

## بررسی ویژگی‌های مکانیکی فرآورده مرکب پلی‌اتیلن سنگین کاه ساقه برنج

\*علی رضا شاکری<sup>۱</sup>، اصغر امیدوار<sup>۲</sup> و فیاض گرجانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیأت علمی گروه شیمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>عضو هیأت علمی و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه صنایع

چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۴/۶/۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱/۲۳

### چکیده

در این پژوهش، فرآورده مرکب پلی‌اتیلن سنگین با ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی کاه ساقه برنج تهیه و خواص مکانیکی (کشش، خمش و مقاومت به ضربه) آن اندازه‌گیری شد. همچنین اثر ماده جفت کننده مالئیک انیدرید و اندازه ذرات کاه برنج (مش ۱۲ تا ۲۵ و مش ۲۵ تا ۴۰) بر خواص مکانیکی فرآورده مرکب بررسی شد. در مجموع ۹ تیمار شامل ۳ تیمار پلی‌اتیلن سنگین به ترتیب با ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی کاه برنج دانه ریز و ۲ درصد مالئیک انیدرید، ۳ تیمار پلی‌اتیلن سنگین به ترتیب با ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی کاه برنج دانه درشت و ۲ درصد مالئیک انیدرید، ۲ تیمار پلی‌اتیلن سنگین به ترتیب با ۳۰ درصد وزنی کاه برنج دانه ریز و دانه درشت بدون مالئیک انیدرید و یک تیمار پلی‌اتیلن خالص به عنوان شاهد تهیه شد. داده‌های حاصل با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقاومت به ضربه شکافدار کامپوزیت با افزایش کاه کاهش یافت، همچنین آمیزه‌های حاوی ذرات ریزتر، خواص استحکام به ضربه و مدول خمشی بهتری نسبت به فرآورده‌های حاوی ذرات درشت داشتند. نتایج نشان می‌دهد که فرآورده مرکب تهیه شده با ۳۰ درصد وزنی ساقه برنج دانه ریز استحکام کششی و خمشی بهتری نسبت به سایر فرآورده‌ها دارد. مقایسه تیمارهای دارای ۳۰ درصد وزنی ساقه برنج دانه ریز و دانه درشت حاوی ۲ درصد جفت کننده مالئیک انیدرید و بدون جفت کننده که به وسیله آزمون T-استیوندنت انجام شد، نشان داد که افزودن مالئیک انیدرید سبب بهبود خواص مکانیکی می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌اتیلن سنگین، فرآورده مرکب، کاه ساقه برنج، جفت کننده، خواص مکانیکی

### مقدمه

رشد کاربری این مواد می‌باشد (نبی صاحب و جوگ، ۱۹۹۹). به‌رغم این مزایا، عدم سازگاری با فاز زمینه پلیمرهای غیرقطبی، تمایل زیاد به جذب رطوبت، تمایل به تجمع در حین فرآیند تهیه کامپوزیت و مقاومت کم نسبت به حرارت از محدودیت‌های استفاده از این مواد می‌باشد. در آمریکا سالانه تا ۵۰ درصد رشد تقاضا برای

استفاده از الیاف طبیعی در تهیه کامپوزیت‌ها طی سال‌های گذشته رشد چشمگیری داشته است. این کامپوزیت‌ها نسبت به کامپوزیت‌های پر شده با الیاف دیگر از مزایای بیشتر برخوردارند. جرم حجمی کم، سازگاری با محیط زیست، قابلیت باز یافت، و قیمت ارزان از جمله عوامل

\*- مسئول مکاتبه: shakeri@gau.ac.ir

شیمیایی جفت‌کننده با برقراری اتصال، این دو ماده با هم سطوح مشترک بیشتری می‌یابند. عامل جفت‌کننده نیروهای واندروالس بین الیاف و پلیمرهای گرمانرم را به پیوند کوالانسی و یا هیدروژنی تبدیل می‌کند. فرآیند جفت شدن توسط عوامل بسیاری نظیر نوع الیاف، ماده پلیمری، روش تولید، نسبت وزنی الیاف به پلیمر و میزان ماده جفت‌کننده تحت تأثیر قرار می‌گیرد. معمولاً عوامل جفت‌کننده بر روی سطح الیاف سلولزی یا مواد گرمانرم پیوند زده می‌شوند (لو و همکارش، ۲۰۰۰).

میزان پسماند سالانه کاه برنج در دنیا ۶۷۳ میلیون تن است که بیش از نیمی از آن به قاره آسیا مربوط می‌شود (بلالایی و همکاران، ۱۳۸۲). در استان گلستان سالانه به‌طور متوسط ۳۵۰۰۰ هکتار برنج کاشت می‌شود که در حدود ۱۵۰ هزار تن کاه برنج حاصل می‌شود (طبرسا، ۱۳۸۱). ترکیب شیمیایی کاه برنج و گندم در مقایسه با چوب صنوبر در جدول ۱ نشان داده شده است.

اگرچه تفاوت‌های فراوانی از لحاظ فیزیکی بین الیاف چوب با کاه غلات وجود دارد ولی از نظر ترکیب شیمیایی شباهت زیادی بین چوب‌های پهن برگ و کاه غلات وجود دارد. از این رو از کاه غلات به‌ویژه کاه برنج می‌توان به‌عنوان جایگزین الیاف چوبی در ساخت کامپوزیت استفاده کرد.

ونگ جون و ونگ زنگ (۱۹۹۵) تأثیر مالینک انیدرید را بر روی خواص مکانیکی فرآورده مرکب پلی‌اتیلن سبک و الیاف سلولزی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مالینک انیدرید به‌عنوان سازگارکننده موجب بهبود خواص مکانیکی فرآورده مرکب می‌شود. چو و همکاران (۱۹۹۹) ثبات ابعادی فرآورده‌های مرکب حاصل از اختلاط ساقه ذرت و پلی پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند فرآورده‌هایی که دارای ۴۰ درصد الیاف ساقه ذرت بودند کمترین مقاومت را به جذب رطوبت نشان می‌دهند و میانگین همکشیدگی ضخامت فرآورده ۵ درصد می‌باشد.

الیاف طبیعی مورد استفاده در کامپوزیت‌ها وجود دارد. بر اساس برآوردهای سال ۲۰۰۰، الیاف طبیعی مورد استفاده در کامپوزیت‌های گرمانرم و گرماسخت، یکی از سریع‌ترین رشد‌های افزودنی پلیمرها را به خود اختصاص داده است. بر اساس مطالعه شرکت کلین<sup>۱</sup>، تقاضای بازار آمریکا برای الیاف چوبی مورد استفاده در پلیمرها ۲۰ درصد در کاربردهای خودرو و تا ۵۰ درصد در برخی از محصولات ساختمانی رشد داشته است. به‌عنوان مثال، شرکت کافوس<sup>۲</sup> در این تاریخ مبلغ ۵۰۰ میلیون دلار پروژه در دست اجرا داشته است (شرکت کلین، ۲۰۰۰).

فرآورده مرکب پلیمر- کاه ساقه برنج همانند سایر کامپوزیت‌ها شامل دو فاز زمینه و تقویت‌کننده (الیاف) می‌باشد. فاز زمینه، نقش انتقال تنش به فاز تقویت‌کننده (الیاف) را دارد و می‌تواند از جنس پلیمر گرمانرم یا گرماسخت باشد. کامپوزیت‌های گرماسخت فرمول‌بندی پیچیده‌ای دارند زیرا شامل ترکیباتی نظیر رزین پایه، مواد پخت‌کننده، کاتالیزور، مواد رهاکننده و سخت‌کننده هستند. این مواد کامپوزیتی به‌صورت فرآیند شیمیایی پخت می‌شوند و ساختار شبکه‌ای سه بعدی دارند که به حلال و خزش مقاوم می‌باشند. استفاده از الیاف در این فاز زمینه تا ۸۰ درصد امکان‌پذیر است (نبی صاحب و جوگ، ۱۹۹۹). پلیمرهای گرمانرم نسبت به گرماسخت برتری‌هایی داشته و قابل بازیابی هستند. یکی از مزایای کامپوزیت‌های تهیه شده از پلیمرهای گرمانرم کم بودن هزینه فرآورش، انعطاف‌پذیری طراحی و توانایی پر کردن قالب‌های پیچیده است. مقدار الیاف در کامپوزیت‌های تهیه شده توسط فرآیند شکل‌دهی محدود می‌شود. جهت‌یابی الیاف در کامپوزیت‌های تولید شده از این پلیمرها تصادفی است، از این رو اصلاح خواص به اندازه پلیمرهای گرماسخت نیست (بلدزکی و همکاران، ۱۹۹۸). بین پلیمر گرمانرم غیرقطبی و الیاف سلولزی سازگاری ناچیزی وجود دارد، در نتیجه با استفاده از یک عامل

1- Kline  
2- Kafus

از دی کومیل پراکسید (DCP) با خلوص ۹۸ درصد به‌عنوان آغازگر واکنش و از مالئیک انیدرید (MA) با خلوص ۹۸ درصد به‌عنوان جفت‌کننده استفاده شد که همگی محصول شرکت مرک بودند.

ساقه‌های برنج سه منطقه با یکدیگر مخلوط و در ابعاد تقریبی ۵ سانتی‌متر قطع گردیدند و به مدت یک هفته در گرمخانه<sup>۱</sup> در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شدند. سپس با آسیاب چکشی آزمایشگاهی آسیاب و ابتدا از یک الک الکتریکی<sup>۲</sup> با مش ۱۲ و سپس از الک مش ۲۵ عبور داده شدند. ذرات کاه برنج قرار گرفته بر روی الک مش ۲۵ به‌عنوان ذرات دانه درشت در نظر گرفته شدند. سپس ذرات کاه برنج عبور یافته از الک مش ۲۵ از الک مش ۴۰ عبور داده شدند. ذرات کاه باقیمانده بر روی الک مش ۴۰ به‌عنوان آرد کاه برنج دانه ریز در نظر گرفته شدند.

عملیات پیونددار کردن پلیمر با مالئیک انیدرید و اختلاط مواد در دستگاه مخلوط‌کن داخلی مدل Hakke SIS90 در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۴۵ دور در دقیقه به مدت ۱۲ دقیقه انجام شد. نخست پلیمر به دستگاه اضافه گردید و بعد از اطمینان از ذوب شدن پلیمر به ترتیب DCP به مقدار ۰/۲ درصد و MA به میزان ۲ درصد براساس جدول ۲ اضافه شد. بعد از ثابت شدن گشتاور دستگاه و انجام شدن عمل پیوند MA بر روی پلی‌اتیلن، ساقه کاه برنج خرد شده در دو اندازه، به مخلوط اضافه شد. وزن هر مخلوط ۲۰۰ گرم بود که در آن ذرات ساقه برنج در سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد

شاگری و هاشمی (۲۰۰۴) اثر پنج نوع جفت‌کننده متفاوت را بر روی خواص مکانیکی فرآورده مرکب پلی‌اتیلن سنگین - کاه گندم مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که بهترین خواص مکانیکی با استفاده از سازگار کننده مالئیک انیدرید حاصل می‌شود.

خواص مکانیکی فرآورده مرکب پلی‌استر با سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی از کاه ساقه برنج توسط شاگری و همکاران (۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که بهترین خواص مکانیکی را فرآورده حاوی ۱۵ درصد وزنی الیاف ساقه برنج دارد. همچنین آنها نشان دادند که جفت‌کننده سیلانی تأثیری بر روی خواص مکانیکی فرآورده مرکب ندارد.

در این مطالعه اثر استفاده از الیاف ساقه برنج با سه سطح متفاوت ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی، اختلاط و تأثیر جفت‌کننده مالئیک انیدرید و اندازه ذرات بر روی استحکام کششی و خمشی و مقاومت به ضربه شکافدار فرآورده مرکب مورد مطالعه قرار گرفت و بهترین درصد اختلاط به‌دست آمد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) از محصولات پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۴ gr/10 min به‌عنوان ماده زمینه و از ساقه‌های برنج سه منطقه کشاورزی ساری، محمودآباد و آستانه‌اشرفیه به‌صورت مخلوط با چگالی ظاهری ۰/۲۳ gr/cm<sup>3</sup> به‌عنوان تقویت‌کننده و پرکننده استفاده شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی کاه برنج، کاه گندم و چوب صنوبر (کوکوک و استیونس).

ماده خام گیاهی	واکس %	همی سلولز %	سلولز %	لیگنین %	خاکستر %	سیلیکا %
کاه برنج	۳ - ۴	۲۳ - ۲۸	۴۳ - ۴۹	۱۲ - ۱۶	۱۵ - ۲۰	۹ - ۱۴
کاه گندم	۳ - ۴	۲۶ - ۳۲	۴۹ - ۵۴	۱۶ - ۲۱	۴/۵ - ۹	۳ - ۷
چوب صنوبر	۱ - ۳	۲۳ - ۲۵	۴۸ - ۵۵	۲۵ - ۲۷	۰/۱ - ۰/۲	۱ <

1- Oven  
2- Shaker

همچنین چنانچه در نمودار مشاهده می‌شود بین استحکام کششی فرآورده مرکب ساخته شده از کاه دانه درشت و دانه ریز در مقدار ۱۵ و ۳۰ درصد تفاوت چندانی وجود ندارد ولی در ۴۰ درصد کاه این تفاوت معنی‌دار است. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس استحکام کششی (جدول ۳) می‌توان دریافت که میزان میانگین استحکام کششی تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌دار است. جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین تیمارها را نشان می‌دهد، چنانکه مشاهده می‌شود F برای فاکتور B (اندازه ذرات) و همچنین اثر متقابل دو فاکتور A (درصد وزنی) و B (اندازه ذرات) در هیچ یک از سطوح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار نیست. برای بررسی اثر وجود مالئیک انیدرید بر روی استحکام کششی تیمار ۴ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت به‌علاوه ۲ درصد مالئیک انیدرید) انتخاب شد و با روش t-استیودنت با تیمار ۸ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت بدون ۲ درصد مالئیک انیدرید) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به این جدول می‌توان گفت که بین این دو تیمار در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. همچنین تیمار ۵ (۳۰ درصد کاه برنج دانه ریز به‌علاوه ۲ درصد مالئیک انیدرید) بوسیله آزمون t-استیودنت با تیمار ۹ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت بدون ۲ درصد مالئیک انیدرید) مقایسه شد. نتایج در جدول ۶ نشان می‌دهد که بین تیمارهای ۵ و ۹ در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. افزایش در استحکام کششی به این معنی است که تنش از فاز زمینه پلیمر به‌واسطه اتصال بینابینی پلیمر با کاه برنج به خوبی انتقال یافته است. اصولاً استحکام کششی پلیمرهای پر شده را می‌توان با استفاده از جفت‌کننده‌هایی که اتصالات را در ناحیه بینابینی بهبود می‌بخشند، افزایش داد (نیلسون، ۱۹۷۴).

وزنی نسبت به پلیمر بوده است. پس از اختلاط مواد، فرآورده مرکب بی‌شکل تولید شده پس از سرد شدن دوباره آسیاب شد و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی ساخت شرکت ایمن ماشین منتقل و نمونه‌های آزمون با فشار ۱۱۰ مگا پاسکال و در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند (شاکری و هاشمی، ۱۳۸۱).

در این پژوهش، آزمایش‌های مکانیکی با دستگاه اینسترون<sup>۱</sup> مدل ۶۰۲۵، مطابق آئین‌نامه D۶۳۸ استاندارد ASTM برای اندازه‌گیری مقاومت کششی و از آئین‌نامه DV۹۰ استاندارد ASTM برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی استفاده شد. استحکام ضربه‌ای نمونه‌های شکافدار با استفاده از آئین‌نامه D۲۵۶ استاندارد ASTM با دستگاه پاندولی ساخت شرکت زوئیک<sup>۲</sup> انجام شد. نتایج این تحقیق در قالب طرح کامل تصادفی با ۹ تیمار و سه تکرار لحاظ شد. برای داده‌های حاصل از آزمون تیمارهای حاوی الیاف دانه ریز و دانه درشت و ماده جفت‌کننده از آزمون آماری فاکتوریل استفاده شد. برای مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با یکدیگر و همچنین با تیمار شاهد از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. به‌منظور بررسی اثر مالئیک انیدرید، تیمارهای ۳۰ درصد الیاف دانه ریز و دانه درشت کاه برنج حاوی مالئیک انیدرید و فاقد مالئیک انیدرید از طریق آزمون t-استیودنت مورد بررسی قرار گرفت.

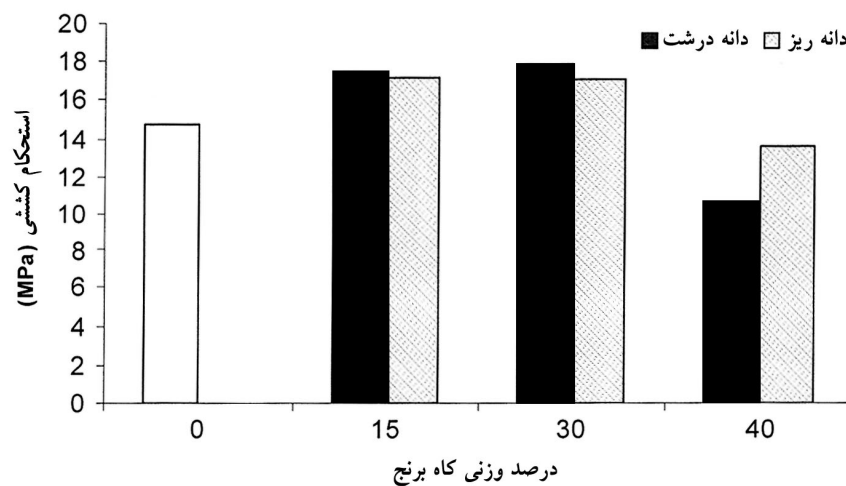
## نتایج و بحث

**آزمون کششی:** نتایج آزمون استحکام کششی ۷ تیمار مختلف فرآورده مرکب در شکل ۱ آمده است. با توجه به نمودار شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد وزنی کاه برنج تا سطح ۳۰ درصد استحکام کششی افزایش و سپس در سطح ۴۰ درصد کاهش یافت.

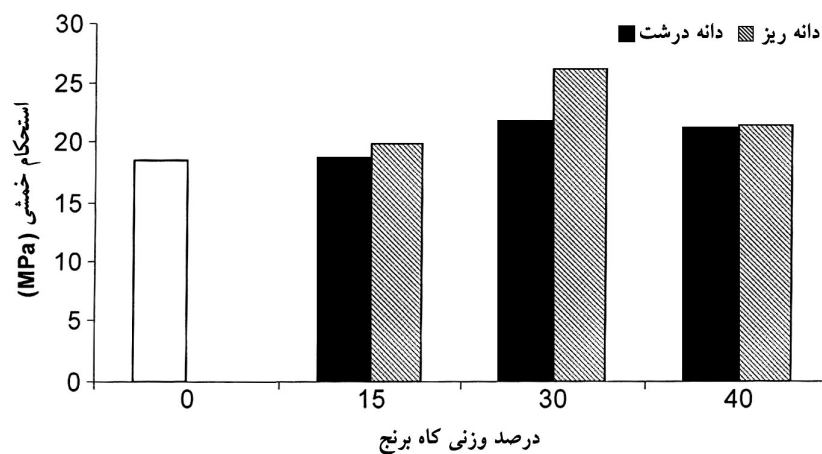
1- Instron  
2- Zwick

جدول ۲- میزان ترکیبات تیمارهای مورد آزمایش (برحسب گرم).

تیمار	وزن پلی اتیلن (گرم)	وزن کاه (گرم)	اندازه ذرات	MA(gr)	DCP(gr)
۱	۲۰۰	صفر	-	-	-
۲	۱۶۶/۲۷	۲۹/۳۴	درشت	۴	۰/۴
۳	۱۶۶/۲۷	۲۹/۳۴	ریز	۴	۰/۴
۴	۱۳۶/۹۲	۵۸/۶۸	درشت	۴	۰/۴
۵	۱۳۶/۹۲	۵۸/۶۸	ریز	۴	۰/۴
۶	۱۱۷/۳۶	۷۸/۲۴	درشت	۴	۰/۴
۷	۱۱۷/۳۶	۷۸/۲۴	ریز	۴	۰/۴
۸	۱۴۰	۶۰	درشت	صفر	صفر
۹	۱۴۰	۶۰	ریز	صفر	صفر



شکل ۱- نمودار تغییرات استحکام کششی (MPa) برحسب درصد وزنی کاه برنج.



شکل ۲- نمودار تغییرات استحکام خمشی (MPa) برحسب درصد وزنی کاه برنج.

جدول ۳- تجزیه واریانس استحکام کششی فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه برنج.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات S.S.	میانگین مربعات M.S.	مقدار آماره F	سطح معنی داری P
تیمار	۵	۱۲۳/۵۵	۲۴/۷۱	۶/۵۴	۰/۰۰۴
درصد (A)	۲	۱۰۸/۲۲	۵۴/۱۱	۱۴/۳۳	۰/۰۰۱
اندازه ذرات (B)	۱	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۶۲۱
اثر متقابل (AB)	۲	۱۴/۳۶	۷/۱۸	۱/۹۰	۰/۱۹۲
خطا	۱۲	۴۵/۳۱	۳/۷۸		
کل	۱۷	۱۶۸/۵۶			

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های استحکام کششی فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه ساقه برنج.

درصد کاه	اندازه ذرات	میانگین (MPa)	مقایسه دانکن	
			۱٪	۵٪
صفر	-	۱۴/۷۵	ab	ab
۱۵	درشت	۱۷/۴۶	a	a
۱۵	ریز	۱۷/۱۷	a	a
۳۰	درشت	۱۷/۰۷	a	a
۳۰	ریز	۱۷/۸۳	a	a
۴۰	درشت	۱۰/۵۶	a	a
۴۰	ریز	۱۳/۵۵	b	c

جدول ۵- مقایسه استحکام کششی دو تیمار ۴ و ۸ به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار OX	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۴	۱۷/۸۳	۰/۸۱۷	۴/۳	$t(۴ و ۰/۰۱) = ۳/۷۴۳$
۸	۱۴/۹۶	۰/۷۴۵	۴/۶	$t(۴ و ۰/۰۵) = ۲/۱۳۳$
				$t^* = ۳/۷۴$

جدول ۶- مقایسه استحکام کششی دو تیمار ۵ و ۹ به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار OX	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۵	۱۷/۰۳	۱/۴۶	۷/۶	$t(۵ و ۰/۰۱) = ۳/۷۴۳$
۹	۱۴/۱۳	۰/۷۹۴	۵	$t(۵ و ۰/۰۵) = ۲/۱۳۳$
				$t^* = ۲/۶۴$

استحکام خمشی: جدول ۷ نشان می‌دهد که بین مقادیر استحکام خمشی در تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد اما F برای فاکتور B (اندازه ذرات) در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین جدول فوق نشان می‌دهد که بین دو فاکتور A (درصد وزنی کاه) و B (اندازه ذرات) در سطح ۵ درصد و ۱ درصد اثر متقابل وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین‌های استحکام خمشی تیمارها که توسط آزمون دانکن صورت گرفت، در جدول ۸ آمده است. مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که کاربرد کاه

استحکام خمشی در تیمارهای مختلف در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد اما F برای فاکتور B (اندازه ذرات) در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار نیست. همچنین جدول فوق نشان می‌دهد که بین دو فاکتور A (درصد وزنی کاه) و B (اندازه ذرات) در سطح ۵ درصد و ۱ درصد اثر متقابل وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین‌های استحکام خمشی تیمارها که توسط آزمون دانکن صورت گرفت، در جدول ۸ آمده است. مقایسه میانگین‌های تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که کاربرد کاه

افزایش استحکام خمشی شد و در سطح ۴۰ درصد رو به کاهش گذاشت.

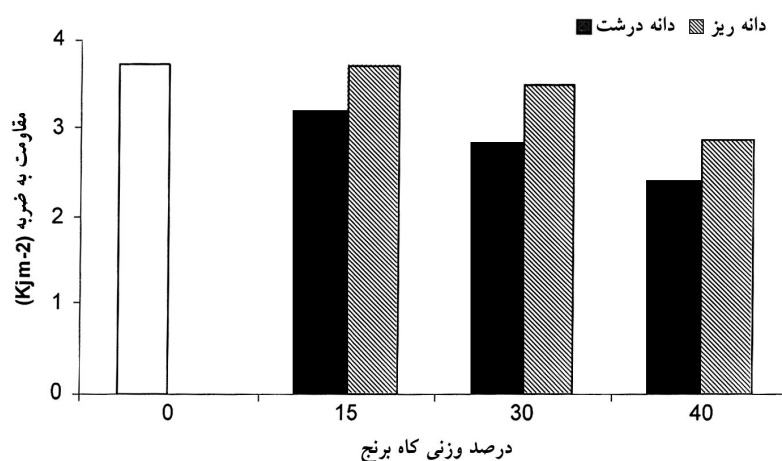
برنج به طور معنی داری باعث افزایش استحکام خمشی می گردد، همان طوری که در شکل ۳ نمایش داده شده است افزایش درصد کاه برنج تا ۳۰ درصد منجر به

جدول ۷- تجزیه واریانس استحکام خمشی فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه برنج.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات S.S.	میانگین مربعات M.S.	مقدار آماره F	سطح معنی داری P
تیمار	۵	۹۸/۸۳	۱۹/۷۷	۴/۰۹	۰/۰۲۱
درصد (A)	۲	۶۸/۸۹	۳۴/۴۴	۷/۱۴	۰/۰۰۹
اندازه ذرات (B)	۱	۱۵/۶۲	۱۵/۶۲	۳/۲۴	۰/۰۹۷
اثر متقابل (AB)	۲	۱۴/۳۱	۷/۱۶	۱/۴۸	۰/۲۶۶
خطا	۱۲	۵۷/۹۲	۴/۸۳		
کل	۱۷	۱۵۶/۷۵			

جدول ۸- مقایسه میانگین های استحکام خمشی فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه ساقه برنج.

درصد کاه	اندازه ذرات	میانگین (MPa)	مقایسه دانکن	
			%۵	%۱
صفر	-	۱۸/۴۶	b	b
۱۵	درشت	۱۸/۴۹	b	b
۱۵	ریز	۱۹/۵۹	b	b
۳۰	درشت	۲۱/۷۴	b	ab
۳۰	ریز	۲۶/۱۰	a	a
۴۰	درشت	۲۱/۰۷	b	ab
۴۰	ریز	۲۱/۴۰	b	ab



شکل ۳- نمودار تغییرات مقاومت به ضربه (Kj/m<sup>2</sup>) بر حسب درصد وزنی کاه برنج.

(فاکتور B) با ضریب اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد، اما برای اثر متقابل این دو فاکتور (AB) در سطح ۵ درصد و ۱ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. مقایسه میانگین مقاومت به ضربه‌ای تیمارها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۱۲ نشان داده شده است که مقایسه میانگین‌ها در سطح ۱ درصد و ۵ درصد خطا صورت گرفته است. به‌منظور ارزیابی اثر درصد وزنی کاه برنج بر مقاومت به ضربه تیمارهایی که اندازه ذرات کاه در آن یکسان است از جدول‌های تجزیه واریانس ۱۳ و ۱۴ استفاده شد. با توجه به نتایج جدول ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت، بین میانگین‌های مقاومت به ضربه فرآورده‌های مرکب حاوی درصد‌های وزنی متفاوت کاه برنج دانه درشت (۱۲ تا ۲۵ مش) در سطح ۱ درصد خطا اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به نتایج جدول ۱۴ بین میانگین‌های مقاومت به ضربه فرآورده‌های مرکب دارای کاه برنج دانه‌ریز (۲۵ تا ۴۰ مش) حاوی درصد‌های وزنی متفاوت فقط در سطح ۵ درصد خطا اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

به‌منظور بررسی اثر وجود مالئیک‌انیدرید بر روی مقاومت به ضربه شکافدار تیمار ۴ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت به‌علاوه ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) انتخاب شد و با روش t-استیودنت با تیمار ۸ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت بدون ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) مقایسه شد (جدول ۱۵). چنانچه از نتایج جدول ملاحظه می‌شود بین میانگین‌های مقاومت به ضربه این دو تیمار در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد، همچنین تیمار ۵ (۳۰ درصد کاه برنج دانه ریز به‌علاوه ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) بوسیله آزمون t-استیودنت با تیمار ۹ (۳۰ درصد کاه برنج دانه‌ریز بدون ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) مقایسه شد. نتایج در جدول ۱۶ نشان می‌دهد استفاده از ۲ درصد مالئیک‌انیدرید به‌عنوان جفت‌کننده با ضریب اطمینان ۹۹ درصد موجب افزایش مقاومت به ضربه فرآورده مرکب دارای ۳۰ درصد کاه برنج دانه ریز می‌شود.

برای بررسی اثر وجود مالئیک‌انیدرید بر روی استحکام خمشی تیمار ۴ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت به‌علاوه ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) انتخاب شد و با روش t-استیودنت با تیمار ۸ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت بدون ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت (جدول ۹). با توجه به این جدول می‌توان گفت که بین این دو تیمار در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد، همچنین تیمار ۵ (۳۰ درصد کاه برنج دانه ریز به‌علاوه ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) به‌وسیله آزمون t-استیودنت با تیمار ۹ (۳۰ درصد کاه برنج دانه درشت بدون ۲ درصد مالئیک‌انیدرید) مقایسه شد. نتایج در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که بین تیمارهای ۵ و ۹ در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. چنین به‌نظر می‌رسد که بهبود اتصالات در ناحیه بینابینی توسط مالئیک‌انیدرید و نیز استحکام خمشی مناسب خود مواد سلولزی باعث افزایش این استحکام به هنگام تقویت با مواد سلولزی می‌شود.

**مقاومت به ضربه شکافدار:** نتایج اندازه‌گیری مقاومت به ضربه تیمارهای فرآورده مرکب در شکل ۳ آمده است. که با افزایش درصد کاه، مقاومت به ضربه فرآورده کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت در مورد تیمارهای کاه برنج دانه درشت مشهودتر است، که به‌خاطر عدم چسبندگی بین ذرات سلولزی آبدوست و ماده زمینه آب‌گریز است، در اثر اعمال نیرو به فرآورده مرکب، در این ناحیه نقاط با تنش زیاد ایجاد می‌شود و ترک‌ها درست از همین نقاط که ضعیف‌ترند شروع می‌شوند در نتیجه مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. و با افزایش اندازه ذرات این عدم سازگاری بیشتر شده و فرآورده در مقابل ضربه ضعیف‌تر می‌شود. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمون ضربه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (جدول ۱۱). چنانچه از جدول ۱۱ مشاهده می‌شود بین مقاومت به ضربه در درصد‌های وزنی مختلف کاه برنج (فاکتور A) و اندازه ذرات آن



جدول ۹- مقایسه استحکام خمشی دو تیمار ۴ و ۸ (دانه درشت) به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار ox	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۴	۲۱/۷۴	۲/۷۱	۱۰/۷	$t(4/0.01) = 3/747$
۸	۱۷/۹۶	۱/۷۶۵	۸/۴	$t(8/0.05) = 2/132$
				$t^* = 1/99$

جدول ۱۰- مقایسه استحکام خمشی دو تیمار ۵ و ۹ (دانه ریز) به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار ox	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۵	۲۶/۱۰	۱/۲۶	۴/۴	$t(5/0.01) = 3/747$
۹	۲۱/۰۳	۲/۱۸۹	۹/۵	$t(9/0.05) = 2/132$
				$t^* = 3/09$

جدول ۱۱- تجزیه واریانس مقاومت به ضربه شکافدار فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه برنج.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات S.S.	میانگین مربعات M.S.	مقدار آماره F	سطح معنی داری P
تیمار	۵	۳/۴۳۰	۰/۶۸۶	۴/۱۸	۰/۰۲۰
درصد (A)	۲	۲/۰۳۲	۱/۰۱۶	۶/۱۹	۰/۰۱۴
اندازه ذرات (B)	۱	۱/۳۶۱	۱/۳۶۱	۸/۲۹	۰/۰۱۴
اثر متقابل (AB)	۲	۰/۰۳۷	۰/۰۱۸	۰/۱۱	۰/۸۹۵
خطا	۱۲	۱/۹۷۰	۰/۱۶۴		
کل	۱۷	۵/۴۰۰			

جدول ۱۲- مقایسه میانگین‌های مقاومت به ضربه شکافدار فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه ساقه برنج.

درصد کاه	اندازه ذرات	میانگین (Kg/m <sup>2</sup> )	مقایسه دانکن	
			%۱	%۵
صفر	-	۳/۷۲۳	a	a
۱۵	درشت	۳/۱۸۰	ab	ab
۱۵	ریز	۳/۶۹۶	a	a
۳۰	درشت	۲/۸۱۳	ab	bc
۳۰	ریز	۳/۴۸۶	a	ab
۴۰	درشت	۲/۳۹۶	b	c
۴۰	ریز	۲/۸۵۶	ab	bc

جدول ۱۳- تجزیه واریانس مقاومت به ضربه فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه برنج دانه درشت.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات S.S.	میانگین مربعات M.S.	مقدار آماره F	سطح معنی داری P
تیمار	۲	۱/۱۲۰	۰/۵۶	۶/۶۷	۰/۰۴۸
خطا	۶	۰/۵۱۳	۰/۰۸۸		
کل	۸	۱/۶۳۳			

جدول ۱۴- تجزیه واریانس مقاومت به ضربه فرآورده مرکب پلی اتیلن - کاه برنج دانه ریز.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات S.S.	میانگین مربعات M.S.	مقدار آماره F	سطح معنی داری P
تیمار	۲	۱/۱۴۷	۰/۵۷۳	۲/۰۷۴	۰/۱۴۳
خطا	۶	۱/۲۵۷	۰/۲۰۹		
کل	۸	۲/۴۰۴			

جدول ۱۵- مقایسه استحکام خمشی دو تیمار ۴ و ۸ (دانه درشت) به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار OX	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۴	۲/۸۱۳	۰/۲۱۸	۶/۹	t(۴و۰/۰۱) = ۳/۷۴۷
۸	۲/۱۶	۰/۲۶۱	۹/۴	t(۴و۰/۰۵) = ۲/۱۳۲
				t* = ۲/۱۸

جدول ۱۶- مقایسه استحکام خمشی دو تیمار ۵ و ۹ (دانه ریز) به روش آزمون t.

شماره تیمار	میانگین (MPa)	انحراف معیار OX	ضریب تغییرات %C.V.	آزمون t
۵	۳/۴۸۶	۰/۱۵۰	۳/۹	t(۵و۰/۰۱) = ۳/۷۴۷
۹	۲/۷۴۲	۰/۲۶۱	۸/۸	t(۵و۰/۰۵) = ۲/۱۳۲
				t* = ۴/۱۳

### نتیجه گیری

نسبت به پلیمر شاهد می شود. به طور کلی فرآورده مرکب تهیه شده از آرد کاه دانه ریز به علت چسبندگی بهتر با فاز زمینه خواص مکانیکی بهتری را نشان می دهد. اثر متقابلی بین دو عامل درصد وزنی کاه برنج و اندازه ذرات در فرآورده مرکب مشاهده نشد. استفاده از مالئیک انیدرید به عنوان جفت کننده کاه برنج به فاز زمینه پلیمر سبب اتصال بین دو فاز می گردد که موجب بهبود نسبی خواص مکانیکی فرآورده مرکب می شود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که از کاه برنج می توان به عنوان یک تقویت کننده آلی تخریب پذیر و ارزان قیمت در تهیه فرآورده مرکب استفاده نمود. افزایش تا ۳۰ درصد کاه برنج منجر به بهبود استحکام کششی و خمشی می شود اما افزایش ۴۰ درصد کاه سبب کاهش استحکام کششی و خمشی می شود. همچنین افزایش میزان کاه برنج در فرآورده مرکب سبب کاهش مقاومت به ضربه شکافدار

### منابع

۱. شاکری، ع.، طبرسا، ت. و طبری، ع. ۱۳۸۴. "بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت های پلی استر - ساقه کاه برنج" مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، جلد ۸۰، شماره ۶، ۳۸۲-۳۷۷.
۲. شاکری، ع. و هاشمی، س.ع. ۱۳۸۱. خواص مکانیکی و شکل شناسی فرآورده مرکب تهیه شده از الیاف کاغذ - پلی اتیلن سنگین. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی سال نهم، شماره سوم، ۱۷۱-۱۸۳.
۳. طبرسا، ت. ۱۳۸۱. گزارش نهایی طرح پناسیل های جدید صنایع سلولزی استان گلستان با استفاده از ضایعات کشاورزی، ۱۲۵ صفحه.
۴. بلالایی، ف.، سلوکی، م.، میلانی، ف. و الماسی، ز. ۱۳۸۲. مشکلات تولید صنعتی خمیر کاغذ از کاه برنج و راه حل های اقتصادی آن. اولین همایش ملی فرآوری و کاربرد مواد سلولزی. صفحات ۳۰۱ - ۲۹۵.
5. Bledzki, A.K., Reham, S., and Gassan, J. 1998. Thermoplastic reinforced with wood filler. Polym. Plast. Technol. Eng., 37(4), 451-468.
6. Chow, P. 1999. Mechanical holding power of melt - blend boards made from recycled plastic and kenaf, Fifth international conference on wood fiber - plastic composite, May 26-27, Madison, Wisconsin.

- 7.Lu, Z.J., Qinglin, W., and McNabb, H.S. 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composite, *Wood and Fiber Science J.* 32(1), 88-104.
- 8.Kocurek, M.J., and Stevens, C.F.B. Pulp and paper manufacture, Vol. 1, TAPPI, USA, Chap. 17, 1983.
- 9.Nabi Saheb, D., and Jog, J.P. 1999. Natural Fiber Polymer Composites: A Review Advances in Polymer Technology, 18 (4), 351-363.
- 10.Nielson, L.E. 1974. "Mechanical properties of polymer and composites", Vol. 2, Marcel Dekker, New York, 592 pp.
- 11.Shakeri, A., and Hashemi, S.A. 2004. "Effect of coupling agents on mechanical properties HDPE / Wheat straw composite", *Polymer and Polymer Composite*, 12(5), 449-452.
- 12.Wang Jion, J., and Zenge, W. 1995, "Study of modification PE for wood fiber/plastic composites manufacture", *Wood Industry*, 9(2), 10-13. Kline company web site, 2000.

---

## **Investigation of mechanical properties of high density polyethylene- rice straw composite**

**A. Shakeri<sup>1</sup>, A. Omidvar<sup>2</sup> and F. Garjani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Faculty member of chemistry Dept. and <sup>2</sup>Faculty member & <sup>3</sup>Former M.sc student of Gorgan Univ.of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

---

---

### **Abstract**

In this study, composites were prepared from high density Polyethylene – rice straw at different levels (15, 30, 40 % by wt.) and mechanical properties (tensile, flexural and impact) were measured. The effect of maleic anhydride as a coupling agent and effectiveness of rice straw flour particles with different sizes (12-25 and 25-40 mesh) on mechanical properties of composites were investigated. In total, 9 treatments were conducted as 3 treatments of high density polyethylene with 15, 30, 40 % by wt. fine rice straw flour with 2% malice anhydride, 3 treatments of high density polyethylene with 15, 30, 40 % by wt. coarse rice straw flour particles with 2% malice anhydride, 2 treatments of high density polyethylene with 30% wt. fine and coarse rice straw flour particle and one pure high density polyethylene as control treatment. The results were analyzed using a factorial experiment in randomized complete block. Increasing straw resulted in decreasing impact strength. The composites containing fine particles showed higher impact and flexural modulus, compared to those made of coarse particles. The result show that composite containing 30 % fine rice straw flour particles have better mechanical properties (tensile and flexural strength) than other composites. The comparison between 30% of fine and coarse rice straw flour particles with and without maleic anhydride using t-student test showed that increasing of maleic anhydride had good effect on the mechanical properties of rice straw composite.

**Keywords:** Composite; High density Polyethylene; Rice straw; Mechanical properties; Coupling agent