

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

بررسی خواص رئولوژیکی کامپوزیت‌های نانو ذرات سیلیکا در آلیاژ پلیمری پلی آمید ۶/۶

آکریلونیتریل – بوتادین – استایرن

نگارنده

صدیقه رحیمی

استاد راهنما

دکتر علی حق‌طلب

زمستان ۱۳۸۹



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم صدیقه رحیمی پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان بررسی خواص رئولوژیکی پایدین هاس

نانو ذرات سیلیکا در آلیاژ پلیمری پلی آمید ۶/ آکرلونیتریل - بوتادین - استایرن

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر علی حق طلب	استاد	
استاد ناظر	دکتر نادره گلشن ابراهیمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهرداد منطقیان	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احمد موسوی شوشتری	رئیس	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر نادره گلشن ابراهیمی	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی لیزر است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده مهندسی لیزر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر علیرضی صوفی طلب، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب صدیق رحیمی دانشجوی رشته مهندسی لیزر مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: صدیق رحیمی

تاریخ و امضا:

۸۹، ۱۱، ۲۶

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب،، دانشجوی رشته، ورودی سال تحصیلی۱۳۸۷، مقطع، دانشکده، متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»



امضا:

تاریخ:۱۳۸۹

تقدیم به دوستداران دانش

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از تلاش‌های استاد محترم جناب آقای دکتر علی حق طلب استاد راهنمای گرامی به دلیل حمایت و همکاری مؤثر ایشان در به ثمر رسیدن این پایان‌نامه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین از جناب آقای دکتر مهرزاد مرتضایی به دلیل تهیه قسمتی از مواد اولیه و همه کسانی که طی مراحل مختلف به نحوی مرا یاری داده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم.

چکیده

در این پژوهش به بررسی خواص رئولوژیکی نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ و آمیخته‌های پلیمری ABS/PA₆/SiO₂ پرداخته شد و اثر عوامل مختلف نظیر درصد وزنی، اندازه و گروه‌های سطحی نانوذرات بر خواص ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های رئولوژیکی نظیر تغییر دامنه کرنش، تغییر بسامد و آزمایش چرخشی انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش درصد وزنی و کاهش اندازه ذرات در بازه مورد بررسی، موجب کاهش ناحیه نیوتنی و بروز زود هنگام رفتار نازک شدن برش در محدوده نرخ کرنش پایین، مشاهده رفتار شبه جامد در محدوده بسامدهای پایین و کاهش ناحیه ویسکوالاستیک خطی می‌شود. بعلاوه استفاده از نانوذرات اصلاح شده سیلیکا موجب کاهش مدول و ویسکوزیته نانوکامپوزیت‌ها شد. آزمایش‌های ریخت‌شناسی نیز برای بررسی اثر نانوذرات بر ساختار کامپوزیت‌ها انجام گرفت. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که کاهش اندازه و افزایش درصد وزنی نانو ذرات در آمیخته‌های پلیمری منجر به توزیع بهتر فازها در یکدیگر می‌شود و مشاهده شد که نانوذرات آب‌دوست سیلیکا باعث پراکندگی مناسب‌تر فاز PA₆ در زمینه ABS می‌شوند. طیف استراحت نانوکامپوزیت‌های شامل درصدهای پایینی از ذرات ۴۰ نانومتری با استفاده از مدل عمومی ماکسول، توسط یک برنامه بهینه‌سازی غیرخطی بدست آمد و نتایج نشان داد که زمان استراحت زنجیرهای پلیمری در اثر افزایش درصد وزنی نانوذرات افزایش می‌یابد.

کلید واژه: نانوکامپوزیت پلیمری، رئولوژی، آکریلونیتریل- بوتادین- استایرن، پلی آمید ۶، سیلیکا،

مدل عمومی ماکسول

ج	فهرست علائم و نشانه‌ها	۱
د	فهرست جدول‌ها	۱
ه	فهرست شکل‌ها	۱
۱	فصل ۱	۱
۱	مقدمه	۱
۱-۱	۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲	۲-۱- فناوری نانو	۱
۱-۳	۳-۱- کامپوزیت‌ها	۳
۱-۳-۱	۱-۳-۱- تاریخچه کامپوزیت‌ها	۳
۱-۳-۲	۲-۳-۱- تعریف کامپوزیت	۴
۱-۳-۳	۳-۳-۱- اجزاء کامپوزیت‌ها	۴
۱-۴	۴-۱- نانو کامپوزیت‌ها	۵
۱-۴-۱	۱-۴-۱- دسته‌بندی نانو کامپوزیت‌ها	۶
۱-۴-۲	۲-۴-۱- بهبود خواص و کاربردهای نانو کامپوزیت‌ها	۷
۱-۴-۳	۳-۴-۱- مزایا و معایب نانو کامپوزیت‌ها	۷
۱-۴-۴	۴-۴-۱- روش‌های تولید نانو کامپوزیت‌ها	۸
۱-۵	۵-۱- اهداف و فصول پایان نامه	۱۰
۱۱	فصل ۲	۱۱
۱۱-۱	۱-۲- مقدمه	۱۱
۱۱-۲	۲-۲- انواع رئومتر	۱۱
۱۱-۳	۳-۲- توابع رئولوژیکی و توصیف پاسخ مکانیکی سیالات	۱۲
۱۱-۴	۴-۲- سیالات ویسکوالاستیک	۱۳
۱۱-۵	۵-۲- مدل‌های حاکم بر رفتار سیالات مختلف	۱۴
۱۱-۵-۱	۱-۵-۲- مدل‌های نیوتنی تعمیم یافته	۱۵
۱۱-۵-۲	۲-۵-۲- مدل‌های خطی ویسکوالاستیک	۱۶
۱۱-۶	۶-۲- برش نوسانی کم دامنه	۱۹
۱۱-۳	فصل ۳	۲۳
۱۱-۳-۱	۱-۳- مقدمه	۲۳
۱۱-۳-۲	۲-۳- بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در خواص ویسکوالاستیک نانو کامپوزیت‌های پلیمری	۲۴

۳-۳- پژوهش‌های انجام گرفته در بررسی خواص ویسکوالاستیک نانوکامپوزیت‌ها با آمیخته‌های پلیمری	۳۲
فصل ۴.....	۳۸
مواد اولیه و آزمایش‌ها.....	۳۸
۴-۱- مقدمه.....	۳۸
۴-۲- مواد اولیه.....	۳۸
۴-۳- روش تهیه نانوکامپوزیت‌ها.....	۴۰
۴-۴- آزمایش‌ها.....	۴۱
۴-۴-۱- رئومتر.....	۴۱
۴-۴-۲- آزمایش‌های رئولوژیکی.....	۴۲
۴-۴-۳- میکروسکوپ الکترونی.....	۴۳
فصل ۵.....	۴۴
۵-۱- مقدمه.....	۴۴
۵-۲- بررسی خواص رئولوژیکی و ریخت شناسی نانوکامپوزیت‌های اکریلونیتریل-بوتادین-استایرن	۴۴
۵-۲-۱- بررسی اثر درصد وزنی نانوذرات سیلیکا.....	۴۴
۵-۲-۲- بررسی اثر اندازه نانوذرات سیلیکا.....	۵۸
۵-۲-۳- بررسی اثر گروه‌های سطحی نانوذرات سیلیکا.....	۶۶
۵-۲-۴- بررسی نتایج میکروسکوپ الکترونی.....	۷۰
۵-۲-۵- محاسبه مدول و زمان استراحت نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO ₂ با استفاده از مدل عمومی ماکسول.....	۷۳
بررسی خواص رئولوژیکی و ریخت شناسی نانوکامپوزیت‌های سه جزئی ABS/PA ₆ /SiO ₂	۷۶
۵-۲-۶- بررسی اثر درصد وزنی نانو ذرات سیلیکا.....	۷۶
۵-۲-۷- بررسی اثر اندازه نانوذرات سیلیکا.....	۸۳
۵-۲-۸- بررسی اثر گروه‌های سطحی نانوذرات سیلیکا.....	۸۷
۵-۲-۹- بررسی نتایج میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت‌های ABS/PA ₆ /SiO ₂	۹۰
۵-۲-۱۰- محاسبه انرژی بین سطحی و پیش‌بینی توزیع نانوذرات سیلیکا در آمیخته ABS/PA ₆ /SiO ₂	۹۴
فصل ۶.....	۹۷
نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....	۹۷
۶-۱- نتیجه‌گیری.....	۹۷
۶-۲- پیشنهادها.....	۹۸
مراجع.....	۹۹
واژه‌نامه.....	۱۰۳

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
کرنش	γ
نرخ کرنش	$\dot{\gamma}$
کشش سطحی	σ
گرانروی	η
تنش برشی	τ
بسامد	ω
ضریب تنش نرمال	ψ
زمان استراحت	λ
مدول استراحت	G_i
انتقال فاز	δ
ضریب ترشوندگی	ω_a
مدول ذخیره‌ای	G'
مدول اتلافی	G''

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۵ تنش تسلیم در نانوکامپوزیت‌های شامل ۱۶ درصد وزنی از ذراتی با اندازه متفاوت.....	۶۵
جدول ۲-۵ پارامتر مدول و زمان استراحت نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO ₂ شامل ذرات ۴۰ نانومتری، با استفاده از مدل عمومی ماکسول.....	۷۵
جدول ۳-۵ متوسط خطای مدول ذخیره‌ای و اتلافی بدست آمده از معادله عمومی ماکسول نسبت به داده‌های آزمایشگاهی.....	۷۶
جدول ۴-۵ مقادیر کشش سطحی برای مواد مختلف.....	۹۵
جدول ۵-۵ مقادیر کشش بین سطحی بین فازهای مختلف.....	۹۶

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۲ انواع مختلف رئومتر.....
۱۴	شکل ۲-۲ کرنش یک ماده ویسکوالاستیک، در اثر اعمال یک تنش ثابت در فاصله زمانی (t_2-t_1)
۱۷	شکل ۳-۲ صورت شماتیک اساس مدل ماکسول.....
۱۹	شکل ۴-۲ حرکت نوسانی کم دامنه مربوط به زمانی که فاصله بین دو صفحه کم و سیال بسیار ویسکوز باشد.....
۲۲	شکل ۵-۲ تغییر شکل اعمال شده بر نمونه را در یک آزمایش نوسانی تغییر بسامد.....
۲۲	شکل ۶-۲ نیز تغییر شکل وارد بر نمونه در یک آزمایش تغییر دامنه کرنش یا تنش.....
۲۶	شکل ۱-۳ نمودار مدول ذخیره‌ای و اتلافی کامپوزیت‌های PVC/SiO_2 شامل ذراتی با گروه‌های سطحی مختلف بر حسب دما.....
۲۹	شکل ۲-۳ انواع مختلف برهمکنش‌های پلیمر-نانوذره که موجب ایجاد شبکه‌های گره‌دار در نانوکامپوزیت می‌شود.....
۳۰	شکل ۳-۳ نحوه پراکنده شدن (a) ذرات اصلاح نشده و (b) ذرات اصلاح شده سیلیکا در PDMS.....
۳۱	شکل ۴-۳ مدول ذخیره‌ای و اتلافی نانوکامپوزیت‌های حاوی نانوذرات سیلیکای اصلاح شده (S3/PDMS) و نشده (A380/PDMS).....
۳۴	شکل ۵-۳ خوشه‌های تشکیل شده در آمیخته پلیمری A/B در اثر افزودن ذرات جامد.....
۴۵	شکل ۱-۵ مدول ذخیره‌ای بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO_2 در درصد‌های مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در بسامد ثابت $1s^{-1}$ و دمای $200^{\circ}C$
۴۷	شکل ۲-۵ مدول اتلافی بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO_2 در درصد‌های مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در بسامد ثابت ۱- $1s$ و دمای $200^{\circ}C$
۴۸	شکل ۳-۵ نمایش (a) تخریب کلوخه‌ها و جدا شدن زنجیرهای لاستیک از سطح ذرات سیلیکا (b) کاهش نقاط اتصال زنجیرهای پلیمری به کلوخه‌ها در اثر اعمال کرنش.....
۴۹	شکل ۴-۵ ضریب میرایی بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO_2 در درصد‌های مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در بسامد ثابت $1s^{-1}$ و دمای $200^{\circ}C$
۵۰	شکل ۵-۵ مدول ذخیره‌ای بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO_2 در درصد‌های مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای $200^{\circ}C$

شکل ۵-۶ مدول اتلافی بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲، ب (۱۴، ج (۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۵۱

شکل ۵-۷ الف) مدول اتلافی و ذخیره‌ای بر حسب بسامد (ب) محل تقاطع مدول اتلافی و ذخیره‌ای بر حسب درصد وزنی نانوذرات برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی نانوذرات ۴۰ نانومتری. ۵۲

شکل ۵-۸ مدول ذخیره‌ای بر حسب محتوی نانوذرات برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی نانوذراتی با اندازه مختلف در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد، بسامد 0.5 s^{-1} و دمای ۲۰۰°C ۵۳

شکل ۵-۹ گرانبوی مختلط بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲، ب (۱۴، ج (۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۵۴

شکل ۵-۱۰ گرانبوی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲، ب (۱۴، ج (۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۵۵

شکل ۵-۱۱ تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط الف (۱۲، ب (۱۴، ج (۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۵۷

شکل ۵-۱۲ برون‌یابی نمودار تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط ۱۲ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۵۸

شکل ۵-۱۳ مدول ذخیره‌ای بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در مقادیر الف (۲، ب (۴، ج (۸ و د) ۱۶ درصد وزنی و در دمای ۲۰۰°C ۵۹

شکل ۵-۱۴ مدول ذخیره‌ای نسبی نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در برابر تغییر اندازه نانوذرات در دو مقدار کرنش ۰/۰۰۱ و ۱۰ در دمای ۲۰۰°C ۶۰

شکل ۵-۱۵ مدول اتلافی بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در مقادیر الف (۲، ب (۴، ج (۸ و د) ۱۶ درصد وزنی و در دمای ۲۰۰°C ۶۱

شکل ۵-۱۶ مدول ذخیره‌ای بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در مقادیر الف (۲، ب (۴، ج (۸ و د) ۱۶ درصد وزنی و در دمای ۲۰۰°C ۶۲

شکل ۵-۱۷ مدول اتلافی بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در مقادیر الف (۲، ب (۴، ج (۸ و د) ۱۶ درصد وزنی و در دمای ۲۰۰°C ۶۳

شکل ۵-۱۸ گرانبوی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در مقادیر الف (۲، ب (۴، ج (۸ و د) ۱۶ درصد وزنی نانوذرات و در دمای ۲۰۰°C ۶۴

شکل ۵-۱۹ برونمایی نمودار تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با قطر متوسط ۱۲ نانومتر در دامنه کرنش ثابت ۱ درصد و دمای ۲۰۰°C ۶۵

شکل ۵-۲۰ مدول ذخیره‌ای و اتلافی بر حسب کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی مقادیر مختلف از ذرات آبدوست و آب‌گریز (T) ۱۴ نانومتری در دمای ۲۰۰°C ۶۷

شکل ۵-۲۱ مدول ذخیره‌ای و اتلافی بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی مقادیر مختلف از ذرات آبدوست و آب‌گریز (T) ۱۴ نانومتری در دمای ۲۰۰°C ۶۸

شکل ۵-۲۲ گرانیوی و تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی مقادیر مختلف از ذرات آبدوست و آب‌گریز (T) ۱۴ نانومتری در دمای ۲۰۰°C ۶۹

شکل ۵-۲۳ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی ۲ و ۴ درصد وزنی از ذرات سیلیکا با اندازه متوسط ۲۰ و ۱۴ نانومتر ۷۰

شکل ۵-۲۴ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی الف) ۸ درصد وزنی از ذرات (۴۰ نانومتری، ب) ۸ درصد وزنی و ج) ۱۶ درصد وزنی از ذرات ۲۰ نانومتری ۷۱

شکل ۵-۲۵ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت‌های ABS/SiO₂ حاوی الف) ۲ ، ب) ۴ ، پ) ۸ درصد وزنی از ذرات ۱۴ نانومتری. ستون سمت راست شامل نانوذرات آب‌گریز و ستون سمت چپ شامل نانوذرات آبدوست ۷۲

شکل ۵-۲۶ مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایش تغییر بسامد و نتایج مدل عمومی ماکسول برای نانوکامپوزیت‌های ABS/SiO₂ شامل الف) ۰ ، ب) ۲ و ج) ۴ درصد از نانو ذرات ۴۰ نانومتری سیلیکا ۷۴

شکل ۵-۲۷ مدول ذخیره‌ای بر حسب دامنه کرنش برای کامپوزیت‌های ABS/PA₆(70/30)/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف) ۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای ۲۳۰°C ۷۷

شکل ۵-۲۸ مدول اتلافی بر حسب دامنه کرنش برای کامپوزیت‌های ABS/PA₆(70/30)/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف) ۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای ۲۳۰°C ۷۸

شکل ۵-۲۹ مدول ذخیره‌ای بر حسب بسامد برای کامپوزیت‌های ABS/PA₆(70/30)/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف) ۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای ۲۳۰°C ۷۹

شکل ۵-۳۰ مدول اتلافی بر حسب بسامد برای کامپوزیت‌های ABS/PA₆(70/30)/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف) ۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای ۲۳۰°C ۸۰

شکل ۵-۳۱ تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای کامپوزیت‌های ABS/PA₆(70/30)/SiO₂ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف) ۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای ۲۳۰°C ۸۱

شکل ۵-۳۲ گرانروی بر حسب نرخ کرنش برای کامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ در درصدهای مختلف وزنی از ذراتی با اندازه‌های متوسط الف (۱۲ ، ب) ۱۴ ، ج) ۲۰ و د) ۴۰ نانومتر در دمای $230^{\circ}C$ ۸۲

شکل ۵-۳۳ مدول ذخیره‌ای و اتلافی بر حسب دامنه کرنش برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در دمای $230^{\circ}C$ ، الف) ۴ و ب) ۱۶ درصد وزنی ۸۴

شکل ۵-۳۴ مدول ذخیره‌ای و اتلافی بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در دمای $230^{\circ}C$ ، الف) ۴ و ب) ۱۶ درصد وزنی ۸۵

شکل ۵-۳۵ تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در دمای $230^{\circ}C$ ، الف) ۴ و ب) ۱۶ درصد وزنی ۸۶

شکل ۵-۳۶ گرانروی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ذرات با اندازه‌های متفاوت در دمای $230^{\circ}C$ ، الف) ۴ و ب) ۱۶ درصد وزنی ۸۷

شکل ۵-۳۷ مدول ذخیره‌ای و اتلافی بر حسب بسامد برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی مقادیر مختلف از نانوذرات آبدوست و آب‌گریز (T) ۱۴ نانومتری در دمای $230^{\circ}C$ ۸۸

شکل ۵-۳۸ گرانروی و تنش برشی بر حسب نرخ کرنش برای نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی مقادیر مختلف از ذرات آبدوست و آب‌گریز (T) ۱۴ نانومتری در دمای $230^{\circ}C$ ۸۹

شکل ۵-۳۹ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی الف) ۰ ، ب) ۲ ، ج) ۴ و د) ۸ درصد وزنی از ذرات سیلیکای آبدوست با اندازه متوسط ۱۴ نانومتر ۹۰

شکل ۵-۴۰ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی الف) ۲ و ب) ۸ درصد وزنی از ذرات سیلیکای آبدوست با اندازه متوسط ۱۴ نانومتر ۹۱

شکل ۵-۴۱ تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ۴ درصد وزنی از ذرات سیلیکای آبدوست با اندازه متوسط ۴۰ نانومتر ۹۲

شکل ۵-۴۲ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی ۴ درصد وزنی از نانوذرات سیلیکای آبدوست با اندازه متوسط الف) ۴۰ ، ب) ۲۰ ، ج) ۱۴ و د) ۱۲ نانومتر ۹۳

شکل ۵-۴۳ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت‌های $ABS/PA_6(70/30)/SiO_2$ حاوی الف) ۴ و ب) ۸ درصد وزنی از ذرات ۱۴ نانومتری. تصاویر سمت راست شامل نانوذرات آب‌گریز و تصاویر سمت چپ شامل نانوذرات آبدوست ۹۴

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

مواد شیمیایی بخصوص مواد پلاستیکی و کامپوزیت‌ها و توسعه آن‌ها از پایه‌های دنیای صنعت و فناوری پیشرفته می‌باشند. نظر به این که عصر جدید با شناخت یک ماده مشخص بوجود نمی‌آید بلکه با بهینه کردن و مشارکت دادن ترکیبی از چند ماده ایجاد می‌شود، دانشمندان با توجه به نیاز بشر به موادی با خواص گوناگون، به تولید نانوکامپوزیت‌ها پرداخته‌اند. نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری، فلزی و سرامیکی بخش ویژه‌ای از بازار را به دلیل خواص مطلوب و کاربردهای متنوع به خصوص در زمینه بسته بندی، خودروسازی و هوا فضا به خود اختصاص داده‌اند. مثلاً از آن‌جا که نیاز به سوخت در عرصه‌های مختلف رو به افزایش است، تقاضا برای استفاده از مواد جدید سبک وزن مانند پلیمرها گسترش یافته است. اما از طرفی با توجه به پایین تر بودن میزان استحکام پلیمرها در مقایسه با فلزات، تقویت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. تقویت پلیمرها با مواد رایج سبب لطمه خوردن به دو ویژگی اصلی پلیمرها یعنی سبکی و سهولت فرآیند پذیری می‌شود. از این رو در تحقیقات اخیر از نانوذرات به عنوان تقویت کننده در پلیمرها استفاده می‌شود. از جنبه‌های مختلف، ارزش نانوکامپوزیت‌های پلیمری فقط به خاطر بهبود خواص مکانیکی نمی‌باشد. در کامپوزیت‌ها کارایی مورد نیاز، خواص مکانیکی، هزینه و قابلیت فرآوری از موضوعات بسیار مهم می‌باشند [۱].

۱-۲- فناوری نانو

نخستین جرقه فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فینمن^۱ فیزیکدان آمریکایی زده شد (البته

^۱ Richard Feynman

در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود). وی که بعدها جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد در آن سال در یک مهمانی شام که توسط انجمن فیزیک آمریکا برگزار شده بود، سخنرانی کرد و ایده فناوری نانو را برای عموم مردم آشکار ساخت. عنوان سخنرانی وی «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» بود. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دست کاری کنیم.

واژه فناوری نانو نخستین بار توسط نوریوتانیگوچی^۱، استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که دقت ابعادی آنها در حد نانومتر است، به کار برد. در سال ۱۹۸۶ این واژه توسط کی اریک درکسلر^۲ در کتابی تحت عنوان «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکتری خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آن را در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها؛ ماشین‌های مولکولی چگونگی ساخت و محاسبات آنها» توسعه داد. در حقیقت کاربرد فناوری نانو از کاربرد عناصر پایه نشأت می‌گیرد. هر کدام از این عناصر پایه، ویژگی‌های خاصی دارند که استفاده از آنها در زمینه‌های مختلف، موجب ایجاد خواص جالبی می‌شود؛ مثلاً از جمله کاربردهای نانوذرات می‌توان به دارورسانی هدفمند و ساده، بانداژهای بی‌نیاز از تجدید، شناسایی زود هنگام و بی‌ضرر سلول‌های سرطانی و تجزیه آلاینده‌های محیط‌زیست اشاره کرد.

در طول تاریخ بشر از زمان یونان باستان، مردم و به‌خصوص دانشمندان آن دوره بر این باور بودند که مواد را می‌توان آنقدر به اجزای کوچک تقسیم کرد تا به ذراتی رسید که خردناشدنی هستند و این ذرات بنیان مواد را تشکیل می‌دهند، شاید بتوان دموکریتوس^۳ فیلسوف یونانی را پدر فناوری و علوم

¹ Norio Taniguchi

² K. Eric Drexler

³ Democritus

نانو دانست؛ چرا که در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح او نخستین کسی بود که واژه اتم را که به معنی تقسیم‌نشدنی در زبان یونانی است برای توصیف ذرات سازنده مواد به کار برد.

نقطه شروع و توسعه اولیه فناوری نانو به‌طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان گفت که نخستین فناوران شیشه‌گران قرون وسطی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی برای شکل‌دادن شیشه‌هایشان استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران نمی‌دانستند که چرا با اضافه کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر می‌کند. این قبیل شیشه‌ها هم‌اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. در واقع یافتن مثال‌هایی برای استفاده از نانو ذرات فلزی چندان سخت نیست؛ رنگدانه‌های تزئینی جام مشهور لیکرگوس در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه‌ای از آنهاست [۲و۳].

۱-۳- کامپوزیت‌ها

۱-۳-۱- تاریخچه کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌ها یا مواد مرکب، از جمله مواد مهندسی جدیدی هستند که در توسعه و کاربرد آنها متخصصین فراوانی از رشته‌های مختلف مانند متالورژی، سرامیک، پلیمر و غیره سهم به‌سزایی دارند. استفاده از این مواد ایده جدیدی نیست، به عنوان مثال چینی‌ها و مصریان قدیم از جمله تمدن‌های باستانی بوده‌اند که برای اولین بار از مخلوط کاه و گل و شن برای بناسازی استفاده کرده‌اند تا این‌که استحکام گل افزایش پیدا کند. مصریان با چسباندن لایه‌های نازک چوب و پارچه به یکدیگر و با استفاده از طناب، قایق‌های خود را در برابر متورم شدن در آب تقویت می‌کرده‌اند. استفاده از کامپوزیت‌های مدرن، در حقیقت از اوائل سال ۱۹۴۰ شروع شد که برای اولین بار از الیاف شیشه جهت تقویت پلاستیک‌های مصرفی در ساخت پوشش پلاستیکی آنتن رادار هواپیما استفاده شد. در پی آن اولین کامپوزیت فایبرگلاس- پلاستیک در سال ۱۹۴۲ ساخته شد و طی جنگ جهانی دوم و بلافاصله پس از کاربرد پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف در هواپیماسازی، کامپوزیت‌ها موارد استفاده بیشتری یافتند و از سال ۱۹۵۶ صنایع فضایی نیز استفاده وسیع از آنها را آغاز کردند [۱].

۱-۳-۲- تعریف کامپوزیت

واژه کامپوزیت^۱ از کلمه انگلیسی to compose به معانی ترکیب کردن، ساختن و مخلوط کردن مشتق شده است. کامپوزیت از ترکیب و اختلاط چند ماده حاصل می‌شود. در این جا منظور ترکیب و اختلاط شیمیایی نیست، بلکه منظور اختلاط فیزیکی است به طوری که اجزای تشکیل دهنده، ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را کاملاً حفظ کنند. این مواد متشکل از دو یا چند جزء (یا فاز) هستند که از نظر شیمیایی یا فیزیکی متفاوتند و به صورت منظم یا پراکنده در کنار هم قرار گرفته‌اند [۱].

۱-۳-۳- اجزاء کامپوزیت‌ها

۱-۳-۳-۱- زمینه‌ها^۲

با توجه به اینکه کامپوزیت‌ها از ترکیب دو یا چند ماده در همدیگر ساخته می‌شوند، می‌توان گفت که یکی از این فازها باید در برگیرنده فازهای دیگر باشد، که به چنین فازی که درصد حجمی و وزنی آن از دیگر فازها بیشتر بوده و بصورت پیوسته می‌باشد زمینه یا ماتریس گفته می‌شود. این زمینه‌ها در مواد مرکب صرف نظر از اینکه توسط الیاف تقویت می‌شوند، خود نیز نقش انتقال تنش‌های وارد به فاز الیاف، محافظت از الیاف در برابر عوامل مکانیکی و جوی همچون رطوبت را نیز به عهده دارند. فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها به ویژه پلاستیک‌ها از جمله پرمصرف‌ترین مصالح موجودند و به این دلیل این مواد در بسیاری از موارد بعنوان کامپوزیت استفاده می‌شوند. با توجه به خواصی که ما از کامپوزیت‌ها انتظار خواهیم داشت، زمینه‌های مختلفی در آن‌ها به کار می‌روند. از جمله زمینه‌ها عبارتند از: زمینه-های فلزی (مقاومت به ضربه بالا)، زمینه‌های سرامیکی (مقاومت حرارتی بالا) و زمینه‌های پلیمری (مقاومت شیمیایی بالا).

۱-۳-۳-۲- تقویت کننده‌ها

علاوه بر زمینه‌ها گروهی از تقویت کننده‌ها در یک کامپوزیت نیاز است که انواع آن‌ها در ذیل آورده شده است.

¹ Composite

² Matrix