

مطالعه‌ی اثر سازگارکننده‌های مختلف بر خواص مکانیکی کامپوزیت کاه گندم- پلی اتیلن سبک

مانا رضائی^۱، بهجت تاج‌الدین^۲، علی محمدی ثانی^{۳*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، قوچان، ایران

^۲ عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، بخش صنایع غذایی، کرج، ایران

^۳ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۸

چکیده

در این تحقیق، نوعی کامپوزیت به منظور استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی با ویژگی زیست تخریب‌پذیری تولید شد. در این فرآورده‌ی مرکب، از ماده‌ی پلیمری پلی اتیلن سبک در نقش ماده‌ی زمینه، پودر لیگنوسلولزی کاه گندم به عنوان پرکننده و سازگارکننده‌های MAPE (مالئیک انیدرید پلی اتیلن) و PEG(400) و PEG(600) (پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰ و ۶۰۰) استفاده گردید و با انجام آزمون‌های مختلف مکانیکی (کشش، خمش سه نقطه و ضربه) سعی شد بهترین ترکیب از نظر تاثیر عوامل سازگارکننده، تهیه گردد. نسبت ماده‌ی زمینه به فاز پرکننده در سطوح نسبی ۷۰ به ۳۰، ۶۰ به ۴۰، ۵۰ به ۵۰ و ۴۰ به ۶۰ در محصول مرکب به کار گرفته شد و هر یک از مواد سازگار کننده برای هر یک از نسبت‌های فوق در سه سطح ۰ و ۷ و ۱۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. نتایج، نشان داد که MAPE، بهترین سازگارکننده از نظر بهبود ویژگی مقاومت مکانیکی است. نوع سازگار کننده، تاثیری در بهبود ویژگی مقاومت ضربه نداشت و کلیه‌ی تیمارها در ویژگی مقاومت خمش نسبت به نمونه‌ی شاهد، بهبود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بسته بندی مواد غذایی، زیست تخریب‌پذیر، کامپوزیت، کاه گندم، پلی اتیلن سبک، سازگارکننده.

۱- مقدمه

در طی سی سال گذشته با رشد جمعیت، پلاستیک‌ها نقش مهمی را در تغییر شکل زندگی مردم ایفا نموده‌اند و مقدار مصرف آن‌ها در جوامع توسعه یافته و در حال توسعه همچنان در حال افزایش است (۵). چنان که در طول سال‌های گذشته بسته‌بندی با پلاستیک‌ها برای غذاهای آماده، غذاهای منجمد شده، لبنیات، نوشابه‌ها، نان و شکلات اهمیت و ضرورت بیش‌تری پیدا کرده است (۶).

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات این مواد، عدم زیست تخریب‌پذیری آن‌ها و در نتیجه آلودگی محیط زیست می‌باشد (۲۳، ۲۴ و ۲۵). تلاش و آگاهی‌های مداوم توسط دست‌اندرکاران محیط زیست در رابطه با آلودگی‌های زیستی پلیمرها و نیاز به ایمن بودن آن‌ها، الگوی مصرفی جدیدی را معرفی می‌کند که شامل بسته‌بندی محصولات با مواد زیست تخریب‌پذیر به ویژه استفاده از محصولات کشاورزی قابل بازیافت و ضایعات صنعتی مواد غذایی می‌باشد (۷ و ۲۴). اگر چه جایگزینی کامل مواد مصنوعی با بسته‌بندی‌های سازگار با محیط زیست غیرممکن است اما جهت کاربردهای خاص مثل بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان به خوبی از پلاستیک‌های زیستی استفاده کرد (۲۶). بیوکامپوزیت‌ها جزء این مواد به شمار می‌روند. این مواد از اختلاط پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و پرکننده به دست می‌آیند (۲۴، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰). در این راستا می‌توان از مواد لیگنوسلولزی و تخریب‌پذیر در ترکیب با پلیمرهای صنعتی که بیش‌ترین مصرف را در بسته‌بندی مواد غذایی دارند، استفاده کرد. ترکیبات لیگنوسلولزی توسط میکروارگانیسم‌ها قابل تجزیه و مصرف هستند (۷).

به طور کلی هر فرآورده‌ی کامپوزیتی دارای سه فاز اصلی می‌باشد: فاز زمینه، فاز تقویت کننده یا پرکننده و فاز سازگارکننده (۸). پرکننده‌ها مواد بی اثری هستند که به پلیمرها افزوده می‌شوند. وظیفه‌ی این فاز تحمل تنش‌های مکانیکی وارده است (۳ و ۹). از نظر میزان مصرف، تقویت کننده‌ها یا پرکننده‌های معدنی از جمله الیاف شیشه، تالک، میکا و کربنات کلسیم، بیش‌ترین بخش را به خود اختصاص می‌دهند (۲). کامپوزیت‌هایی که فاز پرکننده‌ی الیاف گوناگون باشند، به کامپوزیت‌های لیفی معروفند و چنانچه به جای الیاف از پودر استفاده شود این مواد را کامپوزیت‌های ذره‌ای یا پودری

می‌نامند (۱۰). به طور کلی از ملزومات کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، استفاده از یک سازگار کننده برای ایجاد سازگاری بین چوب (قطبی) و ترموپلاستیک (اغلب غیر قطبی) است. سازگار کننده باید دارای ساختاری باشد که بتواند با هر دو جزء کامپوزیت بر هم کنشی (از نوع فیزیکی و شیمیایی) برقرار کند. از جمله سازگار کننده‌های رایج در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، کوپلیمرهای عامل دار شده هستند. در کامپوزیت‌های پلی اولفین - چوب، انواع کوپلیمرهای پلی اولفین مالئیک انیدرید خواص مطلوبی ایجاد می‌کنند (۲).

Hristove و همکاران (۲۰۰۴) اثر افزودن سازگار کننده‌ها بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی پروپیلن و آرد چوب را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ضعف خواص مکانیکی کامپوزیت‌های اصلاح نشده به علت اتصال ضعیف میان ماتریس پلیمری و الیاف چوب است و مدول کششی، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه با افزودن مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن بهبود می‌یابد (۱۵ و ۱۶).

Sigwroth و همکاران (۲۰۰۲) از پلی اتیلن سنگین و پلی پروپیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید برای ساخت کامپوزیت حاوی خرده چوب استفاده کردند. نتایج حاصل، نشان داد که استفاده از مالئیک انیدرید سبب خیس شدن بهتر الیاف توسط ماده‌ی زمینه گردید و موجب افزایش چسبندگی در فصل مشترک ماده‌ی زمینه و الیاف شد (۱۸).

Xue و همکاران (۲۰۰۳) به منظور بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت پلی پروپیلن و الیاف چوب صنوبر نمونه ای با ۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ درصد وزنی الیاف و ۲ درصد مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی پروپیلن تهیه کردند. نوریخس و همکاران (۱۳۸۳) اثر مواد لیگنو سلولزی را در سطوح مختلف انیدرید مالئیک پلی پروپیلن در کامپوزیت الیاف وارد چوب - پلی پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد مقاوم مت به ضربه و مقاومت کششی کامپوزیت الیاف با ۲ درصد سازگار کننده بالاتر از کامپوزیت بدون سازگار کننده است (۱۱ و ۱۹).

دانیل و همکاران (۲۰۰۵) در کتاب HAND BOOK شیمی چوب و کامپوزیت‌های چوب راجع به خصوصیات رطوبتی کامپوزیت چوب - پلاستیک ساخته شده از الیاف صنوبر - پلی پروپیلن بحث‌هایی مطرح کردند. پلی پروپیلن خالص به عنوان نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های ساخته شده با چهار سطح متغیر

گردید. نمونه‌ها بر اساس فرمولاسیون ارائه شده در جدول ۱ و با وزن کلی ۵۰۰ گرم تهیه شدند.

جدول ۱- فرمولاسیون مخلوط‌های اولیه

تیمار	LDPE %	SW %	سازگارکننده %
T ₁	۱۰۰	۰	-
T ₂	۰	۱۰۰	-
T ₃	۷۰	۳۰	-
T ₄	۷۰	۳۰	%√MAPE
T ₅	۷۰	۳۰	%۱۰ MAPE
T ₆	۷۰	۳۰	%√PEG400
T ₇	۷۰	۳۰	%۱۰PEG400
T ₈	۷۰	۳۰	%√PEG 600
T ₉	۷۰	۳۰	%۱۰PEG 600
T ₁₀	۶۰	۴۰	-
T ₁₁	۶۰	۴۰	%√MAPE
T ₁₂	۶۰	۴۰	%۱۰ MAPE
T ₁₃	۶۰	۴۰	%√PEG400
T ₁₄	۶۰	۴۰	%۱۰PEG400
T ₁₅	۶۰	۴۰	%√PEG 600
T ₁₆	۶۰	۴۰	%۱۰PEG600
T ₁₇	۵۰	۵۰	-
T ₁₈	۵۰	۵۰	%√MAPE
T ₁₉	۵۰	۵۰	%۱۰ MAPE
T ₂₀	۵۰	۵۰	%√PEG400
T ₂₁	۵۰	۵۰	%۱۰PEG400
T ₂₂	۵۰	۵۰	%√PEG 600
T ₂₃	۵۰	۵۰	%۱۰PEG 600
T ₂₄	۴۰	۶۰	-
T ₂₅	۴۰	۶۰	%√MAPE
T ₂₆	۴۰	۶۰	%۱۰ MAPE
T ₂₇	۴۰	۶۰	%√PEG400
T ₂₈	۴۰	۶۰	%۱۰PEG400
T ₂₉	۴۰	۶۰	%√PEG 600
T ₃₀	۴۰	۶۰	%۱۰PEG 600

الیاف ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، درصد الیاف با ۲ درصد مالئیک انیدرید و بدون مالئیک انیدرید ساخته شدند. نتیجه، نشان دهنده‌ی بهبود مقاومت کششی بر اثر استفاده از سازگار کننده بود(۱۴).

ادیکاری وهمکاران (۲۰۰۸) ثبات ابعادی و رفتار مکانیکی فرآورده‌ی کامپوزیت چوب - پلاستیک بر پایه‌ی پلی اتیلن سنگین بازیافتی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، ثبات ابعادی، خصوصیات مکانیکی و ساختمان میکروسکوپی کامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. با افزودن مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) به میزان ۳ تا ۵ درصد وزنی به کامپوزیت بهبود معنی‌داری در ثبات ابعادی و خصوصیات مکانیکی کامپوزیت ایجاد شد. آنالیز ساختمان میکروسکوپی سطح شکست کامپوزیت اصلاح شده با مالئیک انیدرید پلی پروپیلنی بهبود اتصالات زنجیره مولکولی را تایید کرد (۱۷).

هدف از انجام این تحقیق، رسیدن به سازگار کننده‌ی مناسب در تهیه‌ی بیوکامپوزیت کاه گندم - پلی اتیلن به منظور کاربرد در بسته بندی مواد غذایی است که علاوه بر تخریب پذیری، بهترین ویژگی‌های مکانیکی (کشش، خمش و ضربه) مطلوب در مقایسه با پلی اتیلن را خالص داشته باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پلی اتیلن سبک (LDPE) از مجتمع پتروشیمی بندر امام خمینی با وزن مخصوص 0.92 g/cm^3 و شاخص جریان مذاب 2 g/10 min به صورت گرانول تهیه گردید.

کاه گندم رقم پیش‌تاز از مزرعه‌ی ۴۰۰ هکتاری موسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه‌ی نهال و بذر تهیه شد که در تاریخ ۸۸/۷/۱۸ کاشت و در تاریخ ۸۹/۴/۱۸ برداشت شد.

سازگارکننده‌های MAPE به صورت گرانول و PEG(600), PEG (400) به صورت مایع از شرکت شیمیایی و صنعتی پیام اهورا - تهران تهیه شد.

۲-۲- روش‌ها

ابتدا کاه به صورت دستی خرد شد و در مرحله‌ی بعد توسط آسیاب پره ای نوع Retschmuhle مدل Gmbh-SK1 ساخت آلمان آسیاب گردید. آرد حاصل از عملیات آسیاب توسط الک ارتعاشی و مش ۴۰ الک شد و مقادیر جزئی باقیمانده روی الک به منظور تکرار عملیات آسیاب برای بار دوم به آسیاب منتقل

تحميل کند بدون اين که دچار کرنش دائمی (Permanent Strain) شود. مقاومت به کشش نهایی تحت تاثیر ميزان به هم پیوستگی زنجیرهای پلیمر در ماتریکس ورقه ای قرار می گیرد. مقادیر این پارامتر بر مبنای پاسکال، مگاپاسکال و یا نیوتن بر متر مربع بیان می شود. برای اندازه گیری خاصیت کششی طبق استاندارد از نمونه های دمبل تهیه شده از دستگاه تزریق به ضخامت ۵ میلی متر و پهنای ۱۰ بر طبق استاندارد ASTM D638 استفاده شد. سرعت کشش نمونه ها ۵۰ میلی متر بر دقیقه تنظیم گردید. این تست، توسط دستگاه بافت سنج (Texture Analyzer) مدل (Hounsfield-H5KS) ساخت کشور انگلستان موجود در آزمایشگاه ابزار دقیق بخش صنایع غذایی (موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج) انجام شد. آزمون مقاومت ضربه (میزان چقرمگی یا Toughness): به نسبت انرژی تا نقطه شکست به حجم نمونه، مقاومت ضربه گفته می شود و تغییرات آن شبیه انرژی تا نقطه شکست می باشد. دستگاه ضربه (Pendulum Impact Tester) از نوع پاندولی مدل H3018 ساخت کشور آلمان است. مقاومت نمونه های ناچ (شکافدار) و آن ناچ (بدون شکاف) براساس استاندارد ASTM D256 اندازه گیری شد. ضخامت نمونه ها ۶ میلی متر بود. انرژی چکش ۲ ژول و زاویه ای که چکش در هنگام ضربه زدن طی می کرد ۱۶۰ درجه بود.

آزمون خمش سه نقطه (Impact Test): نمونه های آزمون خمش به دستگاه آزمایش خمش سه نقطه (Instron) مدل ۶۰۲۵ ساخت انگلستان و از هر تیمار ۳ تکرار با ضخامت ۲/۱ میلی متر و عرض ۳۴ میلی متر تهیه و براساس استاندارد ASTM D790 مورد آزمون قرار گرفت و نتایج ثبت گردید.

۲-۳- آنالیز آماری

از آزمون کای اسکوار جهت مقایسه میانگین استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده های آزمایشی از نرم افزار SPSS (Statistic Package) For Social Science و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. به منظور انتخاب تیمارهای برتر از لحاظ کشش، کلیه مشاهدات و داده های مربوط به تیمارها با میانگین های تیمار شاهد، مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

تهیه کامپوزیت: کامپوزیت ها با استفاده از اکسترودر دو پیچه ناهمسو گرد مدل Dr.Collin-GmbH,d-8017 ساخت کشور آلمان، تهیه شدند. سیلندر این دستگاه به ۶ ناحیه حرارتی تقسیم می شود و ناحیه ششم همان دای دستگاه می باشد. L/D دستگاه برابر ۱۶ است. دور ماردون بین ۶۰ rpm متغیر می باشد و دستگاه به وسیله آب خنک می شود. در این مرحله، شرایط دمایی و سرعت چرخش با توجه به جلوگیری از سوختن کاه گندم و توانایی فرآیند و ذوب شدن ذرات پلی اتیلن در نظر گرفته شد.

جدول ۲- شرایط دمایی تهیه کامپوزیت ها در اکسترودر

ناحیه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
دما (°C)	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵

تهیه ی گرانول در دستگاه آسیاب (خردکن): از دستگاه Weiser مدل WE-LS 200/200 ساخت کشور اتریش، برای خرد کردن تکه های درشت رشته های کامپوزیت حاصل از بخش اکسترودر استفاده شد. این دستگاه، حاوی سیستم مکش و سه تیغه E شکل است که به صورت چرخشی حرکت می کنند.

تهیه ی نمونه های آزمون های مکانیکی در دستگاه تزریق: نمونه های آزمون خواص مکانیکی به وسیله دستگاه تزریق تهیه شدند. بدین منظور با استفاده از دستگاه تزریق کارگاه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، محصول شرکت ایمن ماشین، نمونه های دمبل جهت آزمون کشش و نمونه های ضربه در دو نوع (شکافدار و بدون شکاف) و نمونه های خمش آماده گردید.

جدول ۳- شرایط تزریق نمونه ها

بیک فشار تزریق	۱۰۰ بار
دمای ناحیه ۱	۱۶۵°C
دمای ناحیه ۲	۱۸۵°C
دمای ناحیه ۳	۱۹۵°C

آزمون مقاومت کشش (Tensile Strength): مقاومت به کشش یا مقاومت به کشش نهایی (Ultimate Tensile Strength) حداکثر تنش کششی است که یک ماده می تواند

۳- نتایج و بحث

آنالیز آماری نتایج بدست آمده نشان داد که تیمار ۴ با ترکیب "MAPE ۷٪ + WS ۳۰٪ + LDPE ۷۰٪" تیمار ۱۰ با ترکیب "MAPE ۷٪ + WS ۴۰٪ + LDPE ۶۰٪" تیمار ۱۱ با ترکیب "MAPE ۷٪ + WS ۴۰٪ + LDPE ۶۰٪" تیمار ۱۲ با ترکیب "MAPE ۷٪ + WS ۴۰٪ + LDPE ۶۰٪" تیمار ۱۹ با ترکیب "MAPE ۱۰٪ + WS ۴۰٪ + LDPE ۵۰٪" و تیمار ۲۶ با ترکیب "MAPE ۱۰٪ + WS ۶۰٪ + LDPE ۴۰٪" در مقایسه با ترکیب شاهد (LDPE ۱۰۰٪) اختلاف معنی داری از نظر مقاومت کششی ندارند. از این رو ۶ تیمار همراه با شاهد به عنوان تیمارهای برتر در این مرحله از لحاظ مقاومت کششی انتخاب گردیدند.

از آن جا که ویژگی مقاومت کششی در پلیمرها، اساس تهیه‌ی فیلم و ورق در بسته بندی می‌باشد، این ویژگی مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی اثر سازگارکننده در کامپوزیت مشخص شد که الیاف و پلیمر نسبت به هم ناسازگارند و مخلوطی با فازهای کاملاً جدا و مشخص تشکیل می‌دهند. مواد ترموپلاستیک اغلب غیر قطبی هستند در حالی که الیاف طبیعی، ماهیتی قطبی داشته و تمایل زیادی برای جذب آب دارند. جذب رطوبت تاثیر بسزایی بر خواص مکانیکی دارد. از طرفی اختلاف انرژی سطح این دو، سبب چسبندگی ناچیز بین پلیمر (اغلب اولفینی) و منبع لیگنو سلولزی می‌شود. بنابر این سطح مشترک آن‌ها ضعیف بوده و همین ضعف، زمینه را برای افت خواص مکانیکی (کشش و ضربه) فراهم می‌کند.

از آن جا که ذرات پودر الیاف درشت هستند، به راحتی دچار جدایی اتصالات می‌شوند. ماهیت آبدوست الیاف هم سبب اتصالات هیدروژنی درون مولکولی و تشکیل توده‌های درشت (Agglomeration) می‌گردد. در اثر وارد شدن بار به قطعه، ابتدا جدایی پرکننده از بستر پلیمری ایجاد و سپس حفره در فضای بین سطحی الیاف - پلیمر شکل می‌گیرد که به شدت تضعیف کننده‌ی خواص پلیمر است. به همین دلیل، اصلاح فازها در سطح مشترک برای افزایش چسبندگی حالت جامد بین دو فاز ضروری است (۲۲ و ۲۳). نتایج حاصل از تحقیقات Sigwroth و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که استفاده از مالئیک انیدرید سبب خیس شدن بهتر الیاف توسط ماده‌ی زمینه گردیده و با نقشی که از طریق چسبندگی بین دو فاز انجام می‌دهد موثرترین سازگار

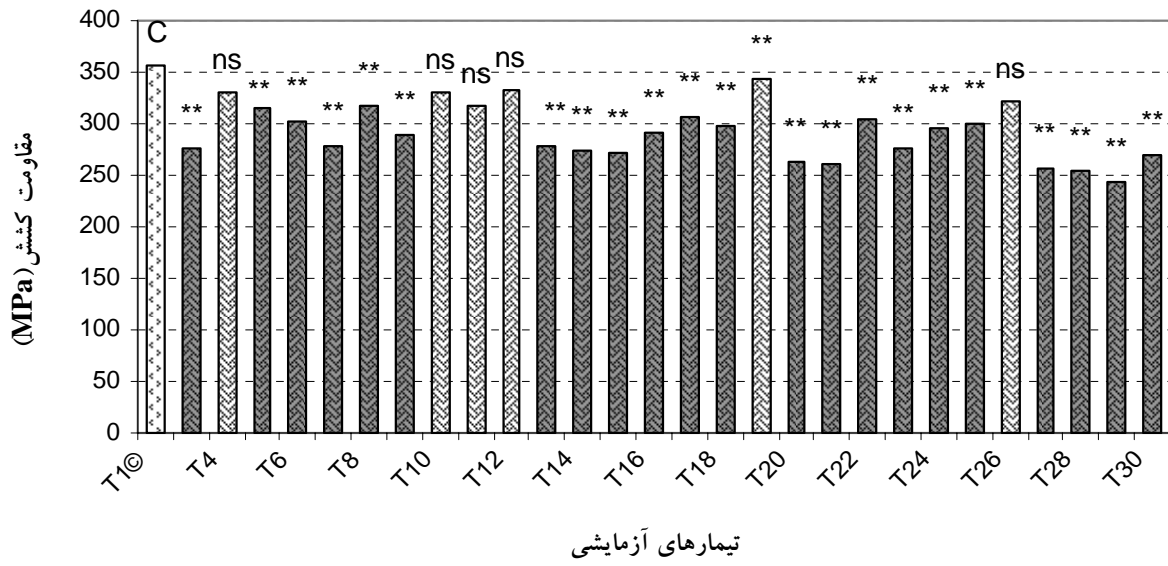
کننده برای این سیستم است (۱۸). MAPE از پیوند کردن مونومر مالئیک انیدرید به سطح زنجیر پلی اتیلن به وجود می‌آید و دارای گروه‌های عاملی فعال کربوکسیل و انیدرید است. الیاف هم قابلیت برقراری برهم کنش‌های خاص مانند اتصال هیدروژنی و نیز کووالانسی با مواد قطبی دیگر را دارد. پس گروه‌های انیدرید در مالئیک انیدرید می‌تواند با گروه‌های قطبی موجود در مخلوط و گروه‌های انتهای هیدروکسیل واکنش می‌دهند. از طرفی MAPE، سبب منظم شدن شکل و یکنواختی اندازه‌ی ذرات فاز پراکنده و در نتیجه، بهبود مورفولوژی فاز پراکنده می‌گردد.

نکته‌ی مهم بعد از تعیین مالئیک انیدرید پلی اتیلن به عنوان سازگار کننده، مقدار آن است. اساساً در هر سیستم چند فاز یک مقدار مناسب برای سازگار کننده وجود دارد. سازگار کننده‌های از نوع فیزوباند اغلب در محدوده‌ی ۲-۵ درصدوزنی اضافه می‌شوند (۲۱). ادیکاری و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند با افزودن مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) به میزان ۳ تا ۵ درصد وزنی به کامپوزیت بهبود معنی داری در ثبات ابعادی و خصوصیات مکانیکی ایجاد شد (۳۱).

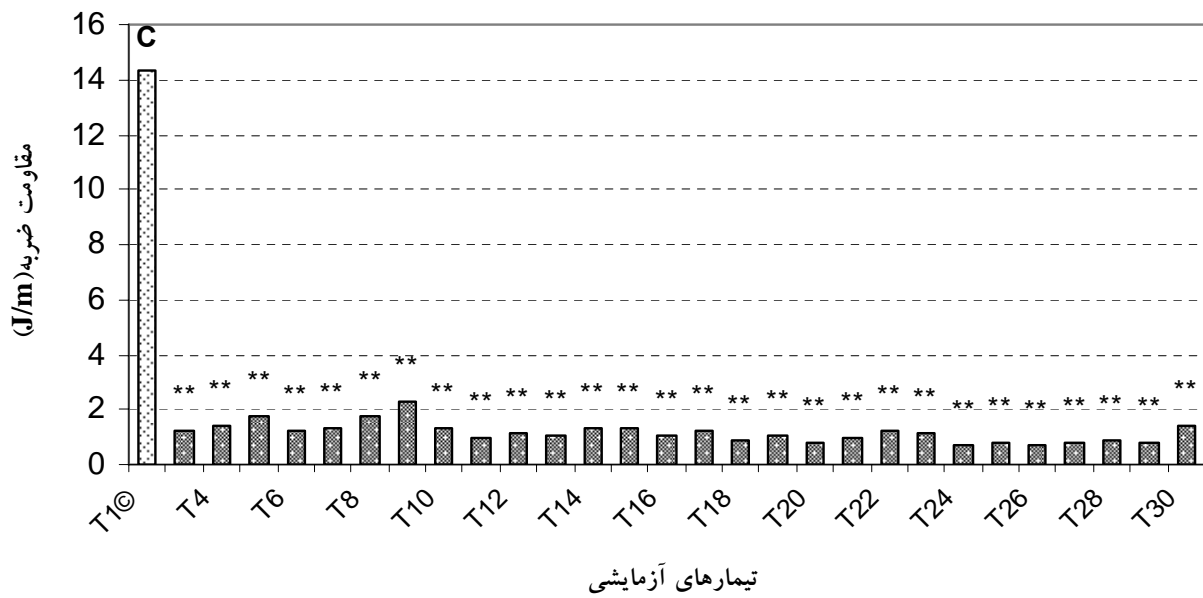
برای تعیین درصد مناسب، ابتدا اثر مقادیر مختلف آن بر خاصیت کششی که به چسبندگی بسیار حساس است از مخلوط بررسی شد. بررسی خواص کششی، نشان می‌دهد که در میزان ۳۰٪ کاه گندم ۷٪، در ۴۰٪ کاه گندم ۷٪ و ۱۰٪ و با افزایش میزان کاه گندم تا ۵۰٪ و ۶۰٪ به میزان ۱۰٪ مالئیک انیدرید پلی اتیلن بهترین ویژگی را به وجود آورده است.

بین مقادیر ۷ و ۱۰ درصد، MAPE برای ترکیبات T11، T12 که درصد کاه یکسانی دارند مقدار ۱۰٪ ویژگی کششی بهتری ایجاد نموده و مطلوب تر است و در ۶۰٪ کاه گندم در ترکیب آخر با وجود ۱۰٪ MAPE در بین تیمارهای موجود افت میزان کشش با تیمارهای دیگر مشاهده می‌شود و با ترکیب T11 با ۷٪ MAPE و ۴۰٪ کاه در یک حد است.

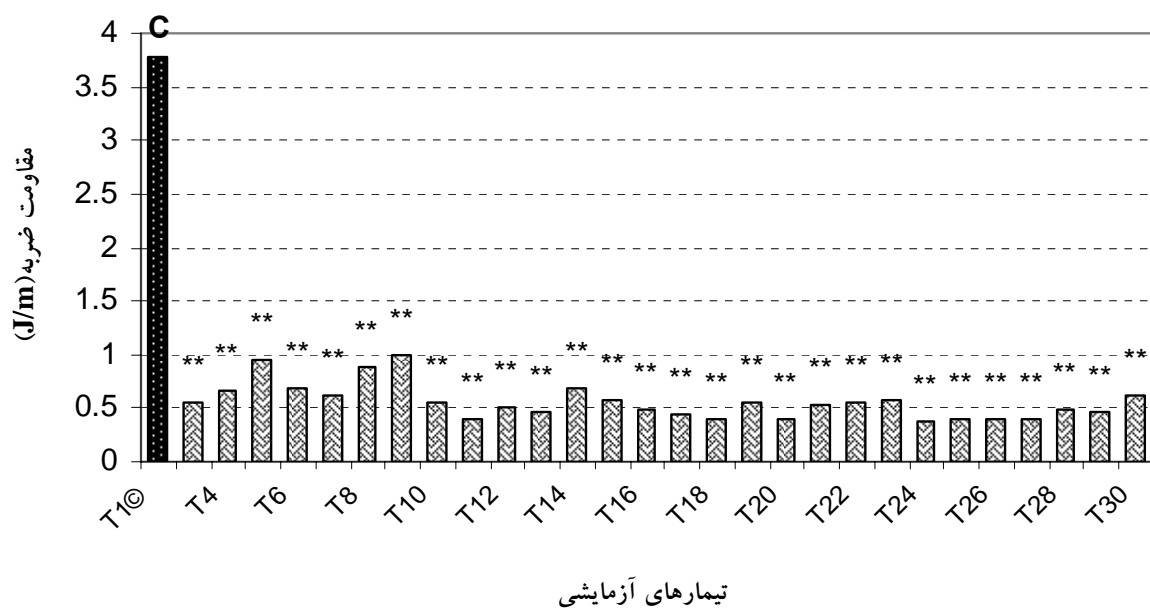
مقاومت ضربه‌ی کلیه‌ی (نمونه‌های شکافدار و نمونه‌های بدون شکاف) ترکیبات به جز شاهد در یک گروه بندی قرار می‌گیرند و هیچ گونه اختلاف معنا داری با هم ندارند اما در مقاومت ضربه با شاهد دارای اختلاف معنی داری هستند.



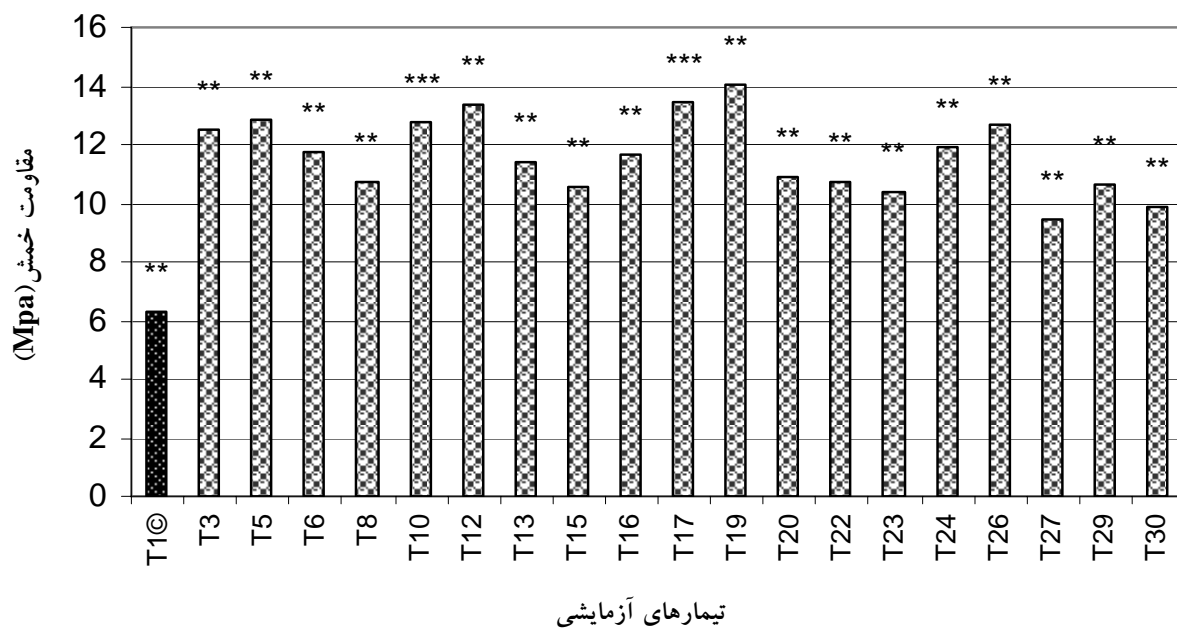
شکل ۱- اثر تیمارهای آزمایشی در مقاومت کشش



شکل ۲- اثر تیمارهای آزمایشی در مقاومت ضربه (نمونه‌های شکافدار)



شکل ۳- اثر تیمارهای آزمایشی در مقاومت ضربه (نمونه‌های بدون شکاف)



شکل ۴- اثر تیمارهای آزمایشی در مقاومت خمشی

بر تیمار شاهد دارند و درصد ترکیبات تاثیر محسوسی در آن نداشته است و همگی در یک سطح قرار دارند. تقویت کننده‌های لیفی شامل ذراتی هستند که دارای نسبت طول به قطر زیادی هستند و این نسبت بالا باعث می‌شود که قسمت اعظم تنش‌های وارده به فاز پلیمری به الیاف منتقل شود و در نتیجه مقاومت کامپوزیت افزایش یابد (۲۰).

۴- نتیجه گیری

- سازگار کننده MAPE، بهترین سازگار کننده از نظر بهبود ویژگی ترکیبات است.
- نوع ترکیبات با منبع لیگنوسولولزی تاثیری در بهبود ویژگی مقاومت ضربه نداشت و نمی‌توان به مقاومت ضربه‌ی پلی اتیلن دست یافت و رفتار شکننده خواهد بود.
- کلیه‌ی ترکیبات در ویژگی مقاومت خمش نسبت به شاهد برتری داشتند که دلیل آن پرکننده‌ی لیگنوسولولزی می‌باشد.

۵- منابع

- ۱- خطیبی، ر. ۱۳۸۸، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک بر پایه‌ی پلی اتیلن و ذرات لیگنوسولولزی ساقه‌ی ذرت، رساله‌ی کارشناسی ارشد، صفحات ۶۱-۱۰ و ۶۲.
- ۲- استادی، ا. ۱۳۸۷، تهیه‌ی کامپوزیت پلی پرلین - پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی - پودر چوب و بررسی خواص آن، رساله‌ی کارشناسی ارشد، صفحات ۳۲-۳۴.
- ۳- امیرخیزی، م. ۱۳۸۰، آمیزه کاری در صنایع پلیمری، مرکز نشر دانشگاهی صنعتی اصفهان، ۴۱۱ صفحه.
- ۴- چهارم‌حالی، م. ۱۳۸۴، امکان ساخت مواد مرکب چوب - پلاستیک با استفاده از ضایعات تخته‌ی خرده چوب و MDF و ضایعات پلی اتیلن سنگین، رساله‌ی کارشناسی ارشد، صفحات ۱-۲۰.
- ۵- محمدطاهری، م. ۱۳۸۴، تجزیه‌ی زیستی پلی اتیلن، رساله‌ی کارشناسی ارشد، صفحات ۲-۲۳.
- ۶- میرنظامی ضیابری، س. ۱۳۸۱، اصول بسته بندی مواد غذایی، انتشارات آبیژ، چاپ چهارم، صفحات ۱۰۶-۱۱۱.

میزان استحکام ضربه‌ی هر ماده، نشانه‌ی سطح اتلاف انرژی و عوامل موثر بر مقاومت ضربه، مقدار جزء پراکنده، نوع و ساختار آن و مکانیسم جذب انرژی است. از مکانیسم‌های مختلف ایجاد ضربه، می‌توان ایجاد ترک، جدایی اتصالات در ذرات، شکست ذرات و خروج ذرات را نام برد. یعنی در اثر ضربه، ترک‌های ریز سریعاً به ترک‌های درشت تبدیل می‌شوند و این ترک‌های درشت در تمام سطح مقطع پیش می‌روند. به عبارت دیگر، انرژی شروع و رشد ترک‌های درشت پایین است. همچنین به علت عدم چسبندگی فازی، تمایل ذرات پراکنده به تجمع زیاد است. تمرکز تنش بر این کلوخه‌ها خود عامل مقاومت در برابر ضربه است. زیرا کلوخه‌ها شروع و رشد ترک کم‌تری برای ترک‌ها می‌خواهد و رفتار را شکننده تر می‌کند. کریمی و همکاران (۱۳۸۳) و شاکری و امیدوار (۱۳۸۴) در تحقیقات خود جهت بررسی ویژگی‌های مکانیکی بیوکامپوزیت‌ها نشان دادند که در کلیه‌ی نمونه‌ها (با ۲ درصد مالئیک انیدرید) با افزودن ماده‌ی سلولزی مقاومت به ضربه، کاهش ولی مدول الاستیسیته و سختی افزایش می‌یابد (۱۲) و (۱۳).

در مجموع از مقادیر به دست آمده از ضربه می‌توان دریافت که در ترکیبات ذکر شده نمی‌توان به مقاومت ضربه پلی اتیلن دست یافت و رفتار، شکننده خواهد بود. جهت ویژگی مقاومت ضربه با توجه به تفاوت در درصد کاه و وجود و عدم وجود سازگارکننده‌های مختلف تفاوتی در مقاومت ضربه مشاهده نشد و در این ترکیبات کاهش مقاومت محسوسی با تیمار داشتند. مقاومت خمش کلیه‌ی ترکیبات به جز شاهد در یک گروه بندی قرار می‌گیرند و هیچ گونه اختلاف معنی داری با هم ندارند اما در مقاومت خمش دارای اختلاف معنی داری با شاهد هستند. در مجموع در تست‌های مکانیکی مقاومت ضربه و مقاومت خمش، تیمارها هیچ گونه برتری با یکدیگر ندارند و همگی کاملاً یکسان هستند. خطیبی و همکاران (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول ذرات آرد و درصد آن در نمونه‌های کامپوزیتی، مقدار مدول الاستیسیته خمشی بالا می‌رود و شبکه‌ی مستحکم‌تری را حاصل می‌کند (۱).

فاز پراکنده یا کاه گندم به طور محسوسی عامل افزایش‌دهی ویژگی مقاومت خمش بوده است. چون این فاز به عنوان تقویت کننده عمل می‌کند به طوری که کلیه‌ی تیمارها برتری محسوسی

- Composites The Niflunce of Temperature and Humidity , 7 th International Conference on Wood Fiber Plastics Composites , madison , Wisconsin , USA. pp:19-29.
- 20- Satyanarayana, K.G. Sukumaran, K. Kulkarni, A.G. Pillai, S.G.K. Rohatgi, P.K. 1986. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites , *Composites*, 17(4): 329-333.
- 21-Kliosov A.A., 2007. Wood Plastic Composites, Wiley, London.
- 22-Akbari M., Zadhoush A., Haghightat M., 2007 ,PET/PP Blending by Using PP-g-MA Synthesized by Solid Phase, *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 3986-3993.
- 23-Champagne M.F., Haneault M.A., Roux C., Peirel W., 1999. Reactive Compatibilization of PP/PET Blends, *Polymer Engineering and Science*, 39(6), 976-984.
- 24- R. N. Tharanathan., March 2003, "Biodegradable films and composite coatings": past, present and future, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 14, Issue 3, Pages 71-78.
- 25- J. Gonzalez-Gutierrez., P. Partal, M. Garcia-Morales, C. Gallegos, March 2010, "Development of highly-transparent protein/starch-based bioplastics", *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 6, Pages 2007-2013.
- 26-Valentina Siracuca, Pietro Rocculi, Santina Roman, Marco Dalla Rosa, December 2008, "Biodegradable polymers for food packaging: a review", *Trends in Food Science & Technology*, Volume 19, Issue 12, Pages 634-643.
- 27-Kvien, I., Sugiyama, J., Votrubic, M., Oksman, B., 2007, "Characterization of starch based nanocomposites". *Journal of Material Science*, 42, 8163-8171. 227.
- 28-Angls, M.N., Dufresne, A. 2001, "Plasticized starch/tunicin whiskers nanocomposit materials. 2. Mechanical behavior", *Macromolecules*, 34, 2921-2931.
- 29-Yu, L., Dean, K., Li, L. 2006. "Polymer blends and composites from renewable resources". *Progress In Polymer Science*, 31, 576-602.
- 30-Bondeson, D., 2007, "Biopolymer-based nanocomposites: processing and properties". Thesis for degree of philosophiae doctor.
- 31-Adhikary, K., Pang, S., Staiger, M., 2008, "Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE)", *Composites: Part B* 39., 807-815.
- ۷- محمدی، م. ۱۳۸۳، تهیه و بررسی خواص آمیزه‌های پلی اتیلن قابل تجزیه در محیط زیست، رساله‌ی کارشناسی ارشد، صفحات ۲-۲۳.
- ۸- امیرخیزی، م. ۱۳۷۳، آمیزه کاری در صنایع پلیمری (ترجمه)، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۹- درودیانی، س. ۱۳۷۳، تکنولوژی کاربرد مواد چند سازه (ترجمه)، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۱۰- طبری، ع. ۱۳۸۲، چند سازه با استفاده از پلی استر و ساقه‌ی برنج، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جنگلداری و فناوری چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۱۱- نوربخش، ا. و همکاران. ۱۳۸۳. مقایسه‌ی اثر مواد لیگنو سلولزی در سطوح مختلف انیدرید مالئیک پلی پروپیلن (MAPP) در چند سازه الیاف و آرد چوب / پلی پروپیلن. مجله‌ی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۱۹. شماره‌ی ۱. صفحات ۴۹-۶۸.
- ۱۲- شاکری، ع. ۱۳۸۵، بررسی اثر نوع، مقدار و اندازه‌ی ذرات کاه بر خواص مکانیکی چند سازه‌های پلی اتیلن سنگین- کاه غلات. مجله‌ی علوم و تکنولوژی پلیمر. سال نوزدهم. شماره‌ی ۴. صفحات ۳۰۱-۳۰۸.
- ۱۳- کریمی، ع. ن.، روحانی، م. و ابراهیمی، ق. ۱۳۸۳. بررسی امکان استفاده از الیاف لیگنوسلولزی (باگاس و کنف) در ساخت چندسازه‌ی الیاف - پلی پروپیلن. مجله‌ی منابع طبیعی ایران. جلد ۵۷. شماره‌ی ۳. صفحات ۴۹۱-۵۰۶.
- 14-Caulfield ,D., Clemons, C., Jacobson, R., and Rowell, R. 2005. Wood Thermoplastic Composite. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite. Pp.365-378.
- 15-Felix R., 1993, Handbook Polymer/Fiber Composites , Longman Group UK.Limited. UK.
- 16-Hisrove, V.N., S.T. Vasileva, M. Krumova, and L.R.Michler, 2004, Deformation Mechanisms and Mechanical Properties of Modified Polypropylene, Wood fiber Composites. *Polymer Composites* 25(5).
- 17-Adhikary , K., Pang, S., S., Staiger, M., 2008 Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE)., *Composites : Part B* 39., 807-815.
- 18-Sigworth W, 2002, Plastic Impact on Iinviroment , Proceeding of Conference held Detroit, MI. pp;75-81.
- 19-Xuy., D. Veazie., C. Glinsay and M. Writh , 2003, Mechanical Properties of Wood Fiber