

Investigating Some Characteristics of Biocomposites Prepared from Chemically Purified Date Palm Fibers

H. Ghafarzade Zare¹, A. Ghazanfari Moghaddam^{*2}, H. Hashemipour Rafsanjani³

1. Department of Agricultural Machinery Mechanics, College of Agriculture

2. Institute of Horticulture, 3. Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, P.O. Box 76169-133, Kerman, Iran

Received 4 July 2010, accepted 19 February 2011

ABSTRACT

During the past two decades the use of lignocellulose fibers in reinforcing composites has attracted much research activities. In the present work, date palm fiber was used for production of composites compatible with living environment. The fibers were pre-treated chemically to remove impurities. In order to verify and compare the effectiveness of the pretreatment methods, lignin, ash, moisture adsorption, diameter and tensile strength of the raw and treated fibers were considered in all determinations. Some chemical contents of the treated fibers were also estimated by FTIR method. The heating characteristics of the fibers were evaluated using simultaneous thermal analysis (SAT) technique. The treated fibers were mixed with HDPE by mass proportions of 10, 20 and 30% of the fibers in two types of fine and coarse sizes. Composite flower pots were prepared from the formulations by extrusion process. The mechanical properties of the composites including tensile strength, modulus of elasticity, strain, and impact strength were measured by standard ASTM methods. Statistical analysis of the data revealed that the treated fibers had smaller diameters containing lower levels of lignin and ash though having significantly higher tensile strength, heat resistance and moisture adsorption. The results also indicated that by increase in fibre size the tensile strength, modulus of elasticity and moisture adsorption of the composites are increased and their strain and impact resistance are decreased. The composites prepared using fine fibers showed higher tensile strength, modulus of elasticity and impact strength but their moisture adsorption and elongation were significantly lower.

Key Words:

composites, date palm fiber, physical properties, mechanical properties, HDPE

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: aghazanfari@mail.uk.ac.ir

بررسی برخی مشخصه‌های زیست‌کامپوزیت‌های تهیه شده از الیاف نخل خرماي خالص‌سازی شده به روش شیمیایی

حامد غفارزاده زارع^۱، احمد غضنفری مقدم^{۲*}، حسن هاشمی پوررفسنجانی^۳

کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صندوق پستی ۷۶۱۶۹-۱۳۳

۱- دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی،

۲- پژوهشکده باغبانی و ۳- دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

دریافت: ۸۹/۴/۱۳، پذیرش: ۸۹/۱۷/۳۰

چکیده

در دو دهه گذشته، استفاده از الیاف لیگنوسلولوزی برای تقویت کامپوزیت‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این پژوهش، به منظور استفاده از الیاف خرما در تولید محصولات کامپوزیتی، این الیاف به روش شیمیایی خالص‌سازی شده و برای آگاهی از اثر این فرایند مقدار لیگنین، خاکستر، جذب رطوبت، قطر و استحکام کششی الیاف خام و خالص‌سازی شده، اندازه‌گیری و با یک دیگر مقایسه شدند. هم‌چنین، اثر خالص‌سازی روی ترکیبات شیمیایی الیاف به روش طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و خواص گرمایی با روش تجزیه گرمایی هم‌زمان (STA) بررسی شد. الیاف خالص‌سازی شده با نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی در دو اندازه ریز و درشت با پلی‌اتیلن سنگین مخلوط و از آنها گلدان‌های کامپوزیتی به شیوه قالب‌گیری تزریقی تهیه شد. استحکام کششی، مدول کشسانی، کرنش بیشینه، جذب رطوبت و استحکام ضربه‌ای نمونه‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از طرح فاکتوریل تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد، الیاف خالص‌سازی شده درصد لیگنین، خاکستر و قطر کمتر و استحکام کششی، مقاومت گرمایی و جذب رطوبت بیشتری نسبت به الیاف خام دارند. هم‌چنین، با افزایش درصد الیاف در کامپوزیت مقدار استحکام کششی، مدول کشسانی و درصد جذب رطوبت کامپوزیت افزایش ولی مقدار کرنش و استحکام ضربه‌ای کاهش می‌یابد. کامپوزیت‌های تهیه شده از الیاف ریز استحکام کششی، مدول کشسانی و استحکام ضربه‌ای بیشتری نسبت به کامپوزیت تهیه شده از الیاف درشت دارند، ولی درصد جذب رطوبت و کرنش بیشینه آنها کمتر است.

واژه‌های کلیدی

کامپوزیت، الیاف خرما،
خواص فیزیکی،
خواص مکانیکی،
پلی‌اتیلن سنگین

*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

مقدمه

الیاف سلولوزی از آنها به عنوان تقویت کننده یا پرکننده در تولید محصولات کامپوزیتی استفاده کرد. هدف از انجام این پژوهش، در مرحله اول بررسی اثرخالص سازی شیمیایی بر خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و گرمایی الیاف خام خرماسست. در مرحله دوم، الیاف خالص سازی شده در اندازه و درصد‌های مختلف با پلی اتیلن سنگین مخلوط شد و به شیوه تزریقی از آنها کامپوزیت تهیه و خواص آنها ارزیابی شد.

تجربی

مواد و دستگاه‌ها

در این پژوهش، از الیاف نخل خرماي تهیه شده از منطقه شهداد در شهرستان کرمان و پلی اتیلن سنگین مورد استفاده با نام تجاری HD5620EA محصول صنایع پتروشیمی اراک استفاده شد. دستگاه آزمون کشش (ساخت شرکت جاوا مکترونیک مشهد)، دستگاه تجزیه گرمایی هم‌زمان مدل STA 409 PG Luxx, NETZSCH Inc ساخت آلمان و طیف سنج زیرقرمز تبدیل فوریه Brucker مدل 27 TENSOR, ساخت آلمان به کار گرفته شد.

روش‌ها

خالص‌سازی الیاف

الیاف نخل خرماي تهیه شده از منطقه شهداد که در اصطلاح محلی به آنها سیس گفته می‌شود، شبکه‌ای بوده و در محل اتصال برگ و تنه قرار دارند و با هرس سالانه نخل از تنه جدا می‌شوند. طول هر رشته از این الیاف حدود 70 cm و قطر متوسط هر یک حدود 2 mm است که با قشری نسبتاً ضخیم از مواد لیگنینی پوشیده شده‌اند. برای خالص‌سازی، الیاف ابتدا در محلول سدیم هیدروکسید (17/5 w/w%) با دمای 25°C و سپس در محلول کلریدریک اسید (1 M) با دمای 80°C هر یک به مدت 2h قرار گرفت. پس از این دو مرحله، الیاف در محلول سدیم هیدروکسید (2w/w%) و هیدروژن پروکسید (3 wt%) با دمای 80°C به مدت 2h گذاشته شد. لازم به ذکر است، پیش از شروع هر یک از این مراحل، الیاف با آب مقطر شسته شدند [11].

اندازه‌گیری خواص الیاف

برای تعیین درصد لیگنین، 10g از الیاف داخل بشر ریخته شد و به ازای هر 100 mg از الیاف 1 mL سولفوریک اسید (72%) به آن اضافه و به مدت

در سال‌های اخیر به علت مشکلات زیست محیطی و هزینه زیاد استفاده از الیاف مصنوعی در تولید کامپوزیت‌ها، پژوهش‌های گسترده‌ای برای جای‌گزینی این الیاف با الیاف طبیعی انجام شده است. از جمله مزایای استفاده از الیاف سلولوزی به جای الیاف مصنوعی، سازگاری خوب آنها با محیط زیست، تجدیدپذیری، مصرف انرژی کم برای تولید، فراوانی و کاهش خوردگی دستگاه‌های تزریق است [1,2]. امروزه، الیاف لیگنوسلولوزی جایگاه ویژه‌ای در صنایع مختلف کامپوزیتی پیدا کرده و هر روز بر کاربرد صنعتی آنها افزوده می‌شود [3,4].

مشکل اصلی استفاده از الیاف طبیعی در مقایسه با الیاف مصنوعی، عدم یکنواختی الیاف و چسبندگی ضعیف بین آنها و مواد پلیمری زمینه است. الیاف مصنوعی از موادی با خواص مشخص و با روش معین تولید می‌شوند، در حالی که شرایط تولید و اقلیمی بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی الیاف گیاهی اثر می‌گذارند. به منظور خالص‌سازی و تهیه الیافی با خواص همگن‌تر برای استفاده در کامپوزیت‌ها، روی الیاف گیاهی اغلب عمل آوری شیمیایی انجام می‌شود.

پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده از عمل آوری شیمیایی باعث کاهش لیگنین، پکتین و همی سلولوز و افزایش نسبی سلولوز در الیاف شده و باعث بهبود و یکسان‌تر شدن خواص فیزیکی، مکانیکی و گرمایی الیاف می‌شود [4-6].

اندازه فیزیکی و درصد الیاف و هم‌چنین نوع عمل آوری شیمیایی انجام شده روی الیاف بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های تهیه شده از آنها اثر زیادی دارد [7,8]. از الیاف به عنوان ماده پرکننده کامپوزیت نیز استفاده می‌شود تا در مصرف مواد پلیمری صرفه جویی شود [2]. پژوهش‌ها در زمینه استفاده از الیاف کنف برای تقویت کامپوزیت‌ها در دو دامنه اندازه ذرات الیاف (425-335 mm) و کمتر از 180 mm) و با مقادیر مختلف آنها نشان داد، می‌توان از الیاف کنف به عنوان پرکننده پلی اتیلن در هنگامی که استحکام ضربه‌ای اهمیت چندانی ندارد، به خوبی استفاده کرد [9]. در بررسی مقاومت کششی، استحکام ضربه‌ای و سختی کامپوزیت نشان داده شد که الیاف با اندازه کوچک‌تر در مقایسه با اندازه درشت‌تر خواص مکانیکی بهتری دارند [10].

الیاف نخل خرما (Phoenix dactylifera L.) از گذشته‌های دور مورد توجه انسان بوده و از آنها برای تقویت مصالح ساختمانی، تهیه طناب و تولید صنایع دستی مختلف استفاده شده است. این الیاف که حاصل هرس سالیانه نخل هستند، جزء ضایعات کشاورزی محسوب شده و اغلب سوزانده می‌شوند. در حالی که می‌توان با خالص‌سازی و تهیه



شکل ۱ - عکسی از نمونه‌های گلدان‌های تهیه شده.

براساس استاندارد ASTM D 256 با استفاده از دستگاه آزمون ضربه چارپی بدون شکاف، با استفاده از نمونه‌هایی به طول ۵۰ mm، عرض ۶ mm و ۱ mm انجام شد. برای اندازه‌گیری درصد جذب رطوبت کامپوزیت، نمونه‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱ cm از کامپوزیت‌ها به مدت ۴۸ h در آب گذاشته و مقدار جذب رطوبت آنها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌های هرخاصیت اندازه‌گیری شده با استفاده از طرح کامل تصادفی با پنج تکرار به کمک نرم افزار SAS انجام و معنی دار بودن اختلاف بین میانگین‌های هرخاصیت برای الیاف خام و خالص سازی شده در سطح معنی دار ۰/۰۱ بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه خواص کامپوزیت تهیه شده با استفاده از یک طرح فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح کامل تصادفی و به کمک نرم افزار SAS انجام شد. در این بررسی فاکتور اندازه الیاف در دو سطح ریز و درشت و عامل درصد الیاف در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. نام داده شده به هر ترکیب کامپوزیت استفاده شده برای تهیه گلدان‌ها در **جدول ۱** ذکر شده است.

جدول ۱ - درصد و اندازه الیاف هر ترکیب کامپوزیتی برای تهیه گلدان‌ها.

کد	اندازه ذرات الیاف	درصد الیاف
HDPE	-	۰
PE-D10	درشت	۱۰
PE-D20	درشت	۲۰
PE-D30	درشت	۳۰
PE-R10	ریز	۱۰
PE-R20	ریز	۲۰
PE-R30	ریز	۳۰

۶۰ min هم زده شد. سپس، غلظت اسید با آب مقطر به ۴٪ رسانده شد و در دمای ۱۰۵°C به مدت ۱۵۰ min گذاشته و پس از صاف کردن محلول، مواد باقی مانده در گرم خانه خشک شد (TAPPI, T222, OM-83). درصد خاکستر الیاف با استفاده از یک کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰°C اندازه‌گیری شد (TAPPI, T21, OM-85). برای تعیین مقدار جذب رطوبت، مقدار ۳۰ گرم از الیاف به مدت ۵ min در آب مقطر گذاشته شد و سپس از آب خارج و سطح آنها به وسیله پارچه‌ای خشک شد. بلافاصله وزن الیاف با دقت ۰/۰۱ g اندازه‌گیری و درصد جذب رطوبت آنها محاسبه شد.

به منظور بررسی اثر خالص سازی شیمیایی روی ترکیبات الیاف از طیف سنج زیرقرمز تبدیل فوریه با دقت اندازه‌گیری ۰/۱ cm⁻¹ در محدوده طیفی ۳۶۰-۷۵۰۰ cm⁻¹ استفاده شد. طیف سنج زیرقرمز تبدیل فوریه ابزاری قوی و غیرمخرب برای تشخیص و مقایسه ترکیبات شیمیایی مواد است [۱۲، ۱۳].

تعیین خواص گرمایی الیاف طبیعی، به علت امکان تخریب آنها طی فرایند تولید کامپوزیت اهمیت ویژه‌ای دارد [۱۴]. خواص گرمایی الیاف خام و خالص سازی شده با دستگاه تجزیه گرمایی هم‌زمان با سرعت گرمادهی ۱۰°C/min در جو نیتروژن بررسی شد.

برای اندازه‌گیری استحکام کششی، برش‌هایی از الیاف با طول ۱۰ cm تهیه شد و در دستگاه آزمون کشش با سرعت ۵ mm/min قرار گرفت. چون برای تعیین استحکام کششی سطح مقطع الیاف مورد نیاز بود، بدین منظور، الیاف روی کاغذ شطرنجی چسبانده و با استفاده از یک اسکنر تصاویری از آنها با دقت ۸۰۰ DPI تهیه شد. سپس، با استفاده از یک نرم‌افزار پردازش تصویر قطر متوسط الیاف اندازه‌گیری شد.

ساخت کامپوزیت و بررسی خواص آن

الیاف خالص سازی شده به وسیله آسیاب خرد شد و با استفاده از الک‌های آزمایشگاهی در دو اندازه ریز (عبور کرده از مش ۷۰) و درشت (عبور کرده از مش ۴۰ و مانده روی مش ۴۵) دانه بندی شد. سپس، هر گروه جداگانه با نسبت‌های وزنی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد الیاف با پلی اتیلن سنگین در یک دستگاه مخلوط کن به مدت ۳۰ min مخلوط شد. با این مواد مخلوط گلدان‌های کامپوزیتی به وسیله دستگاه تزریق زیر فشار ۳/۲ MPa و دمای استوانه ۱۸۰°C تهیه شدند. تصویر نمونه‌هایی از گلدان‌های تهیه شده در **شکل ۱** نشان داده شده است.

برای تعیین خواص مکانیکی، قطعاتی به شکل دمبل از نمونه‌ها بریده و پس از اندازه‌گیری ابعاد آنها با کولیس، در آزمون کشش با سرعت ۵ cm/min قرار داده شدند (ASTM D 638). آزمون استحکام ضربه‌ای

نتایج و بحث

خواص الیاف

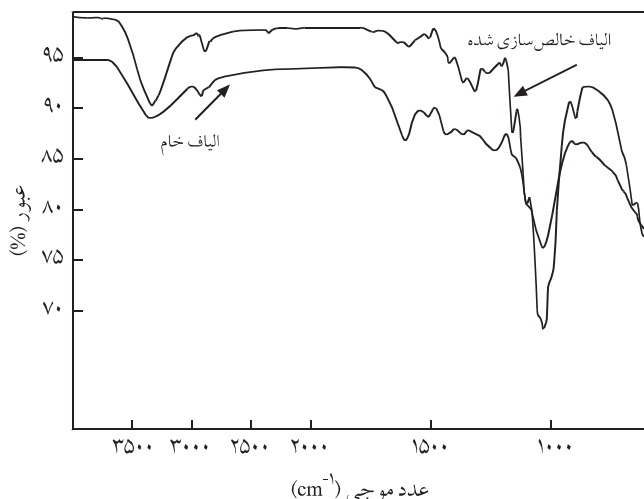
میانگین خواص اندازه‌گیری شده برای الیاف خام و خالص سازی شده در **جدول ۲** آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، درصد لیگنین و خاکستر در الیاف خالص سازی شده نسبت به الیاف خام کاهش چشم‌گیری داشته به طوری که لیگنین حدود ۵۱٪ و خاکستر حدود ۷۵٪ در اثر خالص سازی کاهش یافته است. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین لیگنین و خاکستر الیاف خام با الیاف خالص سازی شده وجود دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری جذب رطوبت به وسیله الیاف نشان می‌دهد، درصد جذب رطوبت در الیاف خالص سازی شده از الیاف خام بیشتر است. علت افزایش جذب رطوبت در الیاف خالص سازی شده کاهش مقدار مومی و صمغی سطحی الیاف است. همان‌طور که در **جدول ۲** نشان داده شده است، میانگین قطر الیاف خام ۷۰۷ mm و برای الیاف خالص سازی شده ۲۶۵ mm است. کاهش قطر الیاف بر اثر جدا شدن لیگنین و همی سلولوز طی فرایند خالص سازی شیمیایی است. در استفاده از الیاف به عنوان تقویت کننده کامپوزیت‌ها مقدار استحکام کششی الیاف اهمیت ویژه‌ای دارد و هرچه استحکام کششی الیاف بیشتر باشد، اثر تقویت‌کنندگی بیشتری در کامپوزیت خواهد داشت.

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، استحکام کششی الیاف خالص سازی شده نسبت به استحکام کششی الیاف خام حدود ۷۰ درصد افزایش دارد و در نتیجه برای تهیه کامپوزیت مناسب‌تر هستند. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به جذب رطوبت، قطر و استحکام کششی نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین این متغیرها در الیاف خام و خالص سازی شده وجود دارد.

شکل ۲ طیف‌های FTIR به دست آمده برای الیاف خام و الیاف خالص سازی شده را نشان می‌دهد. در این طیف قله منفی در عدد موجی 1606 cm^{-1} مربوط به مواد لیگنینی و همی سلولوزی است [۱۲، ۱۵]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در طیف الیاف خالص سازی

جدول ۲ - خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی الیاف.

الیاف	جذب رطوبت (%)	قطر (μm)	استحکام کششی (MPa)	لیگنین (%)	خاکستر (%)
خام	۳۸	۷۰۷	۱۴۷۵	۱۹۷	۸
خالص سازی شده	۸۶	۲۶۵	۲۲۵/۹	۹۷	۲



شکل ۲ - طیف FTIR برای الیاف خام و خالص سازی شده.

شده این قله وجود ندارد که می‌توان نتیجه گرفت همی سلولوز و لیگنین طی فرایند خالص سازی از الیاف خرما جدا شده‌اند. پیک‌های 1513 cm^{-1} و 1433 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی $\text{C}=\text{C}$ آروماتیک است. برجستگی این پیک در الیاف خالص سازی شده به دلیل کاهش لیگنین بسیار کمتر از الیاف خام است [۱۲، ۱۵، ۱۶]. محدوده بسامد $1200 - 950 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی $\text{C}-\text{O}$ است و در این محدوده قله منفی 1033 cm^{-1} مربوط به سلولوز است که در الیاف خالص سازی شده، شدت این قله به مراتب از شدت طیف الیاف خام اولیه بیشتر است [۱۶]. قله 896 cm^{-1} مربوط به ارتعاش نوسانی $\text{C}-\text{H}$ است و نشان‌دهنده وضعیت سلولوز در ماده است. این قله در الیاف خالص سازی شده نسبت به الیاف خام شدت بیشتری دارد. اطلاعات به دست آمده از طیف الیاف خام و الیاف خالص سازی شده نشان می‌دهد، درصد سلولوز در الیاف خالص سازی شده افزایش و درصد لیگنین و همی سلولوز در آنها کاهش یافته است.

شکل ۳ نمودار تجزیه گرمایی هم‌زمان (SAT) مربوط به الیاف خام و الیاف خالص سازی شده را نشان می‌دهد. الیاف خالص سازی شده نسبت به الیاف خام دمای شروع و پایان تخریب بیشتری دارند که دلیل آن را می‌توان به علت جدا شدن مواد لیگنینی و همی سلولوزی با مقاومت گرمایی کم طی مراحل خالص سازی دانست. دمای شروع تخریب الیاف خالص سازی شده نسبت به دمای شروع تخریب الیاف خام ۱۶٪ افزایش دارد. این امر نشان می‌دهد، استفاده از عمل‌آوری شیمیایی در افزایش مقاومت گرمایی الیاف اثر زیادی داشته است. افزایش دمای تخریب در الیاف خالص سازی شده به کاهش مقدار لیگنین و همی سلولوز و افزایش مقدار سلولوز در الیاف نسبت داده می‌شود [۱۷]. نتایج به دست آمده از نمودار تجزیه گرمایی برای دمای شروع تخریب، دمای بیشینه و درصد رطوبت الیاف در **جدول ۳** آمده است.

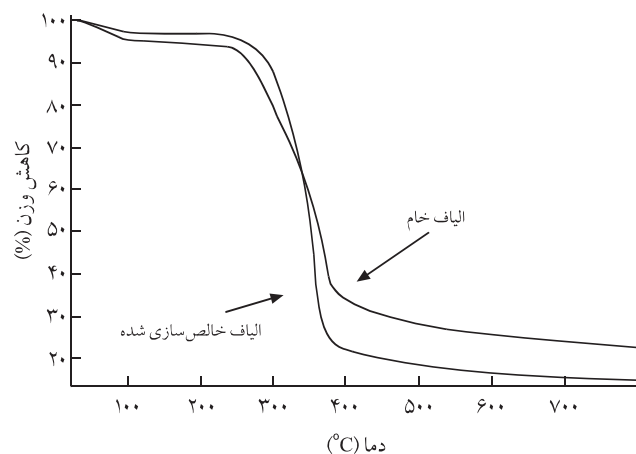
جدول ۴ - میانگین خواص اندازه‌گیری شده برای کامپوزیت‌های مختلف.

کامپوزیت	استحکام ضربه‌ای (kJ/m ²)	جذب رطوبت (%)	کرنش بیشینه (%)	مدول کشسانی (MPa)	استحکام کششی (MPa)
HDPE	۳/۸	۰/۲	۷۹/۴	۹۴۹/۶	۱۹/۲
PE-D10	۳/۶	۷/۱	۵/۷	۱۱۳۲/۷	۱۹/۶
PE-D20	۳/۴	۷/۲	۳/۹	۱۴۲۷/۹	۲۰/۳
PE-D30	۲/۹	۷/۴	۱/۸	۱۹۵۷/۹	۲۱/۶
PE-R10	۳/۷	۰/۹	۵/۲	۱۲۶۲/۹	۲۰/۱
PE-R20	۳/۵	۷/۰	۳/۲	۱۷۲۸/۱	۲۱/۵
PE-R30	۳/۲	۷/۲	۱/۵	۲۰۸۵/۱	۲۲/۹

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد، اثر نوع الیاف و درصد الیاف بر مدول کشسانی کامپوزیت‌ها معنی‌دار بوده، ولی اثر متقابل آنها بر مدول کشسانی معنی‌دار نیست.

همان‌طور که در **جدول ۴** نشان داده شده است، نمونه پلیمری خالص بیشترین مقدار استحکام ضربه‌ای را دارد و هرچه مقدار درصد الیاف بیشتر شود، استحکام ضربه‌ای کامپوزیت کمتر می‌شود. همین مشاهدات نیز برای کامپوزیت‌های تهیه شده با خرده چوب نیز گزارش شده است [۱۸]. مقایسه داده‌های استحکام ضربه‌ای نشان می‌دهد، کامپوزیت‌های تهیه شده با الیاف درشت استحکام ضربه‌ای کمتری دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، با افزایش درصد الیاف، کامپوزیت شکننده‌تر می‌شود. نتایج تجزیه واریانس روی داده‌های استحکام ضربه‌ای نشان می‌دهد، نوع الیاف و درصد الیاف بر استحکام ضربه‌ای کامپوزیت اثر معنی‌دار دارد، ولی اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نبود.

در **جدول ۴**، مقدار بیشینه کرنش کامپوزیت‌ها در آزمایش کشش در لحظه پاره شدن نمونه آمده است. این داده‌ها نشان می‌دهد، کامپوزیت‌های تهیه شده نسبت به پلیمر خالص کرنش فوق‌العاده کمتری دارد، به طوری که درصد افزایش طول در عمل‌آوری‌های مختلف بین ۱۲ تا ۵۰ برابر کاهش داشته است. اصولاً مواد پلاستیکی هنگامی که زیر نیروی کششی قرار می‌گیرند، افزایش طول خیلی زیادی پیدا می‌کنند. ولی، الیاف سلولوزی افزایش طول چندانی ندارند. با توجه به این که در کامپوزیت پیوستگی مواد زمینه به وسیله الیاف سلولوزی شکسته می‌شود، بنابراین مقدار کرنش کامپوزیت‌ها نسبت به پلی اتیلن خالص کمتر است. کامپوزیت تهیه شده با الیاف درشت نسبت به الیاف ریز دارای کرنش بیشینه بیشتری هستند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد،



شکل ۳ - نمودار تجزیه گرمایی الیاف خام و خالص سازی شده.

خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت

میانگین خواص اندازه‌گیری شده برای کامپوزیت‌های تهیه شده در **جدول ۴** آورده شده است. استحکام کششی کامپوزیت‌های تهیه شده در عمل‌آوری‌های مختلف از ۲/۵ تا ۲۰ درصد نسبت به نمونه پلیمری خالص افزایش داشته است. بیشترین مقدار استحکام کششی مربوط به کامپوزیت تهیه شده با الیاف ریز و با ۳۰ درصد الیاف است و کمترین مقدار استحکام کششی مربوط به کامپوزیت تهیه شده با الیاف درشت و با ۱۰ درصد الیاف است. مقایسه کلی استحکام کششی الیاف ریز با درشت نشان می‌دهد، کامپوزیت‌های تهیه شده با الیاف ریز استحکام کششی بیشتری دارند، زیرا الیاف ریزتر با مواد پلیمری بهتر مخلوط شده و چسبندگی بیشتری بین آنها برقرار می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر نوع الیاف و درصد الیاف و اثر متقابل آنها بر استحکام کششی کامپوزیت‌ها معنی‌دار است.

جدول ۴ نشان می‌دهد، با افزایش درصد الیاف، مدول کشسانی کامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد و کامپوزیت‌های تهیه شده با الیاف ریز دارای مدول کشسانی بیشتری هستند. بیشترین مقدار مدول کشسانی مربوط به کامپوزیت با ۳۰٪ الیاف ریز و کمترین مقدار نمونه پلی اتیلنی خالص نشان داده است. مدول کشسانی در نمونه‌های مختلف کامپوزیت نسبت به نمونه پلی اتیلن خالص ۱۶ تا ۵۲ درصد افزایش دارد.

جدول ۳ - خواص گرمایی الیاف خام و خالص سازی شده.

الیاف	رطوبت (%)	دمای شروع تخریب (°C)	بیشینه دمای تخریب (°C)
خام	۴/۴	۲۶۵/۵	۳۶۷/۲
خالص سازی شده	۴/۴	۳۰۹/۳	۳۸۷/۱

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌های انجام شده روی الیاف نخل خرما نشان می‌دهد، در الیاف خالص سازی شده درصد لیگنین، همی سلولوز و خاکستر کاهش یافته، اما درصد سلولوز، مقاومت گرمایی و استحکام کششی افزایش می‌یابد. در مجموع خالص سازی شیمیایی الیاف باعث بهبود خواص‌های فیزیکی، مکانیکی و گرمایی آنها شد. بررسی خواص کامپوزیت‌های تهیه شده با درصد‌های مختلف الیاف در دو سطح ریز و درشت نشان می‌دهد، با افزایش درصد الیاف استحکام کششی، مدول کشسانی و درصد جذب رطوبت افزایش یافته، ولی درصد افزایش طول و استحکام ضربه‌ای آن کاهش می‌یابد. استحکام کششی، مدول کشسانی و استحکام ضربه‌ای کامپوزیت‌های تهیه شده با الیاف ریز نسبت به الیاف درشت بیشتر بود، زیرا چسبندگی بهتری بین الیاف ریز و زمینه به وجود می‌آید. هم‌چنین آزمایش‌ها نشان می‌دهد، با افزایش اندازه و درصد الیاف خرما، مقدار جذب رطوبت در کامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد.

اثر نوع الیاف و درصد الیاف بر مقدار بیشینه کرنش کامپوزیت‌ها معنی‌دار است، ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نیست.

یکی از معایب استفاده از الیاف سلولوزی در تهیه کامپوزیت‌ها جذب رطوبت زیاد این مواد است که باعث تغییر ابعاد فیزیکی و تخریب آنها می‌شود. نتایج مربوط به آزمایش جذب رطوبت در **جدول ۴** آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد الیاف در کامپوزیت‌ها، درصد جذب رطوبت افزایش می‌یابد. درصد جذب رطوبت در کامپوزیت‌های تهیه شده بین ۴ تا ۷ برابر پلی‌اتیلن خالص است. بیشترین درصد جذب رطوبت (۱۴٪) مربوط به کامپوزیت با ۳۰ درصد الیاف درشت و کمترین درصد جذب رطوبت (۹٪) مربوط به کامپوزیت تهیه شده با ۱۰ درصد الیاف ریز است. مقایسه این داده‌ها نشان می‌دهد، کامپوزیت‌های تهیه شده با الیاف درشت‌تر درصد جذب رطوبت بیشتری نسبت به کامپوزیت تهیه شده با الیاف ریز‌تر دارند. تجزیه واریانس این داده‌ها نشان می‌دهد، اندازه و درصد الیاف استفاده شده در تهیه کامپوزیت و اثر متقابل این دو عامل بر مقدار جذب رطوبت معنی‌دار است.

مراجع

1. Alemdar A. and Sain M., Biocomposites from Wheat Straw Nanofiber: Morphology, Thermal and Mechanical Properties, *Compos. Sci. Technol.*, **68**, 557-565, 2008.
2. Shakeri A.R. and Omidvar A., Investigation on the Effect of Type, Quantity and Size of Straw Particles on the Mechanical Properties of Crops Straw-High Density Polyethylene Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **19**, 301-308, 2005.
3. Clemons C., Wood - Plastics Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, *Forest Product J.*, **52**, 10-18, 2002.
4. Shahdifar V., Amiri E., Rezadoust A.M., and Hosseini M.H., Study on Properties and Performance of Cotton/Epoxy Composites Inhibitor, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **23**, 203-211, 2010.
5. Zuluaga R., Putaux J.L., Cruz J., Velez, J., Mondragon I., and Ganan P., Cellulose Microfibrils from Banana Rachis: Effect of Alkaline Treatments on Structural and Morphological Features, *Carbohydr. Polym.*, **76**, 1-10, 2008.
6. Ghali L., Msahli S., Zidi M., and Sakli F., Effect of Pretreatment of Luffa Fiber on the Structural Properties, *Mater. Lett.*, **2**, 61-63, 2008.
7. Ghazanfari A., Emami S., Panigrahi S., and Tabil L.G., Thermal and Mechanical Properties of Blends and Composites from HDPE and Date Pits Particles, *Compos. Mater.*, **42**, 77-90, 2008.
8. Seydibeyoglu M. and Oksman K., Novel Nanocomposites Based on Polyurethane and Micro Fibrillated Cellulose, *Compos. Sci. Technol.*, **68**, 908-914, 2008.
9. Ghasemi I., Azizi H., and Ehsani Namin P., Investigating the Effect of Wood Particle Size on the Rheology and Physical-Mechanical Properties of Wood-Polypropylene Composite, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 45-52, 2007.
10. Thomsen A.B., Thygesen A., Bohn V., Nielsen K.V., Pallesen B., and Jorgesen M.S., Effects of Chemical - Physical Pretreatment Processes on Hemp Fibers for Reinforcement of Composites and for Textiles, *Indust. Crops Product*, **24**, 113-118, 2006.
11. Ghafarzadeh H. and Ghazanfari A., Comparing Four Methods for Purifying Date Fibers for Reinforcement Purposes in Biocomposites, *J. Separat. Sci. Eng.*, **2**, 105-114, 2010.
12. Sun X.F., Xu, F., Sun R.C., Fowler P., and Baird M.S., Charac-

- teristics of Degraded Cellulose Obtained from Steam-exploded Wheat Straw, *Carbohyd. Res.*, **340**, 97-106, 2005.
13. Kacurakova M., Belton P.S., Wison R.H., Hirsch J., and Ebringerova A., Hydration Properties of Xylan-type Structures: an FT-IR Study of Xylooligosacharides, *Sci. Food Agr.*, **77**, 38-44, 1998.
14. Enayati A.A., Hosseinaei O., Wang S., Mirshokraie S.A., and Tajvidi M., Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Prepared from Hemicellulose-extracted Wood Flour, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **22**, 171-181, 2009.
15. Sain M. and Panthapulakkal S., Bioprocess Preparation of Wheat Straw Fibers and Characterization, *Indust. Crops Prod-*
- ucts*, **23**, 1-8, 2006.
16. Xiao B., Sun X.F., and Sun R.C., Chemical, Structural, and Thermal Characterization of Alkali-soluble Lignins and Hemicelluloses, and Cellulose from Maize Stems, Rye Straw and Rice Straw, *Polymer*, **74**, 307-319, 2001.
17. Nguyen T., Zavarin E., and Barral E.M., Thermal Analysis of Lignocellulosic Materials. Unmodified Materials, *J. Macromol. Sci.*, **20**, 1-65, 1981.
18. Cheharmehali M., Kazami Najafi S., and Tajvidi M., Effect of Blending Method on the Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **20**, 361-363, 2008.