

مقدمه‌ای بر کاتالیزورهای زیگлер-ناتا

دکتر وحید حدادی اصل

دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

مهندس مهدی سلامی کلجاهی

کارشناس ارشد مهندسی پلیمر

سرشناسه	حدادی اصل، وحید، ۱۳۴۳-
عنوان و پدیدآور	مقدمه ای بر کاتالیزورهای زیگلر-ناتا/ وحید حدادی اصل، مهدی سلامی کلجاهی.
مشخصات نشر	تهران: شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، روابط عمومی، ۱۳۸۶.
مشخصات ظاهری	۲۰۵ ص: جدول.
شابک	۲۰۰۰ ریال: ۸-۰۶۵۸-۰۴-۰۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	ص. ع. به انگلیسی: Vahid Haddadi-Asl, Mahdi Salami- Kalajahi An Introduction to Ziegler-Natta Catalysts
یادداشت	کتابنامه: ص. [۲۰۱] - ۲۰۵.
موضوع	کاتالیزورهای زیگلر-ناتا.
موضوع	پلیمریزاسیون.
شناسه افزوده	سلامی کلجاهی، مهدی.
رده بندی کنگره	۴ح۲ک / ۱۵۹ TP
رده بندی دیویی	۶۶۰/۲۹۹۵
شمار کتابخانه ملی	۱۰۳۶۵۶۸

عنوان کتاب: مقدمه ای بر کاتالیزورهای زیگلر-ناتا

تألیف: دکتر وحید حدادی اصل - مهندس مهدی سلامی کلجاهی

چاپ اول: بهار ۱۳۸۶

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۰۰۰ تومان

شابک: ۸-۰۶۵۸-۰۴-۰۹۶۴-۹۷۸

ناشر: روابط عمومی شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی

تولید مواد اولیه پلیمری محتاج دستیابی به دو علم پیوسته شیمی واکنش‌های پلیمری و مهندسی واکنش‌های پلیمری است. شیمی واکنش‌های پلیمری، اگرچه مبنای آگاهی و تسلط بر علم ساختار پلیمرهاست، منحصر به آزمایشگاه است و در بسیاری مواقع، به دلیل پیچیدگی رفتار پلیمرها، مواد تولیدی در آزمایشگاه در مقیاس صنعتی، قابل تولید نیستند. برای تولید مواد پلیمری در مقیاس‌های مختلف صنعتی علاوه بر اطلاع از شیمی پلیمرها، تسلط بر علوم مختلفی منجمله سینتیک واکنش‌های شیمیایی، ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال و بالاخره طراحی راکتورهای شیمیایی ضروری می‌نماید که مجموعه دانش‌های مذکور در قالب علم مهندسی واکنش‌های پلیمری عنوان می‌شود.

در این کتاب سعی فراوان شده است که مطالب به صورت روان نوشته شوند. به هر حال امکان وجود غلط‌ها و اشکالات در کلیه زمینه‌ها وجود دارد که امید است خوانندگان محترم در این زمینه همکاری کنند تا در چاپ‌های بعدی اشکالات رفع شوند.

در ادامه از خداوند بزرگ، سپاسگزار بذل عنایتش در پرداختن به این نوشتار هستیم و از آقای مهندس محمد نجفی که در تنظیم مطالب این کتاب زمان زیادی را صرف و کمک‌های شایانی کرده‌اند سپاسگزاریم. همچنین از سرکار خانم منیر قنبریان که ویراستاری متن کتاب را بر عهده داشتند نیز کمال تشکر و قدردانی را داریم.

وحید حدادی اصل - مهدی سلامی کلجانی

شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی

فهرست مطالب

پیشگفتار

مقدمه

فصل اول: کاتالیزورهای زیگلر-ناتا..... ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۲-۱- ساختمان کاتالیزورهای زیگلر-ناتا..... ۲

۳-۱- کمک کاتالیزور..... ۴

۴-۱- حامل ها و نگهدارنده ها..... ۵

۵-۱- الکترون دهنده ها..... ۶

۶-۱- توسعه کاتالیزورهای زیگلر-ناتا..... ۶

۶-۱-۱- نسل اول..... ۶

۶-۱-۲- نسل دوم..... ۷

۶-۱-۳- نسل سوم..... ۷

۶-۱-۴- نسل چهارم..... ۸

۶-۱-۵- نسل پنجم..... ۸

۶-۱-۶- نسل ششم (متالوسن ها)..... ۸

۶-۱-۷- کاتالیزورهای نسل هفتم..... ۹

۷-۱- انواع کاتالیزورهای زیگلر-ناتا..... ۹

۷-۱-۱- کاتالیزورهای زیگلر-ناتای همگن..... ۱۰

۷-۱-۲- کاتالیزورهای زیگلر-ناتای شبه همگن..... ۱۰

۷-۱-۳- کاتالیزورهای زیگلر-ناتای ناهمگن..... ۱۰

۷-۱-۳-۱- کاتالیزورهای نگهداری شده..... ۱۱

۷-۱-۳-۱-۱- منیزیم کلرید ($MgCl_2$)..... ۱۱

۷-۱-۳-۲- کاتالیزورهای نگهداری شده $Mg(OR)_2$ ۱۱

۸-۱- مراکز فعال..... ۱۲

۸-۱-۱- ناهمگنی مراکز فعال..... ۱۲

۱۳	۸-۲- مدل‌های مراکز فعال در کاتالیزورهای بر پایه تیتانیوم.....
۱۳	۸-۲-۱- مراکز فعال در کاتالیزورهای تک ساپورتی بر پایه $MgCl_2$
۱۴	۹-۱- مکانیسم عملکرد کاتالیزورهای زیگلر-ناتا.....
۱۵	۹-۱-۱- انتشار در پیوند فلزی- آلکیلی.....
۱۶	۹-۲- انتشار در پیوند فعال کننده- آلکیل.....
۱۶	۹-۳- مکانیسم تریگر.....
۱۷	۱۰-۱- مراحل سینتیکی پلیمریزاسیون.....
۲۰	۱۰-۱-۱- دوره القا.....
۲۰	۱۰-۲- دوره ثابت.....
۲۱	۱۰-۳- دوره کاهش.....
۲۱	۱۱-۱- پارامترهای عملیاتی مؤثر بر سینتیک پلیمریزاسیون.....
۲۲	۱۲-۱- فعال‌سازی میکروسکوپی کاتالیزور با کمک کاتالیزور.....
۲۲	۱۲-۱-۱- فعال‌سازی کاتالیزور.....
۲۳	۱۲-۲- شروع زنجیره.....
۲۴	۱۲-۳- رشد زنجیره.....
۲۴	۱۲-۴- انتقال زنجیره.....
۲۵	۱۳-۱- بررسی فعال‌سازی کاتالیزور از طریق ابر الکترونی.....
۲۷	فصل دوم: کاتالیزورهای متالوسن
۲۷	۲-۱- مقدمه.....
۲۷	۲-۲- پیشینه تاریخی.....
۲۸	۲-۳- خواص متالوسن‌ها.....
۲۸	۲-۳-۱- ساختار و پیوند.....
۲۹	۲-۳-۲- واکنش‌پذیری شیمیایی.....
۲۹	۲-۳-۳- تهیه.....
۳۰	۲-۴- اثرات زیان‌بار.....
۳۰	۲-۴-۱- کمک کاتالیزورها.....
۳۰	۲-۴-۲- آلومینو اکسان‌ها.....

- ۳۰..... ۲-۴-۱-۱- متیل آلومینواکسان
- ۳۳..... ۲-۴-۱-۲- متیل آلومینواکسان اصلاح شده
- ۳۴..... ۲-۴-۲- فعال کننده های گسسته
- ۳۵..... ۲-۵-۵- روش های قرار دادن کاتالیزور روی پایه
- ۳۵..... ۲-۵-۱- پایه های متخلخل سیلیکا
- ۳۶..... ۲-۵-۲- روش های متفاوت جذب فیزیکی کاتالیزور
- ۳۷..... ۲-۵-۳- پایه ها به عنوان قسمتی از مجموعه لیگاند
- ۳۷..... ۲-۶-۶- خانواده کاتالیزورهای متالوسن
- ۳۷..... ۲-۶-۱- متالوسن های گروه IVB
- ۳۷..... ۲-۶-۱-۱- کمپلکس های بیس سیکلوپنتادی انیل
- ۴۰..... ۲-۶-۱-۲- کمپلکس های مونوسیکلوپنتادی انیل
- ۴۲..... ۲-۶-۱-۳- کمپلکس هایی با لیگاندهای دویونی
- ۴۴..... ۲-۶-۲- متالوسن های گروه IIIb و f-Block
- ۴۷..... ۲-۶-۳- متالوسن های گروه VB و VIB
- ۴۹..... ۲-۶-۴- ترکیبات سیکلوپنتادی انیل کروم
- ۵۱..... ۲-۷-۷- روندهای عمومی پلیمریزاسیون متالوسن ها
- ۵۲..... ۲-۷-۱- آثار افزودنی ها بر پلیمریزاسیون متالوسن ها
- ۵۳..... ۲-۷-۲- پلیمریزاسیون با استفاده از متالوسن ها
- ۵۳..... ۲-۷-۱-۲- فعال سازی
- ۵۴..... ۲-۷-۲-۲- غیر فعال شدن
- ۵۴..... ۲-۷-۳-۲- اختتام زنجیره
- ۵۴..... ۲-۷-۳-۱- اختتام زنجیره داخلی
- ۵۶..... ۲-۷-۳-۲- اختتام زنجیره خارجی
- ۵۷..... ۲-۷-۴-۲- تشکیل شاخه های زنجیره بلند
- ۵۸..... ۲-۸- کاتالیزورهای متالوسن فضاگزين
- ۶۲..... ۲-۹- کاتالیزورهای متالوسن فضاگزين سيند پوتاکتيک

۶۳	۱۰-۲- کاتالیزورهای متالوسن فضاناکترین.....
۶۴	۱۱-۲- کاتالیزورهای متالوسن برای سنتز پلی پروپیلن الاستومری.....
۶۵	۱۲-۲- سایر کاتالیزورهای متالوسن همگن.....
۶۶	۱۳-۲- کاتالیزورهای متالوسن پایه دار.....
۶۹	فصل سوم: مکانیسم واکنش های پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای زیگلر- ناتا.....
۶۹	۱-۳- مقدمه.....
۷۰	۲-۳- مکانیسم هایی برای پلیمریزاسیون آلفا آلکن ها.....
۷۰	۳-۲-۱- مکانیسم های اولیه.....
۷۲	۳-۲-۲- انتشار در پیوند فلز- آلکیل.....
۷۳	۳-۲-۲-۱- انتشار در پیوند فعال کننده- آلکیل.....
۷۸	۳-۲-۲-۲- انتشار در پیوند آلکیل- فلز واسطه.....
	فصل چهارم: سینتیک و مدل سازی واکنش های پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای زیگلر- ناتا.....
۸۴	۱-۴- مقدمه.....
۸۴	۴-۲- نمودارهای سینتیکی سرعت- زمان کاتالیزورهای زیگلر- ناتا.....
۸۸	۴-۳- مدل های سینتیکی پلیمریزاسیون با کاتالیزورهای زیگلر- ناتا.....
۸۸	۴-۳-۱- مدل های سینتیکی.....
۸۸	۴-۳-۱-۱- مدل کاسی.....
۹۰	۴-۳-۱-۲- مدل بوهم.....
۹۹	۴-۳-۱-۳- مدل بورفیلد.....
۹۹	۴-۳-۱-۴- مدل رینکون- رویو- ویلن- لیندفورس.....
۱۰۳	۴-۳-۱-۵- مدل کیم- کیم- وو.....
۱۰۷	۴-۳-۱-۶- مدل کیسین.....
۱۱۰	۴-۳-۱-۷- مدل چویی- کیم- کو- وو.....
۱۱۵	۴-۳-۱-۸- مدل هان آدبکون- ری.....
۱۱۶	۴-۳-۱-۸-۱- تشکیل مراکز از برهم کنش کاتالیزور و کمک کاتالیزور.....
۱۱۸	۴-۳-۱-۸-۲- مشارکت مونومر در فعال سازی مراکز.....

۱۲۱..... ۴-۳-۱-۹- مدل لموس

۱۲۱..... ۴-۳-۱-۹-۱- مکانیسم کنوردیناسیون تنها

۱۲۲..... ۴-۳-۱-۹-۲- مکانیسم کنوردیناسیون دوتایی

۱۲۴..... ۴-۳-۱-۹-۳- مکانیسم کنوردیناسیونی تنها و دوتایی

۱۲۷..... ۴-۳-۱-۱۰- مدل کیسین- مینک- ناولین

۱۲۷..... ۴-۳-۱-۱۰-۱- هموپلیمریزاسیون

۱۲۸..... ۴-۳-۱-۱۰-۲- کوپلیمریزاسیون

۱۲۹..... ۴-۳-۱-۱۱- مدل توسعه یافته کیسین

۱۳۴..... ۴-۳-۱-۱۲- مدل انتقال زنجیر به هیدروژن زاجا- ییالک

۱۳۸..... ۴-۳-۱-۱۳- مدل ولز- ری

۱۳۸..... ۴-۳-۱-۱۳-۱- سینتیک واکنش در حضور کاتالیزورهای بر پایه تیتانیوم

۴-۳-۱-۱۳-۲- سینتیک واکنش در حضور کاتالیزورهای بر پایه اکسید کرومیوم

۱۳۹.....

۴-۳-۲- مدل های نفوذی..... ۴-۳-۲-۱

۴-۳-۲-۱- مدل اشمل- استریت..... ۴-۳-۲-۱-۱

۴-۳-۲-۱-۱- مدل های سینتیکی و انتقال جرم..... ۴-۳-۲-۱-۱-۱

۴-۳-۲-۱-۲- تأثیر نفوذ و واکنش روی توزیع وزن مولکولی..... ۴-۳-۲-۱-۲-۱

۴-۳-۲-۲- مدل شارما- باگوات..... ۴-۳-۲-۲-۱

۴-۳-۲-۲-۱- موازنه برای مونومر در میکروذره..... ۴-۳-۲-۲-۱-۱

۴-۳-۲-۲-۲- موازنه مونومر ماکروذره ای (شکافی)..... ۴-۳-۲-۲-۲-۱

۴-۳-۲-۲-۳- انتقال جرم گاز- مایع..... ۴-۳-۲-۲-۳-۱

۴-۳-۲-۳- مدل مک کنا- دوپوی- اسپیتز..... ۴-۳-۲-۳-۱

۴-۳-۲-۴- مدل شریعتی- سو- باکون..... ۴-۳-۲-۴-۱

فصل پنجم: سینتیک کاتالیزورهای چندمرکز..... ۴-۳-۲-۴-۱-۷

۵-۱- روش تفکیک منحنی های GPC به اجزای فلوری..... ۴-۳-۲-۴-۱-۷-۱

۵-۱-۱- مقادیر a برای اجزای فلوری در هموپلیمریزاسیون اتیلن..... ۴-۳-۲-۴-۱-۷-۱-۱

۵-۲- سینتیک پلیمریزاسیون اتیلن با کاتالیست های زیگلر- ناتا بر پایه Ti..... ۴-۳-۲-۴-۱-۷-۲

۱۷۴.....	۵-۲-۱- اثر غلظت اتیلن روی سینتیک هموپلیمریزاسیون.....
۱۷۵.....	۵-۲-۲- اثر دما بر سینتیک واکنش.....
۱۷۶.....	۵-۳- سینتیک پلیمریزاسیون کاتالیزورهای چندمرکز.....
۱۷۹.....	۵-۳-۱- تأثیر هیدروژن بر هموپلیمریزاسیون اتیلن.....
۱۸۴.....	۵-۳-۲- اثر کمک کاتالیزور.....
۱۸۴.....	۵-۴- سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۸۴.....	۵-۴-۱- تأثیر ۱- هگزن بر سینتیک پلیمریزاسیون در غیاب هیدروژن.....
۱۸۷.....	۵-۴-۲- اثر هیدروژن بر سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۸۸.....	۵-۴-۳- اثر سموم کاتالیز بر سینتیک کوپلیمریزاسیون اتیلن / ۱- هگزن.....
۱۹۳.....	فصل ششم: روش‌های شناسایی مراکز فعال.....
۱۹۳.....	۶-۱- مقدمه.....
۱۹۳.....	۶-۲- روش‌های شناسایی مراکز فعال.....
۱۹۳.....	۶-۲-۱- پلیمریزاسیون جریان ایستا.....
۱۹۴.....	۶-۲-۲- روش برچسب‌گذاری رادیویی.....
۱۹۵.....	۶-۲-۳- روش فرونشانی.....
۱۹۷.....	۶-۳- اختلاف عملکرد روش‌ها (شناسایی مراکز فعال در حضور مونومر اتیلن).....
۱۹۸.....	۶-۳-۱- فرونشانی با متانول رادیواکتیو.....
۱۹۹.....	۶-۳-۲- برچسب‌گذاری رادیویی با ^{14}CO
۱۹۹.....	۶-۳-۲-۱- کالیبره کردن کارآیی.....
۱۹۹.....	۶-۳-۳- برچسب‌گذاری با CS_2
۲۰۱.....	مراجع.....

مقدمه

کاتالیزورهای زیگلر-ناتا^۱ به عنوان یک دسته مهم از کاتالیزورهای صنعتی نقش به سزایی در تولید پلی‌اولفین‌ها^۲ دارند و ناپایداری شدید و عمر فعالیت کوتاه آنها، خط بطلانی بر این نظریه که کاتالیزورها باید استحکام کافی و طول عمر بالا داشته باشند کشید.

اولین بار هولز کمپ^۳ دانشجوی محقق آلمانی، کارل زیگلر، کاملاً اتفاقی کاتالیزورهای زیگلر-ناتا را کشف کرد. وی فهمید اتیلن در مجاورت ترکیبات آلومینیوم و ترکیبات کلونیدی نیکل، که به صورت کاملاً اتفاقی در راکتور به جا مانده بودند، در ذمای پایین پلیمریزه می‌شود.

همچنین ناتا و همکارانش نشان دادند که می‌توان با کمک این دسته از کاتالیزورها پروپیلن را به صورت منظم فضایی پلیمریزه کرد. نا قبل از آن تهیه پلی‌پروپیلن با وزن مولکولی بالا تقریباً غیرممکن بود و تنها پلی‌پروپیلن اتاکتیک با وزن مولکولی پایین تهیه می‌شد [۱-۲].

کشف مذکور که به تهیه نوع خاصی از کاتالیزورها برای تهیه پلی‌اولفین‌ها منجر شد چنان مهم بود که کارل زیگلر و جولیا ناتای ایتالیایی در سال ۱۹۶۳ برنده جایزه نوبل شیمی شدند. کشف کاتالیزورهای زیگلر-ناتا مسیر تحقیقات در زمینه پلی‌اولفین‌ها را تغییر داد و با تغییراتی نه چندان بنیادی در این دسته از کاتالیزورها تولید پلی‌اولفینی با خواص مطلوب ممکن شد.

^۱ Ziegler-Natta

^۲ Polyolefin

^۳ Holz Kamp

امروزه به جرأت می‌توان گفت که تولید پلیمرها با استفاده از کاتالیزورهای زیگلر-ناتا یکی از مهمترین روش‌هاست و بیشترین سهم را در تولید پلیمرها دارد. در حال حاضر و با آن که نسل هشتم این کاتالیزورها در حال تشکیل است، هنوز کاتالیزورهای زیگلر-ناتا مهمترین عوامل تولید پلی‌اولفین‌ها هستند و با گذشت حدود چهار دهه از عمر کاتالیزورهای متالوسن، که در برخی حالات تقریباً شبیه کاتالیزورهای زیگلر-ناتا هستند و با توجه به همین شباهت‌ها برخی از محققان آن‌ها را یکی از نسل‌های کاتالیزورهای زیگلر-ناتا به حساب می‌آورند، هنوز در حدود نود درصد از پلی‌اولفین‌ها از روش کاتالیزورهای زیگلر-ناتا تهیه می‌شوند و کاتالیزورهای متالوسنی هنوز به صورت صنعتی نتوانسته‌اند جایگاهی مناسب بیابند و تنها چند شرکت، از جمله بازل^۱، به صورت محدود پلی‌اولفین‌ها را با کاتالیزورهای متالوسنی تولید کرده‌اند.

در حال حاضر نسل‌های جدید کاتالیزورهای زیگلر-ناتا فعالیت بسیار بالا و طول عمر کوتاهی دارند. کاتالیزورهای نسل اول بعضی مواقع تا ۲۴ ساعت همچنان فعالیت خود را حفظ می‌کردند و به علت فعالیت کم و نسبت بالای کاتالیزور در محصول نهایی صنعتگران مجبور به شستشوی محصول و خنثی کردن کاتالیزور بودند؛ ولی امروزه با توجه به فعالیت بالای کاتالیزور، مقدار کاتالیزور آن قدر در محصول نهایی پایین است که مشکل شستشو و خنثی کردن کاتالیزور چندان وجود ندارد و همین باعث کاهش هزینه‌های تولید نیز شده است. بخشی دیگر از فعالیت‌های محققان نیز در زمینه کاتالیزورهای زیگلر-ناتا در زمینه کنترل فضا‌گزینی^۲ است [۳].

همان‌گونه که ذکر شد، کاتالیزورهای زیگلر-ناتا مهمترین عوامل تولید پلی‌اولفین‌ها هستند. این پلیمرها از جمله پلیمرهای بسیار مهم و پرکاربرد در جهان هستند (جدول ۱):

جدول ۱: آمار مربوط به تولید پلی‌اولفین‌ها در کشور آمریکا

نوع پلی‌اولفین	سال	میزان تولید
تمام پلی‌اولفین‌ها	۱۹۹۵	۵۳/۶ میلیون تن (۴۷٪ همه پلاستیک‌ها)
	۲۰۰۵	۸۰ میلیون تن (۵۵٪ همه پلاستیک‌ها)
پلی‌پروپیلن	۱۹۹۷	۲۶/۳ میلیون تن
	۲۰۰۱	۳۵/۶ میلیون تن

^۱ Bassell

^۲ Isotacticity

با توجه جدول ۱، درصد پلی‌اولفین‌ها در بین کل تولیدات پلاستیک‌ها در حال افزایش است و مهم‌ترین که سرعت میزان مصرف در این زمینه نیز از سایر پلاستیک‌ها بیشتر و در حال افزایش است. در کشور ما نیز شرکت ملی صنایع پتروشیمی سرمایه‌گذاری زیادی در این زمینه کرده است و میزان تولید پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در مجموع به شش میلیون تن در سال خواهد رسید که نسبت به حال حاضر در حدود هزار درصد رشد نشان می‌دهد و امید است با توجهی که به مسائل بازاریابی کیفیتی خواهد شد شرکت‌های پتروشیمی منطقه، همچون سابک^۱ عربستان، قابکو^۲ قطر و بروج^۳ امارات که بخش عمده بازار منطقه و حتی خود ایران را در اختیار دارند، کنار زده شوند و بتوان به بازارهای جدید آسیای جنوب و جنوب شرقی دسترسی یافت.

کاتالیزورهای تجاری ناهمگن^۴ زیگلر-ناتا بیشتر بر اساس نمک‌های تیتانیوم و آلکیل‌های آلومینیوم تهیه شده‌اند اما کاتالیزورهای وناادیومی بازده بالاتری برای تهیه کوپلیمرها دارند. کلاً کاتالیزورهای زیگلر-ناتا از نمک‌های فلزهای واسطه گروه‌های IV-VIII به عنوان کاتالیزور و آلکیل‌های فلزی بر پایه فلزات گروه‌های I-III به عنوان کمک کاتالیزور و یا فعال‌کننده^۵ تشکیل شده‌اند. یکی از ویژگی‌های عمومی کلیه این کاتالیزورها داشتن توزیع وزن مولکولی پهن پلیمرها و نیز توزیع ترکیب درصد پهن در کوپلیمرهای تولیدی است. دلیل آن داشتن بیش از یک نوع مرکز فعال با مشخصات سینتیکی، طول عمر و میزان فعالیت خاص خود است و نکته قابل توجه این که میزان فعالیت با زمان نیز برای هر کدام از آن‌ها فرق می‌کند.

کاتالیزورهای زیگلر-ناتا عمده‌تاً ناهمگن هستند و نوع محلول آن‌ها به دلیل عدم پایداری کاتالیزور و کنترل نامناسب نظم فضایی معمولاً در صنعت استفاده نمی‌شوند. برای رفع این نقص کاتالیزورهایی بر پایه متالوسن در حال شکل‌گیری هستند. این کاتالیزورها محلول‌اند و می‌توانند با آلومینواکسان‌ها و دیگر کمک کاتالیزورها پلی‌اولفین‌ها را با کنترل نظم فضایی؛ ریز ساختار عالی و توزیع وزن مولکولی باریک (به دلیل داشتن تنها یک نوع مرکز فعال) تولید کنند [۴-۶]. اما به علت مشکلات فرآیندی و صنعتی، پلی‌اولفین‌هایی که با این دسته از کاتالیزورها تولید می‌شوند هنوز از چند درصد کل پلیمرها تجاوز نکرده است.

^۱ Sabec

^۲ Qabco

^۳ Borouge

^۴ Heterogeneous

^۵ Activator