

كَلَامُ الْإِسْلَامِ



دانشکده فنی مهندسی عمران

ساخت و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت چوب پلاستیک بر پایه PVC و پودر چوب

نگارش

ارسلان صفرپور

اساتید راهنما:

دکتر حسین رنگ آور

دکتر عبدالرسول ارومیه ای

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی منابع طبیعی

گرایش صنایع چوب

پاییز ۱۳۸۹



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب ارسالان صفرپور متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

آدرس : تهران، لویزان، کد پستی ۱۶۷۸۸، صندوق پستی ۱۶۷۸۵۱۶۳ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰-۲۲۹۷۰۰۳۳ نما بر ۲۲۹۷۰۰۳۳

پست الکترونیکی : sru@sru.ac.ir

تأییدیه هیأت داوران:

تقدیم به خانواده ام

پدرم ، مادرم ، همسر مهربانم و فرزند عزیزم

قدردانی و تشکر

بدین وسیله از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حسین رنگ آور که در طی مراحل انجام این پایان نامه متحمل زحمات فراوانی گشته اند تشکر و قدر دانی می نمایم و همچنین از استاد راهنمای دوم آقای دکتر عبدالرسول ارومیه ای نهایت تشکر و سپاس گذاری می نمایم. نگارنده وظیفه خود می داند از کلیه کسانی که در به ثمر رساندن این کار تحقیقاتی به نحوی مساعدت فرموده اند تشکر و سپاس گذاری نماید.

چکیده

در این تحقیق ساخت و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت پلیمر-نانو کلی (A ۱۵ Cloisite) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ساخت نانو کامپوزیت از پلی وینیل کلراید (خالص، بازیافتی و مخلوط) به عنوان پلیمر زمینه و از کلوزئیت A ۱۵ به عنوان نانو ذرات استفاده گردید، سپس آمیزهای نانو کامپوزیتی در شرایط بهینه با درصد های مختلف نانو کلی (A ۱۵ Cloisite) ساخته شدند و به منظور تعیین نوع ساختار و خواص مورفولوژیکی از تصاویر میکروسکوب الکترونیکی روبشی (SEM) استفاده گردید. در نهایت به منظور بررسی تاثیر نانو کلی و مقدار آن بر خواص فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت ها، از آزمون های کششی، ضربه، خمشی، ازدیاد طول، جذب آب، و آنالیز حرارتی مکانیکی و دینامیکی (DMTA) استفاده شد. نتایج بدست آمده از الگوهای DMTA و تصاویر SEM نشان داد که نانو کامپوزیت های ساخته شده دارای ساختار لایه ای ورقه ورقه شده هستند و با افزایش درصد نانو نسبت ساختار بین لایه ای به ساختار ورقه ورقه شده افزایش یافته است. همچنین بررسی سطح مقطع شکست نمونه ها نشان داده است که شکست عمدتاً از نوع ترد است و سطح شکست دارای ساختار تورقی است. نتایج آزمونهای مکانیکی نیز نشان داد که با افزودن نانو کلی به پلی وینیل کلراید مقاومت به ضربه، مدول الاستیک، مقاومت به خمش و مقاومت به کشش افزایش یافته و این ویژگی ها با افزایش کمتر از ۶ درصد نانو کلی حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، نانو کلی، کلوزئیت، پلی وینیل کلراید، دینامیک

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: طرح مسأله

- ۱- مقدمه..... ۲
- ۱-۱- بیان مسئله تحقیق..... ۴
- ۱-۲- ضرورت و اهمیت تحقیق..... ۵
- ۱-۳- اهداف تحقیق..... ۵
- ۱-۴- سوالات با فرضیه های تخصصی..... ۶
- ۱-۵- کلیات..... ۷
- ۱-۶- پلی وینیل کلراید..... ۷
- ۱-۷- تاریخچه پلی وینیل کلراید..... ۸
- ۱-۸- خواص پلی وینیل کلراید..... ۹
- ۱-۹- مزایای پلی وینیل کلراید..... ۹
- ۱-۱۰- مشکلات پلی وینیل کلراید..... ۹
- ۱-۱۱- کاربردها..... ۱۰
- ۱-۱۲- پایدار کننده های گرمایی..... ۱۰
- ۱-۱۲-۱- پایدار کننده های بر پایه سرب..... ۱۰
- ۱-۱۳- بررسی ساختار مواد تشکیل دهنده چوب..... ۱۱
- ۱-۱۳-۱- کامپوزیت های پلی وینیل کلراید با پودر چوب..... ۱۱
- ۱-۱۴- بازیافت ضایعات پلاستیکی..... ۱۲

۱-۱-۱۵- فناوری نانو..... ۱۳

فصل دوم : سابقه تحقیق

۱-۲- سابقه تحقیق..... ۱۵

فصل سوم : روش تحقیق

۳- روش تحقیق..... ۲۳

۳-۱- ماده خام..... ۲۳

۳-۲- فاکتورهای مورد بررسی..... ۲۳

۳-۳- عوامل متغیر..... ۲۴

۳-۳-۱- نوع PVC..... ۲۴

۳-۳-۲- مقدار نانو کلی..... ۲۴

۳-۴- عوامل ثابت..... ۲۴

۳-۴-۱- پودر چوب..... ۲۴

۳-۴-۲- وزن مخصوص پودر چوب..... ۲۴

۳-۴-۳- نوع اتصال دهنده..... ۲۴

۳-۴-۴- پایدار کننده‌های حرارتی..... ۲۴

۳-۴-۵- شرایط فرایندی دستگاه اکسترودر..... ۲۴

۳-۴-۶- شرایط فرایندی دستگاه تزریق..... ۲۴

۳-۵- طرح آماری..... ۲۴

۳-۶- مراحل ساخت نمونه های آزمونی..... ۲۵

۳-۶-۱- مرحله اول ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک..... ۲۵

- ۲۹-۷-۳- بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه ها.....
- ۲۹-۱-۷-۳- تست خمشی.....
- ۳۰-۲-۷-۳- تست کششی.....
- ۳۰-۳-۷-۳- تست ضربه.....
- ۳۰-۴-۷-۳- تست میزان واکنشیدگی ضخامت و جذب آب.....
- ۳۱-۵-۷-۳- بررسی رفتار حرارتی.....
- ۳۱-۶-۷-۳- مشاهدات مورفولوژی SEM.....
- ۳۲-۷-۷-۳- تعیین جرم مخصوص و درصد رطوبت نمونه ها.....

فصل چهارم : نتایج و بحث

- ۳۴-۴- نتایج و بحث.....
- ۳۴-۱-۴- بررسی میزان مناسب آرد چوب در ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک.....
- ۳۴-۱-۱-۴- مقاومت خمشی.....
- ۳۴-۲-۱-۴- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی.....
- ۳۴-۱-۲-۱-۴- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی.....
- ۳۵-۲-۲-۱-۴- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت به خمشی.....
- ۳۷-۳-۲-۱-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر مقاومت به خمشی.....
- ۳۷-۳-۱-۴- مدول الاستیسیته.....
- ۳۸-۱-۳-۱-۴- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول الاستیسیته.....
- ۳۸-۲-۳-۱-۴- اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیته.....
- ۳۹-۳-۳-۱-۴- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مدول الاستیسیته.....

- ۴-۳-۱-۴- اثر متقابل نوع PVC و پودر چوب بر مدول الاستیسیته..... ۴۰
- ۴-۱-۴- جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۴۱
- ۴-۱-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۴۱
- ۴-۱-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۴۱
- ۴-۱-۴-۳- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۴۲
- ۴-۱-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۴۴
- ۴-۱-۴-۵- مقاومت کششی..... ۴۵
- ۴-۱-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی..... ۴۵
- ۴-۱-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی..... ۴۵
- ۴-۱-۴-۳- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت کششی..... ۴۶
- ۴-۱-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر مقاومت کششی..... ۴۷
- ۴-۱-۴-۶- مقاومت به ضربه..... ۴۸
- ۴-۱-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه..... ۴۹
- ۴-۱-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به ضربه..... ۴۹
- ۴-۱-۴-۳- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت ضربه ایزود..... ۵۰
- ۴-۱-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر مقاومت به ضربه ایزود..... ۵۱
- ۴-۱-۴-۷- ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۱
- ۴-۱-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۲
- ۴-۱-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۲

- ۴-۱-۷-۳- اثر مستقل مقدار پودر چوب بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۴
- ۴-۱-۷-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۵
- ۴-۲- بررسی تاثیر نوع PVC و مقدار نانو کلی در ساخت کامپوزیت های چوب پلاستیک..... ۵۶
- ۴-۲-۱- مقاومت خمشی..... ۵۵
- ۴-۲-۱-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی..... ۵۶
- ۴-۲-۱-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی..... ۵۷
- ۴-۲-۱-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مقاومت به خمشی..... ۵۸
- ۴-۲-۱-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر مقاومت به خمشی..... ۵۹
- ۴-۲-۲- مدول الاستیسیت..... ۵۹
- ۴-۲-۲-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول الاستیسیت..... ۶۰
- ۴-۲-۲-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیت..... ۶۰
- ۴-۲-۲-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مدول الاستیسیت..... ۶۱
- ۴-۲-۲-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر مدول الاستیسیت..... ۶۲
- ۴-۲-۳- جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۶۳
- ۴-۲-۳-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۶۳
- ۴-۲-۳-۲- اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۶۳
- ۴-۲-۳-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۶۴
- ۴-۲-۳-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری..... ۶۶
- ۴-۲-۴- مقاومت کششی..... ۶۶
- ۴-۲-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی..... ۶۷

- ۶۶-۲-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی.....
- ۶۸-۲-۴-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مقاومت کششی.....
- ۶۹-۲-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و نانو کلی بر مقاومت کششی.....
- ۶۹-۲-۴-۵- مقاومت به ضربه.....
- ۷۰-۲-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه.....
- ۷۰-۲-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به ضربه.....
- ۷۱-۲-۴-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مقاومت ضربه ایزود.....
- ۷۲-۲-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر مقاومت به ضربه ایزود.....
- ۷۲-۲-۴-۶- ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....
- ۷۴-۲-۴-۱- تاثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ازدیاد طول.....
- ۷۴-۲-۴-۲- اثر مستقل نوع PVC بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....
- ۷۵-۲-۴-۳- اثر مستقل مقدار نانو کلی بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....
- ۷۶-۲-۴-۴- اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....
- ۷۷-۲-۴-۷- مشاهدات مورفولوژی.....
- ۷۷-۲-۴-۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (نمونه های تهیه شده از PVC خالص).....
- ۷۸-۲-۴-۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (نمونه های تهیه شده از PVC بازیافتی).....
- ۷۹-۲-۴-۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (نمونه های تهیه شده از PVC مخلوط).....
- ۸۰-۲-۴-۸- آنالیز حرارتی.....

فصل پنجم : بحث و نتیجه گیری

۵- بحث و نتیجه گیری..... ۸۴

۵-۱- پیشنهادات..... ۸۹

منابع..... ۹۱

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱: سطوح عوامل متغیر مورد مطالعه.....	۲۳
جدول ۳-۲: تیمارهای حاصل از ترکیب عوامل متغیر.....	۲۴
جدول ۳-۳: درصد وزنی هر یک از مواد تشکیل دهنده کامپوزیت چوب - پلاستیک.....	۲۵
جدول ۳-۴: مشخصات اکسترودر دومار پیچه.....	۲۶
جدول ۳-۵: ابعاد و تعداد نمونه های آزمونی در هر تکرار و تیمار.....	۲۸
جدول ۴-۱: میانگین خواص فیزیکی مکانیکی نمونه های چوب پلاستیک.....	۳۳
جدول ۴-۲: تجزیه واریانس آزمون مقاومت به خمشی کامپوزیتهای آزمونی.....	۳۴
جدول ۴-۳: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی کامپوزیتهای آزمونی.....	۳۵
جدول ۴-۴: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت به خمشی	۳۶
جدول ۴-۵: تجزیه واریانس آزمون مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....	۳۸
جدول ۴-۶: اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمون.....	۳۸
جدول ۴-۷: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....	۳۹
جدول ۴-۸: تجزیه واریانس آزمون جذب آب نمونه ای آزمونی بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۱
جدول ۴-۹: اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۲
جدول ۴-۱۰: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۳
جدول ۴-۱۱: تجزیه واریانس مقاومت کششی نمونههای آزمونی.....	۴۵
جدول ۴-۱۲: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی.....	۴۵

- جدول ۴-۱۳: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت کششی نمونه های آزمونی..... ۴۶
- جدول ۴-۱۴: تجزیه واریانس مقاومت به ضربه ایزود..... ۴۸
- جدول ۴-۱۵: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت مقاومت به ضربه ایزود..... ۴۹
- جدول ۴-۱۶: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت ضربه ایزود..... ۵۰
- جدول ۴-۱۷: تجزیه واریانس ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۲
- جدول ۴-۱۸: اثر مستقل نوع PVC بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۲
- جدول ۴-۱۹: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم..... ۵۳
- جدول ۴-۲۰: تجزیه واریانس آزمون مقاومت به خمشی کامپوزیتهای آزمونی..... ۵۵
- جدول ۴-۲۱: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی کامپوزیتهای آزمونی..... ۵۶
- جدول ۴-۲۲: اثر مستقل مقدار پودر چوب (cloisite 15 A) بر مقاومت به خمشی ۵۷
- جدول ۴-۲۳: تجزیه واریانس آزمون مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی..... ۵۹
- جدول ۴-۲۴: اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمون..... ۵۹
- جدول ۴-۲۵: اثر مستقل مقدار نانو کلی (Clisite 15 A) بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی..... ۶۰
- جدول ۴-۲۶: تجزیه واریانس آزمون جذب آب نمونه ای آزمونی بعد از ۲۴ ساعت..... ۶۲
- جدول ۴-۲۷: اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت..... ۶۳
- جدول ۴-۲۸: اثر مستقل مقدار نانو کلی (cloisite 15 A) بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت..... ۶۴
- جدول ۴-۲۹: تجزیه واریانس مقاومت کششی نمونههای آزمونی..... ۶۶
- جدول ۴-۳۰: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی..... ۶۶
- جدول ۴-۳۱: اثر مستقل مقدار نانو کلی (cloisite 15 A) بر مقاومت کششی نمونه های آزمونی..... ۶۷

- جدول ۴-۳۲: تجزیه واریانس مقاومت به ضربه ایزود.....۶۹
- جدول ۴-۳۳: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت مقاومت به ضربه ایزود.....۷۰
- جدول ۴-۳۴: اثر مستقل مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر مقاومت ضربه ایزود.....۷۱
- جدول ۴-۳۵: تجزیه واریانس ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۳
- جدول ۴-۳۶: اثر مستقل نوع PVC بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۳
- جدول ۴-۳۷: اثر مستقل مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۴

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: چند نمونه از کاربرد پلی وینیل کلرید.....	۹
شکل ۱-۳: دستگاه اکسترودر.....	۲۶
شکل ۲-۳: دستگاه تزریق.....	۲۸
شکل ۳-۴-: نمونه کششی.....	۲۸
شکل ۳-۵-: نمونه ضربه A: شکاف دار، B بدون شکاف.....	۲۸
شکل ۳-۶: نمونه جذب آب.....	۲۸
شکل ۳-۷: نمونه خمشی.....	۲۹
شکل ۴-۱: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی نمونه های آزمونی.....	۳۵
شکل ۴-۲: اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مقاومت به خمشی نمونه های آزمونی.....	۳۶
شکل ۴-۳: تاثیر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب روی مقاومت خمشی.....	۳۷
شکل ۴-۴: اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....	۳۹
شکل ۴-۵: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....	۴۰
شکل ۴-۶: اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر مدول الاستیسیته.....	۴۰
شکل ۴-۷: اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۲
شکل ۴-۸: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۳
شکل ۴-۹: اثر متقابل نوع PVC و پودر چوب بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....	۴۴
شکل ۴-۱۰: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی.....	۴۶

- شکل ۴-۱۱: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت کششی نمونه های آزمونی.....۴۷
- شکل ۴-۱۲: اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر مقاومت کششی.....۴۷
- شکل ۴-۱۳: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت مقاومت به ضربه ایزود.....۴۹
- شکل ۴-۱۴: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر مقاومت ضربه ایزود.....۵۰
- شکل ۴-۱۵: اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر مقاومت به ضربه ایزود.....۵۱
- شکل ۴-۱۶: اثر مستقل نوع PVC بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۵۳
- شکل ۴-۱۷: اثر مستقل مقدار پودر چوب بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۵۴
- شکل ۴-۱۸: اثر متقابل نوع PVC و مقدار پودر چوب بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۵۴
- شکل ۴-۱۹: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت به خمشی نمونه های آزمونی.....۵۶
- شکل ۴-۲۰: اثر مستقل مقدار نانو کلی بر مقاومت به خمشی نمونه های آزمونی.....۵۷
- شکل ۴-۲۱: تاثیر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی روی مقاومت خمشی.....۵۸
- شکل ۴-۲۲: اثر مستقل نوع PVC بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....۶۰
- شکل ۴-۲۳: اثر مستقل مقدار نانو کلی (Clisite 15 A) بر مدول الاستیسیته نمونه های آزمونی.....۶۱
- شکل ۴-۲۴: اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی بر مدول الاستیسیته.....۶۱
- شکل ۴-۲۵: اثر مستقل نوع PVC بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....۶۳
- شکل ۴-۲۶: اثر مستقل مقدار نانو کلی (cloisite 15 A) بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....۶۴
- شکل ۴-۲۷: اثر متقابل نوع PVC و مقدار نانو کلی (cloisite 15 A) بر جذب آب بعد از ۲۴ ساعت.....۶۵
- شکل ۴-۲۸: اثر مستقل نوع PVC بر مقاومت کششی.....۶۷
- شکل ۴-۲۹: اثر مستقل مقدار نانو کلی (cloisite 15 A) بر مقاومت کششی نمونه های آزمونی.....۶۸

- شکل ۴-۳۰: اثر متقابل نوع pvc و مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر مقاومت کششی.....۶۸
- شکل ۴-۳۱: اثر مستقل نوع pvc بر مقاومت مقاومت به ضربه ایزود.....۷۰
- شکل ۴-۳۲: اثر مستقل مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر مقاومت ضربه ایزود.....۷۱
- شکل ۴-۳۳: اثر متقابل نوع pvc و مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر مقاومت به ضربه ایزود.....۷۲
- شکل ۴-۳۴: اثر مستقل نوع pvc بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۴
- شکل ۴-۳۵: اثر مستقل مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۵
- شکل ۴-۳۶: اثر متقابل نوع pvc و مقدار نانوکلی (cloisite 15 A) بر ازدیاد طول در نقطه تسلیم.....۷۶
- شکل ۴-۳۷: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc خالص با بزرگنمایی ۵۰۰.....۷۷
- شکل ۴-۳۸: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc خالص.....۷۷
- شکل ۴-۳۹: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc بازیافتی با بزرگنمایی ۵۰۰.....۷۸
- شکل ۴-۴۰: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc بازیافتی.....۷۸
- شکل ۴-۴۱: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc (بازیافتی + خالص).....۷۹
- شکل ۴-۴۲: نمونه حاوی ۴۰٪ پودر چوب بامش ۱۵۰ و pvc (بازیافتی + خالص).....۷۹
- شکل ۴-۴۳: مدول ذخیره ای نمونه های تهیه شده از PVC خالص ، بازیافتی و مخلوط ۵۰٪.....۸۰
- شکل ۴-۴۴: تنش دلتا نمونه های تهیه شده از PVC خالص ، بازیافتی و مخلوط ۵۰٪.....۸۰
- شکل ۴-۴۵: نمودار آزمایش DMTA نمونه تهیه شده از PVC خالص.....۸۱
- شکل ۴-۴۶: نمودار آزمایش DMTA نمونه تهیه شده از PVC بازیافتی.....۸۱
- شکل ۴-۴۷: نمودار آزمایش DMTA نمونه تهیه شده از PVC مخلوط (۵۰٪ خالص + ۵۰٪ بازیافتی).....۸۲