

## تأثیر الاستومر و اتصال دهنده بر ویژگی‌های کششی و مقاومت به ضربه چندسازه پلی پروپیلن / خاک اره

حمید آبیانی اصفهانی<sup>۱\*</sup>، مهدی کلاگر<sup>۲</sup> و حسین سپهری‌راد<sup>۱</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران، پست الکترونیک: Aibaghi.esfahani@gmail.com

۲- دکترای صنایع چوب و کاغذ، مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا

۳- عضو هیات علمی، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران.

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۵

### چکیده

برای بررسی ویژگی‌های کششی و مقاومت به ضربه در چندسازه چوب پلاستیک (WPC) از پلی پروپیلن به عنوان ماتریس و خاک اره کاج تدا به عنوان تقویت کننده / پرکننده استفاده شده است. اتیلن، پروپیلن، داین و منومر (EPDM) به عنوان اصلاح کننده مقاومت به ضربه با میزان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد برای بهبود مقاومت به ضربه و انیدرید مالئیک بیوند خورده با پلی پروپیلن (MAPP) به میزان ۳ درصد به عنوان اتصال دهنده برای بهبود واکنش و اتصال پلیمر و پرکننده به ترکیب چندسازه اضافه شدند. برای بررسی سطح شکست در چندسازه از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده شد. به کارگیری ۱۰ درصد الاستومر و ۳ درصد اتصال دهنده باعث بهبود در ویژگی‌های کششی شده و استفاده از میزان‌های بالاتر الاستومر (۲۰ و ۳۰ درصد) روند کاهش در این ویژگی‌ها را نشان داده است. نتایج نشان داد که با افزودن خاک اره به ماتریس PP کاهش قابل توجهی در مقاومت به ضربه چندسازه نسبت به PP خالص مشاهده شده است. افزودن EPDM در تمامی میزان‌های مورد استفاده به چندسازه PP/خاک اره باعث بهبود در مقاومت به ضربه چندسازه شده است. بالاترین مقادیر مقاومت به ضربه متعلق به چندسازه حاوی ۳۰ درصد الاستومر و ۳ درصد اتصال دهنده بوده است. استفاده همزمان از EPDM و MAPP تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های کششی و مقاومت به ضربه چندسازه را نشان داده است. تصاویر SEM نشان داده که استفاده همزمان از EPDM و MAPP در چندسازه باعث اتصال سطح مشترک بهتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، ویژگی‌های کششی، مقاومت به ضربه، اتیلن، پروپیلن، داین، منومر، اتصال دهنده.

### مقدمه

می‌شوند (Bledzki et al., 2002). تقویت کننده‌های فیبری دارای فواید بی شماری از قبیل دسترس پذیری فراوان، سفتی بالاتر، تجدیدپذیری، قیمت پایین، دانسیته کم و عدم ناراحتی‌های پوستی را نسبت به پرکننده‌های سنتی از قبیل شیشه دارا هستند (Joshi et al., 2004; Mantia & Morreale, 2011).

پودر چوب و الیاف چوب به صورت گسترده‌ای برای استفاده به عنوان تقویت کننده برای پلیمرهای متداول از قبیل پلی اتیلن<sup>۱</sup> (PE)، پلی پروپیلن<sup>۲</sup> (PP) و غیره استفاده

1- Polyethylene  
2 - Polypropylene

وجود این سختی چندسازه‌های پر شده با لیاف طبیعی به فاکتورهایی از قبیل ویژگی‌های ذاتی ماتریس، میزان لیاف و مقاومت اتصالات سطح مشترک بستگی دارد (Park & Balatinecz, 1997). همچنین استفاده از انیدرید مالئیک می‌تواند با ایجاد پیوند کووالانسی با گروه‌های هیدروکسیلی لیاف چوبی و اتصال با ناتریس پلیمر باعث چسبندگی قوی و انتقال تنش مؤثر بین دو فاز گردد (Kazayawoko et al., 1999). در این مطالعه علاوه بر افزودن EPDM از MAPP نیز برای بهبود مقاومت به ضربه به‌عنوان اتصال‌دهنده استفاده شده است. فرض بر این بوده که استفاده همزمان از این دو ماده باعث بهبود چشمگیر در مقاومت به ضربه چندسازه گردد.

سختی پلیمر پر شده با لیاف طبیعی را می‌توان با استفاده از افزایش سختی ماتریس، بهینه‌سازی سطح مشترک (بین فازی) بین پرکننده و ماتریس بوسیله استفاده از جفت‌کننده، به کارگیری سازگارکننده و بهینه‌سازی ویژگی‌های پرکننده از قبیل میزان پرکننده، اندازه ذرات، پخش مناسب پرکننده در ماتریس، ضریب ظاهری و توزیع لیاف جهت‌دهی شده در ماتریس بهبود بخشید (Oksman & Clemons, 1998). در این پژوهش تمرکز بر روی بررسی دو دیدگاه اول مذکور می‌باشد.

با توجه به اینکه مقاومت به ضربه یکی از ویژگی‌های بحرانی در کاربرد چندسازه‌ها در بسیاری از موارد از قبیل ساختمان، فضای سبز، اتومبیل و غیره می‌باشد، استفاده از الاستومر EPDM و اتصال‌دهنده MAPP برای دستیابی به مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن/خاک اره بالاتر الزامی بوده و هدف از انجام این پژوهش را توجیه‌پذیر می‌کند.

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن ساخت شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب (MFI) ۱۶ gr/10min به‌عنوان فاز زمینه استفاده شد. پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده (MAPP) با شاخص جریان مذاب ۶۴ gr/10min درصد مالئیک انیدرید پیوند خورده استفاده گردید. خاک اره کاج تدا از صنایع تبدیلی شرکت جنگل شفارود در استان گیلان (رضوانشهر) تهیه شد.

با توجه به ارزیابی چندسازه‌های ساخته شده با آزمون‌های مکانیکی مانند ویژگی‌های کششی، خمشی و مقاومت به ضربه<sup>۱</sup> مشخص شده که در بیشتر تحقیقات انجام شده مقاومت به ضربه پلیمرهای مانند (پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) با افزودن پرکننده بخصوص مواد آلی به‌صورت قابل توجه ای کاهش می‌یابد (Ismail et al., 2002) و (Ruksakulpiwat et al., 2009). نویسندگان متعددی گزارش کردند که افزودن لیاف طبیعی به پلیمرها کاهش در مقاومت به ضربه را سبب خواهد شد (Sain, 2006; Mutjé et al., 2006; Arbelaiz et al., Panthapulakkal Morreale et al., 2005). افزودن لیاف به پلیمر احتمال تجمع لیاف را افزایش داده و در نهایت چندسازه ساخته شده احتیاج به انرژی کمتری برای گسترش شکاف و شکست دارد (Kaynak et al., 2003). با توجه به اینکه کاربردهای اصلی این مواد در ساختمان و صنعت اتومبیل بوده (Keledi et al., 2012) و این کاربردها اغلب مقاومت به ضربه و سختی بالا را می‌طلبند، افزودن موادی با اصلاح و افزایش مقاومت به ضربه به ساختار چندسازه الزامیست.

بهبود مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن پر شده با خاک اره که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد از آن لحاظ دارای اهمیت خواهد بود که خود پلیمر مورد بحث (پلی‌پروپیلن) که به‌عنوان یکی از پرکاربردترین مواد در صنعت اتومبیل، ساختمان، مبلمان و سایر صنایع دارای مقاومت به ضربه پایینی است و با وجود این افزودن لیاف باعث شکننده‌تر شدن چندسازه حاصل خواهد شد (Wang et al., 2003). تحقیقات پیشین نشان داده است که از الاستومرها می‌توان برای بهبود مقاومت به ضربه چندسازه استفاده کرد (Kaynak et al., 2003). رایج‌ترین مواد برای اصلاح مقاومت به ضربه پلی‌پروپیلن اتیلن/کوپلیمر پروپیلن (EPM<sup>۲</sup>)، لاستیک طبیعی<sup>۳</sup> (NR) و اتیلن/پروپیلن/داین/مونومر<sup>۴</sup> (EPDM) هستند. با

1- Impact Strength

2- Ethylene/propylene copolymers

3- Natural rubber

4- Ethylene-propylene-diene-monomer

۲۳ °C، فشار تزریق ۱۱۰ bar و زمان دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه استفاده شد. آزمون کشش مطابق آیین‌نامه D ۶۳۸ استاندارد ASTM با استفاده دستگاه (INSTRON) مدل ۴۴۸۹ و مقاومت به ضربه طبق آیین‌نامه D۲۵۶ استاندارد ASTM دستگاه مدل ۵۱۰۲ ساخت شرکت Zwick انجام شد. سرعت بارگذاری در هر دو آزمون ۵ mm/min بوده است. به منظور تحلیل بهتر نتایج ویژگی‌های مکانیکی تصاویر SEM از سطح شکست نمونه‌ها تهیه شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) مدل VEGA، شرکت TESCAN و ساخت کشور Czech Republic از مقاطع شکست نمونه‌های کششی توسط تهیه شده است. ولتاژی که توسط این نوع میکروسکوپ مورد استفاده قرار گرفت، ۲۰ W می‌باشد. البته قبل از تصویربرداری نمونه‌ها در دستگاه پوشش‌دهنده (مدل K450x کمپانی EMITECH ساخت کشور انگلستان) به مدت ۵ دقیقه با لایه‌ای در حدود ۱۵nm از طلا پوشش داده شدند.

با توجه به عوامل متغیر و سطح آنها در کل ۹ تیمار موجود بود که برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با استفاده از تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SPSS در سطح معنی‌داری ۵٪ انجام شد.

برای کاهش میزان رطوبت موجود در لجن خاک اره، این ماده به مدت یک هفته در هوای آزاد خشک شد. در نهایت خاک اره به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا میزان رطوبت آن به حدود ۱-۲٪ برسد.

#### روش‌ها

جدول ۱ چگونگی ترکیب مواد برای ساخت چندسازه پلی‌پروپیلن، الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ را نشان می‌دهد. قبل از اختلاط مواد، برای جلوگیری از رطوبت موجود در مواد مورد استفاده که فاکتور مؤثری در ساخت چندسازه است، الیاف کاه گندم (تیمار شده و بدن تیمار) و لجن کارخانه کاغذ را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درون آون قرار دادیم. برای اختلاط مواد از اکسترودر دو ماریچ ناهمسوگرد با پنج ناحیه دمایی ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰، ۱۸۵ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت چرخش ۳۰ rpm استفاده شده است. ترکیبات به دست آمده با استفاده از خردکن نیمه صنعتی به گرانول تبدیل شده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای درون آون قرار گرفتند.

نمونه‌های آزمون کششی و مقاومت به ضربه به روش قالب‌گیری تزریقی به وسیله دستگاه تزریق نیمه صنعتی شرکت ایمن ماشین در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه شد. از دمای سیلندر تزریق در هر سه ناحیه ۱۸۰°C، دمای قالب

جدول ۱- میزان اختلاط مواد مختلف برای ساخت چندسازه

شماره نمونه	کد نمونه	پلی پروپیلن (درصد)	خاک اره (درصد)	EPDM (درصد)	اتصال‌دهنده (درصد)
۱	PP	۱۰۰	-	-	-
۲	PP/S	۷۰	۳۰	-	-
۳	PP/S/E10	۶۰	۳۰	۱۰	-
۴	PP/S/E10/M	۵۷	۳۰	۱۰	۳
۵	PP/S/E20	۵۰	۳۰	۲۰	-
۶	PP/S/E20/M	۴۷	۳۰	۲۰	۳
۷	PP/S/E30	۴۰	۳۰	۳۰	-
۸	PP/S/E30/M	۳۷	۳۰	۳۰	۳

## نتایج

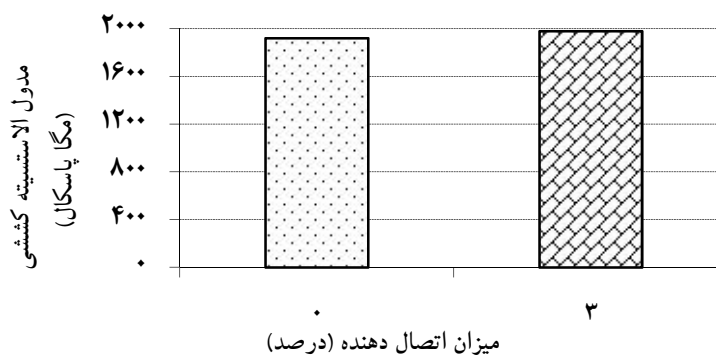
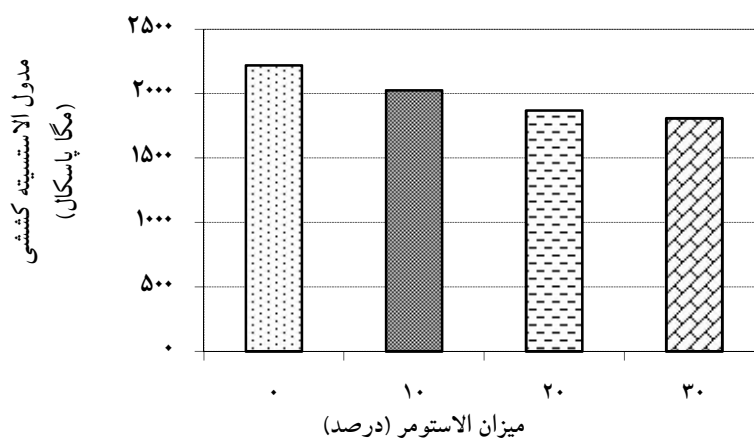
## مدول الاستیسیته کششی

جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر مستقل دو فاکتور اتصال‌دهنده و الاستومر بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه تأثیر معنی‌داری داشته، درحالی‌که اثر متقابل دو فاکتور مذکور تأثیر معنی‌داری را نشان نداده است. نتایج اثر مستقل EPDM و MAPP بر مدول الاستیسیته

کششی چندسازه در شکل ۱ نشان می‌دهد که با استفاده از EPDM مقاومت کششی چندسازه کاهش یافته و با افزودن میزان بالاتر الاستومر روند کاهش بیشتری در مدول الاستیسیته کششی چندسازه مشاهده شده است. درحالی‌که استفاده از اتصال‌دهنده تأثیر نسبتاً مثبت و روند افزایشی را بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه نشان داده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته کششی چندسازه پلی‌پروپیلن/ خاک اره / EPDM / MAPP

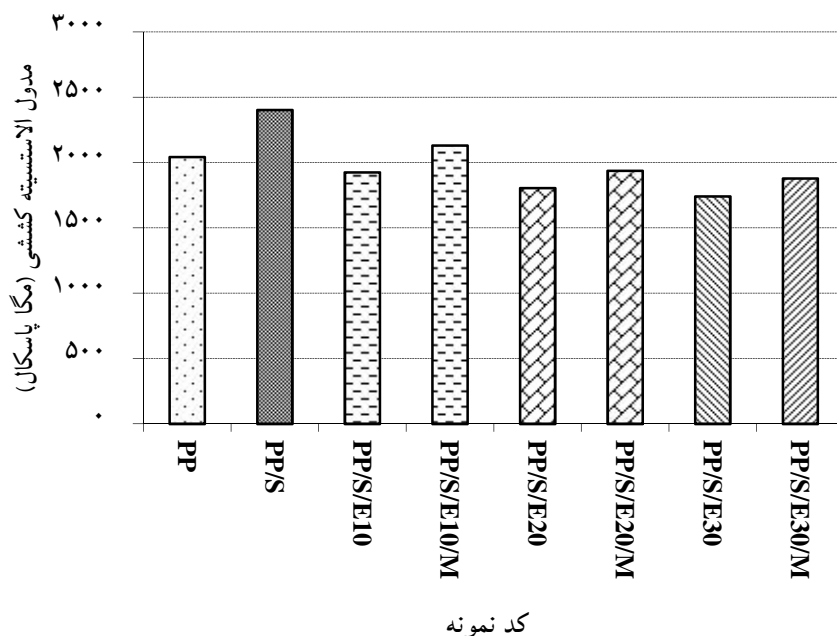
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
اتصال‌دهنده	۱۱۲۸۱۲/۵۰۰	۱	۱۱۲۸۱۲/۵۰۰	۶/۹۹۱	۰/۰۰۷
الاستومر	۷۲۳۸۵۳/۷۲۲	۳	۲۴۱۲۸۴/۵۷۴	۱۴/۹۵۳	۰/۰۰۰
اتصال‌دهنده × الاستومر	۴۸۴۹/۰۰۰	۲	۲۴۲۴/۵۰۰	۰/۱۵۰	۰/۸۶۲
خطا	۱۵۲۲/۲۴۱	۱۷	۸۹/۵۴۴		
کل	۹۵۲۷۴۸۸۲/۰۰۰	۲۴			



شکل ۱- اثر مستقل الاستومر (EPDM) و اتصال‌دهنده (MAPP) بر مدول الاستیسیته کششی

حاوی ۱۰ درصد الاستومر و ۳ درصد اتصال‌دهنده بوده که مدول الاستیسیته کششی بالاتر از PP خالص نشان داده است، هرچند که از میزان مدول الاستیسیته کششی چندسازه شاهد پایین‌تر بوده است. با افزودن میزان بالاتر EPDM (۲۰ و ۳۰ درصد) روند کاهش بیشتری در مدول الاستیسیته کششی مشاهده شده است، هرچند استفاده از MAPP باعث بهبود در استفاده همزمان از این دو افزودنی در مدول الاستیسیته کششی چندسازه شده است.

شکل ۲ اثر متقابل استفاده از الاستومر و اتصال‌دهنده را نشان می‌دهد. با افزودن ۳۰ درصد خاک اره کاج تدا به ماتریس پلی‌پروپیلن مدول الاستیسیته کششی چندسازه افزایش یافته است. استفاده از ۱۰ درصد EPDM کاهش اندکی را مدول الاستیسیته کششی چندسازه نشان داد اما به‌کارگیری ۳ درصد MAPP با ۱۰ درصد EPDM باعث بهبود در سفتی شده و باعث افزایش در مدول الاستیسیته کششی چندسازه شده است. بهترین میزان مدول الاستیسیته کششی در بین چندسازه‌های ساخته شده مربوط به چندسازه



شکل ۲- اثر متقابل اتصال‌دهنده (MAPP) و الاستومر (EPDM) بر مدول الاستیسیته کششی

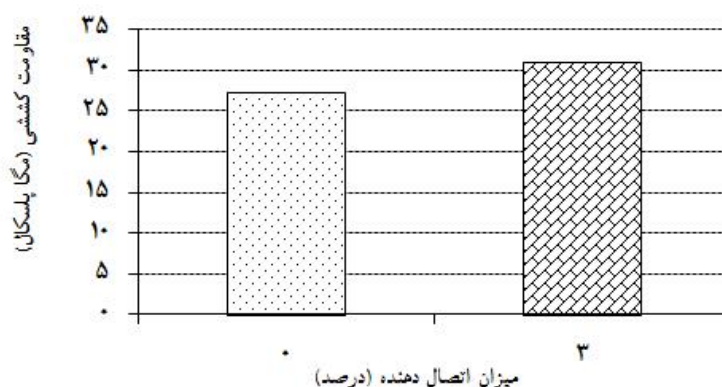
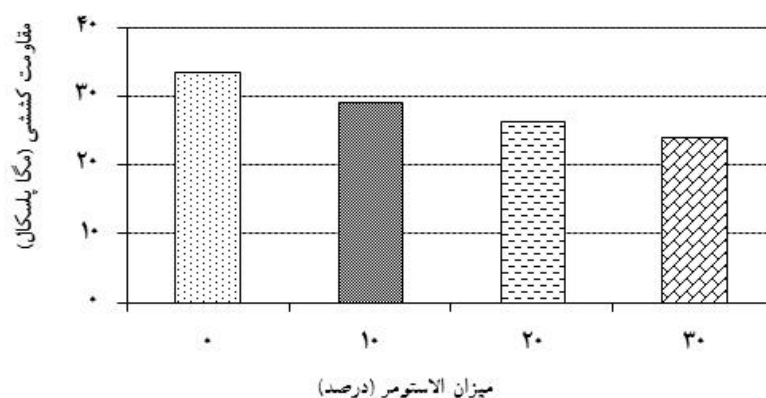
مقاومت کششی می‌دهد. مشاهده می‌شود که با استفاده از EPDM مقاومت کششی چندسازه کاهش یافته و با افزایش بیشتر الاستومر در ساختار چندسازه مقاومت کششی کاهش بیشتری را نشان داده است. استفاده از اتصال‌دهنده تأثیر مثبتی بر مقاومت کششی چندسازه پلی‌پروپیلن/خاک اره داشته است و با افزودن MAPP مقاومت کششی چندسازه افزایش یافته است.

مقاومت کششی تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از نتایج مقاومت کششی در جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر مستقل اتصال‌دهنده و الاستومر بر مقاومت کششی چندسازه تأثیر معنی‌داری داشته، درحالی‌که اثر متقابل دو فاکتور تأثیر معنی‌داری را بر این ویژگی نشان نداده است.

شکل ۳ نتایج مقاومت کششی حاصل از اثر مستقل استفاده از میزان‌های مختلف EPDM و MAPP را نشان

جدول ۳- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته کششی چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره / MAPP / EPDM

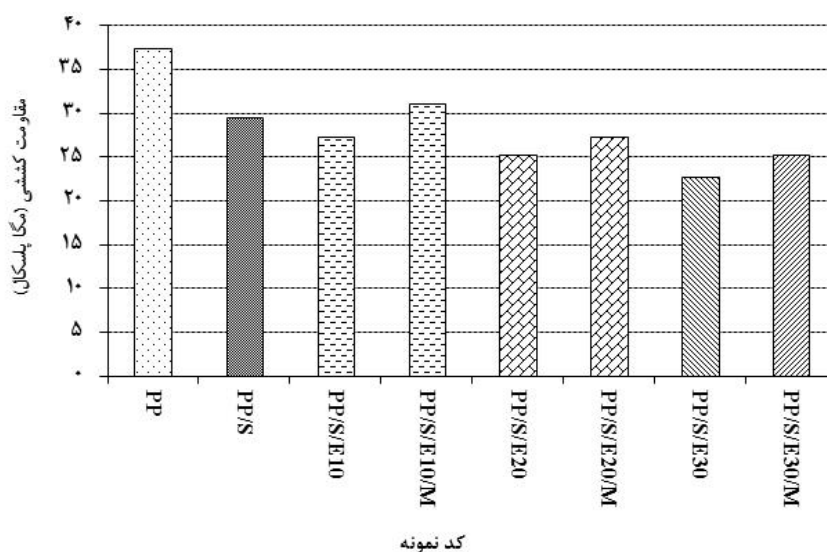
معنی‌داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰۳	۶/۲۰۲	۳۴/۵۵۶	۱	۳۴/۵۵۶	اتصال‌دهنده
۰/۰۰۰	۱۹/۶۷۱	۱۰۹/۵۹۴	۳	۳۲۸/۷۸۱	الاستومر
۰/۷۹۲	۰/۲۳۶	۱/۳۱۵	۲	۲/۶۳۰	اتصال‌دهنده × الاستومر
		۵/۵۷۱	۱۷	۹۴/۷۱۲	خطا
			۲۴	۴۲۷/۹۱۳	کل



شکل ۳- اثر مستقل الاستومر (EPDM) و اتصال‌دهنده (MAPP) بر مقاومت کششی

به PP خالص شده است. با افزودن الاستومر با نسبت‌های مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) روند کاهش در مقاومت کششی مشاهده شده است. با وجود این افزودن اتصال‌دهنده به میزان ۳ درصد همزمان با EPDM باعث بهبود در مقاومت کششی چندسازه شده است.

شکل ۴ اثر متقابل اتصال‌دهنده (MAPP) و الاستومر (EPDM) بر مقاومت کششی چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره را در مقایسه با چندسازه شاهد (بدون الاستومر و اتصال‌دهنده) و پلی‌پروپیلن خالص نشان می‌دهد. برخلاف مدول الاستیسیته کششی، افزودن خاک اره کاج تدا به میزان ۳۰ درصد باعث کاهش در مقاومت کششی چندسازه نسبت



شکل ۴- اثر متقابل اتصال‌دهنده (MAPP) و الاستومر (EPDM) بر مقاومت کششی

#### مقاومت به ضربه

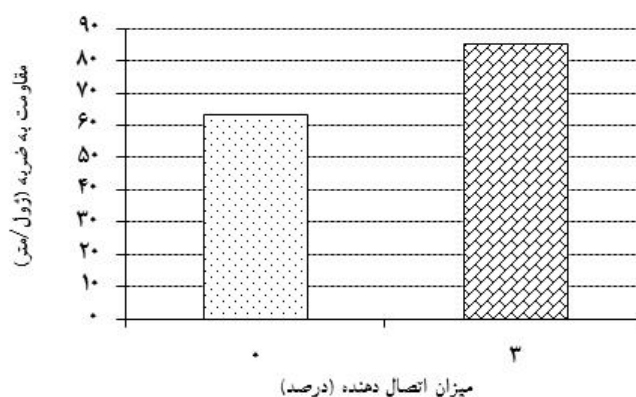
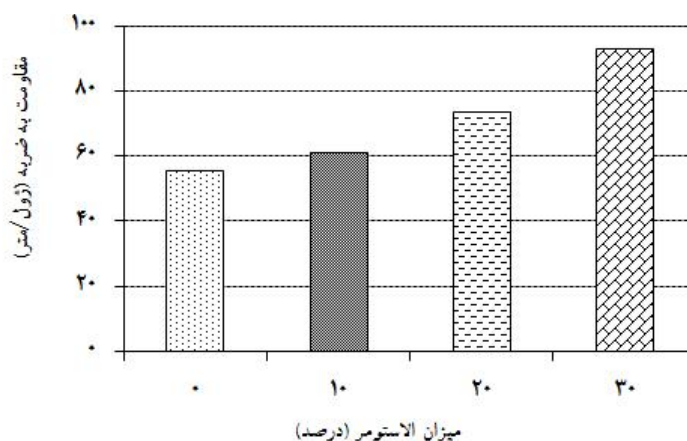
جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر اتصال‌دهنده و الاستومر در ساخت چندسازه معنی‌دار بوده اما اثر متقابل این دو منبع تغییرات در ساخت چندسازه اثر معنی‌داری را در سطح ۵٪ نشان نداده است.

شکل ۵ (سمت راست) اثر مستقل استفاده از EPDM با میزان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی و مقایسه آن با چندسازه PP/خاک اره بر مقاومت به ضربه را نشان می‌دهد. با افزودن EPDM افزایش در مقاومت به ضربه

چندسازه مشاهده شد و با افزایش میزان بالاتر و استفاده از ۳۰ درصد EPDM بالاترین میزان مقاومت به ضربه مشاهده شده است. استفاده از EPDM با میزان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی به ترتیب با افزایش ۱۱، ۲۰ و ۲۶ درصدی مقاومت به ضربه نسبت به چندسازه بدون استفاده از EPDM شده است؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که با افزودن یک الاستومر به ساختار چندسازه افزایش معنی‌داری را در مقاومت به ضربه چندسازه PP/خاک اره حاصل خواهد کرد.

جدول ۴- تجزیه واریانس مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن/خاک اره/EPDM/MAPP

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
اتصال‌دهنده	۱۵۹۸/۲۹۹	۱	۱۵۹۸/۲۹۹	۱۷/۸۴۹	۰/۰۰۱
الاستومر	۳۶۱۶/۷۹۹	۳	۱۲۰۵/۶۰۰	۱۳/۴۶۴	۰/۰۰۰
اتصال‌دهنده × الاستومر	۱۸۷/۰۳۲	۲	۹۳/۵۱۶	۱/۰۴۴	۰/۳۷۳
خطا	۱۵۲۲/۲۴۱	۱۷	۸۹/۵۴۴		
کل	۱۲۸۵۶۱/۴۶۲	۲۴			



شکل ۵- اثر مستقل الاستومر (EPDM) و اتصال‌دهنده (MAPP) بر مقاومت به ضربه چندسازه

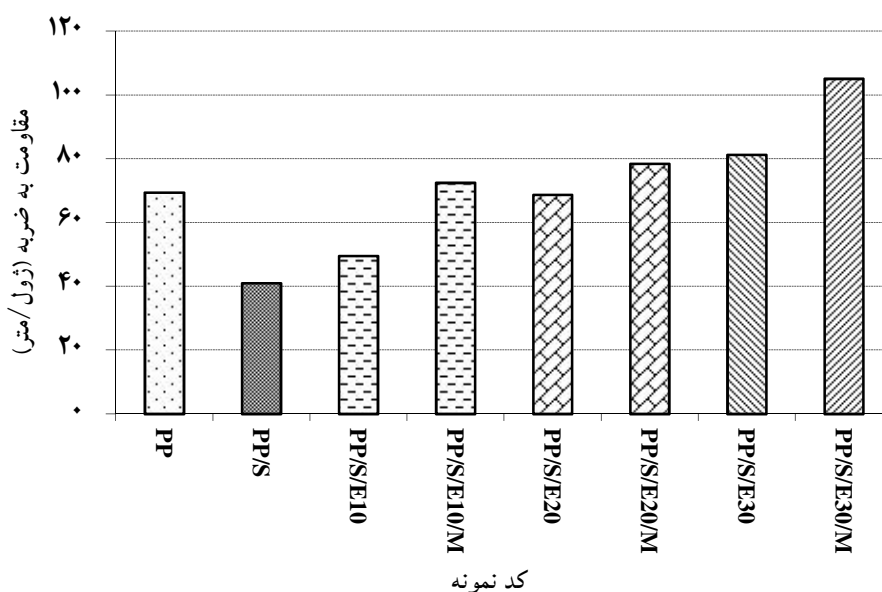
EPDM کمتر از پلی‌پروپیلن خالص بوده است. این کاهش در مقاومت به ضربه با افزودن خاک اره به پلیمر پلی‌پروپیلن نشان‌دهنده الزامی بودن اصلاح این ویژگی برای افزایش کاربرد چندسازه در کاربردهای مختلف است. هنگامی که ۱۰ درصد EPDM به چندسازه پلی‌پروپیلن/خاک اره اضافه شده بهبود در مقاومت به ضربه مشاهده شد اما هنوز این میزان افزایش نتوانسته بود به میزان PP خالص برسد؛ بنابراین استفاده از میزان مناسب الاستومر برای دستیابی به مقاومت به ضربه مناسب ضروریست. با افزودن MAPP به میزان ۳ درصد به چندسازه PP/خاک اره/۱۰ درصد الاستومر روند فزاینده‌ای در مقاومت به ضربه چندسازه حاصل شد و نشان داد که استفاده همزمان از الاستومر و

شکل ۵ (سمت چپ) اثر مستقل اتصال‌دهنده (MAPP) بر مقاومت به ضربه چندسازه را نشان می‌دهد. استفاده از MAPP نیز باعث بهبود در مقاومت به ضربه چندسازه PP/خاک اره شده است. استفاده از ۳٪ MAPP بهبودی به میزان ۳۴٪ در مقاومت به ضربه را نسبت به چندسازه بدون اتصال‌دهنده نشان داده است. اثر متقابل استفاده الاستومر و اتصال‌دهنده در چندسازه PP/خاک اره و مقایسه آنها با چندسازه بدون افزودنی و PP را می‌توان در شکل ۳ مشاهده کرد. پلی‌پروپیلن خالص دارای مقاومت به ضربه ۶۹/۴ ژول بر متر بوده و با افزایش ۳۰٪ خاک اره، چندسازه ساخته شده مقاومت به ضربه ۴۱ ژول بر متر را نشان داده است. مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن/خاک اره بدون



افزایش مقاومت به ضربه ۱۷ و ۹۸ درصدی نسبت به پلی پروپیلن خالص و چندسازه بدون EPDM و MAPP مشاهده شد. درحالی که افزودن ۳ درصد MAPP به چندسازه PP/ خاک اره و ۳۰ درصد EPDM به ترتیب افزایش ۵۱ و ۱۵۶ درصدی را نسبت به پلی پروپیلن خالص و چندسازه بدون EPDM و MAPP نشان داده است.

اتصال دهنده برای دستیابی به میزان بالای مقاومت به ضربه ضروریست. به طوری که با افزایش میزان EPDM به ۲۰ و ۳۰ درصد و استفاده از ۳ درصد MAPP روند بسیار مناسبی در افزایش مقاومت به ضربه مشاهده شد. به نحوی که بالاترین میزان مقاومت به ضربه در چندسازه حاوی ۳۰ درصد الاستومر و ۳ درصد MAPP مشاهده شد. هنگام استفاده از ۳۰ درصد EPDM در ساختار چندسازه به ترتیب



شکل ۶- اثر متقابل اتصال دهنده (MAPP) و الاستومر (EPDM) بر مقاومت به ضربه چندسازه

#### ریخت شناسی

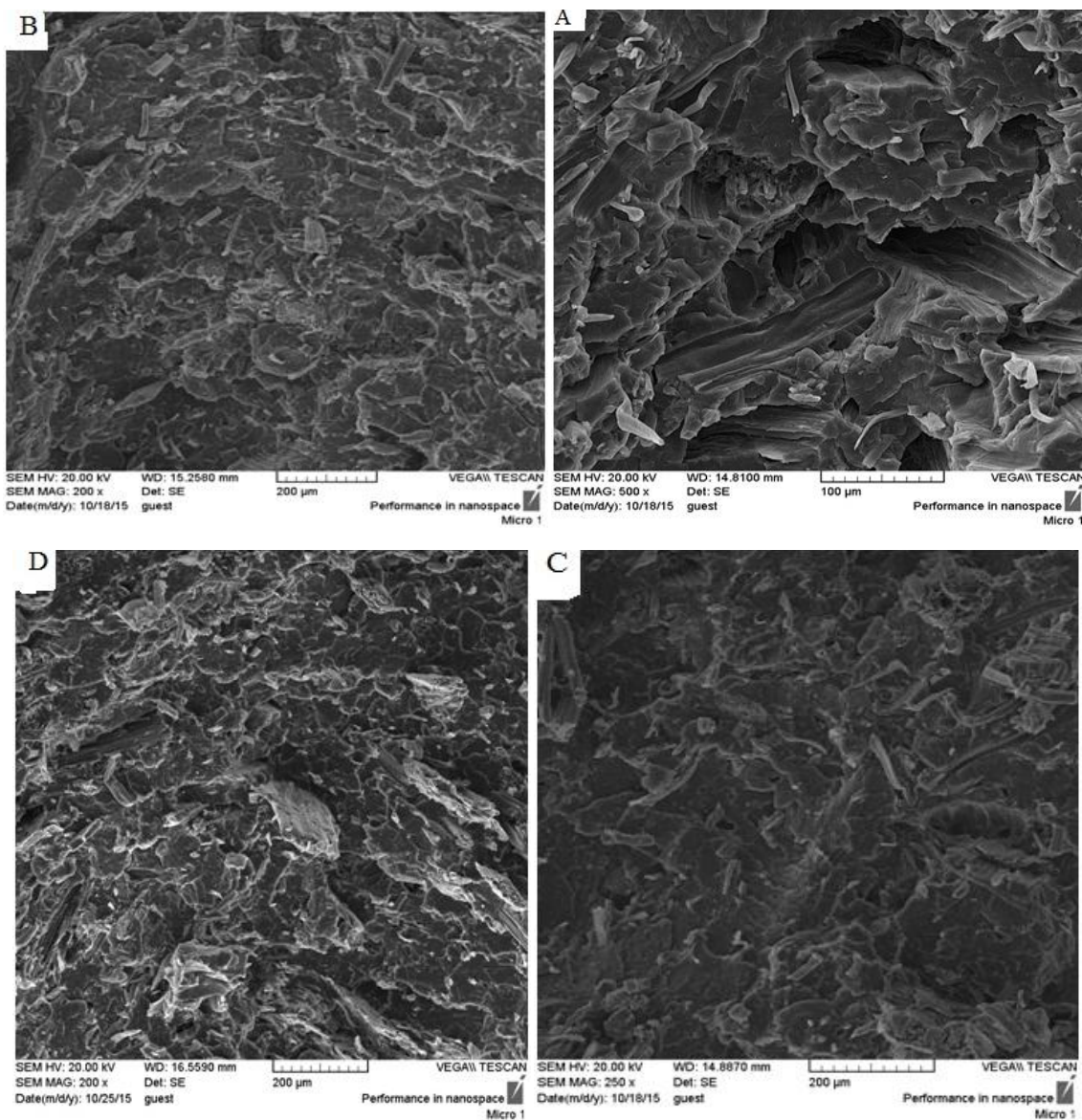
ساختار چندسازه‌ها یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین کننده ویژگی‌ها و کارایی مواد تشکیل دهنده چندسازه‌هاست. پخش، تجمع، جهت گیری الیاف و اتصالات سطح مشترک از مهمترین فاکتورها در بررسی مرفولوژی چندسازه در سطح شکست بشمار می‌روند. بررسی سطح شکست چندسازه به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌تواند اطلاعات مناسبی از اتصالات بین دو فاز و چگونگی تأثیر مواد افزودنی از قبیل MAPP و EPDM به ساختار چندسازه را نشان دهد. شکل ۷ سطح شکست در نمونه کششی چندسازه

پلی پروپیلن / خاک اره را نشان می‌دهد. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که اتصال مناسبی بین PP و خاک اره به وجود نیامده است و به راحتی می‌توان خروج الیاف را از ماتریس و شکست الیاف مشاهده کرد. چسبندگی ضعیف بین دو فاز لزوم افزودن مواد دیگر برای بهبود اتصالات بین دو فاز را اثبات می‌کند.

شکل B استفاده همزمان از EPDM و MAPP را نشان می‌دهد و بیانگر اتصال بهتر بین پلی پروپیلن و خاک اره است. شکل‌های C و D که به ترکیب مربوط به چندسازه‌های حاوی ۳۰ درصد EPDM و ۳ درصد MAPP هستند به خوبی نتایج

بهترین حالت قرار دارد و خروج پرکننده از ماتریس مشاهده نمی‌شود.

حاصل از مقاومت به ضربه را توجیه پذیر می‌کنند. در این شکلها مشخص است که اتصالات سطح مشترک در



شکل ۷- ریخت‌شناسی سطح شکست چندسازه حاوی پلی‌پروپیلن / خاک اره (A)، چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره / EPDM (۱۰٪) / MAPP (۳٪) (B)، چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره / EPDM (۳۰٪) (C) و چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره / EPDM (۳۰٪) / MAPP (۳٪) (D)

## بحث

در این بررسی ویژگی‌های کششی و مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره حاصل از برش چوب کاج تدا با افزودن اتیلن، پروپیلن، داین و منومر به‌عنوان اصلاح‌کننده مقاومت به ضربه با سه میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و انیدرید مالئیک پیوند خورده با پلی‌پروپیلن به‌عنوان اتصال‌دهنده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. افزودن خاک اره به‌عنوان پرکننده به میزان ۳۰ درصد به پلی‌پروپیلن مدول الاستیسیته کششی را از ۲۰۴۲ مگا پاسکال به ۲۴۰۱ مگا پاسکال افزایش داده است (۱۸ درصد افزایش). استفاده از الیاف طبیعی تأثیر مثبت بر ویژگی‌های کششی داشته که می‌تواند باعث افزایش ۵۰ درصدی در مقاومت کششی و مدول الاستیسیته چندسازه تقویت‌شده با الیاف شود (Ochi, 2008). با وجود این، افزودن الاستومر باعث کاهش در مدول الاستیسیته و مقاومت کششی چندسازه شده است ولی با افزودن اتصال‌دهنده و تأثیر مثبت این ماده، ویژگی‌های کششی در چندسازه افزایش یافته است. از لحاظ آماری اثر متقابل الاستومر و پرکننده بر ویژگی‌های کششی معنی‌داری نبوده و کاهش رخ داده در این ویژگی‌ها به‌صورت چشمگیری نبوده است. برای مثال استفاده از ۱۰ درصد الاستومر و ۳ درصد اتصال‌دهنده باعث افزایش در مقاومت کششی شده و حتی مقادیر بالاتری را نسبت به نمونه شاهد بدون افزودنی نشان داده‌اند. قابل توجه است که در بررسی مدول الاستیسیته کششی چندسازه حاوی ۱۰ درصد الاستومر و ۳ درصد MAPP سفتی بالاتری را نسبت به پلیمر خالص نشان داده‌اند. البته با افزایش میزان بالاتر (۲۰ و ۳۰ درصد) الاستومر ویژگی‌های کششی روند نزولی را نشان داده‌اند. Ruksakulpiwat و همکاران (۲۰۰۹) در استفاده از مقادیر مختلف EPDM مشاهده کردند که به‌کارگیری ۵ و ۱۰ درصد این الاستومر باعث بهبود در ویژگی‌های کششی شده و استفاده از مقادیر بالاتر این ماده کاهش قابل توجه‌ای را نشان داده است.

مقاومت به ضربه می‌تواند ویژگی بحرانی چندسازه چوب پلاستیک در کاربردهای معین به‌عنوان مواد ساختمانی باشد.

چندسازه تقویت‌شده با الیاف زیستی دارای ویژگی‌های هستند که می‌توانند با ویژگی‌های چندسازه تقویت‌شده با الیاف شیشه بخصوص در ویژگی‌های ویژه رقابت کنند. با وجود این، یک ویژگی بنام مقاومت به ضربه در میان معایب اصلی کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف زیستی به چشم می‌خورد. بطور کلی چقرمگی (سفتی) چندسازه پرشده با الیاف تحت تأثیر فاکتورهای مانند ویژگی‌های ذاتی ماتریس، کسر حجمی الیاف و مقاومت پیوند سطح مشترک می‌باشد (Balatinecz & Kazayawoko 1995).

بررسی گزارش‌های قبلی دلالت بر کاهش مقاومت به ضربه با افزایش الیاف طبیعی به ساختار چندسازه پلیمری دارد (Arbelaz et al., 2005). در این بررسی از میزان ثابت ۳۰٪ خاک اره برای ارزیابی مقاومت به ضربه با افزودن EPDM (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و MAPP (۳ درصد) برای بهبود این ویژگی استفاده شده است. مقاومت به ضربه چندسازه پلی‌پروپیلن / خاک اره بدون EPDM کمتر از پلی‌پروپیلن خالص بوده است. این پدیده در پژوهش‌های گذشته بر روی چندسازه پلی‌پروپیلن / الیاف طبیعی ارائه شده است (Ruksakulpiwat et al., ; Ismail et al., 2002). از این رو می‌توان بیان کرد که افزودن میزان بالاتر الیاف احتمال تجمع الیاف را افزایش داده که احتیاج به انرژی کمتر برای گسترش شکاف دارد؛ بنابراین افزودن خاک اره به PP نتوانسته است باعث شکل‌گیری اتصالات سطح مشترک شده و در نهایت سبب کاهش در مقاومت به ضربه چندسازه نسبت به PP خالص شده است. مقاومت به ضربه چندسازه بدون EPDM پایین‌تر از پلی‌پروپیلن خام است. این پدیده توسط مطالعات انجام شده بر روی چندسازه PP / الیاف طبیعی گزارش شده است (Ismail et al., 2002). تصویر SEM تهیه‌شده از چندسازه PP / خاک اره نشان داد که اتصال مناسبی بین PP و خاک اره به وجود نیامده است و به راحتی می‌توان خروج الیاف از ماتریس و شکست الیاف را مشاهده کرد. قابل ذکر است که اتصالات نواحی سطح مشترک اهمیت بسزایی در تعیین سختی (چقرمگی) چندسازه دارد. عدم اتصال، خروج و شکست

قوی را شکل می‌دهد و اتصال MAPP از سمت دیگر با ماتریس PP باعث شکل‌گیری چسبندگی قوی و انتقال تنش مناسب خواهد شد (Kazayawoko *et al.*, 1999). Anuar و Zuraida (۲۰۱۰) به بررسی بهبود ویژگی‌های مکانیکی با استفاده از ۲۰٪ الیاف کنف / PP پرداختند و از دو نوع بهبوددهنده مقاومت به ضربه شامل لاستیک طبیعی ترموپلاستیک (TPNR) و اتیلن پروپیلن داین مونومر (EPDM) استفاده کردند. به علت ناسازگاری دو فاز از MAPP به عنوان اتصال‌دهنده استفاده کردند. آنان عنوان کردند که استفاده همزمان از اصلاح‌کننده‌ها و MAPP بهبود مناسب و چشمگیری در مقاومت به ضربه ایجاد کرد. همچنین اعلام کردند که تصاویر SEM نشان داد که بهبود در ویژگی‌های مکانیکی به علت واکنش خوب بین دو فاز می‌باشد.

تصاویر تهیه‌شده از سطح شکست چندسازه‌ها نتایج حاصل از بررسی مقاومت به ضربه را تأیید کرد. درحالی‌که شکست در چندسازه حاوی الاستومر در مقایسه با چندسازه بدون الاستومر اغلب در بین ذرات چوبی قابل‌رؤیت بوده (ذرات شکسته شده الیاف چوبی قابل‌مشاهده است) که دلالت بر چسبندگی قوی بین ذرات چوبی و PP دارد. چسبندگی سطح مشترک قوی بین ماتریس و الیاف تحرک‌پذیری پلیمر را کاهش داده (Oksman & Clemons, 1998) و از خروج الیاف از ماتریس جلوگیری کرده است. همچنین Ruksakulpiwat و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که چسبندگی بین ترکیبات مخلوط شده در چندسازه PP با EPDM مناسب و خوب به نظر می‌رسد.

#### منابع مورد استفاده

- Arbelaz, A., Fernández, B., Ramos, J. A., Retegi, A., Llano-Ponte, R. and Mondragon, I., 2005. Mechanical properties of short flax fibre bundle/polypropylene composites: Influence of matrix/fibre modification, fibre content, water uptake and recycling. *Composites Science and Technology*, 65 (10) 1582–1592.
- Anuar, H. and Zuraida, A., 2011. Improvement in mechanical properties of reinforced thermoplastic

الیاف سه مکانیزم جذب انرژی در طی ضربه هستند. در نتیجه چسبندگی ضعیف بین ماتریس و الیاف منجر به شکست با انرژی کمتر می‌شود (Bax & Mussig, 2008). شکاف‌ها از نقاطی که تمرکز تنش بالا باشد شروع می‌شوند، مانند مناطق دارای عیوب و یا نقاطی که اتصالات بین دو فاز خیلی ضعیف است. اعتقاد بر این است که چسبندگی سطح مشترک قوی بین دو فاز باعث افزایش مقاومت و سفتی در چندسازه شده، درحالی‌که مقاومت به ضربه به علت انتشار آسان شکست در بین دو فاز کاهش می‌دهد (Panthapulakkal *et al.*, 2006). بنابراین با مشاهده این نتیجه، در افزودن خاک اره به PP افزودن اصلاح‌کننده مقاومت به ضربه برای کاربرد این مواد در بخش‌های خواهان مقاومت به ضربه بالا ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از مهمترین راه‌حل‌های بهبود در مقاومت به ضربه چندسازه پر شده با الیاف طبیعی، افزودن الاستومرها به این ساختار می‌باشد. افزودن ۱۰ درصد EPDM به چندسازه تأثیر مثبت این EPDM را به عنوان بهبوددهنده مقاومت به ضربه نشان داد. افزودن ۳ درصد MAPP روند افزایشی بیشتری را در بهبود مقاومت به ضربه نشان داده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از سازگارکننده تمرکز تنش را کاهش و همچنین انرژی موردنیاز را برای ایجاد ترک افزایش می‌دهد. افزودن ۱۰ درصد EPDM و ۳ درصد MAPP باعث افزایش ۶۳ درصدی مقاومت به ضربه نسبت به چندسازه PP/خاک اره شده است؛ اما این میزان از افزودن EPDM و MAPP باعث رسیدن مقاومت به ضربه در سطح PP خالص نشده است؛ بنابراین افزودن میزان بالاتر EPDM ضروری به نظر می‌رسد. افزودن ۲۰ درصد EPDM باعث بهبود بیشتری در مقاومت به ضربه چندسازه پر شده با خاک اره شده و اضافه شدن MAPP روند افزایشی را تشدید کرده است. در بالاترین سطح افزایش از EPDM یعنی ۳۰ درصد، بالاترین میزان بهبود در مقاومت به ضربه مشاهده شده که البته با افزایش MAPP این روند بهبود چشمگیرتر شد. واکنش گروه‌های انیدرید مالئیک با گروه‌های هیدروکسیلی الیاف چوبی پیوندهای کووالانسی

- properties of a biodegradable polymer. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39 (3): 503–513.
- Mutjé, P., Vallejos M.E., Gironès, J., Vilaseca F., López, A., López, J.P. and Méndez, J.A., 2006. Effect of Maleated polypropylene as coupling agent for polypropylene composites reinforced with hemp strands. *Journal of Applied Polymer Science*, 102 (1): 833–840.
- Oksman, K. and Clemons, C., 1998. Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene–Wood Flour Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 67 (2): 1503–1513.
- Ochi, S., 2008. Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites. *Mechanics of Materials* 40 (3): 446–452.
- Park, B. and Balatinez, J., 1997. Mechanical properties of wood–fiber/toughened isotactic polypropylene composites. *Polymer Composite*, 18 (1):79–89.
- panthapulakkal, S., Sain, M. 2006. Injection molded wheat straw and corn stem filled Polypropylene composites. *Journal of Polymer Environmental*,14 (3): 265-272.
- Panthapulakkal, S., Zereskian, A. and Sain, M., 2006. Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites. *BioresourceTechnology*, 97(2), 265-272.
- Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N. and Sutapun, W., 2009. Improvement of impact property of natural fiber–polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber. *Composites: Part B*, 40 (3): 619–622.
- Wang, W., Tang, L. and Qu, B., 2003. Mechanical properties and morphological structures of short glass fiber reinforced PP/EPDM composite. *European Polymer Journal* 39 (2) 2129–2134.
- elastomers composite with kenaf bast fibre. *Composites: Part B* 42 (3) 462–465.
- Bax, B. and Mussig, J., 2008. Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA /flax composites. *Composites Science and Technology*, 68 (7): 1601–1607.
- Bledzki A.K., Faruk, O. and Huque M., 2002. Physico-mechanical studies of wood fiber reinforced composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 41(3): 435– 451.
- Joshi, S., Drzal, L., Mohanty, A. and Arora, S., 2004. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites. *Composites Part A*, 35 (3):371–376.
- Ismail, H., Shuhelmy, S. and Edyham, M., 2002. The effects of a silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fiber filled natural rubber composites. *European Polymer Journal*, 38 (2): 39–47.
- Kaynak, C., Arıkan, A. and Tincer, T., 2003. Flexibility improvement of short glass fiber reinforced epoxy by using a liquid elastomer. *Polymer*, 44 (8):2433- 2439.
- Kazayawoko, M., Balatinez, J. and Matuana, L. M., 1999. Surface modification and adhesion mechanisms in wood fiber- polypropylene composites. *Journal of Materials Science*, 34 (24): 6189–6199.
- Keledi1, G., Sudár1, A., Burgstaller, Ch., Renner1, K., Móczó1, J. and Pukánszky, B., 2012. Tensile and impact properties of three-component PP/wood/elastomer composites. *eXPRESS Polymer Letters*, 6 (3): 224–236.
- Mantia, F. P. and Morreale, M., 2011. Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(6): 579–588.
- Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A. and La Mantia F. P., 2008. Effect of adding wood flour to the physical

## The effect of elastomers and coupling agent on tensile properties and impact strength polypropylene/saw dust composites

H. Aibaghi esfahani<sup>1</sup> , M. Kalagar<sup>2</sup> and H. Sepahri Rad<sup>3</sup>

1\*- Corresponding Author, Faculty Member, Department of Architecture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran,  
Email: Aibaghi.esfahani@gmail.com

2-Ph.D. wood and paper industry, research and innovation center of ETKA organization, Tehran, Iran

3-Faculty Member, Department of Architecture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

Received: Jan., 2017

Accepted: April, 2017

### Abstract

To study the tensile properties and impact strength in Wood Plastic Composites (WPC) polypropylene as a matrix and teada pine sawdust as reinforcement / filler is used. Ethylene / propylene / Diane / monomer (EPDM) as modified impact resistance with 10, 20 and 30 percent improved impact resistance and maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) at a rate of 3 percent as a fasteners to improve response and polymers and fillers were added to the composite. To evaluate the fracture surface of a structure scanning electron microscope (SEM) was used. The apply of 10% elastomer and 3% coupling agent cause to improved of tensile properties and the use of higher levels of elastomer (20 and 30%) has shown a decreasing trend in these properties. The results showed that PP matrix by adding sawdust to a significant reduction in impact strength of composite than pure PP is observed. An EPDM additive used in all contents of composites PP / sawdust has improved impact strength. Simultaneous use of EPDM and MAPP used a positive effect in tensile properties and impact strength. The apply of EPDM (30%) and 3% (MAPP) has demonstrated the highest level of impact strength. SEM images show that the use of EPDM and MAPP composites will improve the connection of interface.

**Keywords:** Composite, tensile properties, impact strength, ethylene/ propylene/ Diane/ monomer, coupling agent.