

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی پلیمر

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر اصلاح کننده خاک رس بر مورفولوژی، سینتیک پخت و خواص ویسکوالاستیک خطی و غیر خطی نانوکامپوزیت های لاستیک بیوتیل و شبیه سازی مکانیکی بلادرهای پخت تایر

آرزو سپهری

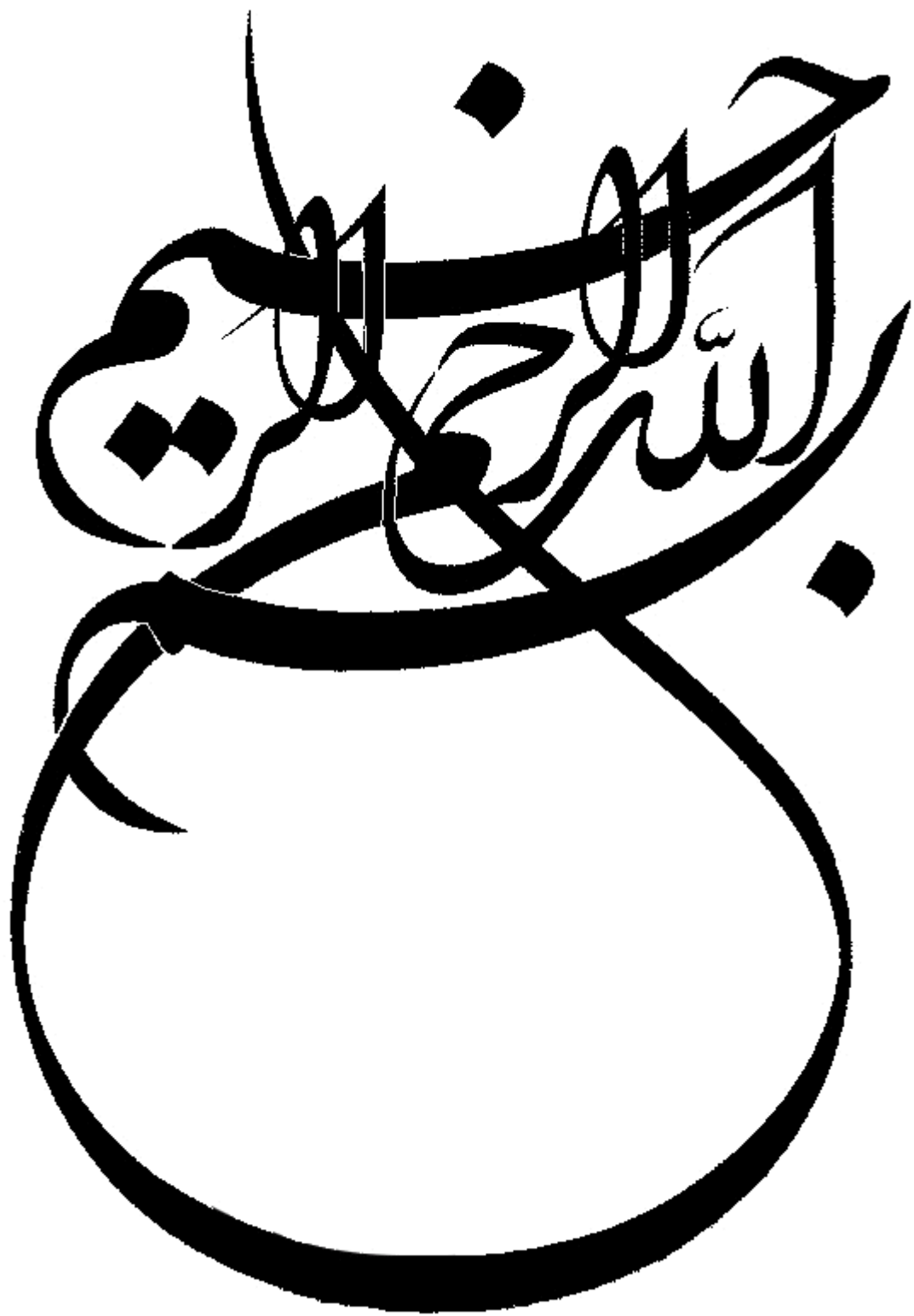
استاد راهنما:

دکتر مهدی رزاقی کاشانی

استاد مشاور:

دکتر میرحمیدرضا قریشی

زمستان ۸۸



چکیده

نانوذرات خاک رس به علت دارا بودن ویژگی‌های خاص از جمله نسبت منظر بالا و امکان اصلاح سطح آنها، در سال‌های اخیر به منظور ساخت نانوکامپوزیت‌های لاستیکی، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این در حالیست که کیفیت پراکنش این پرکننده‌ها در بستر لاستیکی و چگونگی ساختار نهایی نانوکامپوزیت‌ها می‌تواند بر روی بسیاری از خواص از جمله سینتیک پخت و همچنین خواص ویسکوالاستیک غیر خطی بسیار موثر باشد. به منظور تهیه نانوکامپوزیت‌های لاستیک بیوتیل با ساختارهای مختلف، نمونه‌های حاوی مقادیر مختلفی از سه نوع مونتموریلونیت اصلاح شده Cloisite 20A، Cloisite 25A و Cloisite 30B برای پوشش طیفی از میزان آب-دوستی - آب‌گریزی متفاوت به روش اختلاط مذاب آماده شد. برای بررسی کیفیت پراکنش و توزیع نانوصفحات خاک در بستر لاستیکی به ترتیب از آزمون‌های تفرق اشعه ایکس و میکروسکوپی الکترون پویشی استفاده شد. ساختار در میان لایه‌ای با بیشترین و کمترین کسر لایه‌های باز شده خاک رس به ترتیب در مونتموریلونیت‌های اصلاح شده Cloisite 20A و Cloisite 30B مشاهده شد. خواص ویسکوالاستیک مطالعه شده با آزمون دینامیکی مکانیکی حرارتی با روبش دمایی نیز بیشترین میزان سازگاری پلیمر - خاک رس را در حضور اصلاح‌کننده مونتموریلونیت Cloisite 20A نشان داد. کاهش میزان عبور پذیری گاز در نمونه‌های این مونتموریلونیت، پراکنش بهتر آن را در نانوکامپوزیت‌ها تایید کرد. این در حالیست که کلیه نتایج آزمون‌های فوق کیفیت پراکنش مونتموریلونیت Cloisite 25A را کمی بهتر از پرکننده نوع Cloisite 30B در بستر ماتریس لاستیکی نشان دادند. بررسی خواص پخت توسط دستگاه رئومتر صفحه‌ای نوسانی نشان از افزایش زمان پخت بهینه و زمان برشته‌گی در نمونه‌های Cloisite 20A داشته و افزایش در مقدار مونتموریلونیت اصلاح شده، باعث افزایش در هر دو زمان شد. در حالیکه افزایش در مقدار مونتموریلونیت اصلاح شده Cloisite 30B سرعت پخت را افزایش و در نتیجه زمان پخت بهینه و زمان برشته‌گی را کاهش داد. مطالعه مدل‌های موجود به منظور پیش‌بینی رفتار پخت آمیزه‌ها، حکایت از انطباق بهتر مدل قریشی با ضریب انطباق حدود ۹۹٪ نسبت به مدل کمال، با نتایج آزمون رئومتر صفحه‌ای نوسانی نمونه‌ها داشت. نتایج آزمون دینامیکی مکانیکی در روبش کرنش، نشان از تشکیل شبکه پرکننده در درصد‌های کمتر از مونتموریلونیت Cloisite 20A و افت شدیدتر مدول ذخیره با افزایش کرنش در این نمونه‌ها در مقایسه با آمیزه‌های حاوی دو مونتموریلونیت دیگر به ویژه Cloisite 30B دارد. همچنین پدیده مولینز، تغییر فرم دائم در چرخه اول و هیستریزیس با شدت بیشتری در نمونه‌های حاوی نانوخاک رس Cloisite 20A در مقایسه با دیگر آمیزه‌ها دیده شد. با افزایش مقدار پرکننده این پدیده‌ها با شدت بیشتری در نانوکامپوزیت‌های مذکور دیده شد.

کلمات کلیدی: لاستیک بیوتیل، مونتموریلونیت اصلاح شده، سینتیک پخت، رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی، اثر مولینز

فهرست مطالب

۱	فصل اول مقدمه
۵	فصل دوم نظری
۶	۱-۲ لاستیک بیوتیل
۷	۲-۲ نانوکامپوزیت‌های پلیمری
۸	۳-۲ نانوپرکننده‌های خاک رس
۹	۱-۳-۲ خاک رس نوع ۱: ۲
۱۰	۲-۳-۲ خاک رس نوع ۱: ۱
۱۰	۳-۳-۲ اسید سیلیسیک‌های لایه‌ای
۱۰	۴-۲ پرکننده مونتموریلونیت
۱۱	۵-۲ اصلاح سطح مونتموریلونیت
۱۲	۶-۲ بررسی ترمودینامیکی برهم‌کنش زنجیره‌های پلیمری و مونتموریلونیت
۱۸	۷-۲ ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمر-خاک رس
۱۹	۸-۲ انواع ساختارهای نانوکامپوزیت‌های پلیمر-خاک رس
۲۲	۹-۲ روش‌های بررسی ساختار نانوکامپوزیت‌های حاوی لایه‌های سیلیکاتی
۲۴	۱۰-۲ فرآیند پخت در الاستومرها
۲۴	

۲-۱۰-۱ پخت گوگردی

۲۶

۲-۱۱ اثر خاک رس مونتموریلونیت اصلاح شده بر سینتیک پخت

۳۰

۲-۱۲ لزوم بررسی سینتیک پخت در آمیزه‌های لاستیکی

۳۰

۲-۱۳ مدل‌های پخت

۳۴

۲-۱۴ بررسی مقالات ارائه شده در زمینه بررسی سینتیک پخت

۳۹

۲-۱۵ اثر مونتموریلونیت بر خواص عبورپذیری

۴۲

۲-۱۶ اثر حضور پرکننده‌ها در خواص ویسکوالاستیک غیر خطی

۴۴

۲-۱۶-۱ پدیده پین و تاثیر ریز ساختار پرکننده بر آن

۵۰

۲-۱۶-۲ اثر مولینز

۵۸

۲-۱۷ بیان رفتار ماده به منظور شبیه‌سازی مکانیکی بلادرهای پخت تایر

۵۸

۲-۱۷-۱ رفتار الاستیک غیرخطی

۵۹

۲-۱۷-۲ رفتار ویسکوالاستیک

۶۱

۲-۱۸ نقاط ضعف مقالات

۶۳

فصل سوم تجربی

۶۴

۳-۱ مقدمه

۶۴

۳-۲ مواد

۶۷

۶۸	۳-۳ تجهیزات و دستگاه‌ها
۶۹	۴-۳ روش ساخت آمیزه‌ها
۶۹	۵-۳ آزمون‌های انجام شده
۷۰	۱-۵-۳ آزمون رئومتری
۷۱	۲-۵-۳ پخت و شکل‌دهی توسط دستگاه پرس گرم
۷۱	۳-۵-۳ بررسی توزیع و پراکنش نانوخاک رس‌ها در بستر لاستیکی
۷۲	۱-۳-۵-۳ آزمون پراش پرتوی ایکس
۷۳	۲-۳-۵-۳ آزمون میکروسکوپ الکترون پویشی
۷۳	۴-۵-۳ تعیین خواص دینامیکی - مکانیکی حرارتی (DMTA) نمونه‌های پخت شده
۷۴	۱-۴-۵-۳ روبش دما
۷۴	۲-۴-۵-۳ روبش کرنش
۷۴	۳-۴-۵-۳ روبش فرکانس
۷۴	۵-۵-۳ آزمون تورم
۷۵	۶-۵-۳ دستگاه کشش یک سویه
۷۷	۷-۵-۳ دستگاه اندازه‌گیری میزان عبوردهی گازها
۷۹	۶-۳ شبیه سازی مکانیکی بلادرهای پخت تاپر

فصل چهارم نتایج و بحث

۸۰

۱-۴ مقدمه

۸۱

۲-۴ اثر اصلاح کننده بر فاصله بین صفحه‌ای و توزیع نانو ذرات خاک رس

۸۲

۱-۲-۴ نتایج بررسی نفوذ بین صفحه‌ای زنجیره‌های پلیمر با استفاده از آزمون پراش پرتوی ایکس

۸۷

۲-۲-۴ نتایج بررسی توزیع خاک رس در بستر پلیمری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

۸۹

۳-۴ اثر نوع اصلاح کننده بر خواص ویسکوالاستیک

۹۲

۴-۴ اثر نوع اصلاح کننده بر خواص عبور پذیری

۹۳

۵-۴ اثر انواع اصلاح کننده بر مشخصات پخت

۱۰۱

۶-۴ بررسی سینتیک پخت

۱۱۲

۷-۴ اثر اصلاح کننده مونتموریلونیت بر روی خواص ویسکوالاستیک غیر خطی (اثر پین)

۱۱۸

۸-۴ اثر انواع اصلاح کننده مونتموریلونیت بر پدیده مولینز و تغییر فرم دائم

۱۲۲

۹-۴ اثر انواع اصلاح کننده مونتموریلونیت بر هیستریزیس

۱۲۸

۱۰-۴ اثر انواع اصلاح کننده مونتموریلونیت بر آزمون تورم

۱۳۰

۱۱-۴ نتایج شبیه سازی مکانیکی بلادرهای پخت تایر در نرم افزار ABAQUS

۱۳۸

جمع بندی

۱۴۱

نتیجه گیری نهایی

۱۴۳

پیشنهادها برای تحقیقات آتی

۱۴۵

مراجع

فهرست جداول

۷

جدول ۱-۲ برخی از خواص مکانیکی لاستیک بیوتیل

۹

جدول ۲-۲ انواع خاک رس مورد استفاده در نانوکامپوزیت‌ها

۱۱

جدول ۳-۲ سیلیکات‌های لایه‌ای از نوع میکا

۱۶

جدول ۴-۲ مقادیر ثوابت هاماکر برای نانوذرات خاک رس و پلیمرها

۳۴

جدول ۵-۲ مقدار متوسط ثوابت مدل ایسایف در دماهای مختلف برای اتیلن پروپیلن رابر

۳۴

جدول ۶-۲ مقدار متوسط ثوابت مدل ایسایف در دماهای مختلف برای آکریلونیتریل بوتادین رابر

۳۵

جدول ۷-۲ مقادیر متوسط ثوابت مدل کمال و سرور در دماهای مختلف برای اتیلن پروپیلن رابر

۳۶

جدول ۸-۲ مقادیر متوسط ثوابت مدل کمال و سرور در دماهای مختلف برای آکریلونیتریل رابر

۳۸

جدول ۹-۲ پارامترهای سینتیکی و انرژی اکتیواسیون آکریلونیتریل رابر و کامپوزیت‌های آن با ۱۵ قسمت وزنی از پرکننده‌ها

۶۰

جدول ۱۰-۲ پاسخ مدل ماکسول تعمیم یافته به تست های خزش و اسودگی از تنش تعدادی از پارامتر های دینامیکی

۶۴

جدول ۱-۳ لیست مواد استفاده شده در این تحقیق، مورد استفاده و محل تهیه آنها

۶۵

جدول ۲-۳ مشخصات عمومی مونتموریلونیت‌های اصلاح شده

۶۶

جدول ۳-۳ ترکیبات آمیزه‌های لاستیکی و علامت اختصاری آنها

۷۰

جدول ۳-۴ اطلاعات تکرارپذیری دستگاه رئومتر صفحه‌ای نوسانی

۸۴

جدول ۴-۱ زوایای بیشینه‌ها در نمودار XRD و نسبت آنها مربوط به Cloisite 20A و نانوکامپوزیت‌هایش

۸۶

جدول ۴-۲ زوایای بیشینه‌ها در نمودار XRD و نسبت آنها مربوط به Cloisite 25A و نانوکامپوزیت‌هایش

۸۶

جدول ۴-۳ زوایای بیشینه‌ها در نمودار XRD و نسبت آنها مربوط به Cloisite 30B و نانوکامپوزیت‌هایش

۹۱

جدول ۴-۴ نتایج بدست آمده از آزمون دینامیکی مکانیکی حرارتی

۹۵

جدول ۴-۵ اطلاعات پخت در دمای 160°C بدست آمده از دستگاه رئومتر نوسانی برای نانوکامپوزیت‌های Cloisite 20A

۹۷

جدول ۴-۶ اطلاعات پخت در دمای 160°C بدست آمده از دستگاه رئومتر نوسانی برای نانوکامپوزیت‌های Cloisite 25A

۹۸

جدول ۴-۷ اطلاعات پخت در دمای 160°C بدست آمده از دستگاه رئومتر نوسانی برای نانوکامپوزیت‌های Cloisite 30B

۱۰۴

جدول ۴-۸ ثوابت مدل کمال برای نانوکامپوزیت‌ها با ۴ و ۱۲ قسمت وزنی از پرکننده‌ها

۱۰۴

جدول ۴-۹ ثوابت مدل قریشی برای نانوکامپوزیت‌ها با ۴ و ۱۲ قسمت وزنی از پرکننده‌ها

۱۰۸

جدول ۴-۱۰ مقدار انرژی اکتیواسیون بدست آمده از دو مدل کمال و قریشی برای آمیزه‌های حاوی مونتموریلونیت

۱۲۰

جدول ۴-۱۱ مقادیر تغییر فرم دائم بعد از چرخه اول برای نانوکامپوزیت‌های حاوی مونتموریلونیت

۱۲۷

جدول ۴-۱۲ مقادیر تغییر فرم دائم در نانوکامپوزیت‌های لاستیکی در پنج چرخه متوالی

۱۲۹

جدول ۴-۱۳ درصد تورم تمامی نمونه‌های ساخته شده از لاستیک بیوتیل و مونتموریلونیت اصلاح شده

۱۳۰

جدول ۴-۱۴ پارامترهای رابطه مونی ریولین برای نانوکامپوزیت‌ها

۱۳۱

جدول ۴-۱۵ ثوابت سری پرونی با سه جمله برای نانوکامپوزیت‌ها

فهرست شکل‌ها

۶

شکل ۲-۱ شمایی از زنجیره لاستیک بیوتیل بیوتیل

۱۰

شکل ۲-۲ ساختار فضایی خاک رس‌های نوع: ۲۱

۱۲

شکل ۲-۳ شکل‌های مختلف قرار گرفتن کاتیون‌های آلکیل آمونیوم در فاصله بین صفحات خاک رس

۱۷

شکل ۲-۴ رسم رابطه کراس برای داده‌های دوده و لاستیک استایرن- بوتادین

۱۸

شکل ۲-۵ نمودار رابطه کراس در مورد لاستیک استایرن بوتادین پرشده با خاک رس کائولین

۱۹

شکل ۲-۶ شمایی از برهم‌کنش پلیمر و مونتموریلونیت اصلاح شده

۲۰

شکل ۲-۷ نمونه ای از ساختارهای کامپوزیت پلیمر- خاک رس

۲۲

شکل ۲-۸ تغییرات انرژی آزاد بر حسب $h - h_0$

۳۹

شکل ۲-۹ مدل پیشنهادی برای عبور زیگ زاگ و مارپیچ گاز در نانوکامپوزیت‌های پلیمری بر پایه خاک رس

۴۱

شکل ۲-۱۰ مقایسه خواص عبور پذیری گازی نمونه‌های OMC، IIR/S- OMC، S-IIRO MC و OMC-MIIR

۴۱

شکل ۲-۱۱ تاثیر مقدار خاک رس بر روی خواص I/S - نمونه‌های IIROMC

۴۲

شکل ۲-۱۲ اثر مقدار پرکننده بر روی خواص عبورپذیری گاز CO_2

۴۳

شکل ۲-۱۳ شکل ایده آل منحنی مدول برشی لاستیک پرشده

۴۶

- شکل ۲-۱۴ (a) مدول ذخیره (b) مدول اتلافی آمیزه‌های لاستیک طبیعی / نانوخاک رس در روبش دمایی
- ۴۷
- شکل ۲-۱۵ نمودار مدول ذخیره (a) و اتلافی (b) آمیزه‌های لاستیک طبیعی / نانوخاک رس در روبش کرنش برشی
- ۴۸
- شکل ۲-۱۶ نمودار مدول ذخیره بر حسب دامنه کرنش برای کامپوزیت‌های حاوی ۲(مربع)، ۳(لوزی)، ۴(ضربدر)، ۵(جمع)، ۷(مثلث) و ۹(مثلث برعکس) درصد وزنی از مونتموریلونیت
- ۴۹
- شکل ۲-۱۷ نمودار فاکتور اتلافی بر حسب دما برای آمیزه‌های کلروبیوتیل حاوی مونتموریلونیت اصلاح شده
- ۵۰
- شکل ۲-۱۸ اثر بین در آمیزه‌های کلروبیوتیل حاوی مونتموریلونیت
- ۵۱
- شکل ۲-۱۹ توضیح فیزیکی پدیده مولینز
- ۵۲
- شکل ۲-۲۰ اثر هیستریزس (a) نانوکامپوزیت‌های با ساختار میکرو (b) نانوکامپوزیت‌های با ساختار نانو
- ۵۳
- شکل ۲-۲۱ اثر نرم‌شدگی ناشی از تنش برای نمونه‌های (a) نمونه خالص پلی‌بوتادین رابر و نمونه‌های حاوی (b) P-MMT(c MMT Q-MMT(d)
- ۵۵
- شکل ۲-۲۲ نمودار تنش-کرنش در ۴ چرخه اول اعمال تنش مربوط به نمونه حاوی ۶۵ قسمت وزنی دوده نشان دهنده اثر مولینز (سرعت اعمال کرنش ۰/۰۱- بر ثانیه)
- ۵۵
- شکل ۲-۲۳ نمودار تنش-کرنش مربوط به نمونه‌های ۱۵ قسمت وزنی دوده بعد از چند بار اعمال تنش‌های چرخه‌ای(سرعت اعمال کرنش ۰/۰۱- بر ثانیه)
- ۵۶
- شکل ۲-۲۴ تنش-کرنش برای نمونه‌های حاوی ۶۵ قسمت وزنی دوده و در سرعت‌های اعمال کرنش متفاوت
- ۵۶
- شکل ۲-۲۵ تنش-کرنش برای نمونه‌های حاوی ۱۵ قسمت وزنی دوده و در سرعت‌های اعمال کرنش متفاوت
- ۵۷
- شکل ۲-۲۶ نمودار تنش-کرنش نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف دوده و با درصد‌های مختلف اتصالات عرضی(سرعت اعمال کرنش ۰/۰۱- بر ثانیه)
- ۵۹
- شکل ۲-۲۷ شمائی از مدل ماکسول تعمیم یافته
- ۶۶
- شکل ۳-۱ نمودار نشان دهنده میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی مونتموریلونیت‌های ساخت شرکت Southern Clay
- ۷۰

شکل ۳-۲ نمایی از رئومتر [ASTM D2084] ODR

۷۲

شکل ۳-۳ پراش پرتو X توسط یک بلور

۷۶

شکل ۳-۴ نمایی از دستگاه اندازه‌گیری عبورپذیری غشا ساخت دانشگاه تربیت مدرس

۷۷

شکل ۳-۵ شمایی از بلادرهای پخت تایلر

۷۷

شکل ۳-۶ نمایی از قطعه ساخته شده به صورت تقارن محوری در نرم افزار

۸۳

شکل ۴-۱ نمودار پراش پرتو ایکس: الف) مونتموریلونیت اصلاح شده Cloisite 20A و نانوکامپوزیت‌هایش ب) مونتموریلونیت اصلاح شده Cloisite 25A و نانوکامپوزیت‌هایش ج) مونتموریلونیت اصلاح شده Cloisite 30B و نانوکامپوزیت‌هایش

۸۸

شکل ۴-۲ نمونه ای از عکس‌های SEM گرفته شده از نانوکامپوزیت‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف

۸۹

شکل ۴-۳ نمونه ای از عکس‌های SEM گرفته شده از نانوکامپوزیت‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف

۹۰

شکل ۴-۴ نمودار فاکتور اتلاف-دما برای آمیزه‌های مختلف حاوی ۴ قسمت وزنی از نانوذرات خاک‌رس و نمونه خالص

۹۳

شکل ۴-۵ اطلاعات عبورپذیری آمیزه‌های حاوی ۴ قسمت وزنی از انواع مونتموریلونیت

۹۴

شکل ۴-۶ نمودار تغییرات گشتاور بر حسب زمان در حین فرآیند پخت نمونه‌های حاوی Cloisite 20A در دمای 160°C

۹۶

شکل ۴-۷ نمودار تغییرات گشتاور بر حسب زمان در حین فرآیند پخت نمونه‌های حاوی Cloisite 25A در دمای 160°C

۹۸

شکل ۴-۸ نمودار تغییرات گشتاور بر حسب زمان در حین فرآیند پخت نمونه‌های حاوی Cloisite 30B در دمای 160°C

۹۹

شکل ۴-۹ نمودار تغییرات زمان بهینه پخت با دما برای کلیه نمونه‌ها

۱۰۲

شکل ۴-۱۰ نمودار درجه پیشرفت واکنش پخت بر حسب زمان برای کامپوزیت‌های نوع 20A در دمای 160°C

۱۰۳

شکل ۴-۱۱ نمودار درجه پیشرفت واکنش پخت بر حسب زمان برای کامپوزیت‌های نوع 25A در دمای 160°C

۱۰۳

شکل ۴-۱۲ نمودار درجه پیشرفت واکنش پخت بر حسب زمان برای کامپوزیت‌های نوع 25A در دمای 160°C

۱۰۶

شکل ۴-۱۳ نمودارهای مدل شده کمال و قریشی برای آمیزه‌های 0Phr، 12-Na+، 4-20A، 12-20A، 4-25A، 12-25A، 4-30B و 12-30B

۱۰۹

شکل ۴-۱۴ نمودار d / dt بر حسب درجه پیشرفت واکنش بدست آمده از مدل کمال برای همه آمیزه‌ها

۱۱۰

شکل ۴-۱۵ نمودار d / dt بر حسب زمان بدست آمده از مدل کمال واکنش برای همه آمیزه‌ها

۱۱۱

شکل ۴-۱۶ نمودار d / dt بر حسب درجه پیشرفت واکنش بدست آمده از مدل قریشی برای همه آمیزه‌ها

۱۱۲

شکل ۴-۱۷ نمودار d / dt بر حسب زمان بدست آمده از مدل قریشی واکنش برای همه آمیزه‌ها

۱۱۳

شکل ۴-۱۸ نتایج آزمون دینامیکی مکانیکی برای آمیزه‌های نوع 20A

۱۱۴

شکل ۴-۱۹ نتایج آزمون دینامیکی مکانیکی برای آمیزه‌های نوع 25A

۱۱۵

شکل ۴-۲۰ نتایج آزمون دینامیکی مکانیکی برای آمیزه‌های نوع 30B

۱۱۶

شکل ۴-۲۱ نتایج آزمون دینامیکی مکانیکی برای آمیزه‌های حاوی ۱۲ قسمت وزنی از انواع مونتموریلونیت

۱۱۷

- شکل ۴-۲۲ نمودار مدول اتلافی بر حسب کرنش برای نمونه‌های 20A
- ۱۱۷
- شکل ۴-۲۳ نمودار مدول اتلافی بر حسب کرنش برای نمونه‌های 25A
- ۱۱۸
- شکل ۴-۲۴ نمودار مدول اتلافی بر حسب کرنش برای نمونه‌های 30B
- ۱۱۹
- شکل ۴-۲۵ نمودار نرم‌شدگی بر اثر تنش برای نمونه‌های 20A
- ۱۲۰
- شکل ۴-۲۶ نمودار نرم‌شدگی بر اثر تنش برای نمونه‌های 25A
- ۱۲۱
- شکل ۴-۲۷ نمودار نرم‌شدگی بر اثر تنش برای نمونه‌های 30B
- ۱۲۲
- شکل ۴-۲۸ مقایسه اثر مولینز در نمونه‌های حاوی ۴ قسمت وزنی از انواع مونتموریلونیت اصلاح شده
- ۱۲۲
- شکل ۴-۲۹ مقایسه اثر مولینز در نمونه‌های حاوی ۱۲ قسمت وزنی از انواع مونتموریلونیت اصلاح شده
- ۱۲۳
- شکل ۴-۳۰ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه خالص در پنج چرخه متوالی
- ۱۲۴
- شکل ۴-۳۱ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 4-20A در پنج چرخه متوالی
- ۱۲۴
- شکل ۴-۳۲ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 6-20A در پنج چرخه متوالی
- ۱۲۵
- شکل ۴-۳۳ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 12-20A در پنج چرخه متوالی
- ۱۲۵
- شکل ۴-۳۴ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 4-25A در پنج چرخه متوالی
- ۱۲۶

شکل ۴-۳۵ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 12-25A در پنج چرخه متوالی

۱۲۶

شکل ۴-۳۶ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 4-30B در پنج چرخه متوالی

۱۲۷

شکل ۴-۳۷ رفتار نرم‌شدگی بر اثر تنش در نمونه 12-30B در پنج چرخه متوالی

۱۲۹

شکل ۴-۳۸ درصد تورم تمامی نمونه‌های ساخته شده از لاستیک بیوتیل و مونتموریلونیت اصلاح شده

۱۳۰

شکل ۴-۳۹ نمودار ν_{T0}/ν_T بر حسب $\phi/(1-\phi)$ برای نمونه‌ها به منظور بررسی رابطه کراس

۱۳۲

شکل ۴-۴۰ بلادر تحت تغییر فرم در اثر فشار داخلی

۱۳۴

شکل ۴-۴۱ نتایج تغییرات تنش بر حسب کرنش بدست آمده از نرم‌افزار ABAQUS برای سه ماده با مشخصات فرضی با زمان-

های آسودگی از تنش به ترتیب (الف) ۰/۹ (ب) ۰/۵ (ج) ۰/۱ و با مدول نسبی ۰/۳

۱۳۷

شکل ۴-۴۲ نتایج شبیه‌سازی رفتار مکانیکی بلادر مربوط به نانوکامپوزیت‌ها

فصل اول

مقدمه

مقدمه

فناوری نانو^۱ در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی به بررسی و کنترل مواد در ابعاد نانو ($10^{-9}m$)، نانو فناوری^۲ گویند. در حقیقت اساس فناوری نانو، توانایی کار و کنترل ساختار مواد در سطح مولکولی و اتمی، و ایجاد محصولی با خواص ویژه در مقیاس ماکرو و ساختارهای بزرگ است. از طرفی نانو کامپوزیت‌های^۳ پلیمری به عنوان یکی از شاخه‌های فناوری نانو، اهمیت بسیاری یافته است و یکی از زمینه‌های تحقیقی فعال به شمار می‌آید. نانو کامپوزیت‌ها مواد مرکبی هستند که لاقل یکی از اجزای تشکیل دهنده آنها دارای ابعادی در محدوده نانومتری باشد. در این میان استفاده از نانو خاکرس‌ها^۴ به عنوان پرکننده^۵ در مواد پلیمری با توجه به ساختار صفحه‌ای و نسبت منظر بالا و بدست آوردن حداکثر بهبود در خواص در بدست آوردن نانوکامپوزیت پلیمر- خاکرس از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین استفاده از این پرکننده‌ها در ماتریس‌های لاستیکی نیز مورد مطالعه قرار گرفته و بهبود خواص در آمیزه‌ها مشاهده شده است. الاستومرها دارای زنجیره‌هایی طویل با وزن مولکولی بالا بوده که در طول زنجیره مولکولی خود دارای گره‌خودگی می‌باشند. با اعمال تنش، این گره‌خوردگی‌ها باز شده و در نتیجه ماده دچار جریان ویسکوز شده و الاستیسیته کمی از خود نشان می‌دهد. در نتیجه برای بدست آوردن خواص مطلوب، آمیزه‌های لاستیکی نیاز به پخت که در طی آن زنجیره‌ها به صورت شیمیایی به هم متصل شده و یک شبکه ای با رفتار شبه جامد الاستیک تشکیل می‌دهند، دارند. الاستومر پخت شده از خود قدرت و مدول بالاتر و در عین حال هیستریزیس^۶ و تغییر فرم پلاستیک^۷ کمتر نشان می‌دهد. این در حالیست که پخت، فرآیندی مهم در ساخت هر قطعه لاستیکی بوده و کیفیت محصول نهایی وابسته به این فرآیند می‌باشد.

¹ Nano

² Nanotechnology

³ Nanocomposites

⁴ Nanoclays

⁵ Filler

⁶ Hysteresis

⁷ Set

از طرفی برای دستیابی به استحکام مکانیکی لازم در شرایط سرویس اکثر قطعات لاستیکی، افزایش پرکننده تقویتی امری ضروری است. افزایش مقادیر بالای پرکننده به لاستیک باعث بروز رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی (وابستگی خواص مکانیکی به کرنش اعمالی) می‌شود که کیفیت قطعه لاستیکی در طول سرویس به شدت به این خواص مرتبط می‌باشد. به عبارت دیگر هرچه خواص آمیزه لاستیکی، کمتر به دامنه کرنش اعمالی به آن، وابسته باشد رفتار مکانیکی و ابعاد پایدارتری را از خود نشان داده و طول عمر بالاتری در طول سرویس خواهد داشت. این پدیده به ویژه در قطعات با تغییر فرم بالا در طول سرویس اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

موارد ذکر شده اهمیت مطالعه بر روی خواص و سینتیک پخت آمیزه‌های لاستیکی و همچنین خواص ویسکوالاستیک غیر خطی آنها را بیان می‌کنند. از سویی یکی از عوامل بسیار موثر در این امر، پراکنش پرکننده-ها در بستر لاستیکی و ریز ساختار نهایی کامپوزیت‌ها می‌باشد. این موضوع در سال‌های اخیر به صورت ویژه‌ای مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این بین لاستیک بیوتیل به علت دارا بودن خواص خاصی از جمله نفوذپذیری^۸ پائین آن در برابر سیالات، مقاومت حرارتی^۹ بالا، پیر شدگی^{۱۰} آهسته، مقاومت شیمیایی^{۱۱} و جوی بالا و استحکام مکانیکی^{۱۲} مناسب در صنعت بسیار مورد توجه بوده و کاربردهای مختلفی از جمله بلادرهای پخت تایر^{۱۳}، لایه داخلی تایر، فنرهای هوایی، درزگیرهای لوله‌های انتقال گاز، لوازم ورزشی، تجهیزات پزشکی و صنایع نظامی دارد. ازسویی دانسیته باندهای دوگانه (به عنوان یکی از ملزومات پخت گوگردی) در این لاستیک بسیار کم بوده که خود باعث پخت بسیار آهسته آن می‌شود. در صنعت همواره تلاش‌های زیادی برای افزایش سرعت پخت آمیزه‌های بیوتیل و هم-پخت کردن آنها با دیگر آمیزه‌های لاستیکی صورت پذیرفته است. این در حالیست که آمیزه‌های این لاستیک همواره با مشکل ازدیاد طول غیر قابل برگشت‌پذیر و همچنین خواص اتلافی قابل توجهی همراه می‌باشد. این

⁸ Permeability

⁹ Heat Resistance

¹⁰ Aging

¹¹ Chemical Resistance

¹² Mechanical Strength

¹³ Tire Curing Bladders

مسئله به ویژه در قطعاتی با تغییر فرم بالا در طول مدت کاربری، اهمیت بالاتری پیدا می‌کند. از آنجا که قطعه‌ای مانند بلادرهای پخت لاستیک که بر پایه لاستیک بیوتیل ساخته می‌شود، در طول سرویس دچار تغییر فرم نسبتاً بالا می‌شوند (حدود ۲۵ تا ۳۰٪)، مطالعه بر روی خواص ویسکوالاستیک آن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. همچنین پخت این قطعات (بلادرهای پخت تیر) نیز می‌تواند خواص نهایی آن را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

از آنجایی که در سال‌های اخیر توجه بسیاری به کاربرد نانو خاکرس در آمیزه‌های لاستیکی معطوف شده است، بررسی تاثیر نانو خاکرس و ریزساختار آن بر رفتار پخت آمیزه، خواص الاستیک، ویسکوالاستیک و به خصوص ویسکوالاستیک غیرخطی، و نهایتاً رفتار برگشت پذیری و اتلافی قطعات لاستیکی حاصل ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به مطالعاتی محدودی که در این زمینه و به خصوص برای لاستیک بیوتیل انجام شده است، در این کار اثر سه نوع اصلاح‌کننده بر پراکنش نانو خاکرس مونتموریلونیت اصلاح شده در ماتریس لاستیک بیوتیل و ساختار نهایی نانوکامپوزیت‌ها بر روی خواص ویسکوالاستیک غیرخطی و همچنین سینتیک پخت آنها بررسی شده است که فقدان مطالعه بر روی این زمینه علت انتخاب موضوع را توجیه می‌کند. در این راستا در فصل دوم مباحث نظری پیرامون خواص و سینتیک پخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری پر شده توسط پرکننده‌های نانو ارائه می‌شود. در فصل سوم جزئیات عملیات تجربی و شبیه سازی انجام شده و در فصل چهارم بحث و تفسیر نتایج به دست آمده در این تحقیق آورده شده است. در نهایت نیز نتیجه‌گیری نهایی از نتایج و پیشنهادها برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

فصل دوم

نظری و مرور مقالات