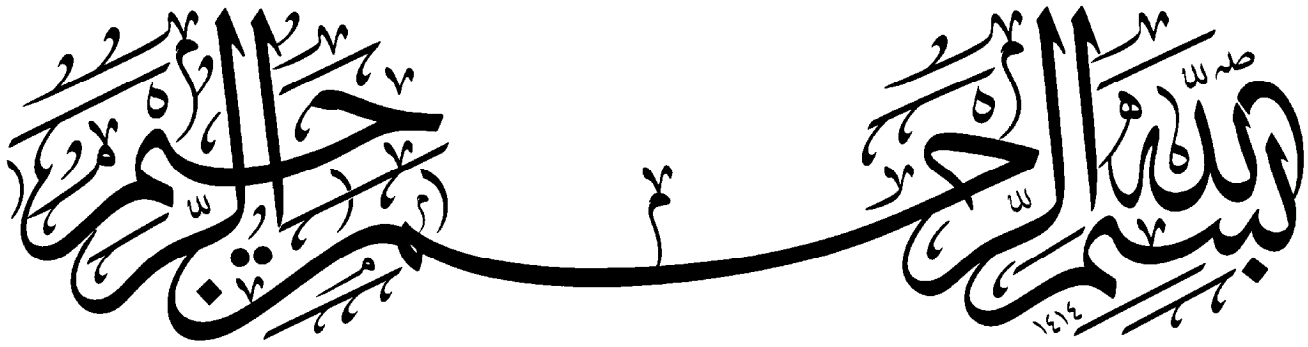
بسم الله الرحمن الرحيم
١٤١٤

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده شیمی

تهیه و بررسی خواص نانوکامپوزیت‌های نوین با کارایی بالا حاوی آمینو اسیدهای مختلف بر پایه استفاده از نانوذرات اکسید روی و تیتانیم دی اکسید

رساله دکتری شیمی

شیمی آلی/ پلیمر/ نانوفناوری

مهدی حاتمی

استاد راهنما

پروفسور شادپور ملک‌پور

۱۳۹۰

تشکر و قدردانی:

سپاس و ستایش پروردگار یکتایی که ذات بی کرانش آکنده از علم و دانش است و چه با سخاوت از این خوان بی همتا، بشر را موهبتی شگرف ارزانی داشت و دریای کمالات خود را بر روی او گشود. از او می‌خواهم مرا شایستگی دهد تا در باقیمانده زندگی سزاوار دانشی فزونتر باشم. اکنون که با یاری و عنایت خداوند این پایان نامه را به اتمام رساندم تشکر و قدردانی از عزیزانی که دستم را گرفتند و یاریم نمودند را بر خود لازم می‌دانم.

از خانواده عزیزم که همواره پشتیبان و مشوقم بوده‌اند و اکنون نیز وجودشان استوار کننده قدم‌هایم است، بی نهایت سپاسگزارم.

از استاد راهنمای بزرگوارم، جناب پروفسور ملک‌پور که همواره در طول دوران تحصیل در مقطع دکتری از راهنمایی‌ها و محبت‌های ارزنده ایشان برخوردار بوده‌ام، به خاطر تمامی لطف‌ها و حمایت‌هایشان نهایت تشکر وسپاس را دارم. آرزومندم که ایشان در تمامی مراحل زندگی سلامت، موفق و سربلند باشند.

از جناب پروفسور غیاثی، معلم علم و اخلاقم که در طول پروژه دکتری از مشاوره‌های ارزشمند ایشان برخوردار بوده ام کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر صادقی که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را برعهده داشتند تشکر می‌کنم. از جناب پروفسور محمدپوربالترک، دکتر عبدالملکی و دکتر کرمی که زحمت مطالعه و داوری پایان‌نامه را بر عهده داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر جواهریان نقاش نیز کمال تشکر را دارم.

از جنابان دکتر حسن کریمی- مله، دکتر محمد غندالی، مهندس حسن گل محمدی، و دکتر پوریا بی‌پروا، کمال تشکر و قدرانی را دارم. از جناب آقایان جواهری و عباسیان که مرا در به اتمام رساندن پروژه دکتری یاری کردند تشکر می کنم. از تمام دوستانم در آزمایشگاه تحقیقاتی پلیمر به خاطر کمک و هم‌فکری‌شان به خصوص آقایان دیناری، نظری، براتی، شاهنگی و خانم‌ها خانی، زراعت پیشه، سلطانیان، اسدی، مسلمی و سایر دانشجویان آزمایشگاه تحقیقاتی پلیمر بی‌نهایت سپاسگزارم. از دوستان بسیار خوبم در ورودی های دکتری ۸۶ کمال تشکر و امتنان را دارم.

سربلندی، سعادت و عزت تمام عزیزانی که در زندگی چراغ راهم بوده‌اند را از خدای مهربان خواستارم.

مهدی حاتمی

بهمن ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

تقدیم به

پدر و مادر

مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت

فهرست جداول.....چهارده

فهرست طرح‌ها و شکل‌ها.....شانزده

چکیده.....۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- نانوتکنولوژی.....۲

۱-۱-۱- مقدمه.....۲

۱-۱-۲- مواد نانومقیاس.....۳

۱-۱-۳- روشهای ساخت مواد نانومقیاس.....۴

۱-۱-۴- برخی از کاربردهای نانوساختارها و نانوتکنولوژی.....۵

۱-۲- نانوکامپوزیت ها.....۷

۱-۳- نانوکامپوزیتهای آلی- معدنی.....۷

۱-۴- روشهای تولید و فرایند نانو کامپوزیتهای پلیمری.....۸

۱-۴-۱- اختلاط مستقیم.....۱۰

۱-۴-۲- اختلاط محلولی.....۱۰

۱-۴-۳- پلیمرشدن درجا.....۱۰

۱-۵-پرکننده های در ابعاد نانو.....۱۰

۱-۵-۱- پرکننده های لوله ای شکل یا رشته مانند.....۱۰

۱-۵-۲- نانوپرکننده های ورقه ای شکل.....۱۱

۱-۵-۳- نانوپرکننده های سه بعدی.....۱۲

۱-۶- معرفهای اصلاح کننده در نانوساختارها.....۱۸

۱-۶-۱-مکانیسم معرفهای اصلاح کننده.....۱۸

۱-۶-۲- کاربرد معرفهای اصلاح کننده سطحی در نانوکامپوزیتهای پلیمری..... ۱۹
۱-۷-ماتریسهای پلیمری..... ۲۰
۱-۷-۱- پلیمرهای مقاوم حرارتی..... ۲۱
۱-۷-۲-پلی آمیدها..... ۲۲
۱-۷-۲-الف- خواص پلی‌آمیدها..... ۲۴
۱-۷-۲- ب-کاربردهای پلی آمیدها..... ۲۵
۱-۷-۳- پلی ایمیدها..... ۲۶
۱-۷-۴-پلی(آمید-ایمید)ها..... ۳۲
۱-۸- سونوشیمی..... ۳۴
۱-۹- فعالیت نوری در ماکرومولکولها..... ۳۵
۱-۱۰- فرآیندهای الکترو شیمیایی و بررسی ماکرومولکولی..... ۳۸
۱-۱۱-هدف..... ۳۸

فصل دوم : تجربی

۲-۲-بخش تجربی..... ۳۹
۲-۲-۱- مواد شیمیایی..... ۳۹
۲-۲-۲- مواد اولیه (تهیه و خالص سازی)..... ۴۰
۲-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات..... ۴۱
۲-۴- تهیه منومرها..... ۴۳
۲-۴-۱- سنتز ترکیب N-(۴-هیدروکسی فنیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۱)..... ۴۳
۲-۴-۲- سنتز ترکیب ۵،۳-دی آمینو N- (۴-هیدروکسی فنیل)بنزآمید (۲)..... ۴۳
۲-۴-۳- سنتز ترکیب N-(۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۳)..... ۴۴
۲-۴-۴- سنتز ترکیب ۵،۳-دی آمینو N- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴)..... ۴۴
۲-۴-۵- تهیه N،N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-فنیل آلانین دی اسید (۵)..... ۴۵
۲-۴-۶- تهیه N،N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L- آلانین دی اسید (۶)..... ۴۵
۲-۴-۷- تهیه N،N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-والین دی‌اسید (۷)..... ۴۶

۲-۴-۸- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-لوسین دی‌اسید (۸)..... ۴۶
۲-۴-۹- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-ایزولوسین دی‌اسید (۹)..... ۴۷
۲-۴-۱۰- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-فنیل آلانین دی اسید کلراید (۱۰)..... ۴۷
۲-۴-۱۱- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L- آلانین دی اسید کلراید (۱۱)..... ۴۷
۲-۴-۱۲- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-والین دی اسید کلراید (۱۲)..... ۴۸
۲-۴-۱۳- تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-لوسین دی اسید کلراید (۱۳)..... ۴۸
۲-۴-۱۴-تهیه N,N-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-ایزولوسین دی اسید کلراید (۱۴)..... ۴۸
۲-۵- تهیه پلی(آمید ایمید)ها..... ۴۹
۲-۵-۱- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید فنیل آلانین و دی آمین (۲)، ساختار (۱۵)..... ۴۹
۲-۵-۲- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید الانین و دی آمین (۲)، ساختار (۱۶)..... ۵۰
۲-۵-۳- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید والین و دی آمین (۲)، ساختار (۱۷)..... ۵۱
۲-۵-۴- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید لوسین و دی آمین (۲)، ساختار (۱۸)..... ۵۱
۲-۵-۵- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید ایزولوسین و دی آمین (۲)، ساختار (۱۹)..... ۵۲
۲-۵-۶- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید فنیل آلانین و دی آمین (۴)، ساختار (۲۰)..... ۵۳
۲-۵-۷- تهیه پلی(آمید- ایمید) مشتق شده از آمینو اسید ایزولوسین و دی آمین (۴)، ساختار (۲۱)..... ۵۳
۲-۵-۸- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید آلانین و دی آمین (۴)، ساختار (۲۲)..... ۵۴
۲-۵-۹- تهیه پلی(آمید ایمید) مشتق شده از آمینو اسید والین و دی آمین (۴)، ساختار (۲۳)..... ۵۵
۲-۶- تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI/TiO_2..... ۵۵
۲-۶-۱- اصلاح سطح نانوذرات TiO_2 با عامل کوپل کننده KH۵۵۰ (گاما-آمینوپروپیل- تری‌اتوکسی سیلان) (۲۴)..... ۵۵
۲-۶-۲- تهیه نانوکامپوزیت‌های $PAI\text{-}BP/TiO_2$-KH۵۵۰ (۲۵a-e)..... ۵۶
۲-۷- اصلاح سطح نانوذرات اکسید روی (ZnO) با استفاده از معرف‌های اصلاح کننده..... ۵۷
۲-۷-۱- اصلاح سطح نانوذرات ZnO با معرف کوپل کننده KH۵۵۰ (گاما-آمینوپروپیل- تری‌اتوکسی سیلان) (۲۶)..... ۵۷
۲-۷-۲- اصلاح سطح نانوذرات ZnO با معرف اصلح کننده KH۵۷۰ (گاما- متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان)-
(۲۷)..... ۵۷
۲-۸- نانوکامپوزیت‌های PAI/ZnO..... ۵۷

۲-۸-۱- تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۵۷
۲-۸-۲- تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۵۸
۲-۸-۳- تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c)..... ۵۸
۲-۸-۴- تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (۳۱ a-c)..... ۵۹

فصل سوم : بحث و نتیجه گیری

۳-۱- سنتز ترکیب*N*-(۴-هیدروکسی فنیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۱)..... ۶۰
۳-۲- سنتز ترکیب ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴-هیدروکسی فنیل)بنزآمید (۲)..... ۶۱
۳-۳- سنتز ترکیب *N*-(۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۳)..... ۶۳
۳-۴- سنتز ترکیب ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴)..... ۶۵
۳-۵- تهیه دی اسیدهای *N*، *N*′-(پیروملیتوئیل)-بیس-L-آمینو اسید (۹-۵)..... ۶۷
۳-۶- تهیه دی اسید کلرایدهای *N*، *N*′ -(پیروملیتوئیل)-بیس-L-امینواسید (۱۴-۱۰)..... ۶۹
۳-۶-۱- مطالعات تئوری در زمینه آرایش فضایی دی اسید کلرایدهای فعال نوری..... ۷۰
۳-۷- واکنش پلیمرشدن ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴-هیدروکسی فنیل)بنزآمید(۲) و دی‌اسیدکلرایدهای (۱۴-۱۰) در دمای پایین..... ۷۱
۳-۷-۱- شناسایی پلی(آمید-ایمید)های مشتق از دی آمین (۲)..... ۷۳
۳-۷-۲- بررسی خواص فیزیکی شامل انحلال پذیری، چرخش نوری ویژه، جذب آب و رفتار الکتروشیمیایی پلی (آمید-ایمید)های (۱۹-۱۵)..... ۷۴
۳-۷-۳- بررسی رفتار حرارتی پلی (آمید-ایمید)های (۱۹-۱۵)..... ۷۶
۳-۷-۴-مطالعه میزان بلورینگی پلیمرهای سنتزی (۱۹-۱۵)..... ۷۹
۳-۷-۵- بررسی ریخت شناسی پلیمرها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۸۰
۳-۷-۶- بررسی خواص توپوگرافی سطح پلیمرها با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)..... ۸۲
۳-۸- واکنش پلیمرشدن ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴) و دی‌اسیدکلرایدهای (۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۴) در دمای پایین..... ۸۳
۳-۸-۱- شناسایی پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از دی آمین سنتزی (۴۳)..... ۸۴
۳-۸-۲- بررسی خواص فیزیکی شامل انحلال پذیری، چرخش نوری ویژه، خواص حرارتی و مورفولوژی پلی (آمید-ایمید)های (۲۳-۲۰)..... ۸۵

۳-۹- فرایند اصلاح سطح..... ۸۸
۳-۹-۱- اصلاح سطح نانوذرات ZnO با معرف اصلاح کننده KH۵۵۰ (گاما-آمینو پروپیل تری‌اتوکسی سیلان)..... ۸۸
۳-۹-۲ اصلاح سطح ZnO با معرف اصلاح کننده KH۵۷۰ (گاما-متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان)..... ۹۰
۳-۱۰- نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۱
۳-۱۰-۱- تهیه نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۱
۳-۱۰-۲- شناسایی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c) با استفاده از FT-IR..... ۹۲
۳-۱۰-۳ مشخصه یابی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c) با استفاده از پراش پرتو- ایکس..... ۹۲
۳-۱۰-۴- بررسی مورفولوژی و ریخت شناسی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c) با استفاده از مشاهدات FE-SEM..... ۹۴
۳-۱۰-۵- آنالیز TEM از نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۵
۳-۱۰-۶- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۶
۳-۱۰-۷- بررسی خواص توپوگرافی سطحی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c) با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)..... ۹۷
۳-۱۱- نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۹۸
۳-۱۱-۱-تهیه نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۹۸
۳-۱۱-۲- شناسایی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۹۹
۳-۱۱-۳- مشخصه یابی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c) با استفاده از پراش پرتو- ایکس..... ۱۰۰
۳-۱۱-۴- بررسی ریخت شناسی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c) با استفاده از مشاهدات FE-SEM ۱۰۲
۳-۱۱-۵- بررسیهای TEM از نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۱۰۳
۳-۱۱-۶- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۱۰۴
۳-۱۱-۷- بررسی خواص توپوگرافی سطحی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c) با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)..... ۱۰۵
۳-۱۲- نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c)..... ۱۰۷
۳-۱۲-۱-تهیه نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c)..... ۱۰۷
۳-۱۲-۲- شناسایی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c)..... ۱۰۸

۳-۱۲-۳- آنالیز نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۰) با استفاده از پراش پرتو- ایکس.....۱۰۹
۳-۱۲-۴- بررسی ریخت شناسی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۰) با استفاده از مشاهدات FE-SEM.....۱۱۰
۳-۱۲-۵- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۰).....۱۱۱
۳-۱۲-۶- بررسی خواص توپوگرافی سطحی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۰) با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM).....۱۱۳
۳-۱۳- نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۵
۳-۱۳-۱- تهیه نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۵
۳-۱۳-۲- شناسایی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۶
۳-۱۳-۳- بررسی طیف سنجی پراش پرتو- ایکس نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۷
۳-۱۳-۴- بررسی مشاهدات FE-SEM نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۸
۳-۱۳-۵-بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیتهای PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۸
۳-۱۴- نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵).....۱۲۰
۳-۱۴-۱-تهیه نانوکامپوزیت PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵).....۱۲۰
۳-۱۴-۲- شناسایی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2 -KH۵۵۰ (a-e ۲۵).....۱۲۱
۳-۱۴-۳- مشخصه یابی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵) با استفاده از پراش پرتو- ایکس.....۱۲۳
۳-۱۴-۴- بررسی ریخت شناسی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵) با استفاده از مشاهدات FE-SEM.....۱۲۴
۳-۱۴-۵- بررسی تصاویر TEM از نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵).....۱۲۵
۳-۱۴-۶- بررسی خواص حرارتی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵).....۱۲۶
۳-۱۴-۷- بررسی خواص توپوگرافی سطحی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵) با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM).....۱۲۸
۳-۱۴-۸- بررسی خواص سطحی نانوکامپوزیتهای PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a-e ۲۵) با استفاده ازاندازه گیری‌های زاویه تماس.....۱۲۸
۳-۱۵- نتیجه گیری و چشم انداز آینده.....۱۳۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مشخصات مواد شیمیایی به کار رفته ۳۹

جدول ۲-۲: آنالیز عنصری ترکیب ۵،۳-دی آمینو N- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (٤) ٤٥

جدول ۲-۳: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از امینو اسید فنیل آلانین و دی آمین (۲) ساختار (۱۵) ۵۰

جدول ۲-٤: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از آمینواسید آلانین و دی آمین (۲) ساختار (١٦) ۵۰

جدول ۲-۵: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از امینو اسید والین و دی آمین (۲) ساختار (۱۷) ۵۱

جدول ۲-٦: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از امینو اسید لوسین و دی آمین (۲) ساختار (۱۸) ۵۲

جدول ۲-۷: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از امینو اسید ایزولوسین و دی آمین (۲) ساختار (۱۹) ۵۳

جدول ۲-۸: آنالیز عنصری پلی(آمید-ایمید) مشتق شده از امینو اسید ایزولوسین و دی آمین (٤) ساختار (۲۱) ٥٤

جدول ۳-۱: محاسبات تئوری انجام شده برای منومرهای دی اسید کلراید سنتزی (١٤-١٠)..... ۷۱

جدول ۳-۲: بهینه‌سازی شرایط واکنش تهیه پلی (آمید-ایمید) ۱۵..... ۷۲

جدول ۳-۳: نتایج مربوط به تست حلالیت پلی (آمید-ایمید)های (۱۹-۱۵) ۷٤

جدول ۳-٤: پاره ای از خواص فیزیکی پلی (آمید-ایمید)های (۱۹-۱۵) ۷۵

جدول ۳-۵: نتایج آنالیز حرارتی پلیمرهای (۱۹-۱۵)..... ۷۷

جدول ۳- ٦:بهینه‌سازی شرایط واکنش تهیه پلی (آمید-ایمید) ۲۱..... ۸٤

جدول ۳-۷: نتایج مربوط به تست حلالیت پلی (آمید-ایمید)های (۲۳-۲۰) ۸٦

جدول ۳-۸: پاره ای از خواص فیزیکی پلی (آمید-ایمید)های (۲۳-۲۰)..... ۸٦

جدول ۳-۹: مشخصات طیفی بدست آمده از پراش اشعه ایکس برای نانوکامپوزیت (۲۸c) برای ۱۲درصد وزنی ۹۳

جدول ۳-۱۰: نتایج آنالیز حرارتی نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۷

جدول ۳-۱۱: مشخصات طیفی نانوکامپوزیت PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ b)..... ۱۰۱

جدول ۳- ۱۲: نتایج آنالیز حرارتی نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۱۰۵

جدول ۳-۱۳: نتایج آنالیز حرارتی نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c) ۱۱۲

جدول ۳- ١٤: نتایج آنالیز حرارتی نانوکامپوزیت‌ها PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (۳۱ a-c)..... ۱۱۹

جدول ۳- ۱۵: نتایج آنالیز حرارتی نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (۲۵a-e) ۱۲۷

فهرست طرح‌ها و شکل‌ها

عنوان **صفحه**

طرح (۱-۱) سنتز کره های سیلیسی کلوئیدی، اصلاح سطح بوسیله گروه های متاکریلات و کوپلیمرشدن با متیل اکریلات برای تشکیل کامپوزیت از ذرات سیلیسی در یک فیلم پلی(متیل اکریلات)..... ۱۶
طرح (۱-۲) ساختار کلی معرف‌های اصلاح کننده..... ۱۸
طرح (۱-۳) نمونه‌ای از معرف اصلاح کننده..... ۱۸
طرح (۱-٤) مکانیسم عمل معرف‌های اصلاح کننده..... ۱۹
طرح (۱-۵) واکنش تراکمی گروههای آمینی با گروههای اسیدی..... ۲۳
طرح (۱-٦) واکنش آمین با اسید کلراید برای ساخت پیوند آمیدی ۲۳
طرح (۱-۷) سنتز پلی آمیدهای فعال نوری در حضور معرف تری فنیل فسفین در حضور پیریدین..... ۲۵
طرح (۱-۸) تهیه فیلم‌های پلی آمیدی با شفافیت بالا از طریق وارد کردن گروه‌های فلورینه..... ۲٦
طرح (۱-۹) ساختارهای ایمیدی ۲٦
طرح (۱-۱۰) مکانیزیم واکنش ایمیدی شدن..... ۲۷
طرح (۱-۱۱) سنتز پلی ایمید به وسیله واکنش ایمیدی شدن دو مرحله ای شیمیایی..... ۲۷
طرح (۱-۱۲) سنتز پلی (استر- ایمید)..... ۲۸
طرح (۱-۱۳) حلقوی شدن پلی (آمیک اسید)..... ۲۹
طرح (۱-۱٤) مکانیزم پایداری سازی نانوذرات اکسید روی توسط ماتریس پلی (آمیک اسید)ی..... ۳۰
طرح(۱-۱۵) تهیه پلی ایمیدهای شاخه دار و نانوکامپوزیت‌های مربوطه..... ۳۱
طرح (۱-۱٦) سنتز پلی آمید-ایمیدهای فعال نوری حاوی قطعه آمینو اسید..... ۳۳
طرح (۱-۱۷) سنتز پلی آمید-ایمیدها توسط گروه تسای..... ۳۳
طرح (۱-۱۸): نمونه‌ای از پلیمرهای فعال نوری حاوی قطعات ایمیدی در زنجیر جانبی..... ۳٦
طرح (۱-۱۹): گروهی از پلیمرهای فعال نوری بر پایه ایمید اسیدهای نامتقارن..... ۳۷
طرح (۱-۲۰): نمونه‌هایی از پلیمرهای فعال نوری مشتق از دی اسید کلرایدهای فعال نوری..... ۳۷
طرح (۳-۱): تهیه N-(٤-هیدروکسی فنیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۱)..... ٦۰
طرح (۳-۲): تهیه ۵،۳-دی آمینو N- (٤-هیدروکسی فنیل)بنزآمید (۲)..... ٦۱
طرح (۳-۳): تهیه N-(٤،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۳)..... ٦۳
طرح (۳-٤): ساخت ۵،۳-دی آمینو N- (٤،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (٤)..... ٦۵
طرح (۳-۵): مراحل تهیه دی‌اسیدهای فعال نوری مشتق شده از آمینواسیدها (۹-۵) ٦۸
طرح (۳-٦): فرایند تهیه دی‌اسید کلرایدهای فعال نوری (۱٤-۱۰) ٦۹
طرح (۳-۷): آرایش دی اسید کلراید ۱۳ در فضا..... ۷۰

طرح (۳-۸): فرایند ساخت پلیمرهای فعال نوری (۱۹-۱۵) ۷۲
طرح (۳-۹): فرایند ساخت پلیمرهای فعال نوری (۲۳-۲۰) ۸۳
طرح (۳-۱۰): اصلاح سطح نانوذرات اکسید روی با معرف اصلاح کننده KH۵۵۰..... ۸۹
طرح (۳-۱۱): اصلاح نانوذرات اکسید روی با معرف اصلاح کننده KH۵۷۰..... ۹۰
طرح (۳-۱۲): تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸ a-c)..... ۹۱
طرح (۳-۱۳): تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (۲۹ a-c)..... ۹۹
طرح (۳-۱٤): فرایند اصلاح سطح نانوذرات و تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (۳۰ a-c) ۱۰۸
طرح (۳-۱۵): فرایند اصلاح سطح نانوذرات اکسید روی با استفاده از معرف KH۵۷۰ ..... ۱۱۵
طرح (۳-۱٦):تهیه نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (۳۱ a-c) اصلاح سطحی شده با کمک امواج فراصوت۱۱٦
طرح (۳-۱۷): اصلاح سطح نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با استفاده از معرف کوپل کننده KH۵۵۰ ..... ۱۲۰
طرح (۳-۱۸): ساختار نانوکامپوزیت تیتانیوم دی اکسید/پلی (آمید-ایمید) (۲۵) ۱۲۱

شکل(۱-۱) تعداد نسبی اتمهای سطحی و حجمی در یک ذره فلزی بصورت تابعی از قطر ذره ٤
شکل (۱-۲) تصویر TEM از نانوکریستال طلا..... ۵
شکل (۱-۳): دستگاه پخش کننده مافوق صوت..... ۹
شکل(۱-٤) ساختارهای پخش شونده های یونی SWCNT در محیط آبی و پخش شونده پلی(m-فنیلن وینیلن) (PmPV) برای SWCNT در کلروفرم..... ۱۲
شکل (۱-۵) میکرو گراف TEM نانو ذرات و پیگمنت دی اکسید تیتانیوم..... ۱٤
شکل (۱-٦) انواع ساختارهای ZnO ۱۵
شکل (۱-۷) (a) نانوذرات پایدار شده توسط دندریمر. (b) تصویر TEM نانوذرات Au پایدار شده توسط دندریمر..... ۱۷
شکل(۱-۸) ساختار پلی استایرن (PS)، پلی(متیل متاکریلات) (PMMA)، پلی(اتیلن ترفتالات) (PET)، و پلی(دی متیل سیلوکسان) (PDMS)..... ۲۱
شکل(۱-۹) در هم پیچیدگی مولکولهای زنجیری..... ۲۱
شکل(۱-۱۰) تصاویر FE-SEM مربوط به PEI (a and b) خالص (c and d) PEI/TiO_2 (۱۰درصدوزنی) (e) , PEI/TiO_2 (۱۵ درصد وزنی)..... ۲۸
شکل(۱-۱۱) الگوی XRD نانوکامپوزیت پلی ایمید/اکسید روی..... ۳۰
شکل ۱-۱۲: تصویر TEM نانوکامپوزیتهای شاخه دار ۳۱
شکل (۱-۱۳) تصویر میکروگراف ۱۲ درصد وزنی از نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم در ماتریس پلی(آمید-ایمید) ۳٤
شکل (۳-۱): طیف FT-IR (KBr)، ترکیب *N*-(٤-هیدروکسی فنیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۱)..... ٦۱
شکل (۳-۲): طیف FT-IR (KBr)، ترکیب ۵،۳-دی آمینو *N*-(٤-هیدروکسی فنیل)بنزآمید (۲)..... ٦۲
شکل (۳-۳): طیف ^{1}H-NMR (٤۰۰ MHz) ۵،۳-دی آمینو *N*-(٤-هیدروکسی فنیل)بنزآمید (۲)..... ٦۳
شکل (۳-٤): طیف FT-IR (KBr)، *N*-(۴،۳-٤-دی هیدروکسی فنیل اتیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۳)..... ٦٤

شکل (۳-۵): طیف ^{1}H-NMR (۴۰۰ MHz) *N*-(۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)-۵،۳-دی نیتروبنزآمید (۳).....۶۵
شکل (۳-۶): طیف FT-IR (KBr)، ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴).....۶۶
شکل (۳-۷): طیف ^{1}H-NMR (۴۰۰ MHz) ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴).....۶۶
شکل (۳-۸): طیف ^{13}C-NMR ۵،۳-دی آمینو *N*- (۴،۳-دی هیدروکسی فنیل اتیل)بنزآمید (۴).....۶۷
شکل (۳-۹): طیف FT-IR (KBr)، دی اسید فعال نوری(۵).....۶۹
شکل (۳-۱۰): طیف FT-IR (KBr)، ماکرومولکول (۱۵).....۷۳
شکل (۳-۱۱): طیف ^{1}H-NMR (۴۰۰ MHz) پلیمر (۱۵).....۷۴
شکل (۳-۱۲): ولتاموگرام چرخه ای پلیمرهای (۱۹-۱۵) ۷۶
شکل (۳-۱۳): منحنی TGA مربوط به پلی(آمید-ایمید)های سنتزی (۱۹-۱۵) ۷۸
شکل (۳-۱۴): منحنیTGA ، DTG و DTA مربوط به پلی(آمید-ایمید) (۱۶) ۷۹
شکل (۳-۱۵): الگوی پراکندگی XRD پلی(امید-ایمید) ۱۵و ۱۸.....۷۹
شکل (۳-۱۶): تصاویر SEM پلی(امید-ایمید) (۱۵) ۸۰
شکل (۳-۱۷): تصاویر FE-SEM پلی(امید-ایمید) (۱۵) ۸۱
شکل (۳-۱۸): تصاویر FE-SEM پلی(امید-ایمید) (۱۸) ۸۱
شکل (۳-۱۹): تصاویرAFM دو و سه بعدی مربوط به پلی(امید-ایمید) (۱۵).....۸۲
شکل (۳-۲۰): طیف FT-IR (KBr) پلیمر (۲۱) ۸۴
شکل (۳-۲۱): طیف ^{1}H-NMR (۴۰۰ MHz) پلیمر (۱۵).....۸۵
شکل (۳-۲۲): منحنی DTG،TGA مربوط به پلیمر(۲۱) ۸۷
شکل (۳-۲۳): تصاویر FE-SEM پلی(امید-ایمید) (۲۰) ۸۷
شکل (۳-۲۴): تصاویر FE-SEM پلی(امید-ایمید) (۲۱) ۸۸
شکل (۳-۲۵): طیف‌های FT-IR ازنانوذرات ZnO و نانو ذرات ZnO اصلاح شده با KH۵۵۰.....۸۹
شکل (۳-۲۶): طیف‌های FT-IR ZnO (a)،(b) نانو ذرات ZnO اصلاح شده باKH۵۷۰ .....۹۱
شکل (۳-۲۷): طیف‌های FT-IR نانوکامپوزیت‌هایPAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (a-c ۲۸) با درصدهای مختلف.....۹۲
شکل (۳-۲۸): الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت (۱۲٪ وزنی) PAI/ZnO-KH۵۵۰ .....۹۴
شکل (۳-۲۹): تصاویر FE-SEM مربوط به (۴،۸) درصد وزنی وزنی از PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸a,b).....۹۵
شکل (۳-۳۰): تصاویر TEM مربوط به (۴٪) PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (۲۸a).....۹۶
شکل (۳-۳۱): منحنی‌های TGA نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (a-c ۲۸) با درصدهای مختلف نانوذرات.....۹۷
شکل (۳-۳۲): طیف‌های FT-IR نانوکامپوزیت‌هایPAI-BP/ZnO-KH۵۵۰ (a-c ۲۸) با درصدهای مختلف.....۹۸
شکل (۳-۳۳): طیف‌های FT-IR نانوذرات، نانوذرات اصلاح سطحی شده و نانوکامپوزیت‌های با درصدهای مختلف.....۱۰۰
شکل (۳-۳۴): الگوی پراش XRD مربوط به پلیمر (۱۹) و نانوکامپوزیت (۸ درصد وزنی) PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (b ۲۹) ۱۰۲

شکل (۳-۳۵): تصاویر FE-SEM مربوط به ٤ درصد وزنی از PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰، (a ۲۹).....۱۰۳
شکل (۳-۳٦): تصاویر FE-SEM مربوط به ۸ درصد وزنی از PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (b ۲۹).....۱۰۳
شکل (۳-۳۷): تصاویر TEM مربوط به (۸٪) PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (b ۲۹).....۱۰٤
شکل (۳-۳۸): منحنی‌های TGA نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۵۰ (a-c ۲۹) با درصدهای مختلف نانوذرات۱۰۵
شکل (۳-۳۹): تصاویرAFM دو و سه بعدی مربوط به نانوکامپوزیت ۸ درصد وزنی(b ۲۸) از نانوذرات اصلاح شده ZnO و پلی(آمید-ایمید).....۱۰٦
شکل (۳-٤۰): تصاویرAFM دو بعدی (a,d) ، منحنی های ارتفاع بر حسب طول اندازه گیری شده (b,e) و منحنی های توزیع ارتفاعی (c,f) مناطق انتخاب شده از پلی(آمید- ایمید) (۱۹) و نانوکامپوزیت ۸ درصد وزنی.....۱۰۷
شکل (۳-٤۱): طیف‌های FT-IR نانو ذرات اکسید روی اصلاح سطحی شده، پلیمر ماتریس (۱۵) و نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با درصدهای مختلف ۱۰۹
شکل (۳-٤۲): الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت (۸٪) PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (b ۳۰).....۱۱۰
شکل (۳-٤۳): تصاویر FE-SEM مربوط به ۸ درصد وزنی/ وزنی از PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (b ۳۰).....۱۱۱
شکل (۳-٤٤): منحنی‌های TGA نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۰) ۱۱۲
شکل (۳-٤۵): منحنی‌هایDTG نانوکامپوزیت ٤ درصد وزنی PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (a ۳۰).....۱۱۳
شکل (۳-٤٦): تصاویرAFM دو و سه بعدی مربوط به نانوکامپوزیت PAI-BP/ZnO-KH۵۷۰ (b ۳۰).....۱۱٤
شکل (۳-٤۷): تصویرAFM دو بعدی (چپ) و منحنی های ارتفاع بر حسب طول اندازه گیری شده (راست).....۱۱٤
شکل (۳-٤۸): منحنی های توزیع ارتفاعی (چپ) برای نانوکامپوزیت ۸ درصد وزنی و میانگین توزیع ارتفاعی (راست)..۱۱۵
شکل (۳-٤۹): طیف‌های FT-IR نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱) ۱۱۷
شکل (۳-۵۰): شکل (۳-٤۵): الگوی پراکندگی XRD نانوکامپوزیت ۱۲ درصد وزنی PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (c ۳۱) ۱۱۸.....
شکل (۳-۵۱): تصویر FE-SEM مربوط به نانوکامپوزیت ۸ درصد وزنی PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (b ۳۱).....۱۱۸
شکل (۳-۵۲): منحنی‌های TGA مربوط به نانوکامپوزیت‌های PAI-BI/ZnO-KH۵۷۰ (a-c ۳۱).....۱۱۹
شکل (۳-۵۳): طیف‌های FT-IR (a) نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و(b) نانوذرات اصلاح سطحی شده و (c)پلیمر پایه و (d) نانوکامپوزیت۲۵ درصد وزنی ۱۲۲
شکل (۳-۵٤): طیف‌های FT-IR مربوط به پلیمر (a) و نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (۲۵a-e).....۱۲۳
شکل (۳-۵۵): الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت (۱۵٪) PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (c ۲۵).....۱۲٤
شکل (۳-۵٦): تصاویر FE-SEM مربوط به ۱۰ درصد وزنی وزنی از PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (b ۲۵).....۱۲۵
شکل (۳-۵۷): تصاویر TEM مربوط به (۵٪) PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (a ۲۵).....۱۲٦
شکل (۳-۵۸): منحنی‌های TGA نانوکامپوزیت‌های PAI-BP/ TiO_2-KH۵۵۰ (۲۵a-e).....۱۲۷
شکل (۳-۵۹): تصاویرAFM دو بعدی (a,d) ،سه بعدی (b)، منحنی های ارتفاع بر حسب طول اندازه گیری شده (e) و منحنی های توزیع ارتفاعی (c) نانوکامپوزیت ۱۰ درصد وزنی.....۱۲۸
شکل (۳-٦۰): تصاویرمربوط به اندازه گیری زاویه تماس ۱۲۹

شکل (۳-٦۱): وابستگی زاویه تماس با مقدار نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در نانوکامپوزیت‌ها.....۱۲۹

چکیده

ساختارهای پلیمری از مهمترین دسته از ماتریسها برای تولید کامپوزیت‌ها محسوب می‌شوند. در سالهای اخیر توجه به بهینه سازی خواص کامپوزیت‌های ساخته شده با استفاده از پرکننده های در مقیاس میکرومتری با محدودیت‌هایی مواجه شده است. از این موارد می‌توان به عیوب بسیار ریز ناشی از تجمع ذرات که منجر به شکست و از هم گسستگی ساختاری می‌گردد اشاره کرد. در سالهای اخیر بینش متفاوتی برای رفع مشکلات مربوط به کامپوزیت‌های با پرکننده های در مقیاس میکرومتری گشوده شده است و آن ساخت کامپوزیت‌هایی با پر کننده های در مقیاس نانومتری می‌باشد که به عنوان نانوکامپوزیت‌ها شناخته شده اند. در این ساختارها، پرکننده ها حداقل در یک بعد، دارای ابعادی زیر یک صد نانومتر می‌باشند. طراحی نانوکامپوزیت‌ها با بکارگیری پلیمرهای عامل دار برای افزایش اثربخشی توزیع نانومواد در ماتریس پلیمری، یکی از مهمترین نکات در این زمینه می‌باشد که از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. استفاده از پلیمرهای مقاوم حرارتی از جمله پلی آمیدها، پلی (ایمید)ها و پلی (آمید-ایمید)ها در این زمینه به دلیل خواص مطلوب این پلیمرها از جذابیت ویژه ای برخوردار بوده است. به همین دلیل در این پروژه تحقیقاتی، نانوکامپوزیت‌های باکارایی بالای نوین بر پایه استفاده از ماتریسهای پلی(آمید-ایمید)ی مشتق شده از آمینو اسیدهای طبیعی شامل فنیل آلانین، آلانین، والین، لوسین و ایزولوسین و نانوذراتی چون اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم سنتز گردیدند. ماتریسهای پلی(آمید-ایمید)ی از طریق پلیمرشدن تراکمی دی اسید کلرایدهای فعال نوری با دی آمینهای حاوی گروه‌های حجیم آویزان تهیه شدند. همچنین ساختار شیمیایی پلیمرها با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR، ^{1}H-NMR و آنالیز عنصری مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفتند. خواص فیزیکی پلیمرها مورد ارزیابی قرار داده شد. بعد از تایید ساختار و بررسی خواص مختلف پلیمرهای سنتز شده دربخش بعدی پروژه، با استفاده از فرآیندهایی، سطح نانوذرات اصلاح شده و با استفاده از امواج فراصوت نانوکامپوزیت‌های بر پایه نانوذرات معدنی اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم تهیه گردیدند. به منظور اصلاح سطح نانوذرات ZnO، از معرف‌های گاما-متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان(KH۵۷۰) و گاما-آمینوپروپیل-تری‌اتوکسی سیلان(KH۵۵۰) استفاده گردید. از معرف KH۵۵۰ نیز برای اصلاح سطح نانوذرات دی اکسید تیتانیوم استفاده شد. نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با استفاده از تکنیکهای متفاوتی از جمله طیف‌سنجی FT-IR، XRD، AFM، FE-SEM و TEM بررسی شدند. میکروگرافهای اخذ شده از FE-SEM و TEMدر نانوکامپوزیتهای مربوط به نانوذرات اصلاح شده اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم نشان داده‌اند که نانوذرات به صورت همگون در ماتریس پلیمر پراکنده شده‌اند. به منظور بررسی رفتار حرارتی نانوکامپوزیت‌ها از آنالیز TGA استفاده گردید. اطلاعات بدست امده از آنالیز TGA نشان داد که خواص حرارتی نانوکامپوزیت‌ها با افزایش محتوای نانو ذرات بهبود پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: پلی (آمید-ایمید)های فعال نوری و با کارایی بالا، نانوکامپوزیت، نانوذرات اکسید روی، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، معرف-های اصلاح‌کننده سطح، خواص حرارتی.

فصل اول
مقدمه

۱-۱- نانوتکنولوژی

۱-۱-۱- مقدمه

فاینمن[۱] سالها پیش مواد را در مقیاس نانو در ذهن خود مجسم کرد. او در سخنرانی خود در سال ۱۹۵۹ با عنوان "فضاهای زیادی در زیر وجود دارد[۲]" حکاکی پرتو الکترونی و نوشتن ۲٤ میلیون جلد کتاب را بصورت ۱۰۰ اتم به ازای هر بیت اطلاعات در یک مکعب به ابعاد ۱/۲۰۰ اینچ پیش بینی نمود [۱]. کلابانده[۳] در تحقیقات خود در اواخر دهه ۱۹۷۰ خواص جدیدی را مربوط به اندازه نانوسکوپی گروه های فلزی تشخیص داد [۲]. با ساخت میکروسکوپهای تونلی روبشی[٤] و نیروی اتمی[٥] در دهه ۱۹۸۰ که مکملی بر میکروسکوپهای الکترونی روبشی[٦] و عبوری[۷] بودند، رشد شگرفی در زمینه تحقیقات نانوتکنولوژی در دهه ۱۹۹۰ بوقوع پیوست و تعداد و انواع موادی که قابل مطالعه در مقیاس نانو بودند به شدت گسترش یافت. پس از اعلام برپایی اولین موسسه ملی نانو تکنولوژی آمریکا[۸] (NNI) در ژوئن سال ۲۰۰۰ عبارات نانو تکنولوژی، علم نانو، و مهندسی نانو بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. از آن پس ایالات متحده آمریکا و دولتهای دیگر برنامه های بسیاری جهت حمایت از تحقیق درباره مواد نانومقیاس تدوین کردند و صنایع تحقیقات فراوانی در زمینه کاربرد آنها انجام دادند و نانو تکنولوژی به یک لغت

---

[۱] Feynman
[۲] There's Plenty of Room at the Bottom
[۳] Klabunde
[٤] Scanning tuneling microscopy
[٥] Atomic force microscopy
[٦] Scanning electron microscopy
[۷] Transmition electron microscopy
[۸] National Nanotechnology Initiative (NNI)