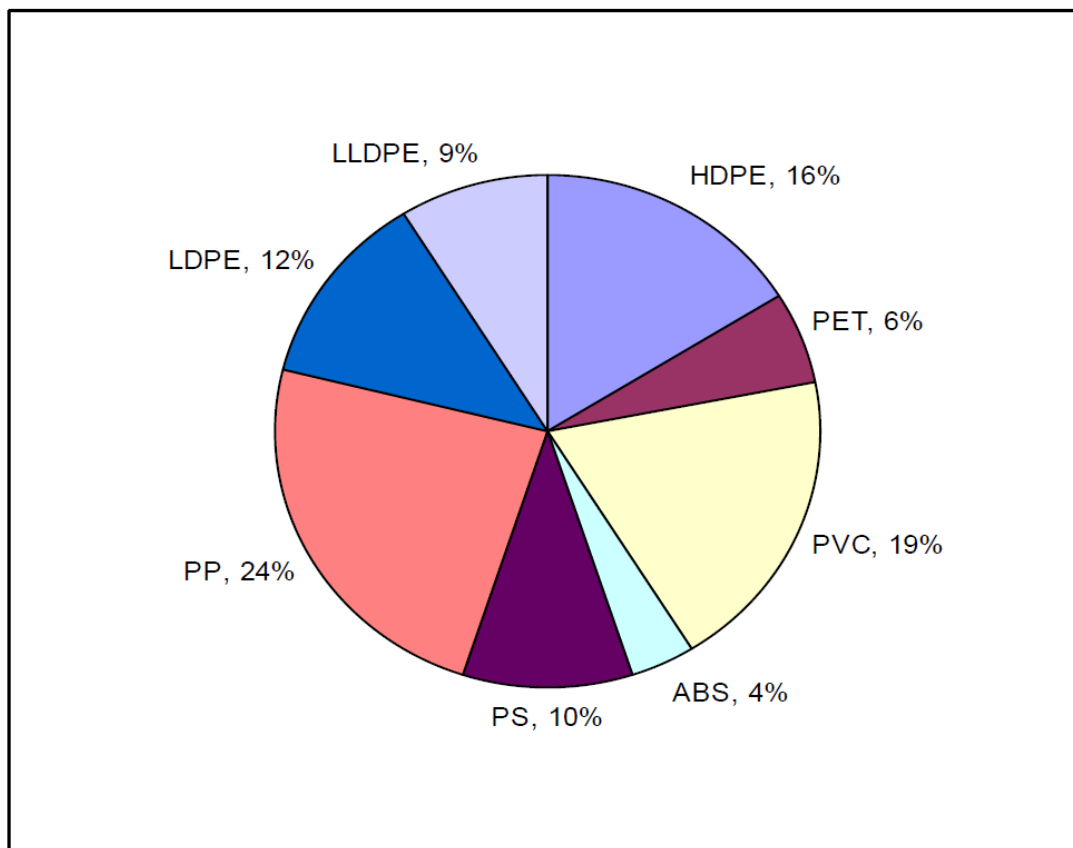
فصل اول

معرفی و طبقه بندی انواع پلی اتیلن

۱-۱ مقدمه

امروزه از پلیمرها در بسیاری از زمینه ها استفاده می شود. استفاده از این ترکیبات در ساخت ظروف یکبار مصرف، مصالح ساختمانی، کامپوزیت های مختلف، منسوجات، تا ساخت ریزپردازنده های کامپیوتر و استفاده در علم پزشکی گسترده است. در این بین پلی اولفین ها از نظر کمی، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده اند [۱]. میزان مصرف برخی از انواع پلی اتیلن در مقایسه با سایر ترموپلاستیکهای عمده ی تولید شده در جهان در سال ۲۰۰۲ در شکل ۱-۱، نشان داده شده است. مشاهده می شود که در این سال در بین پلیمرهای عمده، پلی اتیلن با ۳۷٪ بالاترین مصرف را داشته است. بر مبنای آمارهای مختلف و قابل دسترسی، نیاز جهانی پلیمرهای گوناگون در سال ۲۰۰۲ نزدیک به ۱۴۰ میلیون تن بوده است. آمار سال ۲۰۰۱ نشان می دهد که میزان تولید پلی اتیلن و پلی پروپیلن، در دنیا ۷۹/۶ میلیون تن بوده است، که ۵۵٪ از کل تولیدات پلاستیکی را شامل می شود [۲].

آمار سال ۲۰۱۱ نشان می دهد که میزان تقاضا برای پلی پروپیلن و پلی اتیلن در ایران رشد ۷ تا ۸ درصدی داشته که حجمی حدود ۱/۷ میلیون تن را شامل می شود که از این مقدار ۶۳۰۰۰۰ تن مربوط به پلی پروپیلن و ۱/۰۹ میلیون تن مربوط به پلی اتیلن می باشد. در همین سال ظرفیت تولید پلی پروپیلن و پلی اتیلن در ایران به ترتیب ۱/۰۹۵ و ۲/۸ میلیون تن بوده است [۳].



شکل ۱-۱ سهم مصرف پلی اتیلن ها در مقایسه با سایر پلیمرها در جهان در سال ۲۰۰۲ [۲].

۲-۱ ساختار پلی اتیلن

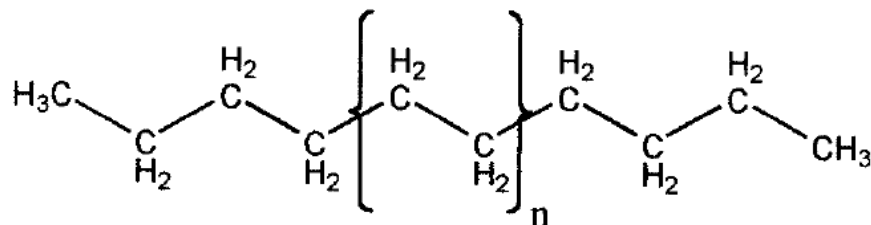
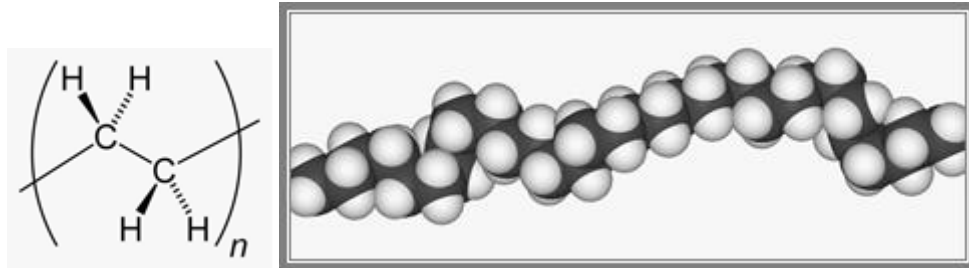
پلی اتیلن یک پلیمر گرماترم شامل زنجیرهای طولانی از مونومر اتیلن است [۴]. پلی اتیلن اولین بار به طور اتفاقی توسط شیمیدان آلمانی هنس وان پکمان^۱ سنتز شد. او در سال ۱۸۹۸، هنگام حرارت دادن دی آزومتان، ترکیب مومی شکل و سفیدی را سنتز کرد که بعدها پلی اتیلن نام گرفت. اولین روش سنتز صنعتی، توسط اریک فاوست^۲ و رینولد گیسون^۳ انجام شد. این دو دانشمند با حرارت دادن مخلوط اتیلن و بنزالدهید در فشار بالا، ماده ای موم مانند به دست آوردند. در سال ۱۹۳۵، مایکل پرین این روش را توسعه داد و تحت فشار بالا، پلی اتیلن را سنتز کرد که برای تولید صنعتی پلی اتیلن، به عنوان روشی اساسی در سال ۱۹۳۹ اتخاذ شد. از آن زمان

^۱. Hans von Pechmann

^۲. Eric Fawcett

^۳. Reginald Gibson

به بعد با از میان برداشتن موانع، پیشرفت‌های زیادی در زمینه سیستم‌های پلیمری و ساخت پلیمر صورت گرفت و همه این‌ها منجر به این شد که تولید پلیمرها، امروزه به صورت صنعت عظیمی درآمده است [۵]. در شکل ۱-۲ ساختار سه بعدی و شیمیایی پلی اتیلن نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ ساختار سه بعدی و شیمیایی پلی اتیلن [۴،۱].

رزین پلی اتیلن، شامل ملکولهایی با طولهای مختلف می باشد. درجه پلیمریزاسیون برای پلی اتیلن، معمولاً از ۱۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ و حتی بیشتر، متفاوت است. وزن ملکولی پلیمر هم از ۱۴۰۰ تا ۳۵۰۰۰۰۰ می تواند تغییر کند. پلی اتیلن با وزن ملکولی پائین جامد واکسی شکلی است که از نظر خواص فیزیکی، شباهتی به پلاستیک ندارد. همچنین پلی اتیلن می تواند دارای شاخه های جانبی و جایگاههای غیر اشباع هم باشد [۶].

۳-۱ طبقه بندی انواع پلی اتیلن

چگالی انواع پلی اتیلن در محدوده ی ۰/۹۱۰ تا ۰/۹۶۵ g/cm³ می باشد. تغییر جزئی در چگالی باعث تغییر قابل توجه ای در ویژگی های پلیمر می شود. به طور کلی با افزایش چگالی، خطی بودن، سفتی، استحکام کششی، استحکام پارگی، دمای نرم شدن، شکنندگی و تمایل به ترک برداشتن افزایش می یابد. پلی اتیلن بر اساس چگالی یا شاخه دار بودن به دسته های مختلفی طبقه بندی می شود.

۱-۳-۱ پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE)^۱

HDPE یکی از پر مصرف ترین انواع پلی اتیلن هاست و دانسیته آن بین $0.941-0.965$ g/cm³ می باشد. HDPE هموپلیمری از اتیلن یا کوپلیمری از اتیلن و α -اولفین هایی از قبیل ۱-بوتن است. HDPE درجه پایینی از انشعاب و شاخه را داراست و بنابراین نیروی بین مولکولی قویتر و استحکام کششی بهتری دارد [۷]. HDPE بوسیله کاتالیستهای کروم/سیلیکا (کاتالیستهای فیلیپس)، زیگلر-ناتا یا متالوسن تهیه می شود [۸]. کاتالیست فیلیپس که شاید حدود ۳۰٪ از کل تولیدات HDPE را برعهده دارد، معمولاً با فعال سازی اکسید کروم بر روی سطوحی از قبیل سیلیکاژل کلسینه شده در دمای $900-500$ °C ساخته می شود. پلی اتیلن خطی معمولاً با وزن مولکولی از ۲۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ تولید می شود اما می تواند حتی سنگین تر هم ساخته شود [۹].

۲-۳-۱ پلی اتیلن با چگالی متوسط (MDPE)^۲

چگالی این دسته از پلیمرها در محدوده $0.940-0.926$ g/cm³ است. MDPE بوسیله کاتالیستهای کروم/سیلیکا، زیگلر-ناتا یا متالوسن تولید می شود. این پلیمرها ضربه پذیرند و در برابر ترک تنشی مقاومت بهتری از HDPE دارند [۹].

۳-۳-۱ پلی اتیلن خطی با چگالی پایین (LLDPE)^۳

محدوده چگالی این نوع پلی اتیلن بین $0.915-0.925$ g/cm³ است. در واقع LLDPE یک پلیمر خطی با تعدادی شاخه کوتاه است که معمولاً بوسیله کوپلیمریزاسیون اتیلن با α -اولفین های کوتاه زنجیر نظیر ۱-بوتن، ۱-هگزن و ۱-اکتن تهیه می شود. این دسته از پلی اتیلن ها با پلیمرهای اتیلنی که شاخه های طولانی دارند و از

¹ . High density polyethylene

² . Medium density polyethylene

³ . Linear low density polyethylene

پلیمریزاسیون رادیکالی در فشار بالا تولید می شوند، متفاوت هستند. دانسیته و درجه تبلور کوپلیمرهای اتیلن- α اولفین به شدت به چگونگی ترکیب آنها وابسته است. محدوده جرم مولکولی رزین های LLDPE تجاری معمولاً از ۵۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ است. نقطه ذوب آنها از حدود 135°C برای هموپلیمر اتیلن به حدود 120°C برای کوپلیمری که ۲-۱/۵ مول α -اولفین دارمی باشد و به 110°C برای کوپلیمری که ۳/۵ مول α -اولفین را شامل می شوند کاهش می یابد. رزین های LLDPE تولید شده در صنعت از طریق کاتالیستهای زیگلر-ناتا بر پایه تیتانیوم و کاتالیستهای متالوسن بدست می آیند [۱۰].

۱-۳-۴ پلی اتیلن با چگالی پایین (LDPE)^۱

چگالی این نوع پلی اتیلن $0.910 - 0.940 \text{ g/cm}^3$ است. اولین پلی اتیلن ترموپلاستیک استفاده شده LDPE بود. این پلی اتیلن تجاری توسط کمپانی ICI^۲ از طریق فرآیند رادیکال آزاد تولید شد. طبق این روش اتیلن در فشار بالا ($2000 - 3000 \text{ atm}$) و در دمای $200 - 300^{\circ}\text{C}$ پلیمریزه می شود. پلی اتیلن تولید شده، نقطه ذوبی در حدود $105 - 115^{\circ}\text{C}$ داراست. علی رغم ویژگی های بهتر و قیمت کمتر HDPE و LLDPE، هنوز هم LDPE در بسیاری از کاربردها استفاده می شود. LDPE درجه بالایی از شاخه هایی با زنجیرهای کوتاه یا بلند را داراست. بنابراین نیروی بین مولکولی کمتری دارند و در نتیجه استحکام کششی پایین تر است و چکش خوری افزایش می یابد [۷].

۱-۳-۵ پلی اتیلن با چگالی بسیار پایین (VLDPE)^۳

دسته دیگری از پلی اتیلن ها که کاربرد بسیار کمی دارند پلیمرهای با چگالی خیلی پایین هستند. چگالی این نوع پلی اتیلن ها کمتر از 0.910 g/cm^3 است. یک پلیمر خطی با سطوح بالایی از شاخه های کوتاه زنجیر است که اغلب با استفاده از کاتالیست های متالوسن تهیه می شود [۵].

^۱ . Low density polyethylene

^۲ . Imperial Chemical Industries

^۳ . Very low density polyethylene