دانشگاه خوارزمی

دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی معدنی

تثبیت یک کمپلکس از مولیبدن روی سطح نانولوله‌کربنی برای تهیه یک کاتالیزگر اپوکسایش

نگارش:

سارا عابدنطنزی

استاد راهنما:

دکتر مجید ماستری فراهانی

استاد مشاور:

دکتر مریم محمدی کیش

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به:

والاترین معانی عشق زندگی ام

گرانبهاترین سرمایه ام، پدرم

هیچ کلمه ای قدرت بیان مهربانی های بی پایان تو را ندارد. با یک دنیا شور و اشتیاق وضوی عشق می گیرم و پیشانی بر خاک گذاشته، خداوند را شکر می کنم که فرزند انسان بزرگ و وارسته ای چون تو هستم.

تمام هستی ام، مادرم، دکتر فاطمه بیان فر

یگانه استاد زندگی ام، دستم برای از تو نوشتن می لرزد. چگونه تو را سپاس بگویم که با قدم نهادن در راه علم و دانش، گام به گام مرا همراه خود پیش بردی. اگر تو در کنارم نبودی سال ها پیش در رؤیاهایم غرق می شدم. اکنون این ثمره دوران تحصیلم را به تو بهترینم تقدیم می کنم. دست هایت را می بوسم و خدای بزرگ را شکر می گویم که نعمت وجودت را به من ارزانی داشته است.

و تقدیم به شقایق های بوستان زندگی ام، خواهران عزیزتر از جانم

دکتر مریم عابد نظری

و مونای نازنینم

تشکر و قدردانی:

از جناب آقای **دکتر مجید ماستری فراهانی** که مسئولیت راهنمایی این پژوهش را تقبل و با دقت، نظارت، صبر و شکیبایی تمام مرایاری فرمودند بینهایت سپاسگزارم. ایشان در به ثمر رسیدن این پژوهش از دریای بیکران علم خویش بهره مندم گردانیدند. زحمات بی دریغ شان وصف کردنی نیست و در قالب کلمات نمی گنجد. از خداوند بزرگ، موفقیت، سربلندی و سلامتی ایشان و خانواده محترمشان را خواستارم.

از سرکار خانم **دکتر مریم محمدی کیش** که مسئولیت مشاوره این پژوهش را تقبل فرمودند تشکر و قدردانی می نمایم.

از جناب آقای **دکتر جعفر عطار قراملکی** که داوری این پژوهش را تقبل نمودند صمیمانه سپاسگزارم. ایشان در طول دوره کارشناسی ارشد با سخنانی گرم و پرامید، شوق آموختن و ادامه مسیر را در من زنده نگاه داشته و با صمیمیت، شکیبایی و حمایت صادقانه خود، پوئیدن راه علم و دانش را هموارتر می ساختند. از خداوند متعال که هستی ام از اوست، سلامتی، شادی و بهروزی ایشان را خواستارم.

از جناب آقای **دکتر مصطفی محمد پورامینی** عضو محترم هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی که داوری این پژوهش را تقبل نمودند و با ارائه رهنمودهای سازنده و هدایت های استادانه مرایاری فرمودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از جناب آقای **دکتر مهدی قندی** عضو محترم هیئت علمی دانشگاه تهران که با در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی خویش بنده را مورد لطف و عنایت قرار دادند بینهایت سپاسگزارم. بی شک اگر لطف و حمایت ایشان نبود، در آنالیز نمونه ها با مشکلات فراوانی مواجه می شدم. از خداوند بزرگ سلامتی و توفیق روز افزون ایشان را خواستارم.

از دوستان بسیار خوب و عزیزم، **مریم مدرس**، **قدسیه عیسی پور طوطی زاد**، **زهرا میری**، **یونس موسی زاده**، **اکبر محمیان**، **نیره آقاجانی**، **سعید شهبازی** و دیگر دوستانم که صمیمانه یاری ام کردند، بینهایت سپاسگزارم. موفقیت و سربلندی تمامی دوستانم را از خداوند بزرگ خواستارم.

در پایان از تمامی اساتید بزرگواری که در طول دوره تحصیل و در انجام این پژوهش مرایاری فرمودند بینهایت قدردانی و تشکر می کنم. امیدوارم خداوند مهربان این توفیق را نصیب بنده سازد که در پژوهش های آتی نیز در محضر این اساتید محترم باشم.

سارا عابد نطنزی

چکیده

در پژوهش حاضر، دو کاتالیزگر ناهمگن توسط اتصال کووالانسی کمپلکسی از مولیبدن روی سطح نانولوله کربنی چنددیواره (MWCNT) و کربن فعال (AC) عامل‌دار شده، تهیه شدند. اتصال کووالانسی کمپلکس مولیبدن از طریق معرف سیلیل‌دار کننده ۳-آمینوپروپیل‌تری‌اتوکسی‌سیلان (APTS) که بر روی سطح بستر در مراحل قبلی قرار گرفته است، صورت گرفت. شناسایی کاتالیزگرهای به‌دست آمده توسط روش‌های DRIFT، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی EDX و BET انجام پذیرفت. فعالیت کاتالیزی کاتالیزگرهای تهیه شده در اپوکسایش اولفین‌ها (۳-متیل۲-بوتن۱-اُل، ترانس۲-هگزن۱-اُل، سیکلواکتن و سیکلوهگزن) بررسی شد که فعالیت کاتالیزی بسیار بالایی را از خود نشان دادند. همچنین تأثیر اکسنده و حلال‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفتند. کاتالیزگرهای مولیبدن در حضور ترشری بوتیل هیدروپراکسید (TBHP) به‌عنوان اکسنده همراه با دی‌کلرواتان به‌عنوان حلال فعال‌تر بودند. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که Mo/MWCNT و Mo/AC کاتالیزگرهای خوبی در اپوکسایش اولفین‌ها هستند. کاتالیزگرهای به‌دست آمده دو مرتبه به‌طور متوالی بدون از دست دادن فعالیت مورد استفاده قرار گرفتند، که نشان‌دهنده پایدار ماندن هر دو کاتالیزگر در طی شرایط واکنش است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- نانولوله‌های کربنی ۲

۱-۱-۱- کشف نانولوله‌های کربنی ۲

۱-۱-۲- ساختار نانولوله‌های کربنی ٤

۱-۱-۳- انواع نانولوله‌های کربنی ٤

۱-۱-۳-۱- نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره ٤

۱-۱-۳-۲- نانولوله‌های کربنی چنددیواره ۷

۱-۱-٤- ساختارهای غیر ایده‌آل ۸

۱-۱-٥- خواص نانولوله‌های کربنی ۹

۱-۱-٦- سنتز نانولوله‌های کربنی ۱۱

۱-۱-٦-۱- روش تخلیه قوس الکتریکی ۱۲

۱-۱-٦-۲- روش تبخیر لیزری ۱۲

۱-۱-٦-۳- روش رسوب بخار شیمیایی ۱۳

۱-۱-۷- روش‌های آزمایشگاهی در مطالعه نانولوله‌های کربنی ۱٤

۱-۲- کربن فعال ۱٥

۱-۲-۱- ساختار کربن فعال ۱٥

۱-۲-۲- ساختار منافذ کربن فعال ۱۷

۳-۲-۱- انواع کربن فعال..... ۱۸

٤-۲-۱- روش تولید کربن فعال..... ۱۸

۵-۲-۱- ویژگی‌های کربن فعال..... ۲۱

۳-۱- مروری بر پژوهش‌های انجام گرفته..... ۲۳

۱-۳-۱- روش‌های مختلف اصلاح سطح کربن فعال و نانولوله‌های کربنی جهت تثبیت کاتالیزگر همگن ۲۳

۱-۱-۳-۱- اصلاح سطح غیرکووالانسی نانولوله‌های کربنی..... ۲۵

۲-۱-۳-۱- اصلاح سطح کووالانسی نانولوله‌های کربنی و کربن فعال..... ۲۸

۲-۳-۱- انواع کمپلکس‌های تثبیت شده روی سطح کربن فعال و نانولوله‌های کربنی..... ۳۵

۱-۲-۳-۱- مس..... ۳۵

۲-۲-۳-۱- نیکل..... ۳٦

۳-۲-۳-۱- اسمیم..... ۳۷

٤-۲-۳-۱- کبالت..... ۳۸

۵-۲-۳-۱- منگنز..... ۳۸

٦-۲-۳-۱- آهن..... ٤۰

۷-۲-۳-۱- رودیم..... ٤۰

۸-۲-۳-۱- روی..... ٤۱

۹-۲-۳-۱- وانادیم..... ٤۲

۱۰-۲-۳-۱- مولیبدن..... ٤۳

۳-۳-۱- انواع بسترهای جامد برای تثبیت کمپلکس‌های مولیبدن..... ٤۳

۱-۳-۳-۱- مونتموریلونیت k-10 ..... ٤٣

۲-۳-۳-۱- ترکیبات هیبریدی پلیمری- معدنی ٤٤

۳-۳-۳-۱- سیلیس ٤٥

٤-۳-۳-۱- MCM-41 ..... ٤٦

٥-۳-۳-۱- نانولوله‌های کربنی ٤٧

فصل دوم: بخش تجربی

۱-۲- مواد شیمیایی مورد نیاز ٤٩

۲-۲- حلال‌های مورد نیاز ٥٠

۳-۲- تجهیزات دستگاهی مورد استفاده ٥٠

٤-۲- تهیه و شناسایی نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٥١

۱-٤-۲- اصلاح سطح نانولوله کربنی چنددیواره ٥١

۱-۱-٤-۲- اکسایش با اسید نیتریک ٥١

۲-۱-٤-۲- اکسایش با پتاسیم پرمنگنات ٥٢

۲-٤-۲- تثبیت معرف سیلیل‌دار کننده APTS روی سطح نانولوله کربنی چنددیواره ٥٣

۳-٤-۲- سنتز کمپلکس $MoO_2(acac)_2$ ٥٣

٤-٤-۲- تثبیت کمپلکس $MoO_2(acac)_2$ روی سطح نانولوله کربنی چنددیواره ٥٤

٥-٤-۲- اپوکسایش اولفین‌ها در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT و اکسنده CHP ٥٤

٦-٤-۲- اپوکسایش اولفین‌ها در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT و اکسنده TBHP ٥٥

۷-٤-۲- تهیه محلول بدون آب TBHP در دی‌کلرومتان ٥٥

۸-٤-۲- تعیین مولاریته محلول بدون آب TBHP در دی‌کلرومتان..... ٥٦

۵-۲- تهیه و شناسایی کاتالیزگر Mo/AC..... ٥٦

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۱-۳- اهمیت و هدف از انجام پژوهش..... ٥٨

۲-۳- تهیه و شناسایی نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT..... ٥٩

۱-۲-۳- اصلاح سطح نانولوله کربنی چنددیواره..... ٥٩

۱-۱-۲-۳- اصلاح سطح توسط پتاسیم پرمنگنات..... ٦٠

۲-۱-۲-۳- اصلاح سطح توسط اسید نیتریک..... ٦١

۲-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانولوله کربنی اولیه و نانولوله کربنی اصلاح شده..... ٦٢

۱-۲-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانولوله کربنی چنددیواره اولیه..... ٦٢

۲-۲-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانولوله کربنی اکسید شده با اسید نیتریک..... ٦٣

۳-۲-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانولوله کربنی کاهش‌یافته با سدیم بوروهیدرید..... ٦٤

۳-۲-۳- واکنش سطح نانولوله کربنی چنددیواره با معرف سیلیل‌دار کننده APTS..... ٦٥

۱-۳-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانولوله کربنی چنددیواره در واکنش با معرف سیلیل‌دار کننده APTS٦٦

٤-۲-۳- واکنش سطح نانولوله کربنی چنددیواره با کمپلکس $MoO_2(acac)_2$..... ٦٧

۱-٤-۲-۳- بررسی طیف FT-IR نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٦٧

۲-٤-۲-۳- بررسی طیف DRIFT نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT..... ٦٩

۳-۳- بررسی ویژگی‌های سطح نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از روش BET..... ٧٠

۱-۳-۳- بررسی نمودار ایزوترم نانولوله کربنی چنددیواره..... ٧١

۲-۳-۳- بررسی نمودار ایزوترم نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ۷۱

۳-٤- بررسی طیف EDX نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ۷۳

۳-٥- بررسی تصویر SEM نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ۷٤

۳-٦- بررسی تصاویر TEM نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ۷٤

۳-۷- بررسی فعالیت کاتالیزی Mo/MWCNT در اپوکسایش اولفین‌ها ۷٥

۳-۸- بررسی روند کلی واکنش اپوکسایش در شرایط مختلف و اولفین‌های متفاوت در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ۸۰

۳-۹- بررسی فعالیت کاتالیزی Mo/MWCNT بازیابی شده ۸۲

۳-۱۰- تهیه و شناسایی کاتالیزگر Mo/AC ۸٤

۳-۱۰-۱- اصلاح سطح کربن فعال ۸٤

۳-۱۰-۲- بررسی طیف FT-IR کربن فعال اولیه و کربن فعال اصلاح شده ۸٥

۳-۱۰-۲-۱- بررسی طیف FT-IR کربن فعال اولیه ۸٥

۳-۱۰-۲-۲- بررسی طیف FT-IR کربن فعال اکسید شده با اسید نیتریک ۸٦

۳-۱۰-۲-۳- بررسی طیف FT-IR کربن فعال کاهش‌یافته با سدیم بوروهیدرید ۸٦

۳-۱۰-۳- واکنش سطح کربن فعال با معرف سیلیل‌دار کننده APTS ۸۷

۳-۱۰-۳-۱- بررسی طیف FT-IR کربن فعال در واکنش با معرف سیلیل‌دار کننده APTS ۸۸

۳-۱۰-٤- واکنش سطح کربن فعال با کمپلکس $MoO_2(acac)_2$ ۸۸

۳-۱۰-٤-۱- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر Mo/AC ۸۹

۳-۱۱- بررسی ویژگی‌های سطح کاتالیزگر Mo/AC با استفاده از روش BET ۸۹

۳-۱۱-۱- بررسی نمودار ایزوترم کربن فعال ۸۹

۲-۱۱-۳- بررسی نمودار ایزوترم کاتالیزگر Mo/AC ۹۰

۱۲-۳- بررسی طیف EDX کاتالیزگر Mo/AC ۹۱

۱۳-۳- بررسی تصاویر SEM کاتالیزگر Mo/AC ۹۲

۱٤-۳- بررسی فعالیت کاتالیزی Mo/AC در اپوکسایش اولفین‌ها ۹۳

۱۵-۳- بررسی روند کلی واکنش اپوکسایش در شرایط مختلف و اولفین‌های متفاوت در حضور کاتالیزگر Mo/AC ۹٦

۱٦-۳- بررسی فعالیت کاتالیزی Mo/AC بازیابی شده ۹۷

۱۷-۳- نتیجه‌گیری ۹۹

فهرست منابع ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

۱-۱- شباهت ساختاری درپوش نیمه کروی انتهایی یک نانولوله کربنی به یک فلورین C_{60} ۵

۱-۲- نمایش بردارهای پایه (a_1 , a_2) و جفت شاخص (m , n)..... ٦

۱-۳- نمایش سه نوع ساختار نانولوله..... ۷

۱-٤- ساختار نانولوله کربنی چنددیواره..... ۸

۱-۵- تولید ناخواسته اتصالات Tشکل، Yشکل و یک چهارراهی ۹

۱-٦- واکنش نانولوله تک‌دیواره تحت انواع بار محوری فشاری..... ۱۱

۱-۷- تشکیل نانولوله کربنی به روش تخلیه قوس الکتریکی..... ۱۲

۱-۸- تبخیر لیزری یک هدفِ گرافیتی..... ۱۳

۱-۹- تصویر TEM نانولوله کربنی چنددیواره..... ۱٤

۱-۱۰- تصویر AFM نانولوله کربنی تک‌دیواره..... ۱٤

۱-۱۱- تصویر قطعات کربنی منحنی‌شکل، محتوی حلقه‌های پنج‌ضلعی، شش‌ضلعی و هفت‌ضلعی..... ۱٦

۱-۱۲- انواع منافذ در کربن فعال..... ۱۷

۱-۱۳- چگونگی تشکیل منافذ کربن فعال در اثر قرارگیری در معرض بخار آب..... ۲۱

۱-۱٤- چگونگی جذب مواد فعال سطحی روی سطح نانولوله کربنی..... ۲٦

۱-۱۵- قرارگیری کوپلیمر PS-b-PAA اطراف نانولوله کربنی..... ۲۷

۱-۱٦- اصلاح سطح کووالانسی نانولوله‌های کربنی..... ۲۸

۱-۱۷- طیف FT-IR کربن فعال اکسید شده به روش‌های مختلف ۳۰

۱-۱۸- طرح کلی از فرایند عامل‌دار کردن نانولوله کربنی ۳۱

۱-۱۹- چگونگی تشکیل کاتالیزگر هیبریدی رودیم ۳۲

۱-۲۰- اصلاح سطح نانولوله کربنی چنددیواره با گروه‌های هیدروکسیل ۳۳

۱-۲۱- واکنش رادیکال‌های NO_2 با نانولوله کربنی تک‌دیواره ۳٤

۱-۲۲- مدل پیشنهادی برای کمپلکس رودیم نشانده شده روی سطح بستر ۳۵

۱-۲۳- تثبیت کمپلکسی از مس روی سطح کربن فعال ۳٦

۱-۲٤- تثبیت کمپلکس باز شیف نیکل (II) روی سطح نانولوله کربنی ۳٦

۱-۲۵- تثبیت کمپلکس باز شیف نیکل (II) روی سطح کربن فعال ۳۷

۱-۲٦- کمپلکسی از اسمیم به منظور تهیه کاتالیزگر هیبریدی ۳۷

۱-۲۷- عامل‌دار کردن نانولوله کربنی چنددیواره با کمپلکس $[Co(OH)_2$- Salophen] ۳۸

۱-۲۸- نشاندن کمپلکسی از منگنز روی سطح کربن فعال اصلاح شده ۳۹

۱-۲۹- سنتز کمپلکس باز شیف آهن (III) ٤۰

۱-۳۰- تثبیت کمپلکسی از رودیم (I) به دو روش مختلف ٤۱

۱-۳۱- زیپ شدن نانولوله‌های کربنی توسط کمپلکس $Zn(OAC)_2$ ٤۲

۱-۳۲- قرارگیری کمپلکسی از سالن وانادیل روی سطح نانولوله کربنی ٤۲

۱-۳۳- چگونگی قرارگیری کمپلکس $MoO_2(acac)_2$ روی مونتموریلونیت k-10 ..... ٤٤

۱-۳٤- قرارگیری کمپلکسی از مولیبدن (VI) روی سطح ZPS-PVPA ٤۵

۱-۳۵- اصلاح سطح سیلیس به‌وسیله ترکیبات آلی سیلان ٤۵

۳۶-۱- تثبیت کمپلکسی از مولیبدن روی بستر MCM-41 ..... ٤٦

۱-۳- شمای سنتزی و ساختار پیشنهاد شده برای کاتالیزگر Mo/MWCNT or AC ٥٩

۲-۳- طرحی از هیدروکسیل‌دار کردن آلکن‌ها توسط پتاسیم پرمنگنات ٦٠

۳-۳- مکانیسم پیشنهاد شده برای کاهش اسید کربوکسیلیک ٦١

٤-۳- طیف FT-IR نانولوله کربنی چنددیواره اولیه ٦٣

٥-۳- طیف FT-IR نانولوله کربنی اکسید شده ٦٤

٦-۳- طیف FT-IR نانولوله کربنی کاهش یافته ٦٥

۷-۳- طیف FT-IR نانولوله کربنی چنددیواره در واکنش با معرف سیلیل‌دار کننده APTS ٦٦

۸-۳- طیف FT-IR نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT (بستر توسط HNO_3 فعال شده) ٦٨

۹-۳- طیف FT-IR نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT (بستر توسط $KMnO_4$ فعال شده) ٦٨

۱۰-۳- طیف DRIFT نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٦٩

۱۱-۳- انواع متداول ایزوترم‌های جذبی نیتروژن ٧٠

۱۲-۳- نمودار ایزوترم نانولوله کربنی چنددیواره ٧١

۱۳-۳- نمودار ایزوترم نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٢

١٤-۳- طیف EDX نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٣

١٥-۳- تصویر SEM نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٤

١٦-۳- تصاویر TEM نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٥

۱۷-۳- مکانیسم پیشنهاد شده برای اپوکسایش اولفین ٧٦

۱۸-۳- طیف FT-IR نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT بازیابی شده ٨٣

۱۹-۳- طیف FT-IR کربن فعال اولیه ۸۵

۲۰-۳- طیف FT-IR کربن فعال اکسید شده ۸٦

۲۱-۳- طیف FT-IR کربن فعال کاهش یافته ۸۷

۲۲-۳- طیف FT-IR کربن فعال در واکنش با معرف سیلیل‌دار کننده APTS ۸۸

۲۳-۳- طیف FT-IR کاتالیزگر Mo/AC ۸۹

۲٤-۳- نمودار ایزوترم کربن فعال ۹۰

۲۵-۳- نمودار ایزوترم کاتالیزگر Mo/AC ۹۱

۲٦-۳- طیف EDX کاتالیزگر Mo/AC ۹۲

۲۷-۳- تصاویر SEM کاتالیزگر Mo/AC ۹۳

۲۸-۳- طیف FT-IR کاتالیزگر Mo/AC بازیابی شده ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

۱-۲- مواد شیمیایی مورد نیاز ٤٩

۲-۲- مشخصات نانولوله کربنی چنددیواره تجاری ٥٠

۳-۲- حلال‌های مورد نیاز ٥٠

۱-۳- داده‌های مربوط به آنالیز BET نانولوله کربنی چنددیواره و نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٢

۲-۳- نتایج به‌دست آمده از آنالیز EDX نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT ٧٣

۳-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از CHP و کلروفرم ٧٧

٤-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از CHP و دی‌کلرواتان ٧٧

٥-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از TBHP و کلروفرم ٧٨

٦-۳- نتایج تست کاتالیزی سیکلواکتن با دو برابر میزان کردن نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از CHP و کلروفرم ٧٩

۷-۳- نتایج تست کاتالیزی اپوکسایش ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT بازیابی شده با استفاده از TBHP و کلروفرم ٨٣

۸-۳- داده‌های مربوط به آنالیز BET کربن فعال و کاتالیزگر Mo/AC ٩١

۹-۳- نتایج به‌دست آمده از آنالیزEDX کاتالیزگر Mo/AC ٩٢

۱۰-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور کاتالیزگر Mo/AC با استفاده از CHP و کلروفرم ٩٤

۱۱-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور کاتالیزگر Mo/AC با استفاده از CHP و دی‌کلرواتان ٩٤

۱۲-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور کاتالیزگر Mo/AC با استفاده از TBHP و کلروفرم ٩٥

۱۳-۳- نتایج تست کاتالیزی ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در حضور کاتالیزگر Mo/AC بازیابی شده با استفاده از TBHP و کلروفرم..... ۹۹

فهرست نمودارها

عنوان صفحه

۱-۳- روند پیشرفت واکنش اپوکسایش ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT.. ۷۸

۲-۳- تأثیر میزان نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT در اپوکسایش سیکلو اکتن ۷۹

۳-۳- اثر حلال در اپوکسایش اولفین‌های مختلف در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT..... ۸۱

٤-۳- اثر اکسنده در اپوکسایش اولفین‌های مختلف در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT..... ۸۱

۵-۳- اثر حلال و اکسنده در اپوکسایش اولفین‌های مختلف در حضور نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT... ۸۲

٦-۳- میزان پیشرفت واکنش اپوکسایش ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در هر مرحله از بازیافت نانوکاتالیزگر Mo/MWCNT با استفاده از TBHP و کلروفرم..... ۸٤

۷-۳- روند پیشرفت واکنش اپوکسایش ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در حضور کاتالیزگر Mo/AC..... ۹۵

۸-۳- اثر حلال در اپوکسایش اولفین‌های مختلف در حضور کاتالیزگر Mo/AC..... ۹٦

۹-۳- اثر اکسنده در زمان‌های مختلف از واکنش در حضور کاتالیزگر Mo/AC..... ۹٦

۱۰-۳- اثر حلال و اکسنده در اپوکسایش اولفین‌های مختلف در حضور کاتالیزگر Mo/AC..... ۹۷

۱۱-۳- اثر حلال و اکسنده در زمان‌های مختلف از واکنش در حضور کاتالیزگر Mo/AC..... ۹۷

۱۲-۳- میزان پیشرفت واکنش اپوکسایش ۳-متیل۲-بوتن۱-اُل در هر مرحله از بازیافت کاتالیزگر Mo/AC با استفاده از TBHP و کلروفرم..... ۹۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- نانولوله‌های کربنی

طی آزمایش‌های انجام شده در سال ۱۹۸۵ میلادی که به‌طور تصادفی منجر به کشف فولرین‌ها[1] گردید، نگرش نوینی نسبت به نانوساختارهای کربنی به‌وجود آمد. این کشف نشان داد که چگونه مولکول‌های ایجاد شده از کربن sp^2 که بر مبنای اصول هندسی ساده‌ای قابل بیان هستند، می‌توانند ساختارهای متقارن جدیدی با ویژگی‌های بسیار جالب و مفیدی ایجاد کنند (نانولوله کربنی[2] (CNT)، نمونه مهمی از این ساختارهای متقارن است).

نانولوله‌های کربنی، لوله‌های کاملاً یکنواختی می‌باشند که قطری در حدود چند نانومتر دارند و خواص آن‌ها مشابه یک رشته گرافیتی ایده‌آل است. به نظر می‌رسد در عرصه تجارت، نانولوله‌های کربنی با استحکام باورنکردنی و ویژگی‌های الکتریکی بسیار جالب خود، از فولرین‌ها پیشی خواهند گرفت. آن-چه که باعث می‌شود نانولوله‌های کربنی در مقایسه با منشأ نظری خود یعنی گرافیت، خواص جالب‌تری نشان دهند، از ساختار و ابعاد آن‌ها سرچشمه می‌گیرد. ساختار منحصربه‌فرد نانولوله‌های کربنی از مفهومی به نام «مارپیچ[3]» برمی‌خیزد که عبارت است از: نحوه قرار گرفتن شش ضلعی‌های اتم کربن بر روی سطح جانبی نانولوله که مشابه شبکه شش‌ضلعی خانه زنبور عسل می‌باشند [۱].

۱-۱-۱- کشف نانولوله‌های کربنی

در سال ۲۰۰۶ مارک مونتیو[4] و ولادیمیر کوزنتسف[5] در مقاله‌ای در نشریه کربن به بیان مبدأ و منشأ نانولوله‌ها پرداختند. اغلب مقالات، کشف لوله‌های نانومتری توخالی کربنی در سال ۱۹۹۱ را به سومیو

[1] Fullerene
[2] Carbon nanotube
[3] Helicity
[4] Marc Monthioux
[5] Vladimir Kuznetsov