

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سقز

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد (MSc)

گرایش شیمی آلی

پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم با استفاده از کاتالیزور مس ساپورت شده روی نانوسیلیکا

تحقیق و نگارش

هاشم تابع بردبار

استاد راهنما

دکتر ابراهیم احمدی

استاد مشاور

دکتر زهرا محمدنیا

مهر ۱۳۹۱

تقدیم به

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم ...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند ...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمار نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند؛ و سلام و مورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، بالاتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عز و جلّ "

از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یآوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کمالات، شایسته و دوست داشتنی؛ جناب آقای دکتر ابراهیم احمدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را برعهده گرفتند؛

از استاد صبور و با تقوا، سرکار خانم دکتر زهرا محمدنیا، که زحمت مشاوره این پایان نامه را متقبل شدند؛ از مسئولین آزمایشگاه NMR آقایان بیگلری و فرزانه، مسئول آزمایشگاه FT-IR خانم محمدی؛

و از زیبایی حضور برادران و خواهران مهربانم که خستگیهای این راه را به امید و روشنی تبدیل کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و توفیق ایشان را از درگاه خداوند متعال خواستارم و امیدوارم بتوانم در آینده ای نزدیک جوابگوی این همه محبت آنها باشم.

چکیده

هدف از این کار سنتز کاتالیست ساپورت شده روی نانو سیلیکا و استفاده از آن در پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم (ATRP) مونومر متیل متاکریلات می باشد. ابتدا کاتالیست CuBr/AEAPTMS با استفاده از ۲-آمینواتیل ۳-آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان (AEAPTMS) و CuBr به ترتیب به عنوان لیگاند و فلز واسطه سنتز گردید و از آنالیزهای FT-IR, UV-Vis و CHNS برای شناسایی آن استفاده شد. نکته جالب در این کار استفاده از AEAPTMS به عنوان لیگاند می باشد زیرا قابلیت تشکیل کمپلکس پایدار با نمک فلز واسطه و اتصال آسان به ذرات نانو سیلیکا را دارد. در ادامه نانو سیلیکای هگزاگونال با توجه به روش های موجود سنتز گردید. برای تهیه ی کاتالیست ساپورت شده ابتدا لیگاند به سطح نانو سیلیکا پیوند زده شد و آنالیزهای TGA و FT-IR ساخت آن را تأیید می کند. در مرحله بعد با اضافه کردن برمید مس به نانو سیلیکای آمین دار و تشکیل کمپلکس بین نیتروژن های لیگاند پیوند زده شده و برمید مس، کاتالیست ساپورت شده آماده گشت و از آنالیزهای FT-IR, UV-Vis و CHNS جهت شناسایی آن استفاده گردید. قسمت دیگر کار پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم با استفاده از کاتالیست های سنتز شده بود که از متیل متاکریلات و اتیل ۲-برمو ۲-متیل پروپیونات (EBMP) به ترتیب به عنوان مونومر و آغازگر استفاده شد. پلیمر سنتز شده توسط تکنیک های $^1\text{H NMR}$ و $^{13}\text{C NMR}$ و GPC بررسی و شناسایی شدند. مطالعه انجام گرفته با توجه به آنالیزهای موجود نشان داد پلیمر سنتز شده دارای شرایط مطلوب پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم می باشد.

کلمات کلیدی: پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم، کاتالیست ساپورت شده.

صفحه	فصل اول : مقدمه و کلیات
۱	۱ مقدمه
۸	۱-۱ اجزای ATRP
۸	۱-۱-۱ مونومرها
۹	۲-۱-۱ آغازگرها
۱۰	۳-۱-۱ حلال
۱۱	۴-۱-۱ کاتالیزور
۱۱	۵-۱-۱ لیگاند
۱۳	۲-۱ توزیع جرم مولکولی پلیمر
۱۴	۳-۱ نگهدارنده و روش‌های ساخت آن
۱۵	۱-۳-۱ روش سل-ژل
۱۹	۴-۱ مکانیزم تشکیل ساختارهای منظم مزوپور
۲۳	۵-۱ مروری بر ساختارهای منظم مزوپور خانواده SBA
۲۵	۱-۵-۱ معرفی SBA-15
۲۷	۲-۵-۱ بازیافت SDA
۳۰	۲ مواد و روش‌ها

۳۰	مشخصات کلی در مورد مواد اولیه و دستگاه‌های مورد استفاده	۱-۲
۳۱	تهیه حلال‌های خشک	۲-۲
۳۲	دستگاه‌های مورد استفاده برای شناسایی	۳-۲
۳۲	طیف‌سنج فوریه مادون قرمز	۱-۳-۲
۳۳	میکروسکوپ الکترونی روبشی	۲-۳-۲
۳۳	UV-visible	۳-۳-۲
۳۳	$^1\text{H NMR}$ و $^{13}\text{C NMR}$	۴-۳-۲
۳۳	آنالیز عنصری	۵-۳-۲
۳۴	تفرق اشعه ایکس	۶-۳-۲
۳۴	دستگاه اندازه‌گیری جذب اتمی شعله‌ای (FAAS)	۷-۳-۲
۳۴	آنالیز وزن‌سنجی	۸-۳-۲
۳۴	میکروسکوپ الکترونی عبوری	۹-۳-۲
۳۵	تهیه نگهدارنده	۴-۲
۳۵	تهیه نگهدارنده سیلیکایی SBA-15 هگزاگونال	۱-۴-۲
	روش پیوند زنی [۳-۲-آمینو اتیل (آمینو) پروپیل] تری متوکسی سیلان به سطح	۲-۴-۲
۳۵	SBA-15	
۳۶	سنتر کاتالیزور	۵-۲

۳۶	تهیه کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS).....	۱-۵-۲
	تهیه کاتالیزور CuBr/AEAPTMS ساپورت شده (I)، توسط سیلیکای آمین دار	۲-۵-۲
۳۶	شده (CuBr/SBA15-NH-NH ₂).....	
	تهیه کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS) ساپورت شده (II)، به صورت	۳-۵-۲
۳۷	جداگانه (SBA15/CuBr/AEAPTMS).....	
۳۷	پلیمریزاسیون توده‌ای.....	۶-۲
۳۷	پلیمریزاسیون درجا توسط CuBr/AEAPTMS.....	۱-۶-۲
۳۸	پلیمریزاسیون با استفاده از کاتالیزور CuBr/AEAPTMS.....	۲-۶-۲
۳۸	پلیمریزاسیون با استفاده از کاتالیزور CuBr/AEAPTMS ساپورت شده (I).....	۳-۶-۲
۳۹	پلیمریزاسیون با استفاده از کاتالیزور CuBr/AEAPTMS ساپورت شده (II) ...	۴-۶-۲
۴۱	۳ بحث و نتایج.....	
۴۱	تهیه و شناسایی نانو سیلیکای هگزاگونال SBA-15.....	۱-۳
۴۶	پیوند زنی [۳-(۲-آمینو اتیل آمینو) پروپیل] تری متوکسی سیلان به سطح SBA-15.....	۲-۳
۵۱	سنتز و شناسایی کاتالیزورها.....	۳-۳
۵۱	سنتز و شناسایی کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS).....	۱-۳-۳
۵۱	بررسی FT-IR و UV-Vis کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS).....	۱-۱-۳-۳
۵۴	بررسی CHNS کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS).....	۲-۱-۳-۳

۵۴.....	۲-۳-۳ سنتز و شناسایی کاتالیزورهای ساپورت شده.....
۱-۲-۳-۳	سنتز و شناسایی کاتالیزور ساپورت شده (I)، توسط سیلیکای آمین دار
۵۵.....	شده (CuBr/SBA15-NH-NH ₂).....
۲-۲-۳-۳	سنتز و شناسایی کاتالیزور ساپورت شده (II)، به صورت
۵۹.....	جداگانه (SBA15/CuBr/AEAPTMS).....
۶۲.....	۴-۳ پلیمریزاسیون توده‌ای و شناسایی پلیمرها.....
۶۲.....	۱-۴-۳ شناسایی پلیمر با استفاده از NMR.....
۶۵.....	۱-۱-۴-۳ بررسی ¹ H NMR پلی متیل متا کریلات.....
۶۸.....	۲-۱-۴-۳ بررسی ¹³ C NMR پلی متیل متا کریلات.....
۷۲.....	۲-۴-۳ شناسایی پلیمر با استفاده از GPC.....
۷۵.....	۵-۳ نتیجه گیری.....

- شکل ۱-۱ طرح کلی انواع مکانیسم‌های پلیمریزاسیون رادیکالی کنترل شده. ۶
- شکل ۲-۱ مقایسه آغازگرها بر اساس میزان فعالیت آن‌ها. ۱۰
- شکل ۳-۱ لیگاندهای استفاده شده و مقایسه میزان فعالیت آن‌ها. ۱۲
- شکل ۴-۱ توزیع جرم مولکولی پلیمرهای بدست آمده با استفاده از کاتالیزورهای مختلف. ۱۴
- شکل ۵-۱ نمایشی از روش سُل-ژل. ۱۷
- شکل ۶-۱ مکانیزم پیشنهادی بک در تشکیل نگهدارنده سیلیکایی با استفاده از سورفکتانت. ۲۰
- شکل ۷-۱ مکانیسم پیشنهادی دیویس و همکارانش. ۲۱
- شکل ۸-۱ مکانیسم پیشنهادی استاکی در تشکیل نگهدارنده سیلیکایی با استفاده از سورفکتانت. ۲۲
- شکل ۹-۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری SBA-15. ۲۷
- شکل ۱-۳ الگوی تفرق اشعه ایکس پودر SBA-15 هگزاگونال. ۴۲
- شکل ۲-۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی نگهدارنده SBA-15 هگزاگونال. ۴۳
- شکل ۳-۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی نگهدارنده SBA-15 هگزاگونال سوکسله شده (بزرگنمایی *۱۰۰۰۰). ۴۵
- شکل ۴-۳ طیف FT-IR نگهدارنده SBA-15 کلسینه شده و کلسینه نشده. ۴۶
- شکل ۵-۳ سنتز نانو سیلیکای هگزاگونال آمین دار شده. ۴۷
- شکل ۶-۳ طیف FT-IR نگهدارنده SBA-15 کلسینه شده و SBA-15 آمین دار شده. ۴۸
- شکل ۷-۳ گرما وزن سنجی (NH-NH₂) - SBA-15. ۴۹
- شکل ۸-۳ DTA مربوط به سیلیکای آمین دار. ۵۰
- شکل ۹-۳ TGA مربوط به سیلیکای آمین دار. ۵۰

- شکل ۳-۱۰ مقایسه طیف FT-IR لیگاند و کاتالیست ۵۲
- شکل ۳-۱۱ مقایسه طیف UV-Vis مربوط به CuBr، AEAPTMS و CuBr/AEAPTMS ۵۳
- شکل ۳-۱۲ مقایسه طیف UV-Vis مربوط به CuBr، (AEAPTMS) و SBA15-Catalyst(I) .. ۵۶
- شکل ۳-۱۳ طیف FT-IR مربوط به کاتالیزور SBA15-Catalyst(I) ۵۸
- شکل ۳-۱۴ مقایسه طیف UV-Vis مربوط به CuBr، (AEAPTMS) and SBA15-Catalyst(II) ۶۰
- شکل ۳-۱۵ طیف FT-IR مربوط به کاتالیزور SBA15-Catalyst(II) ۶۱
- شکل ۳-۱۶ بررسی شیمی فضایی گروه متیل پلی متیل متاکریلات با استفاده از طیف $^1\text{H NMR}$ ۶۴
- شکل ۳-۱۷ اجزای پلیمر سنتز شده به روش پلیمریزاسیون رادیکالی انتقال اتم ۶۵
- شکل ۳-۱۸ ساختار گسترده اتیل-۲-برمو-۲-متیل پروپیونات (EBMP) ۶۶
- شکل ۳-۱۹ طیف $^1\text{H NMR}$ پلی متیل متاکریلات، الف: گروه متیل ($-\text{CH}_3$) واحد تکرار شونده
ب: گروه متن ($-\text{CH}_2-$) واحد تکرار شونده ج: گروه ($-\text{OCH}_3$) واحد تکرار شونده د: گروه ($-\text{O-CH}_2-$)
آغازگر ۶۷
- شکل ۳-۲۰ طیف $^{13}\text{C NMR}$ پلی متیل متاکریلات ۷۱
- شکل ۳-۲۱ توزیع جرم مولکولی پلی متیل متاکریلات تهیه شده در حالت درجا به روش توده‌ای
که توسط تتراهیدروفوران به عنوان شوینده بدست آمده ۷۲
- شکل ۳-۲۲ توزیع جرم مولکولی پلی متیل متاکریلات تهیه شده به استفاده از کاتالیزور به روش
توده‌ای ۷۳

شکل ۳-۲۳ توزیع جرم مولکولی پلی متیل متاکریلات تهیه شده با استفاده از کاتالیست ساپورت

شده به روش توده‌ای. ۷۴

شکل ۳-۲۴ طیف کروماتوگرافی ژل تراوا (GPC) پلی متیل متاکریلات که توسط تتراهیدروفوران

به عنوان شوینده بدست آمده. ۷۵

- شماتیک ۱-۱ مکانیسم ATRP ۳
- شماتیک ۲-۱ مکانیسم ATRA ۳
- شماتیک ۱-۳ واکنش تهیه SBA-15 هگزاگونال ۴۱
- شماتیک ۲-۳ طرح شماتیک اضافه شدن گروه آمینی به ساختار نانو سیلیکای هگزاگونال ۴۷
- شماتیک ۳-۳ سنتز کاتالیزور (CuBr/AEAPTMS) ۵۱
- شماتیک ۴-۳ سنتز کاتالیزور ساپورت شده (I) ۵۵
- شماتیک ۵-۳ سنتز کاتالیزور ساپورت شده (II) ۵۹
- شماتیک ۶-۳ پلیمریزاسیون متیل متاکریلات ۶۲

- جدول ۱-۲ نام و منابع تأمین مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش..... ۳۰
- جدول ۱-۳ پارامترهای ساختاری نگهدارنده SBA-15 هگزاگونال کلسینه شده..... ۴۴
- جدول ۲-۳ آنالیز عنصری CHN، Si و Cu کاتالیست (CuBr/AEAPTMS)..... ۵۴
- جدول ۳-۳ آنالیز عنصری CHN، Si و Cu کاتالیزور ساپورت شده (I)..... ۵۸
- جدول ۴-۳ آنالیز عنصری CHN، Si و Cu کاتالیست ساپورت شده (II)..... ۶۱

ATRP	Atom Transfer Radical Polymerization
AEAPTMS	n-(2-AminoEthyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane
MMA	Methyl Methacrylate
EBMP	Ethyl 2-boromo-2-methylpropionate
GPC	Gel Permeation Chromatography
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
FT-IR	<u>Fourier Transform Infrared spectroscopy</u>
UV-Vis	Ultraviolet-visible spectroscopy
TEM	Transmission Electron Microscopy
TGA	Thermo Gravimetric Analysis
SFRP	Stable Free Radical Polymerization
NMP	Nitroxide-mediated Polymerization
ATRA	Atom Transfer Radical Addition
RAFT	Reversible Addition-Fragmentation chain Transfer
TERP	Tellurium Mediated Radical Polymerization
TEMPO	(2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-yl)oxidanyl
SDA	Structure Directing Agents
MCM	Mobil Crystalline Materials
SBA	Santa Barbara Amorphous type material
LCT	Liquid Crystal Templating mechanism

فصل اول

مقدمه

۲ مقدمه

امکان کنترل واکنش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد توسط یکی از مهمترین روش‌های تجاری پلیمریزاسیون (روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد کنترل شده/"زنده") در اواسط دهه ۱۹۹۰ کشف شد. در طول چند سال گذشته، از زمان اولین گزارش ارائه شده در این زمینه، فعالیت‌های پژوهشی مرتبط به سرعت رشد کرده و در حال حاضر به یکی از زمینه‌های تحقیقاتی شیمی پلیمر با پیشرفت بسیار سریع، تبدیل شده است. در این راستا فعالیت‌های تحقیقاتی فراوانی در کنار همکاری‌های صنعتی به انجام رسیده و در حال توسعه می‌باشند. روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد کنترل شده/"زنده" امکان سنتز و تولید دامنه وسیعی از محصولات پلیمری موجود و همچنین مواد جدید را با ساختارهای از پیش طراحی شده در شرایط فرآیندی به مراتب آسان‌تر نسبت به روش پلیمریزاسیون یونی فراهم می‌کند. این روش با استفاده همزمان از ویژگی‌های روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد در سنتز بسیاری از پلیمرها در شرایط فرآیندی ساده و همچنین توانایی در کنترل ساختار مولکولی پلیمرها، امکان ساخت محصول‌های جدید با ساختار مشخص را فراهم می‌کند.

اصولاً چنین روش‌هایی سهولت روش رادیکال آزاد و مزایای روش‌های زنده را با هم ترکیب کرده و اختتام برگشت‌پذیر رادیکال‌های رشدکننده را به وجود می‌آورند. به طور کلی چهار روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد کنترل شده/"زنده" به طور عملی بررسی شده‌اند. تمامی این روش‌ها بر پایه استفاده از عامل‌های شروع-انتقال-اختتام می‌باشند که اختتام یا انتقال برگشت ناپذیر زنجیره را در فرآیند رادیکال آزاد معمولی کنترل می‌کنند.

در سال ۱۹۸۶، سولومون، ریزاردو و کاسیولی^۱ الیگومرهای متیل آکریلات را از طریق غیر فعال کردن^۲ برگشت پذیر زنجیره‌های رادیکالی در حال رشد با یک رادیکال آزاد پایدار سنتز کردند [۱]. اگرچه تعمیم و گسترش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد پایدار^۳ به پلی آکریلات‌ها مشکل بود [۲] با این حال غیر فعال کردن برگشت پذیر زنجیره‌های در حال رشد به عنوان اولین مکانیسم از چهار روش پلیمریزاسیون رادیکال آزاد کنترل شده / "زنده" تعریف گردید. جور کافت^۴ برگشت پذیر انتهای یک زنجیره غیر فعال برای تولید یک رادیکال آزاد پایدار و همچنین یک مرکز رادیکال فعال برای پلیمریزاسیون استایرن در ۱۹۹۳ [۳]، برای پلیمریزاسیون آکریلات‌های کاتالیز شده با آلکیل‌های پورفرین کبالت^۵ [۴] و اخیراً برای دامنه وسیعی از مونومرها از طریق تهیه شروع کننده‌های خاص هر مونومر [۵] به کار رفته است. این روش به وسیله کاشفین آن، پلیمریزاسیون رادیکال آزاد پایدار (SFRP) نامگذاری شد [۶]. لازم به ذکر است که این روش تحت عنوان پلیمریزاسیون با واسطه نیتروکسید^۶ (NMP) نیز شناخته شده است.

دومین روش برای کنترل پلیمریزاسیون رادیکالی به وسیله ماتیافسکی^۷ با وارد کردن مقداری از یک کاتالیست کمپلکس کئوردیناسیونی مس (I)^۸، که یک هالید^۹ را به صورت برگشت پذیر از انتهای زنجیره پلیمری جدا می‌کرد، ارائه گردید و بدین وسیله یک مکانیسم تعویض شونده^{۱۰} بین یک موقعیت رشد

¹ Solomon, Rizzardo and Cacioli

² Capping

³ Stable Free Radical Polymerization: SFRP

⁴ Hemolytic Cleavage

⁵ Cobalt Porphyrin Alkyls

⁶ Nitroxide-mediated Polymerization (NMP)

⁷ Matyjaszewski

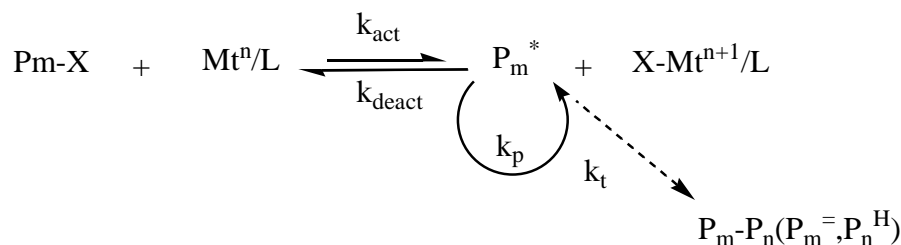
⁸ Copper(I) Coordination Complex

⁹ Halide

¹⁰ Switching mechanism

فعال و غیر فعال فراهم شد [۷] (Error! Not a valid bookmark self-reference.) . این فرآیند با

عنوان پلیمریزاسیون رادیکالی با انتقال اتم^۱ (ATRP) معرفی گردید.



شماتیک ۱-۲ مکانیسم ATRP.

ATRP اساساً بر پایه یک واکنش آلی شناخته شده به نام افزایش رادیکالی با انتقال اتم^۲ (ATRA)

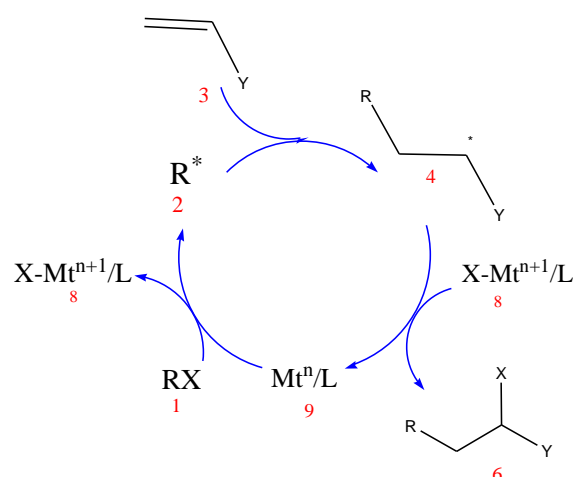
می‌باشد [۸]. ATRA بر پایه تعویض هالوژن از یک هالید آلکیل به یک کمپلکس فلز واسطه است. همان

طور که در شماتیک ۱-۲ مشاهده می‌شود، این فرآیند یک رادیکال تولید می‌کند که قادر است به یک

آلکن اضافه شود تا یک محصول رادیکال گذرا، که اتم هالید به آن انتقال داده می‌شود، تولید کند. مس

[۹] و سایر فلزات واسطه با ساختار الکترونی d^n مانند نیکل [۱۰ و ۱۱]، پالادیوم [۱۲]، روتنیوم [۱۳] و

آهن [۱۴] در فرآیند ATRA مورد استفاده قرار گرفته‌اند .



شماتیک ۲-۲ مکانیسم ATRA.

^۱ Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP)

^۲ Atom Transfer Radical Addition (ATRA)

سومین گزارش از پلیمریزاسیون رادیکال آزاد کنترل شده/"زنده" توسط هادلتن^۱ و همکارانش و همچنین تانگ^۲ و همکارانش ارائه شده است [۱۵]. انتقال به زنجیره افزایشی-جداشدنی برگشت پذیر^۳ (RAFT) با انجام پلیمریزاسیون رادیکال آزاد در حضور ترکیبات دی تیو^۴، که به عنوان عوامل موثر RAFT عمل می کنند، به دست می آید. مشابه با دو روش قبل، مکانیسم تعویض شونده گی سریع بین انتهای فعال و غیر فعال زنجیره، رفتار پلیمریزاسیون زنده را فراهم می کند [۱۶].

چهارمین روش پلیمریزاسیون کنترل شده/"زنده" که جدیدترین روش نیز محسوب می شود در سال ۱۹۹۹ توسط یاماگو^۵ و همکارانش گزارش شد. این روش به عنوان پلیمریزاسیون رادیکالی با واسطه تلوریوم^۶ (TERP) شناخته شده است. آن ها نشان دادند که ترکیبات ارگانوتلوریوم متحمل شکست برگشت پذیر و متقارن^۷ پیوند کربن-تلوریوم (C-Te) می شوند. مکانیسم TERP بر اساس انتقال به زنجیره برگشت پذیر است [۱۷-۱۹].

تهیه ماکرومولکول های با ساختار مشخص و تعریف شده بایستی تحت شرایط پلیمریزاسیون کنترل شده و یا زنده انجام گیرد. پلیمریزاسیون زنده پلیمریزاسیونی است که متحمل مرحله پایان یا اختتام نمی شود. برای این سیستم ها، نمودار رشد وزن مولکولی نسبت به تبدیل خطی می باشد. تا سال های اخیر، پلیمریزاسیون های آنیونی و کاتیونی، تنها تکنیک های زنده بودند که برای طراحی پلیمرهایی با ساختار

^۱Haddleton

^۲Thang

^۳Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer(RAFT)

^۴Dithio

^۵Yamago

^۶Tellurium Mediated Radical Polymerization(TERP)

^۷Homolytic