بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی گرایش کاربردی

تهیه و بررسی نانو کامپوزیت های پلی وینیل بوتیرال/نانو لوله های کربنی

استاد راهنما:

دکتر مرتضی حاجیان

استاد مشاور:

دکتر غلامعلی کوهمره

پژوهشگر:

علیرضا زنجانی‌جم

دی ماه ۱۳۸۹

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

دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه شیمی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی گرایش کاربردی

آقای علیرضا زنجانی جم

تحت عنوان

تهیه و بررسی نانوکامپوزیت‌های پلی وینیل بوتیرال / نانولوله‌های کربنی

در تاریخ ۸۹/۱۰/۲۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مرتضی حاجیان با مرتبه‌ی علمی استادیار	امضاء
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر غلامعلی کوهمره با مرتبه‌ی علمی استادیار	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر فاطمه رفیع منزلت با مرتبه‌ی علمی استادیار	امضاء
۴- استاد داور خارج از گروه	دکتر شکوفه حکیم با مرتبه‌ی علمی،استادیار	امضاء

امضای مدیر گروه

تقدیر و سپاس

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان ساخت و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مرتضی حاجیان که زحمات و راهنمایی های ایشان همواره یاری رسان بنده در طول انجام این پروژه ی تحقیقاتی بودند و همچنین از جناب آقای دکتر کوهمره که مشاورت این پایان نامه را بر عهده داشتند قدردانی می کنم. از تمامی دوستان عزیزم در گروه شیمی بخصوص دوست و همکلاسی عزیزم محمد بهرامی و مهدی زارعی که در طول تهیه و تدوین پایان نامه، بنده را در جهت بهتر انجام گرفتن یاری رساندند، نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

تقدیم و پیشکش به بهترین های زندگیم

پدر بزرگوارم

مادر عزیزم

او که تجسم عینی فداکاری و مهربانی است

و

برادر و خواهرم

که سلامتی و موفقیتشان آرزوی همیشگی من است.

چکیده

پلی وینیل بوتیرال (PVB) که از تراکم پلی وینیل الکل (PVA) و بوتیرآلدئید بدست می‌آید، در محدوده دمایی وسیع، چقرمگی و انعطاف‌پذیری خوبی از خود نشان می‌دهد و بدین واسطه کاربردهای بسیار متنوعی را داراست. نانوکامپوزیت-های پلیمری نیز ترکیباتی هستند که از یک ماتریس پلیمری و یک تقویت کننده در فاز نانو تهیه می‌گردند. این ترکیبات، خواص مکانیکی، گرمایی و شیمیایی بسیار بهتری را نسبت به پلیمرهای خالص دارا هستند. در بخش نخست این تحقیق، پلی‌وینیل‌بوتیرال از طریق فرآیند آبی تهیه گردید و ساختار آن با استفاده از FT-IR و آنالیز وزن سنجی گرمایی (TGA) شناسایی شد. هم‌چنین نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (SWNT) با استفاده از روش اکسیداسیون عامل‌دار شدند و گرافن از گرافیت سنتز گردید.

در بخش دوم، نانوکامپوزیت‌های PVB با درصدهای گوناگون از نانولوله‌های کربنی، نانولوله‌های کربنی عامل‌دار و گرافن به روش ریخته‌گری محلول تهیه گردید. مورفولوژی این نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از میکروسکوپی روبشی الکترون (SEM) بررسی گردید و خواص گرمایی و مکانیکی آنها به ترتیب با استفاده از TGA، DSC و تست کشش مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده بهبود قابل‌توجه خواص مکانیکی و گرمایی پلی‌وینیل بوتیرال در اثر افزودن تقویت‌کننده‌های مذکور بود.

کلید واژه‌ها: پلی‌وینیل‌بوتیرال، نانوکامپوزیت‌های پلیمری، نانولوله‌های کربنی، گرافن، شیشه ایمنی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱- پیشگفتار ۱

۱-۱- کامپوزیت‌ها ۱

۱-۲- نانوکامپوزیت‌ها ۲

۱-۲-۱- نانوکامپوزیت‌های پلیمری ۲

۱-۲-۲- انواع پرکننده‌های نانویی ۴

۱-۲-۲-۱- پرکننده‌های تک‌بعدی یا صفحه‌ای ۴

۱-۲-۲-۲- پرکننده‌های دوبعدی ۶

۱-۲-۲-۳- پرکننده‌های سه‌بعدی (نانوذرات) ۷

۱-۳- نانولوله‌های کربنی ۷

۱-۳-۱- روشهای تهیه نانولوله‌های کربنی ۱۰

۱-۳-۱-۱- روش تخلیه قوس الکتریکی ۱۰

۱-۳-۱-۲- روش تبخیر لیزری ۱۰

۱-۳-۱-۳- رسوب شیمیایی بخار ۱۱

۱-۳-۲- کاربردهای نانولوله‌های کربنی ۱۲

۱-۳-۳- سوسپانسیون‌های نانولوله ۱۲

۱-۳-۴- عامل‌دار کردن نانولوله‌ها ۱۴

۱-۳-۴-۱- عامل‌دار کردن کووالانسی ۱۴

۱-۳-۴-۲- عامل‌دارکردن غیرکووالانسی ۱۵

۱-۳-۵- کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله ۱۷

عنوان **صفحه**

۱-۳-۶- تهیه کامپوزیت‌های پلیمر/نانولوله ۱۷
۱-۳-۶-۱- اختلاط در حالت محلول ۱۸
۱-۳-۶-۲- اختلاط در حالت مذاب ۱۹
۱-۳-۶-۳- پلیمریزاسیون درجا ۲۰
۱-۳-۶-۴- روش‌های دیگر ۲۱
۱-۳-۷- آرایش نانولوله‌ها در کامپوزیت‌ها ۲۱
۱-۳-۸- خواص مکانیکی ۲۲
۱-۳-۹- هدایت الکتریکی ۲۴
۱-۳-۱۰- هدایت گرمایی ۲۵
۱-۳-۱۱- پایداری گرمایی و اشتعال‌پذیری ۲۶
۱-۴- پلی‌وینیل‌الکل ۲۷
۱-۴-۱- انواع، خواص و کاربردهای پلی‌وینیل‌الکل ۲۸
۱-۵- پلی‌وینیل‌استال ۲۹
۱-۵-۱- انواع، خواص و کاربردهای پلی‌وینیل‌استال‌ها ۳۰
۱-۵-۲- روش‌های ساخت پلی‌وینیل‌استال‌ها ۳۱
۱-۶- پلی‌وینیل‌بوتیرال (PVB) ۳۲
۱-۶-۱- ساخت پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳۳
۱-۶-۲- کاربردهای پلی‌وینیل‌بوتیرال ۳۵
۱-۷- اهداف ۳۶

عنوان **صفحه**

فصل دوم: بخش تجربی

۲-۱- دستگاه‌های شناسایی ۳۷

۲-۱-۱- طیف‌سنج مادون قرمز (FT-IR) ۳۷

۲-۱-۲- تجزیه وزن سنجی گرمایی(TGA) ۳۷

۲-۱-۳- آنالیز گرماسنجی روبشی تفاضلی(DSC) ۳۷

۲-۱-۴- میکروسکوپ روبشی الکترون (SEM) ۳۸

۲-۱-۵- پراش اشعه ایکس (XRD) ۳۸

۲-۱-۶- دستگاه تست کشش ۳۸

۲-۲- آماده‌سازی مواد شیمیایی اولیه ۴۰

۲-۳- انجام واکنشهای شیمیایی مربوطه ۴۱

۲-۳-۱- تهیه پلی‌وینیل‌بوتیرال ۴۱

۲-۳-۲- تعیین درصد گروه وینیل‌الکل در پلی‌وینیل‌بوتیرال ۴۳

۲-۳-۳- تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال ۴۴

۲-۳-۳-۱- تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/نانولوله‌های کربنی ۴۴

۲-۳-۳-۲- تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/نانولوله‌های کربنی عامل‌دار ۴۵

۲-۳-۳-۲-۱- عامل‌دار کردن نانولوله‌های تک‌دیواره با گروه‌های اسیدی و الکلی ۴۵

۲-۳-۳-۲-۲- تهیه نانوکامپوزیت‌های مربوطه ۴۶

۲-۳-۳-۳- تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/گرافن ۴۶

۲-۳-۳-۳-۱- تهیه گرافن ۴۶

۲-۳-۳-۳-۲- تهیه نانوکامپوزیت‌های مربوطه ۴۷

عنوان **صفحه**

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- سنتز پلی‌وینیل‌بوتیرال شبکه‌ای نشده ۴۸

۳-۲- شناسایی پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵۰

۳-۲-۱- بررسی طیف مادون قرمز پلی‌وینیل‌الکل و پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵۰

۳-۲-۲- بررسی منحنی آنالیز وزن سنجی گرمایی پلی‌وینیل‌بوتیرال ۵۲

۳-۳- عامل‌دار کردن نانولوله‌های تک‌دیواره ۵۳

۳-۴- تهیه گرافن ۵۸

۳-۵- تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال ۶۴

۳-۵-۱- بررسی مورفولوژی نانوکامپوزیت‌های پلیمری به کمک SEM ۶۴

۳-۵-۲- بررسی خصوصیات مکانیکی پلی‌وینیل‌بوتیرال و نانوکامپوزیت‌های تهیه شده ۶۷

۳-۵-۳- مکانیسم شکستگی در نمونه‌های تهیه شده ۸۱

۳-۵-۴- بررسی ویژگی‌های گرمایی نمونه‌های تهیه شده ۸۲

۳-۶- نتیجه‌گیری ۹۶

منابع و ماخذ ۹۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- ساختار شیمیایی خاک‌رس مونت موریلونیت [۲]. ۶

شکل ۱-۲- ساختار نانولوله‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره ۹

شکل ۱-۳- تصویر شماتیک یک سیستم تولید نانولوله کربنی به روش تبخیر لیزری [۱۸]. ۱۱

شکل ۱-۴- سمت راست) خوشه‌های نانولوله‌ها و سمت چپ) طناب‌های نانولوله‌ها ۱۳

شکل ۱-۵- عامل‌دار کردن کووالانسی نانولوله‌ها [۲۹]. ۱۵

شکل ۱-۶- تصویر STM و مدل کامپیوتری پلیمرپیچی نانولوله‌های تک دیواره [۳۳]. ۱۶

شکل ۱-۷- ناپایداری مونومر وینیل‌الکل ۲۷

شکل ۱-۸- ساختار پلی‌وینیل‌الکل ۲۹

شکل ۱-۹- واکنش کلی تشکیل استال. ۲۹

شکل ۱-۱۰- واکنش استاله‌شدن پلی‌وینیل‌الکل با آلدهید در حضور کاتالیزور اسیدی. ۳۰

شکل ۱-۱۱- ساختار کلی از پلی‌وینیل‌استال ۳۱

شکل ۱-۱۲- شمایی از تهیه پلی‌وینیل‌بوتیرال از طریق فرآیند آبی [۹۱]. ۳۴

شکل ۱-۱۳- ساخت پلی‌وینیل‌بوتیرال از طریق فرآیند محلول [۹۱]. ۳۵

شکل ۲-۱- نحوه برش دمبلی فیلمهای پلیمری ۳۹

شکل ۲-۲- شمایی از تجهیزات لازم برای تهیه پلی‌وینیل‌بوتیرال. ۴۲

شکل ۳-۱- واکنش بین مولکولی که منجر به شبکه‌ای شدن پلی‌وینیل‌بوتیرال می‌شود. ۴۹

شکل ۳-۲- واکنش درون مولکولی به صورت ۱و۳-گلایکول که منجر به سنتز پلی‌وینیل‌بوتیرال پودری می‌گردد. ۴۹

شکل ۳-۳- طیف FT-IR مربوط به PVA (قرص KBr) ۵۱

شکل ۳-۴- طیف FT-IR مربوط به PVB (قرص KBr) ۵۱

شکل ۳-۵- منحنی TGA مربوط به PVB تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۵۲

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۶- طیف FT-IR مربوط به نانولوله کربنی خالص و نانولوله کربنی عامل‌دار (قرص KBr) ۵۳

شکل ۳-۷- طیف EDX مربوط به نانولوله فاقد گروه عاملی ۵۴

شکل ۳-۸- طیف EDX مربوط به نانولوله عامل‌دار ۵۵

شکل ۳-۹- تصاویر SEM از سطح نانولوله‌های کربنی فاقد گروه عاملی ۵۶

شکل ۳-۱۰- تصاویر SEM از سطح نانولوله‌های کربنی عامل‌دار ۵۷

شکل ۳-۱۱- طیف XRD مربوط به گرافیت ۵۹

شکل ۳-۱۲- طیف XRD مربوط به گرافن ۵۹

شکل ۳-۱۳- تصاویر SEM از سطح گرافیت ۶۰

شکل ۳-۱۴- تصاویر SEM از سطح گرافیت اکسید ۶۱

شکل ۳-۱۵- تصاویر SEM از سطح گرافن ۶۲

شکل ۳-۱۶- تصاویر SEM از سطح نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ SWNT ۶۵

شکل ۳-۱۷- تصاویر SEM از سطح نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ SWNT ۶۶

شکل ۳-۱۸- تصویر SEM از سطح نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ Graphene ۶۷

شکل ۳-۱۹- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به PVB ۷۰

شکل ۳-۲۰- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۳٪ SWNT ۷۱

شکل ۳-۲۱- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ SWNT ۷۲

شکل ۳-۲۲- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ SWNT ۷۳

شکل ۳-۲۳- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۱/۲٪ SWNT ۷۴

شکل ۳-۲۴- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ F- SWNT ۷۶

شکل ۳-۲۵- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ F- SWNT ۷۷

شکل ۳-۲۶- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ Graphene ... ۷۹

شکل ۳-۲۷- نمودار تنش-کرنش و داده‌های خروجی مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ Graphene ... ۸۰

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۲۸- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۳٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۲

شکل ۳-۲۹- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۳

شکل ۳-۳۰- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۳

شکل ۳-۳۱- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۱/۲٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۴

شکل ۳-۳۲- مقایسه نمودارهای TGA نانوکامپوزیتهای PVB/SWNT با PVB *۸۵*

شکل ۳-۳۳- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ F- SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ *۸۶*

شکل ۳-۳۴- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ F- SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۶

شکل ۳-۳۵- مقایسه نمودارهای TGA نانوکامپوزیت‌های PVB/F-SWNT با PVB ۸۷

شکل ۳-۳۶- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ Graphene تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۸

شکل ۳-۳۷- منحنی TGA مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ Graphene تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۸۹

شکل ۳-۳۸- مقایسه نمودارهای TGA نانوکامپوزیت‌های PVB/Graphene با PVB ۸۹

شکل ۳-۳۹- منحنی DSC مربوط به PVB تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۹۰

شکل ۳-۴۰- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۳٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۹۱

شکل ۳-۴۱- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $10^{o}C/min$ ۹۱

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۴۲- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۲

شکل ۳-۴۳- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۱/۲٪ SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۲

شکل ۳-۴۴- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ F- SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۳

شکل ۳-۴۵- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ F- SWNT تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۴

شکل ۳-۴۶- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۶٪ Graphene تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۴

شکل ۳-۴۷- منحنی DSC مربوط به نانوکامپوزیت PVB/۰/۹٪ Graphene تحت اتمسفر ازت با سرعت اسکن $۱۰^{o}C/min$ ۹۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- خصوصیات حاصل از افزودن نانوذرات به پلیمرها..... ۴

جدول ۲-۱- ابعاد مشخص شده جهت تهیه فیلم پلیمری دمبلی شکل..... ۳۹

جدول ۲-۲- مشخصات انواع واکنشگرها و حلالهای مورد استفاده..... ۴۰

جدول ۲-۳- فرمولاسیون تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/نانولوله‌های کربنی..... ۴۵

جدول ۲-۴- فرمولاسیون تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/نانولوله‌های کربنی عامل‌دار..... ۴۶

جدول ۲-۵- فرمولاسیون تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/گرافن..... ۴۷

جدول ۳-۱- داده‌های EDX مربوط به نمونه نانولوله فاقد گروه عاملی..... ۵۴

جدول ۳-۲- داده‌های EDX مربوط به نمونه نانولوله عاملدار..... ۵۵

جدول ۳-۳- نتایج حاصل از تست کشش نانوکامپوزیت‌های PVB/SWNT در مقایسه با PVB..... ۶۸

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از تست کشش نانوکامپوزیت‌های PVB/ F-SWNT در مقایسه با PVB..... ۷۵

جدول ۳-۵- نتایج حاصل از تست کشش نانوکامپوزیت‌های PVB/ Graphene در مقایسه با PVB..... ۷۸

جدول ۳-۶- داده‌های مربوط به آنالیز حرارتی PVB و نانوکامپوزیت‌های PVB/SWNT..... ۸۴

جدول ۳-۷- داده‌های مربوط به آنالیز حرارتی PVB و نانوکامپوزیت‌های PVB/ F-SWNT..... ۸۷

جدول ۳-۸- داده‌های مربوط به آنالیز حرارتی PVB و نانوکامپوزیت‌های PVB/ Graphene..... ۸۸

List of abbreviations

AFM	**Atomic Force Microscopy**
CNT	**Carbom NanoTubes**
CVD	**Chemical Vapor Deposition**
DSC	**Differential Scanning Calorimetery**
DTG	**Differential Thermal Gravimetry**
DWNT	**Double Wall NanoTubes**
F-SWNT	**Functionalized-Single Wall NanoTubes**
FT-IR	**Fourier Transform- Infrared Spectroscopy**
MWNT	**Multi Wall NanoTubes**
PVA	**Poly vinyl alcohol**
PVB	**Poly vinyl butyral**
SAXS	**Small Angle X-ray Scattering**
SDBS	**Sodium DoDecyl Benzene Sulfonate**
SDS	**Sodium Dodecyl Sulfate**
SEM	**Scanning Electron Microscopy**
SWNT	**Single Wall NanoTubes**
TEM	**Transmission Electron Microscopy**
T_g	**Glass Transition Temperature**
TGA	**Thermogravimetric Analysis**
T_m	**Melting Temperature**

فصل اول

مقدمه

۱- پیشگفتار

با توجه به این که در این پایان‌نامه، نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌بوتیرال/نانولوله‌های کربنی، نانولوله‌های کربنی عامل‌دار و گرافن ساخته شده است، بنابراین در این فصل ابتدا در مورد نانوکامپوزیت‌های پلیمری و انواع پرکننده‌ها بحث شده و به دنبال آن، مشخصات و ویژگی‌ها، انواع روش‌های تهیه، کاربردها، سوسپانسیون‌ها، روش‌های عامل‌دار کردن، روش‌های تهیه نانوکامپوزیت‌های حاوی نانولوله‌ها، خواص مکانیکی، هدایت الکتریکی و گرمایی و پایداری گرمایی نانولوله‌ها بیان می‌شود. در پایان نیز خواص، کاربردها و روش‌های تهیه پلی‌وینیل‌الکل، پلی‌وینیل‌استال‌ها و پلی‌وینیل‌بوتیرال عنوان می‌گردد.

۱-۱- کامپوزیت‌ها

مواد و توسعه آنها از پایه‌های تمدن به شمار می‌روند، به طوری که دوره‌های تاریخی را با مواد نامگذاری کرده‌اند: عصر سنگ، عصر آهن، عصر فولاد، عصر سیلیکون و عصر کربن. اکنون عصر کربن است و عصر جدید با شناخت یک ماده جدید بوجود نمی‌آید بلکه با بهینه‌نمودن و ترکیب چند ماده می‌توان در عصر نوین پا گذاشت. دنیای نانومواد، فرصتی استثنایی برای انقلاب در مواد کامپوزیتی است.

کامپوزیت ترکیبی است از چند ماده متمایز بطوریکه اجزای آن قابل تشخیص از یکدیگر باشند. یکی از کامپوزیت‌های آشنا، بتن است که از دو جزء سیمان و ماسه ساخته می‌شود. برای تغییر در خواص فیزیکی و

شیمیایی مواد، آنها را کامپوزیت یا ترکیب می‌کنند. در واقع هدف از ایجاد کامپوزیت، بدست آوردن ماده ترکیبی با خواص دلخواه است.

۱-۲- نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت‌ها همان کامپوزیت‌های در مقیاس نانو ($۱۰^{-۹}$) هستند. برای تبدیل یک کامپوزیت به نانوکامپوزیت می‌توان روی دو قسمت از آن کار کرد:

الف) بستر[1]: همان‌طور که می‌دانیم اتم‌های یک ماده بلوری در داخل دانه‌ها قرار دارند، یعنی همه آنها در یک جهت چیده نشده‌اند، بلکه مانند سلول‌های روی پوست، دسته دسته اتم‌های داخل هر دانه در یک جهت خاص قرار دارند. برای تبدیل ترکیب موردنظر به بعد نانو باید دانه‌ها نانومتری شوند.

ب) تقویت‌کننده[2]: اگر تقویت‌کننده ذره‌ای باشد، با ریزکردن ذرات در حد نانو و وارد کردن آن‌ها در یک زمینه، نانوکامپوزیت تهیه می‌شود. در مورد تقویت‌کننده‌های رشته‌ای با ریز کردن قطر رشته در حد نانومتر و در مورد تقویت‌کننده‌های لایه‌ای نیز با نازک کردن لایه‌ها در حد نانو می‌توان نانوکامپوزیت‌ها را تهیه نمود.

۱-۲-۱- نانوکامپوزیت‌های پلیمری

ما برای چندین دهه با میکروکامپوزیت هایی مانند پلیمرهای دارای مواد پرکننده سروکار داشته ایم که در آنها، مقیاس تقویت‌کننده‌های پلیمری در محدوده میکرومتر بوده است. در مقابل، نانوکامپوزیت‌ها موادی هستند که از پخش شدن ذراتی در ابعاد نانو در یک بستر (ماتریس) بدست می‌آیند. بستر نانوکامپوزیت‌ها ممکن است یک یا چند ماده‌ای باشد. هم‌چنین ممکن است علاوه بر پرکننده نانو، مواد دیگری (نه لزوما در ابعاد نانو) در بستر وجود داشته باشد که در جهت افزودن خواص دیگری به فرمولاسیون اضافه می‌شوند. از آن جمله می‌توان به عوامل هادی‌کننده، عوامل چقرمه‌کننده و غیره اشاره نمود. نسبت منظر (نسبت سطح به حجم) پرکننده‌های نانو بسیار بالاست، در نتیجه برهمکنش‌های میان پرکننده و ماتریس بسیار قابل توجه خواهد بود. موضوع فوق بر این نکته تاکید می‌کند که مقدار کمی از پرکننده‌های نانو می‌تواند منجر به خواص بسیار بهبود یافته‌ای شود. به

---

[1] Matrix

[2] Reinforcement

عبارت ساده‌تر، مسئول همه خواص در نانوکامپوزیت‌ها، وجود برهمکنش بیش‌تر بواسطه سطح تماس بیش‌تر است [۱].

نانوکامپوزیت‌ها از دو بخش بستر و فاز پرکننده تشکیل شده‌اند. هر یک از این بخش‌ها می‌تواند دربرگیرنده طیف وسیعی از ترکیبات باشد. بستر نانوکامپوزیت‌ها را می‌توان به سه دسته فلزی، سرامیکی و پلیمری تقسیم‌بندی نمود. بنابراین نانوکامپوزیت‌های پلیمری، متشکل از یک ترکیب پلیمری (گرمانرم‌ها، گرماسخت ها و یا کشپارها) و یک ماده در مقیاس نانو به عنوان تقویت کننده (نانوذره) هستند. این نانوذرات، حداقل در یک بعد در مقیاس نانومتر قرار دارند. نانوکامپوزیت‌های پلیمری بهبود عمده ای را در خواص مکانیکی، سدگری در مقابل گاز[1] (نفوذناپذیری)، پایداری گرمایی، بازدارندگی آتش[2] و دیگر موارد از خود نشان می دهند. از طرفی، چندین عامل بر روی خواص نانوکامپوزیت‌های پلیمری تاثیر می گذارندکه شامل موارد زیرند:

۱. روش های سنتز مانند اختلاط در حالت مذاب، اختلاط در حالت محلول، پلیمریزاسیون درجا و پلیمریزاسیون تعلیقی
۲. مورفولوژی نانوکامپوزیت‌های پلیمری
۳. نوع نانوذره و اصلاح سطح آن
۴. ویژگی‌های بستر پلیمری مانند بلورینگی، جرم مولکولی، ساختار شیمیایی پلیمر و این که آیا گرمانرم است یا گرماسخت.

درک ارتقای خواص مربوط به نانوکامپوزیت‌های پلیمری موضوع پیچیده‌ای است. جدول ۱-۱ برخی از مزایا و معایب افزودن نانوذرات به ماتریس‌های پلیمری را نشان می دهد.

---

[1] Barrier properties
[2] Fire retardancy