



دانشگاه زنجان
دانشکده علوم - گروه شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

طراحی، تهیه و ارزیابی نانولوله‌های کربنی و کامپوزیت مغناطیسی
آن‌ها برای کاربردهای داروسازی و حذف آلاینده‌ها

استادان راهنما:

دکتر ناصر دلالی

دکتر کبری رستمی زاده

نگارش:

مینا حبیبی زاده

اسفند ماه ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قدردانی

می نویسم تو را با سرانگشت
دست هایم!
تشنه‌ی حرف های جدیدند...
خداوند را سپاسگزارم.

در آغاز و طیفه خود می دانم از پدر و مادرم که با لطف بی دریغ و حمایت های بیشائبه شان مرایاری نمودند
سپاس گزار می کنم.

از همسر عزیزم به پاس تمام محبت ها و تشویق های بی نظیرش سپاس گزارم.
خداوند متعال را شاکرم که به من توفیق داد تا نگارش این رساله را به پایان برسانم. در به فرجام رسیدن این
مهم، از کجینه علم و حکمت و سرچشمه بذل و معرفت بزرگانی بهره برده ام که بر خود واجب می دانم از تمامی
آن بزرگواران کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. با این که می دانم فراتر از توان بیان من است، ولی
امیدوارم مراتب اتقان و احترام برابر سازد. لذا بر خود لازم می دانم از استادان ارجمندم جناب آقای
دکتر ناصر دللی و سرکار خانم دکتر کبری رستمی زاده به خاطر زحمات فراوان و راهنمایی هایشان قدردانی نمایم و
برایشان سلامتی و موفقیت از خداوند منان خواستارم.

از جناب آقای دکتر مهداد حمیدی و جناب آقای دکتر محمد حسین رسولی فرد به خاطر قبول زحمت به عنوان
استادید ممتحن خارجی و داخلی سپاسگزارم.

از خواهر و برادر عزیزم که دوست داشتشان سبب شادی زندگی من می باشد نیز سپاسگزارم.
از دوستان خوبم در آزمایشگاه تحقیقاتی جناب دکتر دلالی و همچنین دانشکده‌ی داروسازی دانشگاه علوم پزشکی
زنجان به ویژه آقایان فریدون رحمانی، مادی حبیبی و منصور روجیان و خانم‌ها مرضیه عاشوری، سمانه فتح و دنیا
زمانه سازی به خاطر همکاری بی دریغشان تشکر می‌کنم.
از دوستان بی نظیرم خانم‌ها مریم حسنی، الهام ساداتی، مطهره شیرینی راد، محبوبه خرم نژاد و سوسن سلیمانی که
معنی دوستی را با آن‌ها تجربه کردم، سپاسگزارم.
در پایان امیدوارم این پایان نامه برای اهل فن و دوستان دانش منسب واقع شود.

چکیده

این مطالعه از سه بخش تشکیل شده است، در بخش اول نانوکامپوزیت مغناطیسی نانولوله‌های کربنی با اکسید آهن ($MWCNT/Fe_3O_4$) سنتز شده و کارایی آن به عنوان جاذب برای حذف رنگ *Crystal Violet* از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت، در این قسمت اثر پارامترهای pH محلول، زمان حذف، مقدار جاذب $MWCNT/Fe_3O_4$ و اثر قدرت یونی بر روی حذف رنگ مذکور به روش طراحی آزمایش (روش تاگوچی) مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر بهینه به ترتیب $pH = 9$ ، زمان حذف 5 min ، مقدار جاذب $MWCNT/Fe_3O_4$ (10 mg) و بدون حضور نمک $NaCl$ بدست آمد. نتایج نشان داد که از میان حلال‌های آلی آزمایش شده محلول آبی اتانول با $pH = 2$ بهترین بازدهی و جذب را دارد. مدل‌های سینتیکی مختلفی بررسی شد و نتایج با معادله شبه مرتبه‌ی دوم مطابقت داشتند. ایزوترم جذبی نیز از مدل فرندلیچ پیروی کرده است.

در بخش دوم نوع جدیدی از نانوکامپوزیت سوپر مغناطیس پوشیده شده با سورفکتانت ستیل تری آمونیوم برماید ($CTAB$) سنتز و کارایی آن برای حذف رنگ *Nyloset Yellow* از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای موثر بر حذف از طرح‌های غربالی استفاده شد و در میان پارامترهای بررسی شده (pH ، زمان، مقدار سورفکتانت $CTAB$ ، مقدار جاذب و قدرت یونی) مقدار سورفکتانت و جاذب $MWCNT/Fe_3O_4$ مهم‌ترین پارامترها تعیین شدند. برای بهینه کردن این دو پارامتر از روش طراحی مرکب مرکزی (CCD) استفاده شده و مقادیر mg $139/39$ سورفکتانت و 5 mg جاذب گزارش شد. همچنین وا جذب رنگ از سطح نانوکامپوزیت با استفاده از حلال‌های مختلف بررسی شد و بیش‌ترین بازدهی و جذب برای متانول بدست آمد. سینتیک جذب این رنگ نیز به وسیله‌ی مدل سینتیکی شبه مرتبه‌ی دوم به بهترین نحو توصیف شد. آنالیز داده‌های ایزوترم تعادلی نشان داد که برای این آنالیت مدل لانگمیر مطابقت بیش‌تری را با داده‌های تجربی دارد و ماکزیمم ظرفیت جذب آنالیت به کمک این مدل $88/49 \text{ mg.g}^{-1}$ بدست آمد.

در بخش سوم نانولوله کربن $MWCNT$ به عنوان اساس کار در رهش دارویی با تشکیل پیوندهای کووالانسی $MWCNT$ با ایپوبروفن (I_p) به وسیله‌ی پلیمر آبدوست پلی اتیلن گلیکول دی آمینه ($NH_2-PEG-NH_2$) مورد بررسی قرار گرفت. سطح این نانوکامپوزیت‌ها با گروه‌های کربوکسیلی عامل دار شد و در ادامه با واکنش آمیدی $NH_2-PEG-NH_2$ به $MWCNT$ به صورت کووالانسی متصل شد، و I_p به صورت هم فیزیکی و هم شیمیایی بر سطح این حامل سنتزی بارگیری شد. درصد بارگیری فیزیکی و شیمیایی به ترتیب 62% و 10% گزارش شد. رهاسازی دارو در $pH = 7/4$ و دمای $37^\circ C$ (دمای بدن) مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت، طراحی آزمایش، سوپر مغناطیس، طراحی غربالی، طراحی مرکب مرکزی، رهش دارویی، پلی اتیلن گلیکول دی آمینه، واکنش آمیدی.

فهرست مطالب

ث	چکیده
ج	لیست تصاویر
د	فهرست جدول‌ها
۱	۱ مقدمه
۱	۱.۱ نانوکامپوزیت‌ها
۲	۲.۱ طبقه‌بندی نانوکامپوزیت‌ها
۳	۱.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری
۴	۲.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه سرامیکی
۴	۳.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه فلزی
۴	۴.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه نانولوله‌های کربنی
۵	۳.۱ ساختارها و ویژگی‌های نانولوله‌های کربن ^۱
۵	۱.۳.۱ مقدمه: کشف نانولوله‌های کربنی
۶	۲.۳.۱ ساختار نانولوله‌های کربن
۶	۳.۳.۱ انواع نانولوله‌های کربن
۷	۴.۳.۱ عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربن
۱۲	۵.۳.۱ کاربردهای نانولوله‌های کربن
۱۲	۴.۱ نانوذرات مغناطیسی
۱۳	۱.۴.۱ اکسیدهای آهن
۱۴	۲.۴.۱ ساختار بلوری مگنتایت

^۱Carbon

nanotube

(CNT)

۱۵	انواع نانوکامپوزیت‌های پایه کربنی پر شده با نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن	۵.۱
۱۶	نانوکامپوزیت‌های پایه کربنی پر شده با مگنتایت (Fe_3O_4)	۱.۵.۱
۱۷	نانوکامپوزیت‌های پایه کربنی پر شده با هماتیت ($\alpha - Fe_2O_3$)	۲.۵.۱
۱۸	کاربرد نانوکامپوزیت مغناطیسی	۶.۱
۱۸	کاربرد نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی برای استخراج مواد	۱.۶.۱
۲۴	کاربردهای بیولوژیکی نانولوله‌های کربن و نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی	۲.۶.۱
۲۹	پلی اتیلن گلیکول	۷.۱
۳۰	روش‌های مشخصه‌یابی نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی به عنوان جاذب و حامل دارو	۸.۱
۳۰	میکروسکوپ الکترونی عبوری ^۱	۱.۸.۱
۳۰	میکروسکوپ الکترونی روبشی ^۲	۲.۸.۱
۳۱	پراش پرتو ایکس ^۳	۳.۸.۱
۳۱	طیف‌بینی مادون قرمز تبدیل فوریه ^۴	۴.۸.۱
۳۲	طیف‌بینی رزونانس مغناطیسی هسته ^۵	۵.۸.۱
۳۲	بررسی خواص مغناطیسی	۶.۸.۱
۳۲	اندازه‌گیری بار سطحی و اندازه‌ی نانوکامپوزیت	۷.۸.۱
۳۳	حذف رنگ از نمونه‌های آبی	۹.۱
۳۴	کریستال وایلت ^۶	۱.۹.۱
۳۴	نایلوست یلو ^۷	۲.۹.۱
۳۵	ایپوبروفن ^۸	۱۰.۱
۳۶	اصول طراحی آزمایش و بهینه‌سازی	۱۱.۱
۳۹	روش یک متغیر در یک زمان و معایب آن	۱.۱۱.۱
۳۹	مزایای طراحی آزمایش نسبت به طرح یک متغیر در یک زمان	۲.۱۱.۱
۴۰	انواع طرح‌ها	۳.۱۱.۱
۴۶	ارزیابی مدل	۴.۱۱.۱

^۱ Transmission	electron	microscope	(TEM)
^۲ Scanning	electron	microscope(SEM)
^۳ X-ray		diffraction	(XRD)
^۴ Fourier		transform	infrared(FT-IR)
^۵ Nuclear		magnetic	resonans(NMR)
^۶ Crystal			violet(C.V)
^۷ Nyloset			yellow(N.Y)
^۸ Ipubrufen(I_p)			

۴۹	طراحی آزمایش به روش تاگوچی ^۱	۵.۱۱.۱
۵۰	بررسی منابع	۱۲.۱
۵۴	هدف پروژه	۱۳.۱
۵۵	بخش تجربی ۲	
	بخش اول: سنتز کامپوزیت نانولوله‌های کربنی با نانوذرات اکسید آهن و کاربرد آن	۱.۲
۵۵	در حذف رنگ‌ها از محیط زیست	
۵۵	مواد شیمیایی مورد استفاده	۱.۱.۲
۵۶	وسایل، دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای استفاده شده	۲.۱.۲
۵۷	روش سنتز کامپوزیت نانولوله‌های کربنی با اکسید آهن (Fe_3O_4)	۳.۱.۲
	اندازه‌گیری مقدار آهن موجود در نانوکامپوزیت مغناطیسی به کمک جذب اتمی	۴.۱.۲
۵۷		
۵۸	روش تهیه‌ی بافرهای فسفات ۰/۱ مولار	۵.۱.۲
۵۸	روش حذف آنالیت	۶.۱.۲
۶۰	بررسی سینتیک جذب	۷.۱.۲
۶۰	ایزوترم‌های جذب	۸.۱.۲
	بخش دوم: سنتز حامل‌های دارویی $CNT-PEG / Ip$ و	۲.۲
۶۲	$CNT-PEG-IP$ و کاربرد آن‌ها در رهش داروی ایپوبروفن	
۶۲	مواد شیمیایی مورد استفاده	۱.۲.۲
۶۲	وسایل و دستگاه‌ها	۲.۲.۲
۶۳	سنتز $NH_2NH-CO-PEG-CO-NHNH_2$	۳.۲.۲
۶۴	فرایند دی‌آمین‌دار کردن PEG ، $(NH_2-PEO-NH_2)$	۴.۲.۲
۶۶	خالص‌سازی ($MWCNT$)	۵.۲.۲
۶۶	سنتز نانولوله‌های کربنی آسید دار شده ($CNT-CO-Cl$)	۶.۲.۲
۶۷	اتصال $CNT-CO-Cl$ به $NH_2NH-CO-PEG-CO-NHNH_2$	۷.۲.۲
۶۷	روش فعال‌سازی گروه کربوکسیل ایپوبروفن (Ip) به کمک NHS	۳.۲
	بارگیری داروی $Ip-NHS$ بر حامل $CNT-PEG-NH_2$ به کمک پیوندهای	۴.۲
۶۷	شیمیایی	

۶۸	بارگیری فیزیکی داروی I_p بر حامل $CNT-PEG-NH_2$	۵.۲
۶۸	رها سازی داروی I_p از حامل های مطرح شده	۶.۲
۶۹	بررسی شرایط کار با $HPLC$	۷.۲
۷۰	۳ بحث و نتیجه گیری	
۷۰	حذف آنالیت <i>Crystal Violet</i> از محلول های آبی توسط نانو کامپوزیت CNT/Fe_3O_4	۱.۳
۷۰	بررسی نانو ذرات سنتز شده	۱.۱.۳
۷۶	بررسی شرایط استخراج	۲.۱.۳
۷۸	بهینه سازی شرایط استخراج	۳.۱.۳
۸۰	بررسی سینتیک جذب	۴.۱.۳
۸۳	بررسی ایزوترم های جذب	۵.۱.۳
۸۴	استفاده ی مجدد از نانو کامپوزیت های مغناطیسی	۶.۱.۳
۸۵	بررسی نمونه پساب سنتزی	۷.۱.۳
۸۵	حذف رنگ <i>Nyloset Yellow</i> از محلول های آبی توسط	۲.۳
۸۵	نانو کامپوزیت های مغناطیسی پوشیده شده با $CTAB$	۱.۲.۳
۸۵	بررسی نانو کامپوزیت های مغناطیسی پوشیده شده با $CTAB$	۱.۲.۳
۸۶	تعیین پارامترهای موثر بر حذف $N.Y$ ، با طراحی غربالی	۲.۲.۳
۸۹	بررسی اثر پارامترها	۳.۲.۳
۹۱	طراحی سطح پاسخ جهت بهینه سازی پارامترها	۴.۲.۳
۹۶	بررسی اثر شوینده	۵.۲.۳
۹۷	بررسی سینتیک جذب	۶.۲.۳
۹۹	بررسی ایزوترم جذب	۷.۲.۳
۹۹	استفاده ی مجدد از نانو کامپوزیت های مغناطیسی	۸.۲.۳
۹۹	بررسی نمونه ی حقیقی	۹.۲.۳
۱۰۱	سنتز حامل دارویی $CNT-PEG-NH_2$ و کاربرد آن در رهش داروی ایپوبروفن	۳.۳
۱۰۱	آماده سازی $MWCNTs$	۱.۳.۳
۱۰۲	بررسی سنتز $PEG-6000$ دی آمینه:	۲.۳.۳
۱۱۵	بررسی اتصال PEG دی آمینه به $MWCNT$ آسیل دار شده	۳.۳.۳
۱۱۶	بررسی فعال سازی ایپوبروفن با NHS	۴.۳.۳

۱۱۹	$MWCNT-PEG-NH_2$ سنتزی بر حامل I_p فیزیکی	۵.۳.۳
۱۲۱	$pH = 7/4$ در سنتزی دارویی بر حامل I_p فیزیکی آزادسازی	۶.۳.۳
	$-PEG-NH_2$ سنتزی بر حامل I_p-NHS شیمیایی	۷.۳.۳
۱۲۲	$MWCNT$	
	بررسی آزادسازی شیمیایی دارویی I_p-NHS از حامل دارویی سنتزی در	۸.۳.۳
۱۲۴	$pH = 7/4$	
۱۲۷		

مراجع

لیست تصاویر

۵	آلوتروپ‌های مختلف کربن	۱.۱
۷	ساختار نانولوله‌های کربن	۲.۱
	انواع نانولوله‌های کربن: A. نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره، B. نانولوله‌های کربنی چنددیواره.	۳.۱
۷	چنددیواره.	
	روش‌های رایج عامل‌دار کردن CNT: A. عامل‌دار کردن کوالانسی، B. ایجاد نقص در ساختار CNT و عامل‌دار کردن، C. عامل‌دار کردن غیر کوالانسی دیواره خارجی به وسیله‌ی سورفکتانت و پلیمر، D. عامل‌دار کردن دیواره داخلی برای مثال با استفاده از C_60 .	۴.۱
۸		
۱۰	A. واکنش‌های آمیدی شدن و استری شدن، B. تشکیل زوج یون.	۵.۱
۱۵	ساختار بلوری مگنتایت	۶.۱
۱۶	A. تصویر SEM نانولوله‌های کربن. B. تصویر SEM نانوکامپوزیت مغناطیسی.	۷.۱
۱۷	تصاویر TEM گرفته شده در سایزهای متفاوت	۸.۱
۲۶	نمودار بررسی سطوح سمیت رهاسازی دارو، با زمان.	۹.۱
۲۷	A: میدان مغناطیسی. B: تابش لیزر.	۱۰.۱
۲۷	اثر آنتی‌بادی-آنتی‌ژن.	۱۱.۱
۳۴	ساختار کریستال وایت	۱۲.۱
۳۶	ساختار ایپوپروپوفن	۱۳.۱
	مراحل حذف آنالیت. (a) آنالیت، (b) آنالیت و نانو کامپوزیت مغناطیسی، (c) مجاورت با آهن‌ربا و حذف رنگ	۱.۲
۵۹		
	(a) اکسید کردن سطح CNT، (b) سنتز نانوکامپوزیت مغناطیسی، (c) پوشش دادن سطح نانوکامپوزیت با CTAB و حذف N.Y	۲.۲
۵۹		

۱.۳	تصویر SEM نمونه‌های (الف) CNT، (ب) CNT/Fe ₃ O ₄	۷۱
۲.۳	طیف FTIR نمونه‌های:	۷۱
۳.۳	طیف XRD نانولوله‌ی کربن.	۷۲
۴.۳	طیف XRD MWCNTs/Fe ₃ O ₄	۷۳
۵.۳	منحنی مغناطیسی MWCNTs/Fe ₃ O ₄	۷۴
۶.۳	منحنی توزیع سایز MWCNT	۷۵
۷.۳	منحنی توزیع سایز MWCNT-COOH	۷۵
۸.۳	منحنی توزیع سایز MWCNTs/Fe ₃ O ₄	۷۵
۹.۳	بررسی نوع حلال شوینده	۷۹
۱۰.۳	نمودار بررسی اثر pH محلول اتانول	۸۰
۱۱.۳	نمودار سینتیک شبه مرتبه‌ی اول	۸۱
۱۲.۳	نمودار سینتیک شبه مرتبه‌ی دوم	۸۲
۱۳.۳	نمودار سینتیک نفوذ داخلی	۸۲
۱۴.۳	نمودار ایزوترم لانگمیر	۸۴
۱۵.۳	نمودار ایزوترم فرندلیچ	۸۴
۱۶.۳	طیف FT-IR نانوکامپوزیت مغناطیسی به صورت قرص KBr	۸۶
۱۷.۳	طیف FT-IR نانوکامپوزیت مغناطیسی پوشیده شده با CTAB به صورت قرص KBr	۸۷
۱۸.۳	نمودار پاریتو	۸۹
۱۹.۳	نمودار اثرات اصلی	۹۰
۲۰.۳	نمودار تطابق بین پیش‌بینی معادله و مقادیر تجربی در حذف رنگ	۹۴
۲۱.۳	نمودار کانتور	۹۵
۲۲.۳	نمودار پاسخ سطح	۹۵
۲۳.۳	نمودار مقادیر بهینه	۹۶
۲۴.۳	بررسی اثر شوینده	۹۷
۲۵.۳	نمودار سینتیکی شبه مرتبه‌ی اول	۹۸
۲۶.۳	نمودار سینتیکی شبه مرتبه‌ی دوم	۹۸

۲۷.۳	نمودار سینتیکی نفوذ داخلی	۹۹
۲۸.۳	نمودار ایزوترم لانگمیر	۱۰۰
۲۹.۳	نمودار ایزوترم فرندلیچ	۱۰۰
۳۰.۳	طیف $FT-IR$ ، $MWCNT$ اکسیدشده به صورت قرص KBr	۱۰۱
۳۱.۳	طیف $FT-IR$ ، $MWCNT$ آسیل دار شده به صورت قرص KBr	۱۰۲
۳۲.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ به صورت قرص KBr	۱۰۳
۳۳.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ دی کربوکسیله به صورت قرص KBr	۱۰۴
۳۴.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ دی کربوکسیله	۱۰۴
۳۵.۳	موقعیت هیدوژن های مربوط به $PEG-6000$ دی کربوکسیله	۱۰۵
۳۶.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ فعال شده با NHS به صورت قرص KBr	۱۰۵
۳۷.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ فعال شده با NHS	۱۰۶
۳۸.۳	موقعیت هیدوژن های، $PEG-6000$ فعال شده با NHS	۱۰۶
۳۹.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ دی آمینه به صورت قرص KBr	۱۰۷
۴۰.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ دی آمینه	۱۰۸
۴۱.۳	موقعیت هیدوژن های، $PEG-6000$ دی آمینه	۱۰۸
۴۲.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ دی کلره به صورت قرص KBr	۱۰۹
۴۳.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ دی کلره	۱۱۰
۴۴.۳	موقعیت هیدوژن های، $PEG-6000$ دی کلره	۱۱۰
۴۵.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ دی فتالیمید به صورت قرص KBr	۱۱۱
۴۶.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ دی فتالیمید	۱۱۲
۴۷.۳	موقعیت هیدوژن های، $PEG-6000$ دی فتالیمید	۱۱۲
۴۸.۳	طیف $FT-IR$ ، $PEG-6000$ دی آمینه به صورت قرص KBr	۱۱۳
۴۹.۳	طیف $^1H NMR$ ، $PEG-6000$ دی آمینه	۱۱۴
۵۰.۳	موقعیت هیدوژن های، $PEG-6000$ دی آمینه	۱۱۴
۵۱.۳	واکنش آمیدی سنتز حامل دارو	۱۱۵
۵۲.۳	طیف $FT-IR$ ، $MWCNT-PEG-NH_2$ به صورت قرص KBr	۱۱۶
۵۳.۳	بررسی میزان پخش شدگی در هر یک از شکل ها به ترتیب از راست به چپ	۱۱۷

- ۱۱۷ طیف $FT-IR$ ، I_p به صورت قرص KBr ۵۴.۳
- ۱۱۸ طیف $FT-IR$ ، I_p-NHS به صورت قرص KBr ۵۵.۳
- ۱۱۸ طیف ^1H-NMR ، I_p-NHS ۵۶.۳
- ۱۱۹ موقعیت هیدوژن‌های، I_p-NHS ۵۷.۳
- ۱۲۰ طیف $FT-IR$ ، I_p / $MWCNT-PEG-NH_2$ به صورت قرص KBr ۵۸.۳
- ۱۲۰ منحنی کالیبراسیون محلول (۵۰:۵۰) آب: متانول، I_p در رنج غلظتی $(1 \frac{mg}{ml})$ ۵۹.۳
- ۱۲۰ (۰/۱- ۶۰.۳
- منحنی کالیبراسیون محلول (۸:۹۲) بافر فسفات ($pH=7/4$): اتانول از I_p در رنج غلظتی $(1 \frac{mg}{ml}-0/0075)$ ۱۲۱
- ۶۱.۳ نمودار آزادسازی فیزیکی داروی I_p از حامل دارویی سنتزی در $pH=7/4$ pH
- ۱۲۲ (بدن) ۱۲۲
- ۱۲۳ طیف $FT-IR$ ، I_p - $MWCNT-PEG-NH_2$ به صورت قرص KBr ۶۲.۳
- ۱۲۳ منحنی کالیبراسیون محلول اتانول، I_p-NHS در رنج غلظتی $(1 \frac{mg}{ml}-0/0075)$ ۶۳.۳
- ۶۴.۳ منحنی کالیبراسیون محلول (۸:۹۲) بافر فسفات ($pH=7/4$): اتانول از I_p در رنج غلظتی $(1 \frac{mg}{ml}-0/0018)$ ۱۲۴
- ۶۵.۳ نمودار آزادسازی شیمیایی داروی I_p-NHS از حامل دارویی سنتزی در $pH=7/4$ pH
- ۱۲۵ (بدن pH) ۱۲۵

فهرست جدول‌ها

فصل ۱

مقدمه

فناوری نانو یکی از مهمترین و اصلی‌ترین فناوری‌های قرن ۲۱ است. پیشوند نانو از کلمه یونانی *nanos* به معنی کوتوله گرفته شده است. این فناوری با مقیاسی سر و کار دارد که ده‌ها هزار بار کوچکتر از یک میلیمتر است. فناوری نانو به دنبال بررسی، تولید و بکارگیری ساختارهایی است که اندازه آن‌ها کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر است. زیرا ساختارهای نانومتری خواص و ویژگی‌هایی از خود نشان می‌دهند که در مقیاس بزرگتر قابل مشاهده نمی‌باشد [۱].

۱.۱ نانو کامپوزیت‌ها

کامپوزیت ترکیبی است که از لحاظ میکروسکوپی از چند ماده متمایز ساخته شده باشد، به طوری که این اجزاء به آسانی از یکدیگر قابل تشخیص باشند. به طور نمونه، یکی از کامپوزیت‌های آشنا بتن است که از دو جزء سیمان و ماسه ساخته شده است.

برای ایجاد تغییر و بهینه سازی خواص فیزیکی و شیمیایی مواد، آن‌ها را ترکیب یا کامپوزیت می‌کنند. به طور مثال پلی اتیلن^۱ که در ساخت چمن های مصنوعی از آن استفاده می‌گردد، رنگ پذیر نیست و به همین سبب رنگ این چمن ها اغلب مات است. برای برطرف نمودن این نقص به آن وینیل استات می‌افزایند تا خواص پلاستیکی، نرمیت و رنگ پذیری آن اصلاح شود. در واقع، هدف از ایجاد

^۱ Poly Ethylen(PE)

کامپوزیت، به دست آوردن ماده‌ای ترکیبی با خواص مورد انتظار می‌باشد. نانوکامپوزیت نیز همان کامپوزیت است که یک یا چند جزء از آن، ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارد. نانوکامپوزیت‌ها از دو فاز تشکیل شده‌اند. فاز اول یک ساختار بلوری است که در واقع پایه یا ماتریس نانوکامپوزیت محسوب می‌شود و ممکن است از جنس پلیمر، فلز و یا سرامیک باشد. فاز دوم نیز ذراتی در مقیاس نانومتر می‌باشند که به عنوان تقویت کننده (مواد پرکننده^۱) به منظور اهداف خاص از قبیل استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی، خواص مغناطیسی و ... در درون فاز اول (ماده پایه) توزیع می‌شوند. نانوکامپوزیت‌ها بر اثر برهمکنش سطحی بین ماده‌ی پایه و مواد پرکننده، از خواص بهتری برخوردار می‌شوند. نوع و میزان برهمکنش‌ها نقش مهمی در خواص مختلف نانوکامپوزیت‌ها همچون حلالیت، خواص نوری، خواص الکتریکی و مکانیکی آن‌ها دارد.

۲.۱ طبقه‌بندی نانوکامپوزیت‌ها

انواع نانوکامپوزیت را می‌توان بر اساس ماده پایه آن‌ها به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

۱. نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری^۲

۲. نانوکامپوزیت‌های پایه سرامیکی^۳

۳. نانوکامپوزیت‌های پایه فلزی^۴

۴. نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌های کربنی^۵

در ادامه به بررسی خواص و کاربرد هر یک از این نانوکامپوزیت‌ها پرداخته می‌شود.

^۱Filler

^۲Polymer matrix nanocomposites (PMNCs)

^۳Ceramic matrix nanocomposites (CMNCs)

^۴Metal matrix nanocomposites (MMNCs)

^۵Carbon nanotube nanocomposite (CNTNCs)

۱.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری

در بین نانوکامپوزیت‌ها بیشترین توجه به نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری معطوف است. یکی از دلایل گسترش نانوکامپوزیت‌های پلیمری، خواص بی نظیر مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی آن است. نانوکامپوزیت‌های پلیمری عموماً دارای استحکام بالا، وزن کم، پایداری حرارتی بالا، رسانایی الکتریکی بالا و مقاومت شیمیایی بالایی هستند. تقویت پلیمرها با استفاده از مواد آلی و معدنی بسیار مرسوم می‌باشد. برخلاف تقویت کننده‌های مرسوم که در مقیاس میکرون می‌باشند، در نانوکامپوزیت‌ها تقویت کننده‌ها ذراتی در ابعاد نانومتر می‌باشند. با افزودن درصد کمی از نانوذرات به یک پلیمر خالص، استحکام کششی افزایش چشمگیری می‌یابد. به عنوان مثال، با افزودن تنها ۰/۰۴ درصد حجمی میکا (یک نوع سیلیکات) با ابعاد ۵۰ نانومتر به اپوکسی^۱، مدول یانگ این ماده ۵۸ درصد افزایش خواهد یافت. دلیل دوم توسعه نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری و افزایش تحقیقات در این زمینه، کشف نانولوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱ میلادی است. استحکام و خواص الکتریکی نانولوله‌های کربنی به طور قابل ملاحظه‌ای با نانولوله‌های گرافیت و دیگر مواد پرکننده تفاوت دارد. نانولوله‌های کربنی موجب رسانایی و استحکام فوق العاده‌ای در پلیمرها می‌شوند به طوری که کاربردهای حیرت‌انگیزی همچون آسانسور فضایی را برای آن می‌توان متصور شد. از نظر نظامی نیز فراهم کردن هدایت الکتریکی در پلیمرها فرصت‌های انقلابی را به وجود خواهد آورد. به عنوان مثال از پوسته‌های الکتریکی-مغناطیسی گرفته تا کامپوزیت‌های رسانای گرما و لباس‌های سربازان آینده! این دسته از کامپوزیت‌ها به دلیل خواص منحصر به فردی که دارند به طور گسترده‌ای در صنایع خودرو، هوا-فضا و بسته‌بندی مواد غذایی گسترش یافته‌اند. از دیگر کاربردهای نانوکامپوزیت‌های پلیمری پوشش‌های مقاوم به سایش، پوشش‌های مقاوم به خوردگی، پلاستیک‌های رسانا، حسگرها، آسترهای مقاوم در دمای بالا و غشاهای جداسازی گازها و سیالات نفتی می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به نوعی غشاء نانوکامپوزیتی ساخته

^۱Epoxy

شده از یک نوع پلیمر و نانولایه‌های سیلیکا اشاره کرد که توسط محققان دانشگاه کارولینای شمالی ساخته شده است. این غشاء توانایی فوق‌العاده‌ای در جداسازی مولکول‌های آلی از گازها دارد.

۲.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه سرامیکی

به مواد (معمولا جامد)ی که بخش عمده‌ی تشکیل دهنده آن‌ها غیرفلزی و غیرآلی باشد، سرامیک گفته می‌شود. سرامیک‌ها خواص بسیار خوبی نظیر مقاومت حرارتی بالا، پایداری شیمیایی خوب و استحکام مکانیکی مناسبی دارند، اما به دلیل پیوندهای یونی و کووالانسی موجود در سرامیک‌ها چقرمگی^۱ شکست آن‌ها پایین است و تغییر شکل پلاستیک این مواد محدود می‌باشد. به منظور رفع این مشکل با اضافه کردن و جداسازی الیاف و ذرات مناسب، می‌توان چقرمگی شکست را بالا برد. اگر این تقویت کننده‌ها ابعاد نانومتری داشته باشند بالاترین چقرمگی شکست به دست می‌آید.

۳.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه فلزی

کامپوزیت‌های پایه فلزی، کم وزن و سبک بوده و به علت استحکام و سختی بالا کاربردهای وسیعی در صنایع خودرو و هوا-فضا پیدا کرده‌اند. اما این کاربردها به لحاظ کم بودن قابلیت کشش در این کامپوزیت‌ها محدود شده‌است. تبدیل کامپوزیت به نانوکامپوزیت سبب افزایش استحکام و رفع محدودیت‌های مذکور می‌شود. نانوکامپوزیت‌های پایه فلزی حاوی نانولوله‌های کربنی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. نانولوله‌ها می‌توانند سبب افزایش و یا بهبود خواصی نظیر رسانایی، استحکام، مقاومت و .. در فلزات شوند.

۴.۲.۱ نانوکامپوزیت‌های پایه نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌ها یکی از مستحکم‌ترین مواد به شمار می‌روند. این موضوع، کاربرد نانولوله‌های کربنی را به عنوان ماده‌ی پرکننده در تولید نانوکامپوزیت‌ها به خوبی روشن می‌سازد. کامپوزیت‌های با پایه

^۱Toughness

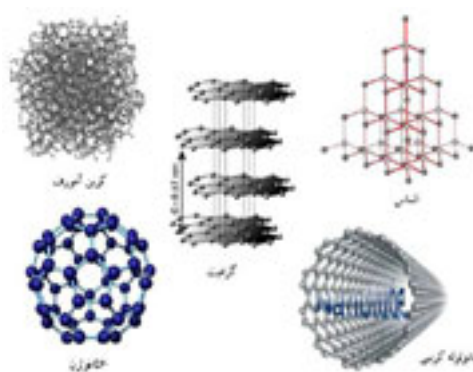
نانولوله‌ی کربنی دارای نسبت استحکام به وزن بالا هستند و مصارف گسترده‌ای را در صنعت خواهند داشت.

در این پروژه از نانوکامپوزیت‌های پایه نانولوله‌های کربنی پر شده با نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن به عنوان جاذب و حامل دارویی استفاده شده است. این نانو کامپوزیت‌ها بسته به نوع نانو ذرات مغناطیسی پر شده و همچنین نوع نانولوله‌های کربنی طبقه‌بندی می‌شوند. در ادامه به بررسی هر یک از اجزاء تشکیل دهنده‌ی این نانوکامپوزیت (نانولوله‌های کربنی و نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن) پرداخته و سپس انواع دسته‌بندی‌های نانوکامپوزیت‌ها بیان می‌شود [۲].

۳.۱ ساختارها و ویژگی‌های نانولوله‌های کربن^۱

۱.۳.۱ مقدمه: کشف نانولوله‌های کربنی

تا سال ۱۹۸۰، سه آلوتروپ کربن (کربن غیر بلوری) به نام های الماس، گرافیت و کربن بی شکل شناخته شده بودند، اما امروزه می‌دانیم که خانواده کاملی از سایر اشکال کربن نیز وجود دارند (شکل ۱.۱).



شکل ۱.۱: آلوتروپ‌های مختلف کربن

^۱Carbon nanotube (CNT)