

خصوصیات مکانیکی چندسازه طبیعی ساخته شده از کاه گندم و پلی بوتیلن سوکسینات*

محمد فارسی^۱، نوید نعیمیان^۲، حسن هادیان^۳

چکیده

در این تحقیق اثر نوع و مقدار پرکننده لیگنوسلولزی بر خصوصیات مکانیکی چندسازه طبیعی حاصل از ضایعات کشاورزی و پلیمر زیست تخریب مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، کاه گندم و پودر راش در 4 سطح و با نسبت‌های وزنی 10، 20، 25 و 30 درصد به وسیله دستگاه HAAKE به طور جداگانه با پلیمر پلی بوتیلن سوکسینات (PBS) مخلوط شدند. پس از قالب گیری تزریقی، نمونه‌های آزمون ساخته شد. مقاومت کششی، ضربه فاقدار و سختی طبق استاندارد ASTM اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که در بین دو نوع پرکننده لیگنوسلولزی، بیشترین میزان مقاومت و مدول کششی به چندسازه حاوی پودر راش تعلق داشت. در حالی که چندسازه حاوی کاه گندم دارای بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار و سختی بود. با افزایش میزان پرکننده لیگنوسلولزی در ماده زمینه بر مقاومت، مدول و سختی چندسازه افزوده شده و از تغییر طول تا نقطه شکست و همچنین مقاومت به ضربه فاقدار کاسته شد. اثر همزمان نوع و درصد ماده لیگنوسلولزی بر مقاومت‌های مکانیکی نشان داد که بهترین چندسازه از نظر خصوصیات کششی و تغییر طول تا نقطه شکست به نمونه‌های ساخته شده از 30 درصد پودر راش تعلق دارد و نمونه‌های ساخته شده از 30 درصد کاه گندم بیشترین سختی و نمونه‌های ساخته شده از 10 درصد کاه گندم بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار را داشته‌اند.

کلمات کلیدی: چندسازه طبیعی، پلیمر زیست تخریب، پلی بوتیلن سوکسینات، پرکننده لیگنوسلولزی، کاه گندم و پودر راش

* این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری انجام شده است.

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری moh_farsi@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

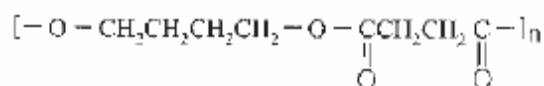
۳- دانش آموخته رشته کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی

مقدمه

پلاستیک‌ها یکی از مهمترین منابع آلوده‌کننده محیط‌زیست به‌شمار می‌روند و در زندگی روزمره بشر مصارف کوتاه‌مدت دارند و پس از دورریزی، مدت‌های مدیدی در طبیعت باقی‌مانده و تجزیه نمی‌شوند. موثرترین روش جهت حل این مشکل، استفاده از پلاستیک‌های تخریب پذیر می‌باشد که به‌وسیله کنترل تجزیه آنها بسیاری از مشکلات زیست‌محیطی رفع خواهد شد. کاربرد پلاستیک‌های تجزیه‌پذیر به‌دلیل خصوصیات فیزیکی ضعیف و مشکل عدم فرآیندپذیری مناسب، همیشه با محدودیت‌هایی رو به‌رو بوده است. لذا تلاش جهت بهبود خصوصیات مطلوب آنها همیشه موضوع مورد علاقه محققین بوده است. به عبارت دیگر، در طی سال‌های اخیر بسیاری از تحقیقات جهت بررسی امکان استفاده از پرکننده‌های لیگنوسلولزی در چندسازه‌های تخریب‌پذیر تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی، مورد پژوهش قرار گرفته است. علت استفاده از پرکننده‌های لیگنوسلولزی دانسته پابین و مزایای زیست‌محیطی آنها می‌باشد. در حقیقت از این طریق خصوصیات پلاستیک‌ها اصلاح می‌گردد. تقاضای جهانی برای پلیمرهای تخریب‌پذیر تا سال ۲۰۰۵ میلادی حدود ۱۱۴ میلیون پوند بوده و پیش‌بینی می‌شود این مقدار تا سال ۲۰۱۰ میلادی به حدود ۲۰۶ میلیون پوند برسد [۴].

در میان پلیمرهای تجزیه شونده که امروزه مورد توجه هستند، می‌توان به پلی‌استرها، پلی‌کاپرولاکتون و ترکیبات بیولوژیک مانند نشاسته، پروتئین و پلی‌ساکاریدهای حاصل از منابع تجدید شونده اشاره نمود [۱۲]. پلی بوتیلن سوکسینات (PBS) یکی از انواع پلی‌استرهای آلیفاتیک می‌باشد که تخریب‌پذیری خوبی داشته و خصوصیات مکانیکی آن شبیه پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن است. علاوه بر آن، دارای دمای ذوب سازگار با مواد لیگنوسلولزی است و می‌توان آن را از طریق فرآیندهای قالب‌گیری تزریقی، فشاری، اکستروژن و قالب‌گیری لایه‌ای جهت تولید چندسازه‌ها به‌کار برد [۵]. پلیمر PBS از واکنش گروه‌های گلیکولی و بوتان دی‌آل و اسید سوکسونیک تولید می‌شود. فرمول شیمیایی پلی‌بوتیلن سوکسینات در شکل ۱ آمده است [۷].

کاه گندم نیز یکی از انواع مهم ضایعات کشاورزی است که در کشورهای آسیایی به وفور یافت می‌گردد. طبق آمارهای سازمان جهاد کشاورزی، سالانه بالغ بر ۱۳ میلیون تن ضایعات کاه گندم در ایران در دسترس می‌باشد که استفاده از آنها در صنایع چندسازه‌های تخریب‌پذیر به‌دلیل قیمت پایین می‌تواند دارای جذابیت‌های بالایی باشد [۲].



شکل ۱- ساختار شیمیایی پلیمر پلی بوتیلن سوکسینات [۷]

در راستای تحقیقات انجام شده روی چندسازه‌های زیست تخریب تقویت شده، شیباتا و همکاران^۱ (۲۰۰۳) در پژوهش خود عنوان کردند که با اضافه شدن الیاف کوتاه به پلی‌بوتیلن سوکسینات، میزان مقاومت و مدول چندسازه افزایش و مقاومت به ضربه کاهش خواهد یافت [۱۴]. همچنین مهانتی و همکاران^۲ (۲۰۰۰) از پلیمر زیست تخریب و الیاف نوعی کنف جهت ساخت چندسازه و از انواع تیمارهای شیمیایی جهت بهبود اتصال در منطقه بین فازی استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که با به‌کارگیری تیمار قلیایی بهبود محسوسی تا سطح ۴۰ درصد در مقاومت کششی اتفاق می‌افتد [۱۰]. در پژوهشی دیگر توسط زیائوفی و همکاران^۳ (۲۰۰۵) گزارش شده که با افزایش الیاف طبیعی تا سطح ۲۰ درصد در ماده زمینه تخریب‌پذیر، مقاومت کششی افزایش یافت، در حالی که تغییر طول تا نقطه شکست از ۱۰۵ درصد در پلیمر خالص به ۱۹ درصد کاهش داشت [۱۶]. استفاده از الیاف سبوس برنج و پودر راش جهت ساخت چندسازه تخریب‌پذیر نیز موضوع پژوهش کیم و همکاران^۴ (۲۰۰۴) است که نتایج آن حاکی از بیشتر بودن مقاومت کششی چندسازه‌های حاوی پودر راش در مقایسه با سبوس برنج می‌باشد [۷].

در پژوهش حاضر به منظور درک صحیح اثرات مربوط به نوع و مقدار پرکننده بر روی خصوصیات مکانیکی چندسازه‌های تخریب‌پذیر، از متغیرهای نوع پرکننده لیگنوسلولزی (پودر راش و کاه گندم) و میزان پرکننده (۰، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) استفاده گردید و آزمون‌های کشش، سختی و ضربه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش از پلی‌بوتیلن سوکسینات (PBS) محصول شرکت Showa Highpolymer با کد ۱۰۲۰ و شاخص جریان مذاب ۲۵ g/10min به‌عنوان ماده زمینه و کاه گندم و پودر راش به‌عنوان پرکننده به ترتیب از مزارع گندم و چوب‌بری شهرستان ساری استفاده شد. از هیدروکسید سدیم نیز جهت اصلاح شیمیایی مواد لیگنوسلولزی استفاده گردید.

روش‌ها

ساقه‌های کاه گندم ابتدا به ابعاد تقریبی ۵ سانتی‌متر بریده و سپس توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شدند. سپس پودر راش و کاه گندم به‌طور جداگانه توسط سرندهای آزمایشگاهی الک شدند. از ذرات عبور کرده از الک ۶۰ مش و باقی‌مانده بر روی الک ۸۰ مش استفاده شد. این ترکیبات لیگنوسلولزی در معرض تیمار قلیایی به شرح ذیل قرار گرفتند:

¹ Shibata et al.

² Mohanty et al.

³ Xiaofei et al.

⁴ Kim et al.

ابتدا ترکیبات لیگنوسلولزی به طور جداگانه به مدت ۰/۵ ساعت تحت تأثیر محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۲ درصد قرار گرفتند. سپس برای چندین مرتبه با آب مقطر حاوی مقدار اندکی اسید استیک آبکشی و نهایتاً در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در فرآیند اختلاط مواد لیگنوسلولزی و پلیمرها، رطوبت به بخار تبدیل شده و سبب اسفنجی شدن محصول می‌شود. این پدیده موجب اختلال در فرآیند و تولید محصولات معیوب می‌گردد. از این رو ذرات کاه گندم و پودر راش قبل از اختلاط با پلی بوتیلن سوکسینات، در اجاق آزمایشگاهی با دمای $103 \pm 2^\circ\text{C}$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سپس جهت جلوگیری از جذب مجدد رطوبت، پس از وزن شدن بر اساس درصدهای مورد نظر، در کیسه‌های پلاستیکی جداسازی و کدگذاری شدند.

تهیه چند سازه

عملیات اختلاط مواد در دستگاه مخلوط کن HAAKE در دمای 140°C و با سرعت ۶۰ rpm به مدت ۱۲ دقیقه انجام شد. نخست پلی بوتیلن سوکسینات به دستگاه اضافه گردید و با استفاده از منحنی دمای پلیمر و گشتاور دستگاه، از ذوب شدن پلی بوتیلن سوکسینات اطمینان حاصل گردید. بعد از ثابت شدن گشتاور دستگاه، ترکیبات لیگنوسلولزی با توجه به درصدهای وزنی موجود در جدول ۱ به آن اضافه شد. ظرفیت دستگاه مخلوط‌کن ۳۰۰CC و وزن هر مخلوط حدود ۲۱۰ گرم بود. پس از اختلاط مواد، آمیزه تولید شده توسط خردکن نیمه‌صنعتی WIESER آسیاب و به دستگاه قالب‌گیری تزریقی انتقال یافت و نمونه‌های آزمون با فشار نازل ۱۰MPa و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شدند. در این پژوهش مقدار مقاومت‌کششی، استحکام ضربه‌ای فاقدار و سختی چندسازه به ترتیب توسط دستگاه‌های آزمون مکانیکی Instron مدل ۱۱۸۶، دستگاه پاندولی Zwick و دستگاه دورامتر Santam و بر اساس آئین نامه‌های D638, D256 و D2240 استاندارد ASTM انجام شد. نتایج پژوهش به روش طرح کاملاً تصادفی و در قالب آزمایش فاکتوریل دو عامله با ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام و مقایسه میانگین‌ها بسته به مورد به روش آزمون دانکن (DMRT) و آزمون t صورت پذیرفت.

جدول ۱- سطوح عوامل متغیر و علایم مربوط به آنها

میزان الیاف طبیعی (درصد)	نوع الیاف طبیعی
A=۰	کاه گندم ^۱ (S) پودر راش ^۲ (W)
B=۱۰	
C=۲۰	
D=۲۵	
E=۳۰	

^۱ Wheat Straw

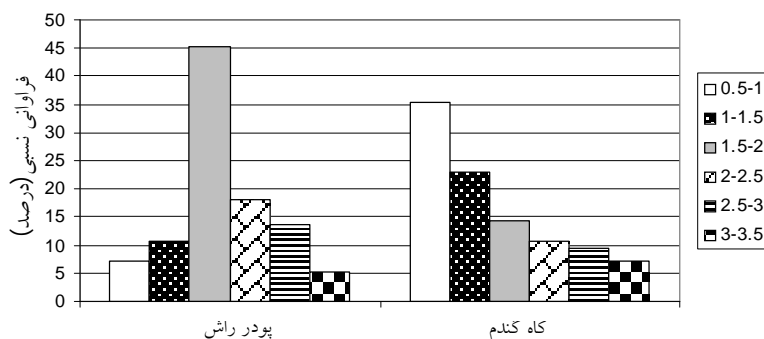
^۲ Wood Flour

ترکیبات شیمیایی مواد لیگنوسلولزی

عملکرد پرکننده‌های لیگنوسلولزی مورد استفاده برای تولید چندسازه‌ها، به عواملی مانند ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی و بر همکنش ذرات در ماتریس چندسازه بستگی دارد. به منظور استفاده از مواد لیگنوسلولزی باید اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های آنها در دسترس باشد. لذا ترکیب شیمیایی کاه گندم در مقایسه با پودر راش با توجه به آیین نامه‌های TAPPI اندازه‌گیری شده است (جدول ۲). از نظر ترکیب شیمیایی، شباهت زیادی بین چوب و کاه غلات دیده می‌شود. همچنین نتایج مربوط به نسبت طول به قطر ذرات (ضریب کشیدگی) حاکی از آن است که ضریب کشیدگی پودر راش به طور نسبی بیشتر از کاه گندم است (شکل ۲).

جدول ۲- میزان هولوسلولز و لیگنین کاه گندم و پودر راش

الیاف	سلولز (درصد)	همی سلولز (درصد)	لیگنین (درصد)	سایر (درصد)
کاه گندم	۳۶	۲۹	۲۰	۱۵
پودر راش	۴۱	۳۰	۲۵	۴



شکل ۲- درصد فراوانی نسبی ضریب کشیدگی پودر راش و کاه گندم

نتایج

اثر مستقل نوع پرکننده لیگنوسلولزی

در اثر تجزیه و تحلیل آماری اثر نوع پرکننده لیگنوسلولزی بر مقاومت، مدول و تغییر طول تا نقطه شکست کششی، استحکام ضربه‌ای فاقدار و سختی چندسازه در مقدار ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۳).

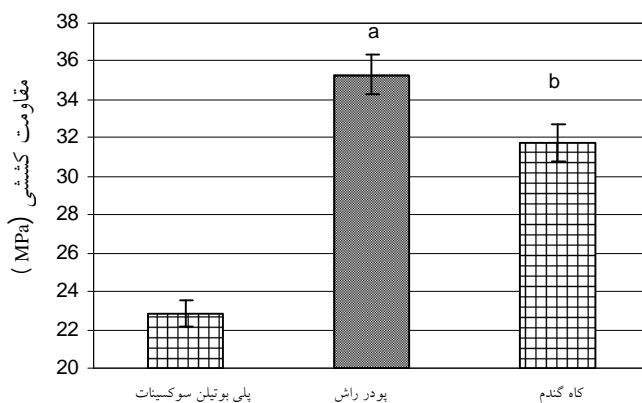
نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اضافه شدن پرکننده‌های لیگنوسلولزی به پلی بوتیلن سوکسینات، بدون در نظر گرفتن نوع آن، به طور متوسط میزان مقاومت کششی ۴۷ درصد، مدول کششی ۳۲ درصد و سختی ۳۳ درصد افزایش داشته و میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست کششی و مقاومت به ضربه فاقدار به ترتیب ۳۴ و ۴۳ درصد کاهش داشته است.

همچنین با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که چندسازه حاوی پودر راش دارای مقاومت کششی به میزان $35/3$ MPa می‌باشد که از نظر آماری در مقایسه با کاه‌گندم در رتبه a قرار دارد. در نتیجه چندسازه تهیه شده از پودر راش در مقایسه با چندسازه حاوی کاه‌گندم خواص مکانیکی بهتری داشتند (شکل ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل متغیرهای مختلف بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه الیاف/پلیمر

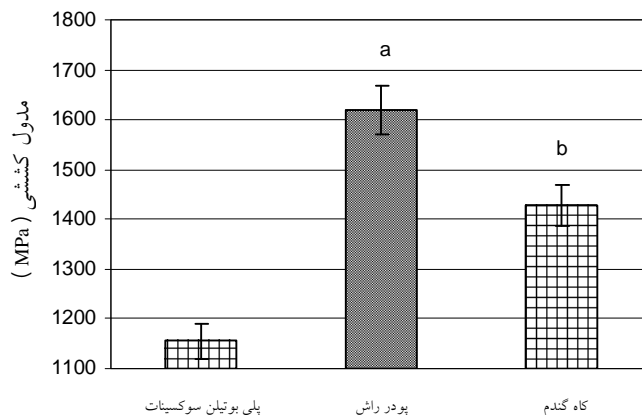
F محاسباتی				میانگین مربعات				منبع تغییرات		
مقاومت به ضربه	سختی	ازدیاد طول کششی	مدول کششی	مقاومت کششی	مقاومت به ضربه	سختی	ازدیاد طول کششی		مدول کششی	مقاومت کششی
۷۴/۵۵**	۱۷۷/۸۴**	۴۱۰/۱۱**	۳۸/۷۹**	۱۹/۴۹**	۲۳۷/۵۱۰	۶۹۶/۰۷۶	۴۳/۲۲۹	۲۰۲۳۴۴	۵۱/۴۰۱	نوع الیاف
۷۸/۱۶**	۱۷۷/۸۴**	۱۴۲/۲۰**	۴۰/۴۱**	۶۷/۶۲**	۲۴۹/۰۲۲	۲۱۴/۰۴۳	۱۴/۹۸۹	۲۱۰۷۷۶	۱۷۸/۲۸۳	میزان الیاف
۳/۷۷*	۰/۷۲ ^{ns}	۷/۷۲*	۱/۹۶ ^{ns}	۰/۸۵۲ ^{ns}	۱۲/۰۱۸	۲/۸۲۲	۰/۸۱۶	۱۰۲۶۵	۲/۲۴۶	نوع×میزان الیاف

* = معنی داری در سطح ۵ درصد، ** = معنی داری در سطح ۱ درصد، ^{ns} = عدم معنی داری



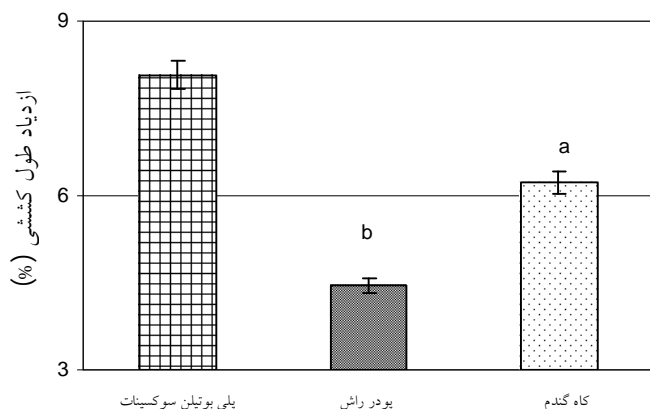
شکل ۳- تأثیر نوع پرکننده بر مقاومت کششی چندسازه الیاف/پلیمر در مقایسه با PBS خالص

شکل ۴ نشان می‌دهد که مدول کشسانی چندسازه حاوی پودر راش بیشتر از کاه‌گندم می‌باشد. در مقایسه با پلی بوتیلن خالص با مدول الاستیسیته به میزان $1154/67$ MPa، چندسازه حاوی پودر راش و کاه‌گندم به ترتیب دارای مدول الاستیسیته $1619/72$ و $1427/3$ MPa می‌باشند (شکل ۴).



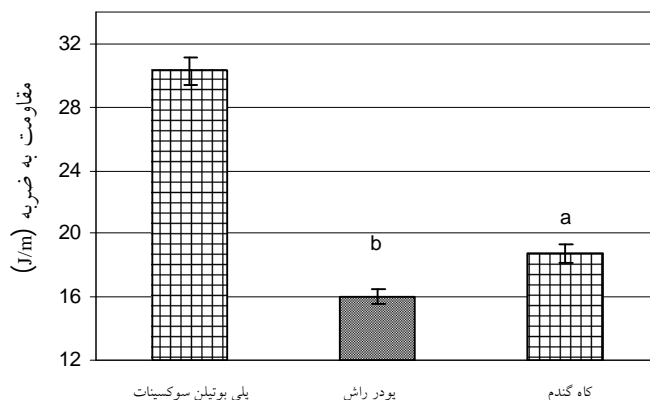
شکل ۴- تأثیر نوع پرکننده بر مدول کششی چندسازه الیاف/پلیمر در مقایسه با PBS خالص

در شکل ۵ نیز ملاحظه می‌شود که تغییر طول کششی پلی بوتیلن سوکسینات از سایر چندسازه‌ها بیشتر بوده و پودر راش نسبت به کاه گندم باعث کاهش بیشتری در تغییر طول تا نقطه شکست چندسازه‌ها می‌شود.



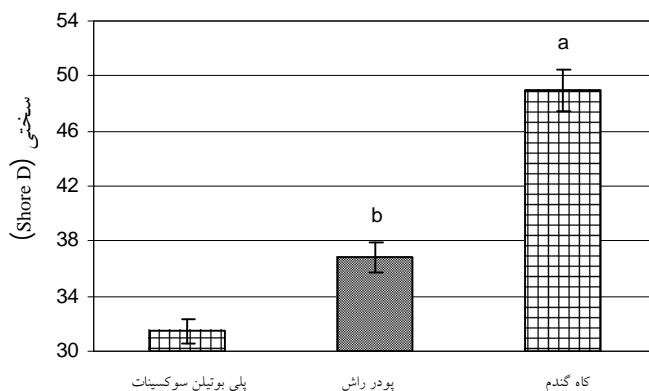
شکل ۵- تأثیر نوع پرکننده بر تغییر طول تا نقطه شکست کششی چندسازه الیاف/پلیمر در مقایسه با PBS خالص

شکل ۶ نشان می‌دهد که مقاومت به ضربه چندسازه حاصل از کاه گندم به میزان $18/7 \text{ J/m}$ و چندسازه حاوی پودر راش $15/9 \text{ J/m}$ می‌باشد. از نظر آماری چندسازه حاوی کاه گندم در رتبه a و چندسازه دارای پودر راش در رده b قرار دارد و هر دو این مقادیر از پلی بوتیلن سوکسینات خالص کمتر می‌باشند.



شکل ۶- تأثیر نوع پرکننده بر مقاومت به ضربه چندسازه الیاف/پلیمر در مقایسه با PBS خالص

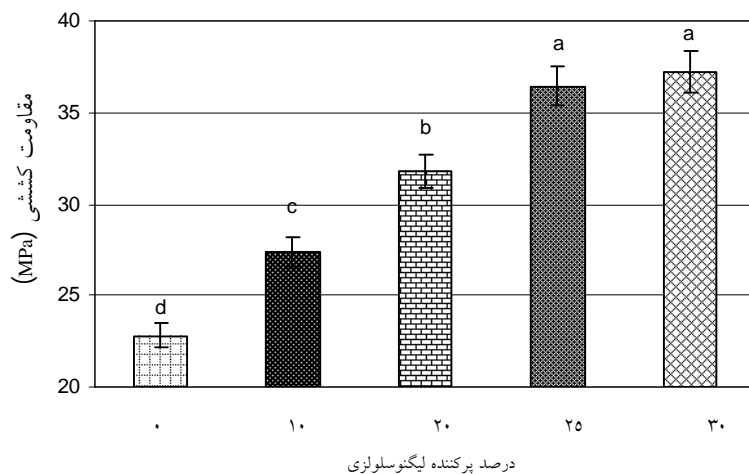
شکل ۷ حاکی از افزایش ۴۴ درصدی سختی پلی بوتیلن سوکسینات خالص در اثر اضافه شدن پرکننده لیگنوسلولزی است و در این افزایش، سهم کاه گندم بیشتر از پودر راش می‌باشد. لذا چندسازه حاوی کاه-گندم سخت‌تر از چندسازه حاوی پودر راش است.



شکل ۷- تأثیر نوع پرکننده بر میزان سختی چندسازه ایاف/پلیمر در مقایسه با PBS خالص

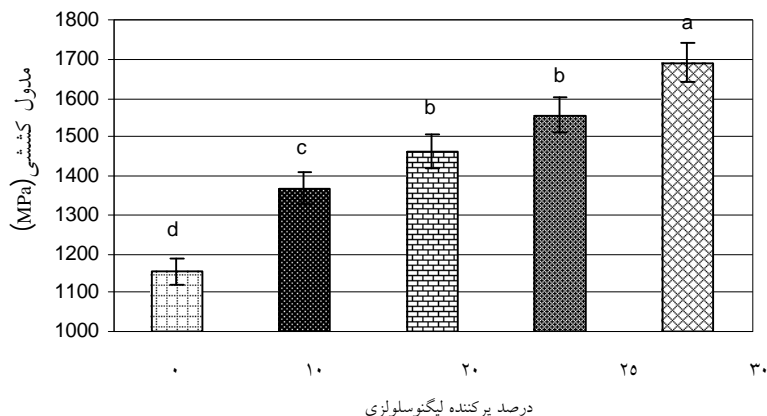
اثر مستقل مقدار پرکننده لیگنوسلولزی

مقدار پرکننده لیگنوسلولزی با مقادیر ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس چندسازه‌ها نشان داد که مقدار پرکننده بر ویژگی‌های مقاومت، مدول و تغییر طول تا نقطه شکست کششی، سختی و مقاومت به ضربه فاقد در مقدار ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۳). نتایج و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش ترکیبات لیگنوسلولزی از ۰ تا ۳۰ درصد، مقاومت کششی چندسازه‌ها افزایش می‌یابد، اما از نظر آماری مابین مقاومت کششی چندسازه‌های حاوی ۲۵ و ۳۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۸).



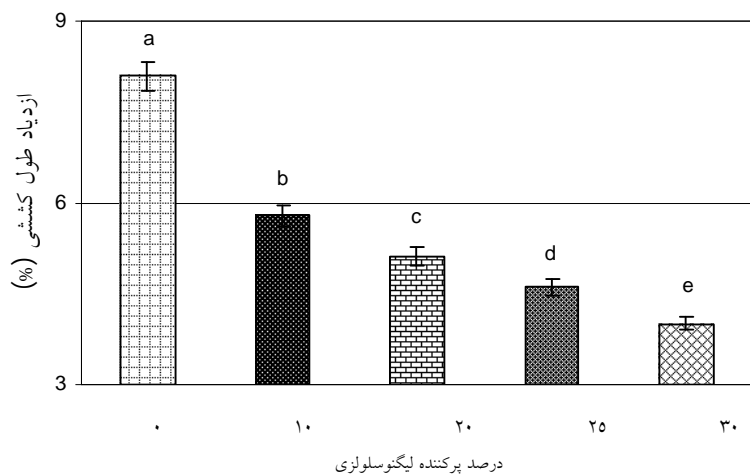
شکل ۸- تأثیر میزان پرکننده بر مقاومت کششی چندسازه ایاف/پلیمر

شکل ۹ نشان می‌دهد که بیشترین مدول کشسانی در چندسازه‌های حاوی ۳۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی و به میزان $1690/74$ MPa می‌باشد. همچنین مابین مدول کشسانی چندسازه‌های حاوی ۲۰ و ۲۵ درصد پرکننده لیگنوسلولزی تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود.



شکل ۹- تأثیر میزان پرکننده بر مدول کششی چندسازه الیاف/پلیمر

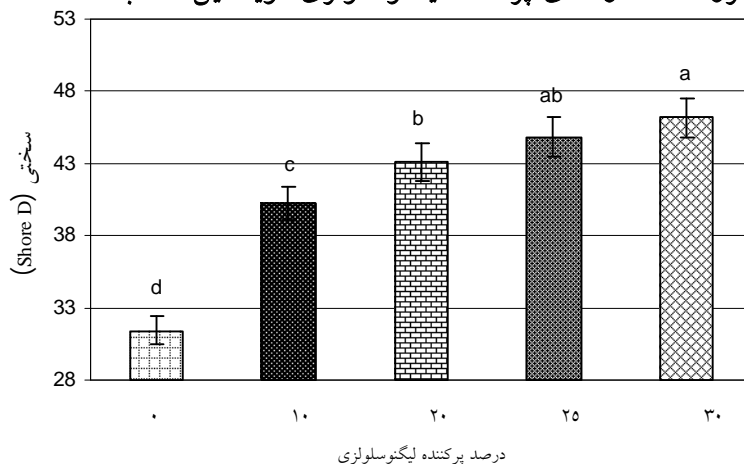
در شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد که افزایش پرکننده لیگنوسلولزی، موجب کاهش زیادی در مقادیر تغییر طول تا نقطه شکست می‌گردد، به گونه‌ای که با افزایش ترکیبات لیگنوسلولزی تا حد ۳۰ درصد، میزان تغییر طول تا نقطه شکست چندسازه به نصف مقدار مربوط به پلی بوتیلن سوکسینات خالص کاهش می‌یابد.



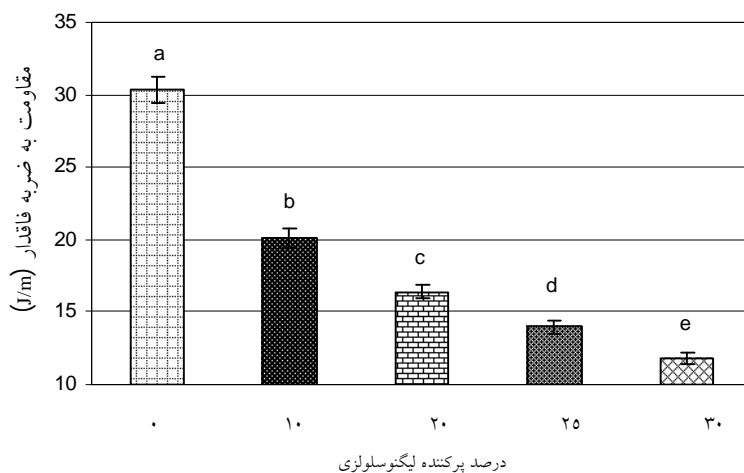
شکل ۱۰- تأثیر میزان پرکننده بر تغییر طول تا نقطه شکست کششی چندسازه الیاف/پلیمر

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که افزایش ۱۰ درصدی پرکننده لیگنوسلولزی به پلی بوتیلن سوکسینات، باعث افزایش ۲۸ درصدی سختی چندسازه از $31/4$ به $40/25$ Shore D می‌شود. نکته قابل توجه این است که افزودن ۳۰ درصدی پرکننده لیگنوسلولزی، باعث تغییر ۴۷ درصدی در میزان سختی چندسازه می‌گردد.

نتایج حاصل از مقاومت به ضربه فاقدار در شکل ۱۲ حاکی از آن است که با افزودن ۱۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی، میزان مقاومت به ضربه ۵۰ درصد کاهش یافت. این مساله زمانی اهمیت می‌یابد که در کاربردهای معمول نیاز به افزایش بیشتر ترکیبات لیگنوسلولزی احساس شود. کاهش ۱۵۷ درصدی مقاومت به ضربه فاقدار در اثر افزودن ۳۰ درصدی پرکننده لیگنوسلولزی مؤید این مطلب است.



شکل ۱۱- تأثیر میزان پرکننده بر سختی چندسازه الیاف/پلیمر



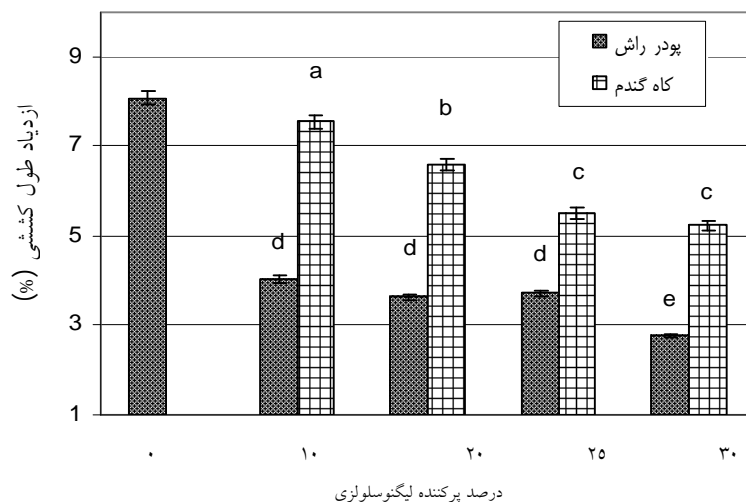
شکل ۱۲- تأثیر میزان پرکننده بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه الیاف/پلیمر

اثر متقابل نوع و مقدار پرکننده لیگنوسلولزی

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بین نوع و مقدار پرکننده لیگنوسلولزی در چندسازه بر ویژگی‌های تغییر طول تا نقطه شکست کششی و استحکام ضربه‌ای در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شده است و در سایر موارد اختلاف معنی‌دار نیست (جدول ۳).

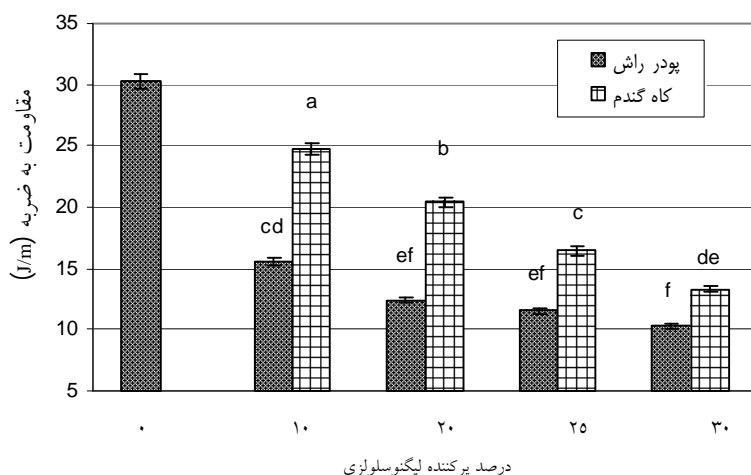
با اضافه شدن پرکننده لیگنوسلولزی به پلی بوتیلن سوکسینات خالص، میزان تغییر طول در حین آزمون کشش کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که این کاهش برای چندسازه‌های حاوی ۱۰ درصد پودر راش حدود

۱۰۰/۷۸ درصد می‌باشد (شکل ۱۳). با افزایش مقدار پرکننده لیگنوسلولزی تا ۳۰ درصد، میزان تغییر طول تا نقطه شکست کششی بیشتر کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش در چندسازه‌های حاوی ۳۰ درصد پودر راش به میزان ۲/۷۷ درصد اتفاق افتاد، اما مابین مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۲۵ درصد پودر راش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بین چندسازه‌های حاوی کاه گندم بیشترین کاهش تغییر طول تا نقطه شکست در نمونه‌های حاوی ۲۵ و ۳۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی اتفاق افتاده است.



شکل ۱۳- تأثیر متقابل نوع و میزان پرکننده لیگنوسلولزی بر تغییر طول تا نقطه شکست کششی چندسازه الیاف/پلیمر

با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌گردد که بیشترین مقاومت به ضربه فاقدار به پلی بوتیلن سوکسینات به میزان ۳۰/۳ J/m دارد. با اضافه شدن ۱۰ درصدی پرکننده لیگنوسلولزی میزان مقاومت به ضربه در نمونه‌های پودر راش تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. البته این کاهش در نمونه‌های حاوی کاه گندم کمتر بوده و از ۳۰/۳ J/m به مقدار ۲۴/۷۳ J/m کاهش می‌یابد.



شکل ۱۴- تأثیر متقابل نوع و میزان پرکننده بر مقاومت به ضربه چندسازه الیاف/پلیمر

بحث و نتیجه گیری

پلیمرهای زیست تخریب در مقایسه با پلاستیک‌های معمول، به دلیل قابلیت تخریب پذیری مناسب و دوستدار بودن طبیعت بسیار مورد اقبال قرار گرفته‌اند، اما دارای خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ضعیفی هستند. لذا استفاده از پرکننده‌های لیگنوسلولزی، جهت بالا بردن ارزش افزوده و بهبود خصوصیات مکانیکی این نوع از پلیمرها بسیار مورد توجه است. بنابراین اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی پلیمرهای تقویت شده جهت بررسی کارایی استفاده از این ترکیبات در چندسازه‌ها، امری ضروری است. بدین منظور در این پژوهش از متغیرهای نوع پرکننده لیگنوسلولزی در دو سطح پودر رایش و کاه گندم و میزان پرکننده در ۴ سطح ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی استفاده گردید و اثر این متغیرها بر آزمون‌های کشش، سختی و مقاومت به ضربه چندسازه‌ها بررسی شد.

با توجه به پژوهش انجام شده نتایج را می‌توان به شکل زیر خلاصه نمود:

۱- کارایی چندسازه به مقدار انتقال تنش از زمینه پلیمری به فاز پرکننده در منطقه بین فازی بستگی دارد. مواد لیگنوسلولزی به دلیل کشسانی بالاتر نسبت به پلاستیک‌ها، در تبادل تنش نقش مؤثرتری دارند. لذا با افزایش میزان پرکننده در چندسازه توان تحمل تنش در چندسازه افزایش می‌یابد [۱]. به همین دلیل مشاهده می‌گردد که با افزایش پرکننده از ۰ تا ۳۰ درصد وزنی در چندسازه، مقاومت کششی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند که با نتایج شیباتا و همکاران^۱ (۲۰۰۳) مطابقت دارد. همچنین پودر رایش با نسبت طول به قطر بالاتر نسبت به کاه گندم موجب انتقال بهتر تنش و افزایش مقاومت کششی چندسازه می‌گردد. این مساله توسط تحقیقات نوربخش و همکاران (۱۳۸۳) نیز تأیید شده است.

۲- مدول کششی چندسازه متأثر از مدول کشسانی اجزای تشکیل دهنده آن می‌باشد. با توجه به این که ترکیبات لیگنوسلولزی دارای مدول کشسانی بالاتری نسبت به پلاستیک‌ها هستند. لذا با افزایش سهم آنها در چندسازه، میزان مدول الاستیسیته فرآورده نهایی افزایش می‌یابد [۱۱]. در این پژوهش نیز با افزایش تدریجی میزان پرکننده لیگنوسلولزی از ۰ تا ۳۰ درصد، مدول الاستیسیته افزایش شدیدی می‌یابد که نشان از ظرفیت بالای پرکننده‌های لیگنوسلولزی در انتقال تنش دارد. این موضوع توسط نتایج حاصل از تحقیقات ذبیح‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. از آنجا که یکی از فاکتورهای تأثیرگذار بر روی مدول-الاستیسیته الیاف، میزان سلولز موجود در آنهاست، چندسازه‌های حاوی آرد رایش به دلیل سلولز بیشتر، مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به چندسازه‌های حاوی کاه گندم داشتند.

۳- با اضافه شدن پرکننده‌های لیگنوسلولزی، ماده پلاستیکی که دارای تغییر طول زیاد در نقطه شکست می‌باشد به ماده لاستیکی با تغییر طول کم در نقطه شکست تبدیل می‌شود. علت این موضوع جاگیری پرکننده در میان زنجیره‌های پلیمری و کاهش تحرک زنجیره‌هاست [۳]. لذا هر چقدر میزان پرکننده اضافه می‌شود تغییر طول تا نقطه شکست کاهش می‌یابد. این نتایج با تحقیقات ورا و همکاران^۲ (۲۰۰۳) و

¹ Shibata et al.

² Vera et al.

همچنین ذبیح‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد. همچنین در بین دو نوع پرکننده لیگنوسلولزی، پودر راش بیشترین کاهش در تغییر طول تا نقطه شکست را موجب می‌گردد. احتمالاً علت این موضوع شبکه قوی‌تر ترکیبات شیمیایی تشکیل‌دهنده پودر راش در مقایسه با کاه‌گندم می‌باشد.

۴- با اضافه شدن پرکننده‌های لیگنوسلولزی سختی چندسازه افزایش می‌یابد که علت آن ماهیت سخت‌تر پرکننده‌ها در مقایسه با ماده زمینه می‌باشد [۹]. لذا هرچقدر سهم الیاف در چندسازه افزایش یابد، سختی چندسازه بیشتر می‌شود. بنابراین چندسازه‌های حاوی ۳۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی دارای بیشترین سختی بودند. همچنین با توجه به نظر جیانگ و همکاران^۱ (۲۰۰۳) ذراتی که ابعاد کوچکی دارند در یک نسبت وزنی ثابت به تعداد بیشتری در واحد سطح چندسازه پخش شده و سختی چندسازه را بیشتر افزایش خواهند داد. از آنجا که ضریب کشیدگی کاه‌گندم کمتر از پودر راش می‌باشد و همچنین میزان ترکیبات معدنی سخت مانند سیلیس در پرکننده‌های زراعی بیشتر از پرکننده‌های چوبی است، لذا در مجموع، بیشترین میزان سختی به چندسازه حاوی ۳۰ درصد کاه‌گندم تعلق دارد.

۵- در طی توسعه ترک، تغییر شکل میکروسکوپیک پلاستیک‌ها می‌تواند از شکست ناگهانی آنها جلوگیری نماید. لذا هرچقدر سهم پرکننده‌های لیگنوسلولزی در ماتریس پلیمری افزایش می‌یابد، فضای خالی لازم جهت تغییر شکل کمتر شده و مقاومت به ضربه کاهش خواهد یافت [۸]. لذا مشاهده می‌شود که کمترین میزان مقاومت به ضربه فاقدار به چندسازه‌های حاوی ۳۰ درصد پودر راش تعلق دارد. علت بیشتر بودن مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه‌های حاوی کاه‌گندم در مقایسه با پودر راش، ابعاد ریزتر کاه‌گندم و پخش شدن یکنواخت در محیط چندسازه است که نیروی آنی حاصل از ضربه به‌جای عبور از محیط ناهمگن با نقاط مستعد شکست، از داخل محیطی همگن عبور می‌کند و به‌جای تمرکز تنش موجب عبور تنش می‌گردد [۶ و ۱۳]. این نتایج با یافته‌های اوکسمن و همکاران^۲ (۲۰۰۴) هم‌خوانی دارد.

¹ Jiang et al.

² Oksman et al.

منابع

- ۱- ذبیح زاده، س. م.، ق. ابراهیمی، ع. ا. عنایتی، ا. میرشکرایی و ا. جهان لتیاری، ۱۳۸۶. خواص مکانیکی و ریخت شناسی چندسازه کاه گندم- پلی پروپیلن، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۶۰، شماره ۱: ص ۲۴۳-۲۵۴.
- ۲- سرائیان، ا. ر.، ع. ن. کریمی و ا. جهان لتیاری، ۱۳۸۲. ارزیابی ترکیبات شیمیایی کاه گندم (خراسان) و مقایسه این ترکیبات در اجزای اصلی ساقه، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، شماره ۴: ص ۴۴۷-۴۶۰.
- ۳- نوربخش، ا. ک. دوست حسینی، ا. جهان لتیاری و ع. حسین زاده، ۱۳۸۳. بررسی نوع، مقدار الیاف سلولزی و درجه حرارت مخلوط سازی بر ویژگی های مکانیکی چندسازه الیاف چوب پلیمر، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴: ص ۷۶۵-۷۷۵.
- 4-Fitzgerald, K.R., 2006, The Global Market for Biodegradable Polymers, Proceeding of Plastics Technology Magazine Conference, "Bioplastics Processing".
- 5-Han, S.O., Lee, S.M., Park, W.H. & Donghwan, C., 2006, Mechanical and Thermal Properties of Waste Silk Fiber- Reinforced Poly(butylene succinate) Biocomposites, Journal of Applied Polymer Science, 100, pp:4972-4980.
- 6-Jiang, X.B., Xu, M. & Wang, K., 2003, Composite Techniques of Polyethylene, Polypropylene as well as Wood Fiber and Plastic Composite Panel. Journal of Northeast Forestry University 31(2) pp9-10
- 7-Kim, H.S., Yang, H.S. & Kim, H.J., 2005, Biodegradability and Mechanical Properties of Agro-Flour-Filled Polybutylene Succinate Biocomposites, Journal of Applied Polymer Science, 97, pp: 1513-1521.
- 8-Lee, M.W., Ho, S.Y., Lim, K.P., Ng, T.T. & Juay Y.K., 2008, Development of biocomposites with improved mechanical properties, SIMTech technical reports (STR), 9(3), pp: 115-118.
- 9-Lewin, K.C., Harun, J.; Tahir, P.M.; Yusoff, M.N.M. & Dahlam, K.Z.M., 2000, Properties of Rubber Wood Fiber/Polypropylene Composites Blended at Different Fiber Content and fiber Size Fractions. Journal of Tropical Forest Product 6(1), pp: 21-27.
- 10-Mohanty, A.K., Khan, M.A. & Hinrichsen G., 2000, Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics—polyester amide composites, Composites: Part A: 31 pp: 143-150.
- 11-Oksman, K. & Selin, J.F., 2004, Plastics and composites from poly lactic acid. In: F.T. Wallenberger and N. Weston, Editors, Natural fibers, plastics and composites, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- 12-Puglia, D., Tomassucci, A. & Kenny, J.M., 2003, Processing, Properties and Stability of Biodegradable Composites Based on Mater-Bi[®] and Cellulose Fibers, Polymers for Advanced technologies, 14, pp: 749-756.
- 13-Rowell, R.M., Young, R.A. & Rowell, J.K., 1998, Paper and Composites from Agro-Based Resources, CRC Press.
- 14-Shibata, M, Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R. & Takeishi H., 2003, Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters, Journal of Macromolecule and Material Engineering, 288, pp: 35-43.
- 15-Vera, A.A., Ruscekaite, R.A. & Vazquez, A.A., 2003, Mechanical Properties and Water Absorption Behavior of Composites Made from a Biodegradable Matrix and Alkaline-Treated Sisal Fibers, Journal of Composite Materials; 37; pp: 1575-1588.
- 16-Xiaofei, M., Yu, J., & Kennedy, J.F., 2005, Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites, Journal of Carbohydrate Polymers, 62, pp: 19-24.