



دانشکده علوم

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

(گرایش شیمی آلی)

پلیمریزاسیون اتیلن توسط کاتالیست های  
*Late transition metal* بر اساس فلز کبالت

استاد راهنما

غلامحسین ظهوری

نگارش

ابراهیم دیانت

مرداد ۸۸

تقدیم به

بهترین های زندگی ،

پدر و مادر عزیزم که همواره از دریای مهر و محبتشان بهره جستم ،

خواهر و برادر عزیزم که مشوق من در زندگی من بوده اند.

معلمانم و تمام کسانی که بهتر بودن را به من آموخته اند.

## تشکر و قدردانی

در تدوین این پایان نامه از مساعدت ها و رهنمودهای همه جانبه استاد ارجمند آقای دکتر غلامحسین ظهوری تشکر و قدردانی می کنم. همچنین از دوستان عزیزم آقایان دکتر رضا سندروس و دکتر سامان دماوندی و سایر دوستان که با حمایت های بی دریغشان مرا در انجام این پروژه یاری نموده اند سپاس گذاری نموده، توفیق و سربلندی آنها را در تمامی مراحل زندگی آرزومندم.

## چکیده

کاتالیست ۲،۶- دی استیل پیریدین بیس (۲،۶ دی ایزوپروپیل فنیل ایمین) کبالت  $n$  کلرید تحت شرایط کنترل شده تهیه گردید و برای پلیمریزاسیون همگن اتیلن مورد استفاده قرار گرفت. متیل آلومینوکسان ( $MAO$ ) و تری ایزوبوتیل آلومینیوم ( $TIBA$ ) نیز به ترتیب به عنوان کمک کاتالیست و رباینده آلودگی در محیط پلیمریزاسیون مورد استفاده قرار گرفت. بالاترین اکتیویته کاتالیست در دمای  $30^{\circ}C$  بدست آمد در حالی که با افزایش دما اکتیویته کاهش یافت. در دمای بالاتر از  $50^{\circ}C$  علیرغم کاهش شدید در اکتیویته، محصول بدست آمده به صورت پلی اتیلن کاملاً روغنی حاصل شد. اکتیویته پلیمریزاسیون با افزایش فشار مونومر و همچنین میزان نسبت  $MAO/TIBA$  در پلیمریزاسیون همگن افزایش یافت، اما پدیده فولینگ رآکتور به مقدار زیادی با افزایش فشار مونومر و نسبت  $MAO/TIBA$  در پلیمریزاسیون همگن افزایش یافت. هیدروژن نیز به عنوان عامل انتقال زنجیر مورد استفاده قرار گرفت. اکتیویته کاتالیست و متوسط وزن مولکولی پلیمر حاصل، به غلظت هیدروژن حساسیتی از خود نشان ندادند. در حالی که متوسط وزن مولکولی پلیمر با افزایش فشار مونومر کاهش یافت. متوسط وزن مولکولی، دمای ذوب و درصد بلورینگی پلیمر حاصل در فشار مونومر ۱ بار و دمای  $20^{\circ}C$  به ترتیب برابر  $1.1 \times 10^5$ ،  $133^{\circ}C$  و  $67\%$  بود. پلیمریزاسیون هتروژن اتیلن توسط سیلیکا ( $SiO_2$ ) صورت گرفت که در نتیجه آن مورفولوژی پلیمر بهبود یافت، در حالی که اکتیویته کاتالیست کاهش یافت. نکته قابل توجه اینکه پدیده فولینگ رآکتور با بکار بردن سیستم کاتالیستی ساپورت شده حذف شد.

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن.....	۱
۱-۱ مقدمه .....	۲
۲-۱ تاریخچه پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن.....	۲
۱-۲-۱ کاتالیست زیگلر-ناتا.....	۳
۲-۲-۱ کاتالیست های متالوسن .....	۵
۱-۲-۲-۱ فعال سازی کاتالیست های متالوسن .....	۶
۳-۱ کاتالیست های <i>Late transition metal</i> .....	۷
۱-۳-۱ فرآیند <i>SHOP</i> .....	۸
۲-۳-۱ ویژگی های کاتالیست های $\alpha$ -دی ایمین.....	۹
۳-۳-۱ لیگاندهای خنثی (پالادیوم و نیکل) .....	۱۰
۴-۳-۱ لیگاندهای بیس ایمین سه دندانه (آهن و کبالت) .....	۱۰
۵-۳-۱ سایر لیگاندها .....	۱۴
فصل دوم: معرفی کاتالیست ، سینتیک ، مکانیسم و.....	۱۷
۱-۲ مقدمه .....	۱۸
۲-۲ تعریف کاتالیست های <i>Late transition metal</i> .....	۱۸
۳-۲ $\alpha$ دی ایمین.....	۲۰
۴-۲ ساختار کاتالیست .....	۲۲
۵-۲ نقش اجزای تشکیل دهنده کاتالیست.....	۲۶

۲۶	۲-۵-۱ فلز واسطه
۲۶	۲-۵-۲ کمک کاتالیست
۲۹	۲-۵-۲-۱ اثر کمک کاتالیست بر پلیمریزاسیون
۲۹	۲-۵-۲-۲ اثر کمک کاتالیست بر مورفولوژی پلیمر
۲۹	۲-۶ اثر استخلاف های حلقه آریل بر روند پلیمریزاسیون
۳۱	۲-۷ مکانیسم پلیمریزاسیون
۳۱	۲-۷-۱ شرح مکانیسم
۳۳	۲-۷-۲ مکانیسم پلیمریزاسیون اتیلن با متیل آکریلات
۳۳	۲-۸ ساپورت
۳۵	۲-۹ سینیتیک پلیمریزاسیون
۳۹	فصل سوم: بخش تجربی
۴۰	۳-۱ مقدمه
۴۰	۳-۲ مواد
۴۳	۳-۳ وسایل و تجهیزات
۴۳	۳-۳-۱ گلاو باکس
۴۴	۳-۳-۲ سیرکولاتور مخصوص پلیمریزاسیون
۴۴	۳-۳-۳ پمپ خلاء
۴۵	۳-۳-۴ راکتور پلیمریزاسیون
۴۶	۳-۴ تجربی

۴-۳-۱	روش تهیه لیگاندها	۴۶
۴-۳-۱-۱	سنتز ۲،۶- بیس [ ۱- (۲،۶ دی ایزو پروپیل فنیل ایمینو) اتیل / پیریدین ( لیگاند	
	(A).....	۴۶
۴-۳-۱-۲	سنتز ۲،۶- بیس ۱- (۲-دی متیل فنیل ایمینو) اتیل [ پیریدین ( لیگاند B). ۴۸.	
۴-۳-۱-۳	سنتز لیگاندهای مشتق شده با ترکیبات متیل ۲،۴،۶- و ۲،۵- آنیلین (به	
	ترتیب لیگاندهای C, D) .....	۴۸
۴-۳-۲	روش تهیه کاتالیست	۵۱
۴-۳-۳	محلول کمک کاتالیست	۵۱
۳-۵	پلیمریزاسیون اتیلن	۵۱
۳-۵-۱	پلیمریزاسیون در فشار پایین	۵۱
۳-۵-۲	پلیمریزاسیون در فشارهای بالای اتیلن	۵۲
۳-۶	دستگاه ها و تکنیک های مورد استفاده	۵۳
۳-۶-۱	گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)	۵۳
۳-۶-۲	میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM)	۵۳
۳-۶-۳	طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)	۵۴
۳-۷	ویسکومتر	۵۴
۳-۷-۱	اندازه گیری متوسط وزن مولکولی	۵۴
	فصل چهارم: نتایج و بحث	۵۸
۴-۱	مقدمه	۵۹

- ۶۳..... ۲-۴ تأثیر غلظت متیل آلومینوکسان (کمک کاتالیست)
- ۶۳..... ۳-۴ تأثیر نسبت *MAO/TIBA* بر پلیمریزاسیون
- ۶۵..... ۴-۴ تأثیر فشار بر پلیمریزاسیون
- ۶۹..... ۵-۴ تأثیر دما بر پلیمریزاسیون
- ۷۰..... ۶-۴ بررسی سینتیک پلیمریزاسیون (تأثیر زمان بر رفتار کاتالیست)
- ۷۴..... ۷-۴ تأثیر میزان حلال بر پلیمریزاسیون
- ۷۶..... ۸-۴ تأثیر غلظت گاز هیدروژن بر پلیمریزاسیون
- ۷۸..... ۹-۴ بررسی مورفولوژی بدست آمده
- ۹۰..... فصل پنجم: نتیجه گیری و مراجع و ضمائم
- ۹۱..... ۱-۵ نتیجه گیری
- ۹۲..... ۲-۵ مرجع
- ۹۵..... ۳-۵ ضمائم



## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ پلی اتیلن *LDPE* , *HDPE* ..... ۴
- شکل ۲-۱ کاتالیست های متالوسن ..... ۵
- شکل ۳-۱ واکنش بین کاتالیست متالوسن و *MAO* ..... ۶
- شکل ۴-۱ فرآیند *SHOP* ..... ۸
- شکل ۵-۱ الیگومریزاسیون اتیلن با کاتالیست *Late transition metal* ..... ۹
- شکل ۶-۱ گروه های کربونیل لیگاند های *Late transition metal* ..... ۱۲
- شکل ۷-۱ گروه های آمینی لیگاند های *Late transition metal* ..... ۱۳
- شکل ۱-۲ روش عمومی تهیه کاتالیست های *Late transition metal* ..... ۱۸
- شکل ۲-۲ ساختار کاتالیست بیس ایمینو پیریدین ..... ۲۲
- شکل ۳-۲ ساختار بلوری *X-ray (a)* ..... ۲۴
- شکل ۴-۲ ساختار بلوری *X-ray (b)* ..... ۲۵
- شکل ۵-۲ لیگاند های بیس ایمینو فوران و پیرول ..... ۲۳
- شکل ۶-۲ ساختار *MAO* ..... ۲۷
- شکل ۷-۲ مشاهده اثر استخلاف های حجیم و غیر حجیم حلقه آریل بر روند پلیمریزاسیون اتیلن ..... ۳۱
- شکل ۸-۲ مکانیسم پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن با کاتالیست *Late metal* ..... ۳۲
- شکل ۹-۲ مکانیسم کوپلیمریزاسیون اتیلن با متیل آکریلات ..... ۳۳
- شکل ۱۰-۲ ساپورت کاتالیستی *Late transition metal* ..... ۳۴

- شکل ۲-۱۱ روند آماده سازی ساپورت *Fe-SBA-15* ..... ۳۵
- شکل ۳-۱ گلاو باکس ..... ۴۴
- شکل ۳-۲ راکتور *Buchi-bmd 300* ..... ۴۵
- شکل ۳-۳ تصویر *NMR* لیگاند ۶،۲- بیس [۱-(۶،۲)- دی ایزوپروپیل فنیل ایمنیو] اتیل پیریدین ..... ۴۷
- شکل ۳-۴ تصویر *NMR* لیگاند ۶،۲- بیس [۱-(۶،۲) تری متیل فنیل ایمنیو] اتیل پیریدین ..... ۴۹
- شکل ۳-۵ لیگاندهای تهیه شده ..... ۵۰
- شکل ۳-۶ ویسکومتر آبلهولد ..... ۵۷
- شکل ۴-۱ تأثیر غلظت *MAO* بر پلیمریزاسیون کاتالیستی *Late transition metal* ..... ۶۲
- شکل ۴-۲ تأثیر *[TIBA]:[MAO]* بر پلیمریزاسیون کاتالیستی *Late transition meta* ..... ۶۴
- شکل ۴-۳ مکانیسم شاخه دار شدن پلی اتیلن ..... ۶۵
- شکل ۴-۴ تأثیر فشار مونومر بر پلیمریزاسیون توسط کاتالیست *Late transition metal* ..... ۶۷
- شکل ۴-۵ ترموگرام *DSC* پلیمر تحت فشار ۳ بار ..... ۶۸
- شکل ۴-۶ تأثیر دما بر پلیمریزاسیون توسط کاتالیست *Late transition metal Co* ..... ۷۱
- شکل ۴-۷ تأثیر زمان بر پلیمریزاسیون توسط کاتالیست *Late transition meta Co* ..... ۷۳
- شکل ۴-۸ تأثیر حلال بر پلیمریزاسیون توسط کاتالیست *Late transition meta Co* ..... ۷۵
- شکل ۴-۹ اثر غلظت هیدروژن بر پلیمریزاسیون توسط کاتالیستی *Late transition metal* ..... ۷۸

- شکل ۴-۱۰ تصاویر SEM ذرات پلیمر هموزن با فشار ۱/۵ بار و دمای  $30^{\circ}C$  ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۱ تصاویر SEM ذرات پلیمر هموزن با فشار ۳/۵ بار و دمای  $30^{\circ}C$  ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۲ تصاویر SEM ذرات پلیمر هموزن با دمای  $30^{\circ}C$  و فشار ۱ بار ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۳ تصاویر SEM ذرات پلیمر هموزن با دمای  $30^{\circ}C$  و فشار ۱ بار ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۴ تصاویر SEM ذرات پلیمر هتروژن با فشار ۱/۵ و دمای  $30^{\circ}C$  ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۵ تصویر SEM ذرات پلیمر هتروژن با فشار ۳/۵ بار و دمای  $30^{\circ}C$  ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۶ تصویر SEM ذرات پلیمر هتروژن با دمای  $30^{\circ}C$  و فشار ۱ بار ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۷ تصاویر SEM ذرات پلیمر هتروژن با دمای  $40^{\circ}C$  و فشار ۱ بار ..... ۸۸
- ضمیمه A شکل ۱ ترموگرام DSC نمونه پلیمر در دمای  $30^{\circ}C$  ..... ۹۵
- ضمیمه A شکل ۲ ترموگرام DSC نمونه پلیمر در دمای  $40^{\circ}C$  ..... ۹۶
- ضمیمه A شکل ۳ ترموگرام DSC نمونه پلیمر در دمای  $50^{\circ}C$  ..... ۹۷
- ضمیمه A شکل ۴ ترموگرام DSC نمونه پلیمر با افزایش  $20\text{ ml}$  گاز هیدروژن ..... ۹۸
- ضمیمه A شکل ۵ ترموگرام DSC نمونه پلیمر با افزایش  $40\text{ ml}$  گاز هیدروژن ..... ۹۹

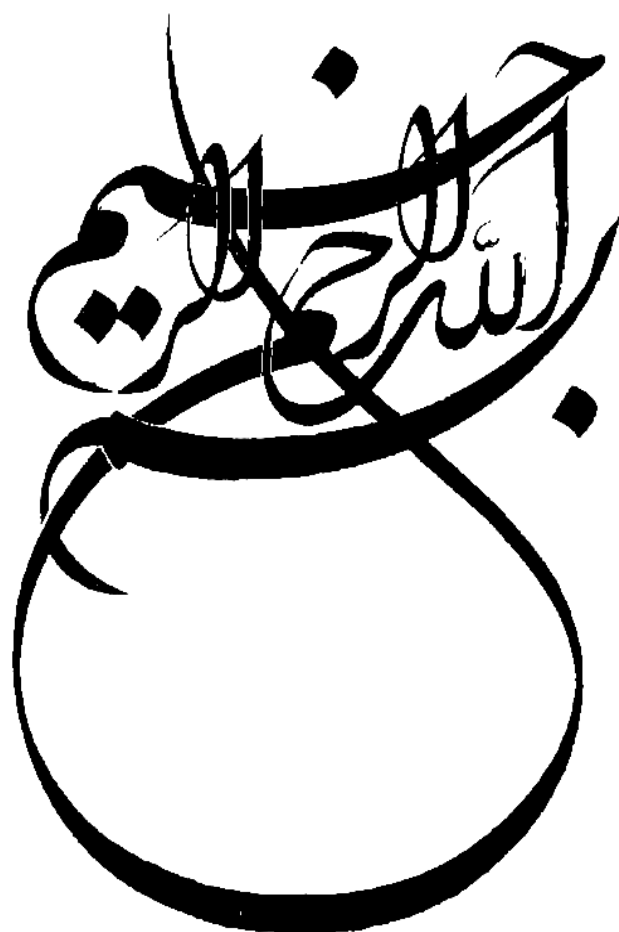
## فهرست جدولها

- جدول ۱-۱ لیگاند های مربوط به کی لیت  $N-N$  ..... ۱۴
- جدول ۲-۱ لیگاند های مربوط به کی لیت  $N-O$  ..... ۱۵
- جدول ۳-۱ لیگاند های مربوط به کی لیت  $P-O$  ..... ۱۶

- جدول ۳-۱ محاسبه وزن مولکولی پلیمر ..... ۵۶
- جدول ۴-۱ تأثیر غلظت *MAO* بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۶۱
- جدول ۴-۲ تأثیر غلظت *MAO/TIBA* بر پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۶۳
- جدول ۴-۳ تأثیر فشار بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۶۶
- جدول ۴-۴ تأثیر دما بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۷۰
- جدول ۴-۵ تأثیر زمان بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۷۲
- جدول ۴-۶ تأثیر حلال بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۷۴
- جدول ۴-۷ تأثیر غلظت هیدروژن بر رفتار پلیمریزاسیون کاتالیست *Late transition metal* ..... ۷۷
- جدول ۴-۸ مقایسه اکتیویته پلیمریزاسیون هموزن و هتروژن ..... ۷۹
- جدول ۴-۹ سایر نتایج پلیمر حاصل ..... ۸۹

## اختصارات

<i>atm</i>	<i>Atmospher</i>
<i>DSC</i>	<i>Differentiel Scanning Calorhimetry</i>
<i>HDPE</i>	<i>High Density Polyethylene</i>
<i>LDPE</i>	<i>Low Density Polyethylene</i>
<i>LLDPE</i>	<i>Linear Low Density Polyethylene</i>
<i>MAO</i>	<i>Methyl Alminoxane</i>
<i>PE</i>	<i>Polyethylene</i>
<i>PP</i>	<i>Polypropylene</i>
<i>PVC</i>	<i>Poly ( Vinyl Chloride )</i>
<i>rpm</i>	<i>Rotation per minute</i>
<i>SEM</i>	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
<i>SHOP</i>	<i>Shell Higher Olefin Process</i>
<i>TIBA</i>	<i>Triisobutyl Aluminium</i>



فصل اول

# فصل اول

مقدمه ای بر پلیمریزاسیون

کاتالیستی اتیلن

## ۱-۱ مقدمه

صنعت پلی اولفین یکی از معروفترین، پررونق‌ترین و متداولترین صنایع در سطح جهان به شمار می‌آید. همگام با پیشرفت صنعت تولید پلی‌اولفین‌ها، مصرف جهانی آن نیز با رشد صعودی افزایش یافت. در دهه شصت میلادی سهم پلی‌اولفین‌ها در بازار جهانی ترموپلاستیک‌ها ۲۰ درصد بود، اما در سال ۲۰۰۰ این میزان به ۶۵ درصد رسید. در واقع پلی‌اولفین‌ها توانستند جانشین مناسبی برای بسیاری از ترموپلاستیک‌ها گردند. سالانه بالغ بر ۱۶۰ بیلیون پوند درآمدزایی از صنعت پلی‌اولفین‌ها بدست می‌آید که در این میان تنها پلی‌اتیلن از جمله پرمصرف‌ترین پلی‌اولفین‌ها با مبلغی افزودن بر ۱۰۰ بیلیون پوند را دارا می‌باشد. علی‌رغم این مقدار و همچنین سهم عمده پلی‌اتیلن در تجارت پلی‌اولفین‌ها، همچنان تولید آنها به سرعت در حال رشد می‌باشد [۲،۱].

## ۱-۲ تاریخچه پلیمریزاسیون کاتالیستی اتیلن

طی ۵۰ سال اخیر پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در زمینه پلیمریزاسیون اتیلن صورت گرفته است. تا قبل از ۱۹۲۰ که زمینه ساختار زنجیر مولکولی و وزن مولکولی پلیمرها ارائه شد، پلیمرها چندان مورد توجه نبودند. البته این فرضیه با مقاومت و مخالفت جدی روبرو شد. در طول دهه ۱۹۳۰ تولید پلاستیک‌های متعددی از قبیل پلی وینیل کلرید *PVC*، پلی استایرن، پلی متیل متاکریلات، پلی اتیلن سبک و نایلون به مرحله تجاری رسید.



ICI در سال ۱۹۳۹ تولید پلی‌اتیلن تجاری را شروع کرد. شرایط فرآیند تولید، فشار بالا (۲۰۰۰ atm) و دمای بالا ( $300-200^{\circ}C$ ) در حضور یک آغازگر رادیکالی نظیر بنزوئیل پروکسید بود. محصول فرآیند، جامدی سفید رنگ و واکسی شکل بود. پلیمر حاصل پلی‌اتیلن با دانستیه<sup>۱</sup> پایین نام داشت. شکل (I-1(a))

در دهه ۱۹۳۰ در چندین پلیمرسنتزی، بلورینگی پایینی مشاهده شد. در سال ۱۹۳۰، شیمیدانان با پلی‌اتیلن بلوری آشنا شدند. البته شاخه‌های جانبی زنجیره‌های پلیمری، درصد بلورینگی را تا حدی کاهش می‌داد. اما در مورد پلی‌پروپیلن، هیچ نوع بلورینگی حتی در حد اندک نیز مشاهده نشد. علت این پدیده را متقارن بودن اتیلن بیان کردند.

در پلیمریزاسیون اتیلن به علت تقارن مونومر، تنوع نحوه اتصال (سر به دم، سر به سر، دم به دم) وجود ندارد و بنابراین قابلیت نوری شدن دارد ولی در مورد پلی‌پروپیلن ایزوتاکتیک، بلورینگی پلی‌پروپیلن محصول پلیمریزاسیون فضا ویژه مونومر نامتقارن پروپیلن (ورود سر به دم مونومرها، همزمان بدون تشکیل هر گونه شاخه) می‌باشد.

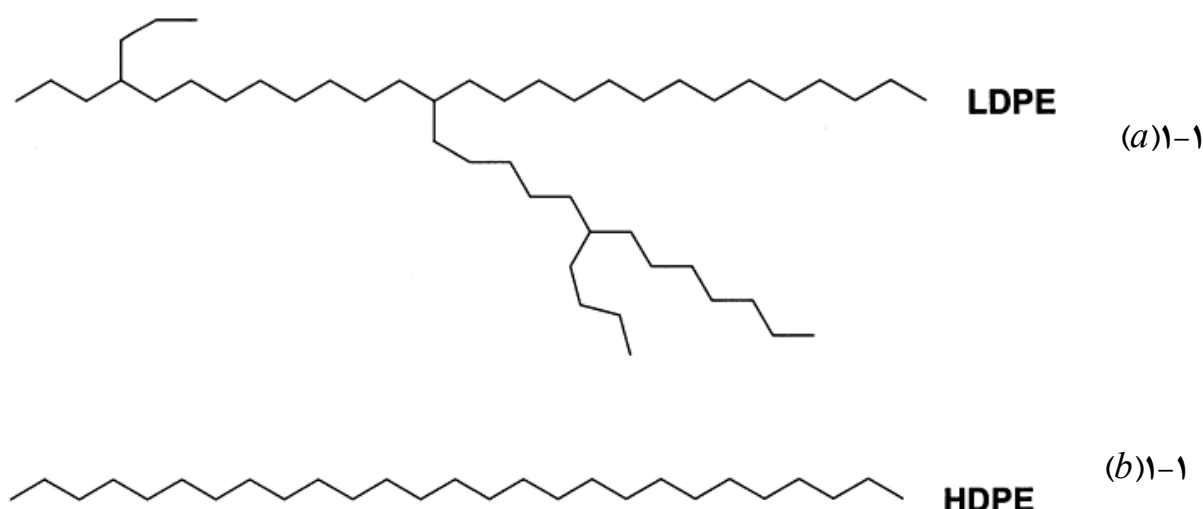
### ۱-۲-۱ کاتالیست زیگلر-ناتا

در سال ۱۹۵۳، زیگلر و همکارانش مخلوطی از کاتالیست  $AlEt_2Cl$ ,  $TiCl_4$  را کشف نمودند که اتیلن را به پلی‌اتیلن خطی با وزن مولکولی بالا تحت شرایط نسبتاً

<sup>۱</sup> - LDPE (Low density poly ethylene)

ملايم (  $1 \text{ atm}$  و  $60-80^\circ \text{C}$  ) تبديل مي كند. اين پليمر پلي اتيلن با دانسيته بالا<sup>۱</sup> ناميده مي شود.

زيرا در اين حالت زنجيره‌هاي پليمر نسبت به پلي اتيلن با دانسيته پايين محكم‌تر کنار هم قرار مي گيرند. شكل (  $I-1(b)$  ) شمائي از اين نوع پليمر را نشان ميدهد.



شكل ۱-۱ پلي اتيلن  $LDPE$  و  $HDPE$

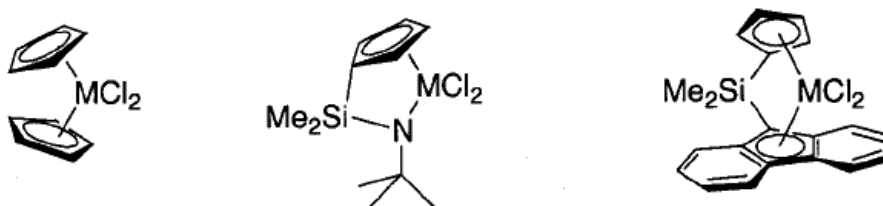
در همين سال‌ها شركت نفت فيليبس سيستم کاتالیستی  $CrO_3/SiO_2$  را کشف نمود که اين کاتالیست نيز پلي اتيلن خطی تولید می‌کند. چند سال بعد از کشف زیگلر، جوليو ناتا و همکارانش سيستمی مشابه سيستم زیگلر را تهيه نمودند که برای پلیمریزاسیون پروپیلن کاربرد بسزایی داشت. ناتا با بررسی نتایج بدست آمده از  $X$ -ray پلي پروپیلن، متوجه بلورینگی بالای آن شد و سه نوع آرایش‌بندی را برای آن تعريف نمود [۳]. به دليل مشارکت در سنتز اين نوع کاتالیست، زیگلر-ناتا موفق به دریافت جایزه نوبل شیمی در سال ۱۹۶۳ میلادی شدند.

<sup>۱</sup> -  $HDPE$  (High density polyethylene)

البته سیستم‌های هتروژن کشف شده توسط زیگلر-ناتا دارای اشکالاتی نیز بود. سیستم‌های هتروژن به آسانی تابع تغییرات فضایی و الکترونی نبودند، به همین علت درجه ریز ساختار نیز تغییر نمود که باعث تغییر در خواص ماکروسکوپی پلیمر گردید.

### ۲-۲-۱ کاتالیست‌های متالوسن

تحقیقات اولیه بر روی کاتالیست‌های فلزی واسطه گروه ۴، بیس سیکلو پنتا دی انیل شبیه  $Cp_2MCl_2$  ( $M=Ti, Zr$ ) متمرکز شد. زمانی که با فعال کننده آلکیل آلومینیم ترکیب شوند منجر به تشکیل کاتالیست‌های پلیمریزاسیون فعال می‌شود. طی ۲۰ سال گذشته تغییراتی در ساختار کاتالیست‌های متالوسن صورت گرفته است که فعالیت‌پذیری آن را تقویت نموده است. همچنین باعث بهبود نیم عمر این نوع کاتالیست شده است که در نهایت باعث کنترل ریز ساختار پلی اولفین می‌شود. پلیمرهای حاصل از این نوع کاتالیست، پلی اتیلن خطی با دانسیته پائین<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. شکل (۲-۱) کاتالیست‌های سنتز شده توسط *Waymouth* , *Bercaw* می‌باشد.

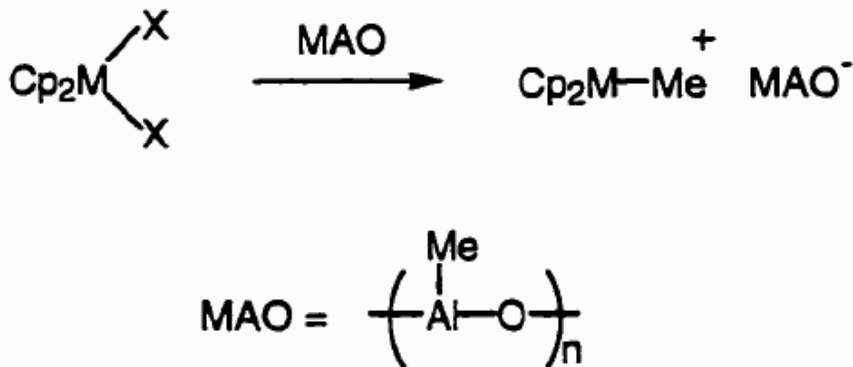


شکل ۲-۱ کاتالیست‌های متالوسن.

<sup>۱</sup> - LLDPE (Linear low density poly ethylene)

## ۱-۲-۲-۱ فعال سازی کاتالیست متالوسن

با مخلوط کردن محلول هیدروکربن  $Cp_2MCl_2$ ، متیل آلومینوکسان ( $MAO$ ) همانطور که در شکل (۳-۱) دیده می شود واکنش جابجایی لیگاند سریعی برای تولید  $Cp_2MClMe$  و همچنین  $Cp_2MMe$  در مجاورت مقدار اضافی  $MAO$  رخ می دهد و سیستم از نظر کاتالیستی فعال می گردد. مدارک طیف سنجی موافق با این فرضیه است که مراکز اسیدی موجود در  $MAO$  قادر به قبول آنیون های  $CH_3$  (یا  $Cl$ ) از متالوسن آلکیل دار شده هستند و بدین ترتیب تولید کاتیون آلکیل دار شده متالوسن می کنند که گونه فعال پلیمر شدن ویون مخالفی است که به طور ضعیفی کئوردینه شده است [۴].

شکل ۳-۱ واکنش بین کاتالیست متالوسن و  $MAO$ .