مطالعه ویژگی‌های مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه پلی‌اتیلن بازیافتی- خاک‌اره حاصل از برش MDF

چکیده

در این مطالعه تأثیر استفاده از پلی‌اتیلن بازیافتی (یک و دو بار پلی‌اتیلن بازیافتی) بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی اتیلن-خاک اره حاصل از برش MDF موردبررسی قرار گرفته است. از خاک‌اره به میزان ۳۰ درصد وزنی به‌عنوان پرکننده و از MAPE به میزان ۰ و ۲ درصد وزنی به‌عنوان اتصال‌دهنده برای ساخت چندسازه استفاده شد. اختلاط مواد با استفاده از اکسترودر و ساخت نمونه‌های استاندارد به روش قالب‌گیری تزریقی انجام شد. برای ارزیابی چندسازه ویژگی‌هایی کششی (مدول و مقاومت) و ویژگی‌هایی خمشی (مدول و مقاومت) موردبررسی قرار گرفت. ریخت‌شناسی چندسازه موردنظر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) موردبررسی قرار گرفت. هرچند پلی‌اتیلن خالص دارای ویژگی‌های مکانیکی بهتری نسبت به پلی‌اتیلن یک و دو بار بازیافتی بوده است اما با افزودن خاک‌اره به‌عنوان پرکننده چندسازه‌های شامل پلی‌اتیلن بازیافتی به‌صورت معنی‌داری ویژگی‌های مکانیکی بالاتری نسبت به پلی‌اتیلن خام نشان داده‌اند. هم‌چنین افزودن MAPE باعث افزایش ویژگی‌هایی مکانیکی چندسازه شده است. بررسی تصاویر SEM نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی و MAPE باعث فعل‌وانفعال بهتری بین ماتریس و پرکننده شده است. تعیین شاخص مذاب (MFI) نشان داد که با افزایش دفعات بازیافت پلی‌اتیلن شاخص جریان مذاب افزایش یافته است؛ بنابراین با توجه به نتایج ویژگی‌های مکانیکی می‌توان بیان کرد که افزایش شاخص جریان مذاب تأثیر مثبتی برساخت چندسازه داشته است.

واژگان کلیدی: پلی‌اتیلن بازیافتی، خاک‌اره، اتصال‌دهنده، ویژگی‌هایی مکانیکی.

مهدی کلاگر [۱*]
الهام مرزبان مریدانی [۲]
مجتبی اسدی [۳]
بهدوست کلابی [۴]

[۱] دکتری تخصصی صنایع چوب و کاغذ، مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا، ایران

[۲] کارشناسی ارشد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

[۳] دانشجوی دکتری گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

[۴] دانشجوی دکتری گروه جنگل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
Mehdi.Kalagar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۸

مقدمه

استفاده از مواد بازیافتی در هر صنعتی می‌تواند در کمک به کم کردن مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفن و سوزاندن این مواد حائز اهمیت باشد. چندسازه اختلاط الیاف طبیعی و/ یا پرکننده (شامل آرد چوب، الیاف چوب، پسماند محصولات زراعی و ...) با پلاستیک‌های گرمانرم مانند پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی ونیل کلراید (PVC) و ... است [۱]. در مقایسه با پرکننده‌های مصنوعی، الیاف طبیعی دارای مزیت‌های مانند دانسیته پایین، عدم سایش تجهیزات، قیمت پایین و با قابلیت تجدید پذیری می‌باشند [۲].

پلاستیک‌ها به‌صورت وسیعی در بسته‌بندی مواد، کاربردهای صنعتی و اتومبیل‌سازی، ایمپلنت‌های مصنوعی، کاربردهای بهداشتی، نمک‌زدایی آب، حفظ خاک، جلوگیری از سیل و توزیع مواد غذایی، مواد برای وسایل ارتباطی، سیستم های ارتباطی و ... به کار می‌روند [۳]. پس با توجه به کاربردهای وسیع این ماده روزبه‌روز بر میزان پلاستیک‌های ضایعاتی به‌عنوان یک پسماند شهری افزوده می‌شود. هم‌چنین این پلاستیک‌ها مدت بسیار طولانی در طبیعت باقی‌مانده و به‌راحتی تجزیه نمی‌شوند که خطرات آن‌ها به‌صورت جدی محیط‌زیست را تهدید می‌کند. عنوان شده است که پلاستیک‌های بازیافتی پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) ۳۱-۳۴٪ ارزان‌تر از حالت خالص آن‌هاست. پس برای این حجم بالا از ضایعات پلاستیک‌ها باید راهکارهای اندیشد. یکی از بهترین راه‌حل‌های موجود استفاده از پلاستیک‌های ضایعاتی در ساخت چندسازه است.

از سوی دیگر یکی از ضایعات مهم در صنعت چوب خاک‌اره حاصل از برش چوب و محصولات چوبی است که یک منبع خوب و باارزش برای تقویت پلاستیک‌هاست. لذا در این تحقیق از خاک‌اره حاصل از برش MDF به‌عنوان پرکننده در ساخت چندسازه استفاده می‌شود. ساخت چوب پلاستیک با استفاده از الیاف/ پودر چوب بازیافتی به علت قیمت پایین پودر چوب بازیافتی می‌تواند مقرون‌به‌صرفه باشد. به همین دلیل تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده که نشان‌دهنده اهمیت این موضوع است. Kazemi Najafi و همکاران (۲۰۰۶) بررسی‌های انجام‌شده بر روی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن با دانسیته بالا و پلی‌پروپیلن بازیافتی/ خاک‌اره نشان می‌دهد که هرچند ویژگی‌هایی کششی و خمشی چندسازه حاصل از پلی‌پروپیلن (خام و بازیافتی) بالاتر از چندسازه پلی‌اتیلن (خام و بازیافتی) بوده اما دارای مقاومت به ضربه کمتر بوده‌اند [۱]. هم‌چنین عنوان کردند که ویژگی‌هایی مکانیکی چندسازه هر دو نوع پلیمر بازیافتی ازنظر آماری شبیه و قابل قیاس با پلیمرهای خالص است. آن‌ها استفاده از پلی‌اتیلن بازیافتی تقویت‌شده با الیاف (چوب و باگاس) و انواع سازگار کننده را برای ساخت چندسازه مورد ارزیابی قراردادند [۴]. آن‌ها مشاهده کردند که استفاده از اتصال‌دهنده‌ها باعث افزایش سازگاری بین ماتریس و پرکننده شده است و ویژگی‌هایی مکانیکی خوبی را برای چندسازه با پلی‌اتیلن بازیافتی در مقایسه با پلی‌اتیلن خالص بیان کردند.

Kraiem و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی برای ساخت چندسازه از پلی‌اتیلن بازیافتی و الیاف نی به میزان ۲، ۴، ۶ و ۱۰ درصد وزنی عنوان کردند که استفاده از میزان کم الیاف می‌تواند راه‌حل مناسبی برای بهبود ویژگی‌های پلی‌اتیلن بازیافتی باشد. هم‌چنین استفاده از پلی‌اتیلن خالص و بازیافتی برای ساخت چندسازه موردبررسی قرار گرفته است و نتایج آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های کششی و خمشی چندسازه بر پایه پلی‌اتیلن بازیافتی با خالص یکسان است. هم‌چنین آن‌ها گزارش کردند که افزودن ۳-۵٪ اتصال‌دهنده به‌صورت معنی‌داری ویژگی‌های مکانیکی چندسازه را بهبود داده است [۵]. بنابراین با توجه به اهمیت بازیافت مواد تحقیقات بیشتر در مورد این مواد الزامی است. هدف از این بررسی تحقیق استفاده از پلی‌اتیلن یک و دو بار بازیافتی به‌عنوان ماتریس و خاک‌اره حاصل از برش MDF به‌عنوان پرکننده است تا بتوان چندسازه‌ای کاملاً بازیافتی ساخت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش پلی‌اتیلن ساخت شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۰min /gr ۱۸ به‌عنوان فاز زمینه استفاده شد. به‌منظور تهیه پلی‌اتیلن بازیافتی، پلی‌اتیلن خام در یک و دو مرحله تحت معرض تنش‌های حرارتی- مکانیکی در دستگاه اکسترودر (به دلیل استفاده گسترده از روش اکستروژن در ساخت مصنوعات پلاستیکی) با دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت موتور ۱۰۰ (rpm) قرار گرفته و اثر این تنش‌ها در خواص پلی‌اتیلن بازیافت شده در هر مرحله و مواد مرکب حاصل بررسی خواهد شد. خاک‌اره حاصل از برش MDF را به‌صورت تصادفی از یک کارخانه برش MDF جمع‌آوری و تهیه شده است. برای کاهش رطوبت، خاک‌اره را قبل از اختلاط با پلیمر به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شد. هم‌چنین از پلی‌اتیلن گرافت شده با انیدرید مالئیک (MAPE) به میزان ۰ و ۲

درصد وزنی به‌عنوان اتصال‌دهنده برای ساخت چندسازه استفاده شده است.

تعیین شاخص جریان مذاب (MFI)

شاخص جریان مذاب پلاستیک‌های مورداستفاده طبق آیین‌نامه D1238-98 استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. این شاخص در دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد و با وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم معین شد. نتایج برحسب گرم بر ۱۰ دقیقه گزارش شده است.

فرایند اختلاط

عملیات اختلاط پلیمر و خاک‌اره MDF در دستگاه اکسترودر (کولین) با سرعت ۸۰rpm انجام شد. پس از سرد و سخت شدن مذاب بی‌شکل خارج‌شده از اکسترودر، به‌منظور تهیه گرانول برای تغذیه با دستگاه تزریق، از خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل ۲۰۰/ ۲۰۰ WG-LS استفاده شد. به‌منظور حذف رطوبت از گرانول‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای عملیات تزریق، گرانول‌های حاصله به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. از تجهیزات موجود در کارگاه پلاستیک مرکز پلیمر ایران برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. جدول ۱ سطوح اختلاط مواد برای ساخت چندسازه‌های موردبررسی را نشان می‌دهد.

ساخت نمونه‌های استاندارد

نمونه‌های آزمون مکانیکی، به روش قالب‌گیری تزریقی به‌وسیله دستگاه تزریق نیمه‌صنعتی شرکت ایمن ماشین تهران موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه شد. دمای سیلندر تزریق در هر سه ناحیه ۱۷۵°C، دمای قالب ۲۳ °C، فشار تزریق ۱۱۰ bar و زمان دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در هر بار تزریق نمونه‌های استاندارد آزمون‌های مکانیکی (کشش، خمش و ضربه) به دست آمد.

آزمون‌های مکانیکی

آزمون خمش و کشش به ترتیب مطابق آیین‌نامه D790 و D638 استاندارد ASTM و بارگذاری mm/min ۵ اعمال شد. بدین منظور از دستگاه (INSTRON) مدل ۴۴۸۹ موجود در گروه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران استفاده شد.

مطالعه ریخت‌شناسی (SEM)

به‌منظور تحلیل بهتر نتایج حاصل و مطالعه مرفولوژی سطوح شکست و ناحیه بینابینی پلیمرها و الیاف سلولزی از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل ۳۰ XL ساخت شرکت فیلیپس (Philips) موجود در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات استفاده شد. نمونه‌های کششی برای مطالعه ریخت‌شناسی به کار گرفته شد.

جدول ۱ - سطوح اختلاط مواد

شماره	کد	خاک‌اره (S)	پلی‌اتیلن خالص (PE)	پلی‌اتیلن یک‌بار بازیافتی (PER1)	پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی (PER2)	اتصال‌دهنده (M)
۱	PE	-	٪۱۰۰	-	-	-
۲	PER1	-	-	٪۱۰۰	-	-
۳	PER2	-	-	-	٪۱۰۰	-
۴	PES	٪۳۰	٪۷۰	-	-	-
۵	PESM	٪۳۰	٪۶۸	-	-	٪۲
۶	PER1S	٪۳۰	-	٪۷۰	-	-
۷	PER1SM	٪۳۰	-	٪۶۸	-	٪۲
۸	PER2S	٪۳۰	-	-	٪۷۰	-
۹	PER2SM	٪۳۰	-	-	٪۶۸	٪۲

PE: پلی‌اتیلن خالص، PER1: پلی‌اتیلن یک‌بار بازیافتی، PER2: پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی، S: خاک‌اره، M: اتصال‌دهنده

نتایج و بحث

بررسی پلی‌اتیلن‌های بازیافتی نشان داد که با افزایش بازیافت از یک‌به‌دو مرحله شاخص جریان مذاب این پلی‌اتیلن‌ها در مقایسه با پلی‌اتیلن خالص به‌صورت معنی-داری افزایش یافته است که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- MFI پلاستیک‌های مورداستفاده

پلاستیک		MFI (g/۱۰min)
HDPE	خام	۱۸
	یک‌بار بازیافتی	۲۳/۹۴
	دو بار بازیافتی	۳۱/۷۸

مدول الاستسیته و مقاومت کششی

با توجه به جدول ۳ و ۴ می‌توان بیان کرد که تجزیه واریانس مدول الاستسیته و مقاومت کششی بین گروه‌های مختلف معنی‌دار بوده است. این بدان معنی است که استفاده از پلی‌اتیلن یک و دو بار بازیافتی با خاک‌اره و هم-چنین اتصال‌دهنده تأثیر مثبتی برساخت چندسازه داشته که باعث افزایش مدول الاستسیته و مقاومت کششی شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مدول الاستسیته کششی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	۲۱۵۲۵۴۸۸/۹۶	۸	۲۶۹۰۶۸۶/۱۲۰	۲۰/۲۲۱	۰۰۰
خطا	۲۳۹۵۱۵۱/۳۳۳	۱۸	۱۱۱۰۶۶۳/۹۶۳		
کل	۲۳۹۲۰۶۴۰/۳۰	۲۶			

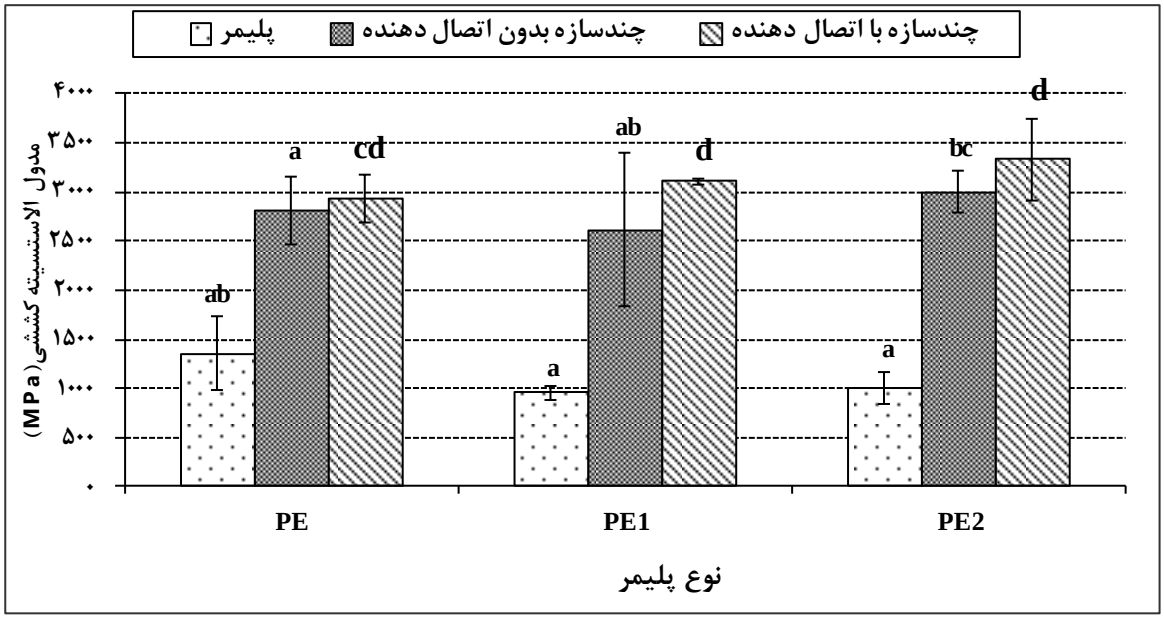
جدول ۴- تجزیه واریانس مقاومت کششی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	۵۴۸/۰۳۳	۸	۶۸/۵۰۴	۱۲/۳۹۱	۰۰۰
خطا	۹۹/۵۱۳	۱۸	۵/۵۲۸		
کل	۶۴۷/۵۴۶	۲۶			

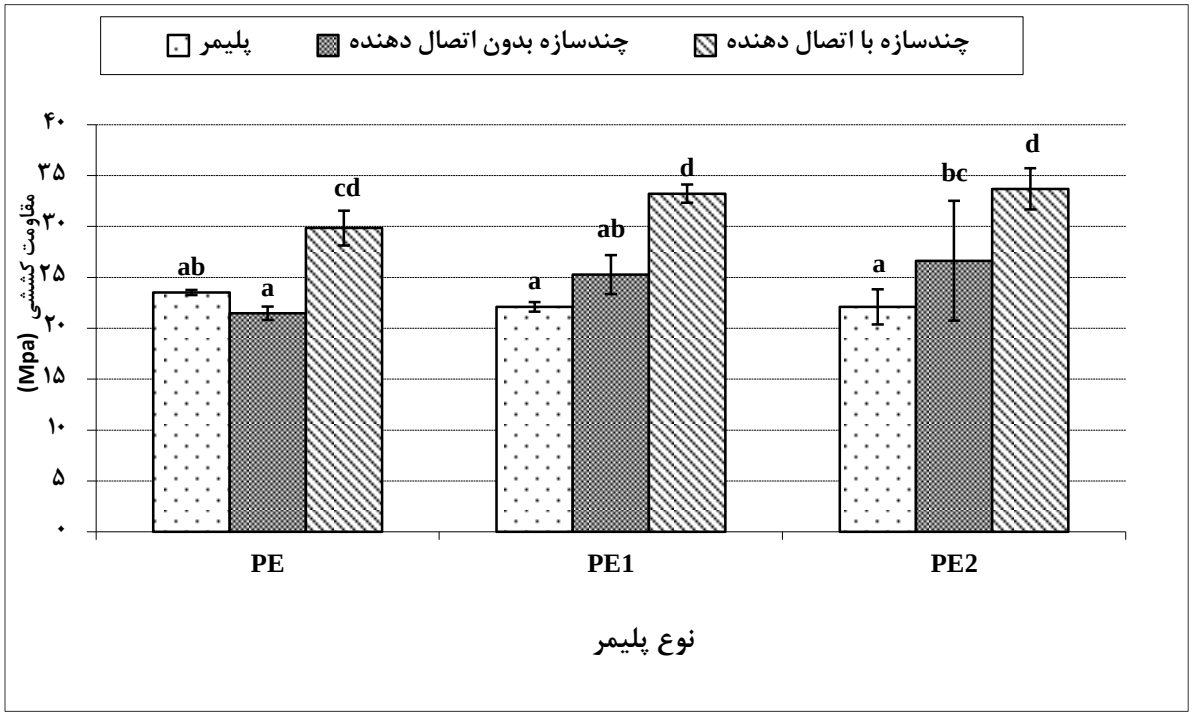
شکل ۱ و ۲ مدول الاستسیته و مقاومت کششی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال مشخص است پلی‌اتیلن بازیافتی دارای مدول الاستسیته و مقاومت کششی کمتری نسبت به پلی‌اتیلن خالص است؛ اما بین پلی‌اتیلن یک‌بار بازیافت شده و دو بار بازیافت شده اختلاف زیادی وجود ندارد و در مقایسه میانگین دانکن نیز این دو تیمار در یک گروه قرار گرفته-اند. هم‌چنین استفاده از خاک‌اره باعث افزایش در مدول الاستسیته و مقاومت کششی تمامی نمونه‌های موجود شده است که نشان می‌دهد خاک‌اره به‌عنوان پرکننده تقویت‌کننده در چندسازه عمل کرده و فعل‌وانفعال بین پلی‌اتیلن (هم خام و هم بازیافتی) با خاک‌اره خوب بوده است. این موضوع را می‌توان به حضور ناخالصی‌های شیمیایی موجود در پلی‌اتیلن‌های بازیافتی نسبت داد که باعث افزایش اتصالات سطح مشترک ماتریس با پرکننده می‌شود و درنهایت ویژگی‌هایی کششی چندسازه افزایش می‌یابد [۶]. یکی دیگر از فاکتورهای مهم که در موضوع استفاده از پلاستیک‌های بازیافتی در بسیاری از تحقیقات بدان اشاره شده است شاخص جریان مذاب پلاستیک‌های ضایعاتی و یا بازیافتی است که معمولاً بیشتر از پلیمرهای اولیه (خام) است [۱ و ۸-۷]؛ که می‌تواند یک ویژگی مثبت در ساخت چندسازه چوب-پلاستیک محسوب شود؛ که در این تحقیق هم با توجه به اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب مشخص شده که با افزایش دفعات بازیافت

شاخص جریان مذاب افزایش یافته که تأثیرات افزایش این شاخص را می‌توان در افزایش ویژگی‌های مکانیکی حاصل از پلی‌اتیلن بازیافتی مشاهده کرد. هم‌چنین به علت وقوع اکسیداسیون در پلاستیک‌های ضایعاتی، به‌صورت نسبی قطبی شدن در پلاستیک‌ها افزایش می‌یابد که می‌تواند تأثیر مثبتی بر اتصالات سطح مشترک در چندسازه حاصله داشته باشد. درواقع با اکسید شدن پلیمر نوعی سازگاری بین پلاستیک غیر قطبی و ماده لیگنوسلولزی قطبی شکل می‌گیرد که سبب بهبود اتصال این دو بخش می‌شود و منجر به بهبود خواص ماده مرکب حاصل می شود [۹]. Jayaraman و همکاران (۲۰۰۴) عنوان کردند در کارهای انجام‌شده بر چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن بازیافتی مدول الاستیسیته کششی مواد مرکب حاصل از پلی‌اتیلن سنگین ضایعاتی و الیاف چوب (در مقادیر بالاتر الیاف چوب) را بیشتر از مواد مرکب ساخته‌شده از مخلوط چند نوع پلاستیک خالص و الیاف به دست آوردند [۱۰].

در مقایسه چندسازه بدون اتصال‌دهنده و با اتصال‌دهنده می‌توان مشاهده که افزودن اتصال‌دهنده باعث بهبود معنی‌داری در مدول الاستسیته و مقاومت کششی شده است. زیرا اتصال‌دهنده باعث افزایش تماس بین فیبر و ماتریس شده و بنابراین پتانسیل پیوند بین فیبر و ماتریس را افزایش می‌دهد. پس می‌توان گفت که حضور اتصال‌دهنده جهت بهبود تأثیر تقویت کننده ضروری است [۱۱]. آزمون مقایسه میانگین با دانکن نیز مشخص است که استفاده از اتصال‌دهنده باعث شده است که این چندسازه‌ها حاوی اتصال دهنده در گروه‌های جداگانه نسبت به چندسازه‌های بدون انصال دهنده قرار گیرند.



شکل ۱- مدول الاستسیته کششی چندسازه پلی اتیلن/خاک اره



شکل ۲- مقاومت کششی چندسازه پلی اتیلن/خاک اره

مدول و مقاومت خمشی

با توجه به جدول ۵ و ۶ می‌توان بیان کرد که تجزیه واریانس مدول و مقاومت خمشی مانند ویژگی‌هایی کششی چندسازه بین گروه‌های مختلف معنی داری بوده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس مدول الاستسیته خمشی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

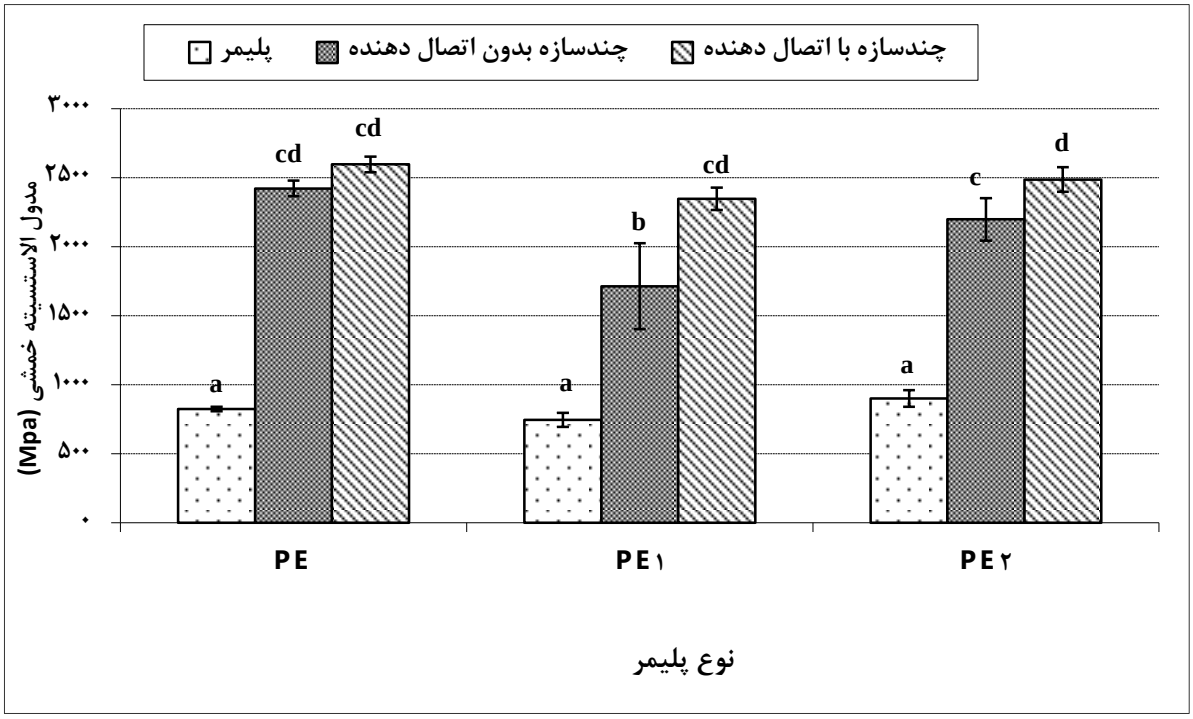
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	۱۳۶۴۱۲۹۷/۸۵	۸	۱۷۰۵۱۶۲/۲۳۱	۱۰۳/۵۶۹	۰۰۰
خطا	۲۹۶۳۵۹	۱۸	۱۶۴۶۴		
کل	۱۳۹۳۷۶۴۹/۸۵	۲۶			

جدول ۶- تجزیه واریانس مقاومت خمشی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	۲۱۰۹/۵۸۹	۸	۲۶۳/۷۳۲	۸۳۱/۵۹۸	۰۰۰
خطا	۱۵۰/۲۳۵	۱۸	۸/۳۴۶		
کل	۲۲۶۰/۰۹۴	۲۶			

در بحث ویژگی‌هایی خمش (مدول الاستسیته و مقاومت) در اشکال ۳ و ۴ مشخص است که پلیمر یک‌بار بازیافتی و دو بار بازیافتی دارای ویژگی‌هایی خمشی بالاتری نسبت به پلیمر خالص است ولی در آزمون دانکن در یک گروه قرارگرفته‌اند. با افزودن خاک‌اره به هر سه نوع پلیمر ویژگی‌هایی خمشی نسبت به پلیمر خالص افزایش یافته است. بهبود در ویژگی‌هایی خمشی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن/ خاک‌اره نسبت پلیمر خالص را می‌توان به مقاومت و مدول بالای الیاف سلولوزی و توزیع یکنواخت تنش در پلیمر نسبت داد که البته این افزایش در چندسازه با پلی‌اتیلن بازیافتی بیشتر بوده است و هم‌چنین استفاده از اتصال‌دهنده باعث بهبود در چسبندگی سطح

مشترک ماتریس و پرکننده شده که منجر به توزیع یکنواخت تنش به‌کاررفته شده و انرژی بیشتری برای جداسازی الیاف موردنیاز است [۱۲]. در بررسی‌های انجام شد مقاومت خمشی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن سنگین ضایعاتی و الیاف چوب را بیشتر از مواد مرکب ساخته‌شده از مخلوط چند نوع پلاستیک ضایعاتی و الیاف به دست آوردند [۱۱]. افزودن اتصال‌دهنده به چندسازه در تمامی نمونه‌ها باعث افزایش معنی‌داری در ویژگی‌هایی خمشی شده است. بالاترین میزان در ویژگی‌های خمشی مربوط به چندسازه حاوی پلی‌اتیلن با دو بار بازیافت و MAPE بوده است. Lu و همکاران (۲۰۰۵) عنوان کردند که در چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی/ خاک‌اره حضور اتصال‌دهنده (MAPE) بیشترین افزایش در ویژگی-هایی مکانیکی را نشان داد [۱۳].

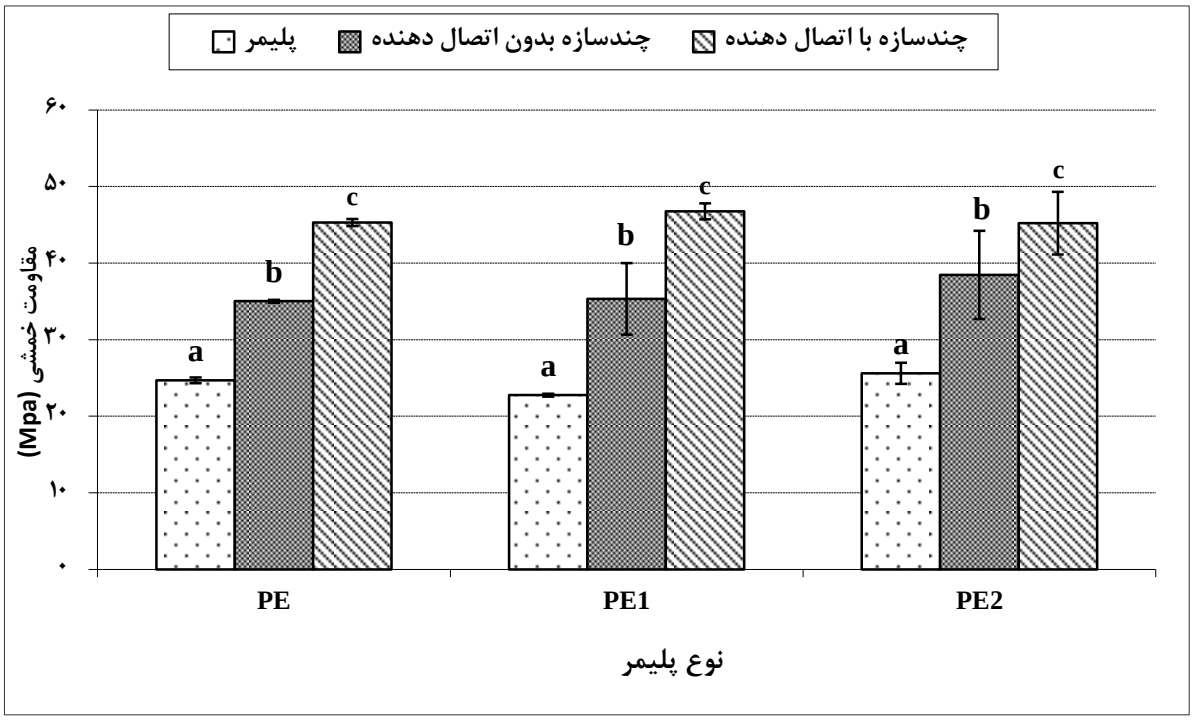


شکل ۳- مدول الاستسیته خمشی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

ریخت‌شناسی با استفاده از تصاویر SEM

نتایج به‌دست‌آمده از ویژگی‌های مکانیکی بالاتر چندسازه ساخته‌شده به‌وسیله پلی‌اتیلن بازیافتی/ خاک‌اره نسبت به چندسازه با پلیمر خالص را می‌توان در تصاویر SEM مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد. به صورتی که می‌توان توزیع و سازگاری بین خاک‌اره به‌عنوان پرکننده و پلیمر پلی‌اتیلن به‌عنوان ماتریس و هم‌چنین MAPE به‌عنوان اتصال‌دهنده را مورد مشاهده قرار داد. در تمامی تصاویر ارائه‌شده می‌توان برهم‌کنش خوب بین پلیمر و پرکننده را دید که باعث شده است ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده بالاتر از پلیمرهای خالص باشد. هم‌چنین شواهد موجود در تصاویر و تفاوت‌های بین آن‌ها به‌خوبی اثبات‌کننده چسبندگی بهتر بین دو فاز پرکننده و ماتریس در چندسازه با پلیمر بازیافتی نسبت به پلیمر خالص است. تصویر A نشان می‌دهد تنش به‌کاررفته باعث خروج الیاف از ماده زمینه و به وجود آمدن شکاف‌های ریزبین دو فاز در چندسازه شده است که نشان‌دهنده سطح مشترک ضعیف بین پرکننده و ماتریس است (فلش‌های ارائه‌شده در شکل A خروج الیاف از ماتریس را نشان می‌دهد). با به کار بردن پلیمر بازیافتی برهمکنش خوب بین دو فاز مشاهده شده که پلی‌اتیلن با دو بار بازیافت فعل‌وانفعال بهتری را نسبت به پلیمر با یک‌بار بازیافت با خاک‌اره نشان داده است که باعث ایجاد پیوندهای قوی‌تر بین دو فاز شده و درنهایت افزایش در ویژگی‌های مکانیکی را سبب شده است (تصویر B و C) (فلش‌های ارائه‌شده در شکل B

و C برهمکنش پلیمر با پرکننده را نشان می‌دهد). هم-چنین پراکنش خاک‌اره در چندسازه با پلی‌اتیلن بازیافتی بهتر از پراکنش پرکننده در پلی‌اتیلن خالص بوده است. می‌توان بیان کرد که در استفاده از پلیمرهای بازیافتی انتقال تنش از ماتریس بازیافتی به خاک‌اره بهتر رخداده است. در شکل‌های B و C می‌توان مشاهده کرده که پرکننده در لایه‌نازکی از پلیمر محبوس شده است درحالی‌که در شکل A این موضوع مشاهده نمی‌شود. این مشاهدات با مشاهدات ارائه‌شده توسط مطالعات گذشته که از پلیمرهای بازیافتی استفاده کرده‌اند همخوانی دارد [۸]. تصویر D به‌کارگیری MAPE به‌عنوان اتصال‌دهنده بین دو فاز را نشان می‌دهد که از پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی برای ساخت چندسازه استفاده‌شده است به‌کارگیری اتصال‌دهنده باعث برهمکنش بهتری بین دو فاز شده است [۴]. در بررسی شکل D به‌صورت دقیق‌تری می‌توان بیان کرده که پرکننده درون لایه‌نازکی از ماتریس قرارگرفته است و به‌راحتی خارج نشده است و باعث شده تا ویژگی-های مکانیکی بالاتری در نتایج نشان دهد.



شکل ۴- مقاومت خمشی چندسازه پلی‌اتیلن/خاک‌اره

نتیجه‌گیری

در این کار برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک از پلی‌اتیلن یک و دو بار بازیافتی و خاک‌اره حاصل از برش MDF استفاده‌شده و نتایج به‌دست‌آمده با چندسازه ساخته‌شده با پلی‌اتیلن خالص مورد مقایسه قرار گرفت. ویژگی‌های مکانیکی شامل ویژگی‌های کششی و خمشی چندسازه‌ها موردبررسی قرار گرفته و برای تحلیل بهتر نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد ارزیابی قرارگرفته است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده می‌توان بیان کرد که:

-در مقایسه صورت گرفته در بین پلی‌اتیلن خالص، یک و دو بار بازیافتی بالاترین ویژگی‌های کششی و خمشی مربوط به پلی‌اتیلن خالص بوده است.

-افزودن خاک‌اره به ماده زمینه (پلی‌اتیلن خالص، یک و دو بار بازیافتی) باعث بهبود در ویژگی‌های کششی و خمشی (مدول و مقاومت) شده است.

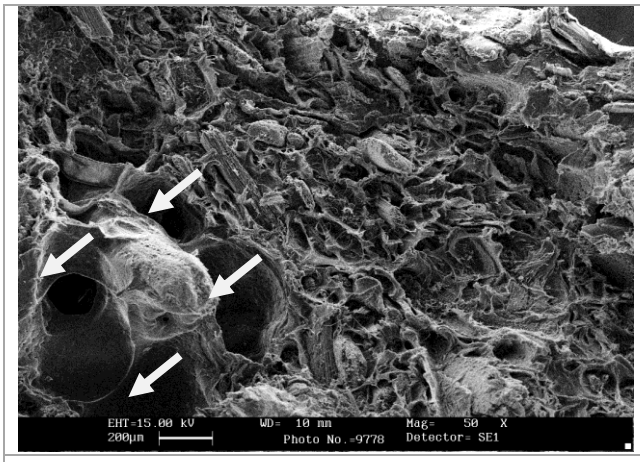
- نتایج نشان داده است استفاده از پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی و خاک‌اره باعث تولید چندسازه با بالاترین میزان ویژگی‌های کششی و خمشی شده است.

- افزودن انیدرید مالئیک پیوند خورده با پلی‌اتیلن به‌عنوان اتصال‌دهنده به میزان ۲ درصد وزنی و مقایسه آن

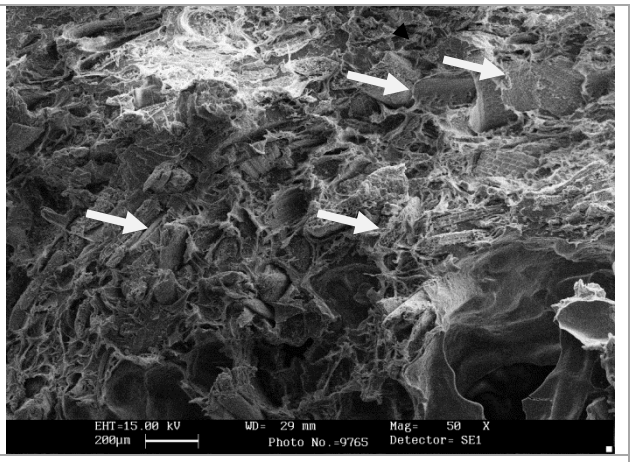
با چندسازه‌های بدون اتصال‌دهنده نشان داد که استفاده از اتصال‌دهنده باعث بهبود معنی‌داری در ویژگی‌های کششی و خمشی شده است و بالاترین میزان ویژگی‌های کششی و خمشی مربوط به چندسازه پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی-خاک‌اره و اتصال‌دهنده به میزان ۲ درصد وزنی بوده است.

-بررسی تصاویر SEM نیز نشان داد که به‌کارگیری پلی‌اتیلن بازیافتی به‌خصوص پلی‌اتیلن دو بار بازیافتی باعث افزایش معنی‌داری در مقاومت‌های مکانیکی چندسازه نسبت به چندسازه با پلی‌اتیلن خالص شده است. این موضوع را می‌توان به اتصالات بهتر بین دو فاز با استفاده از پلی‌اتیلن بازیافتی نسبت داد.

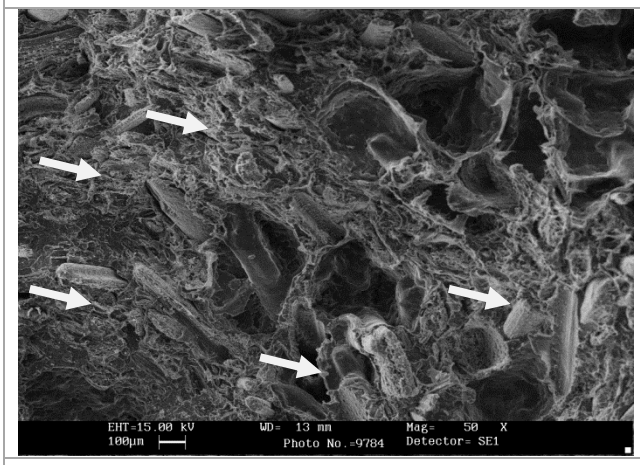
- نتایج به‌دست‌آمده به‌وضوح نشان داده است که استفاده از پلی‌اتیلن بازیافتی و خاک‌اره باعث تولید چندسازه با کارایی مناسب می‌شود.



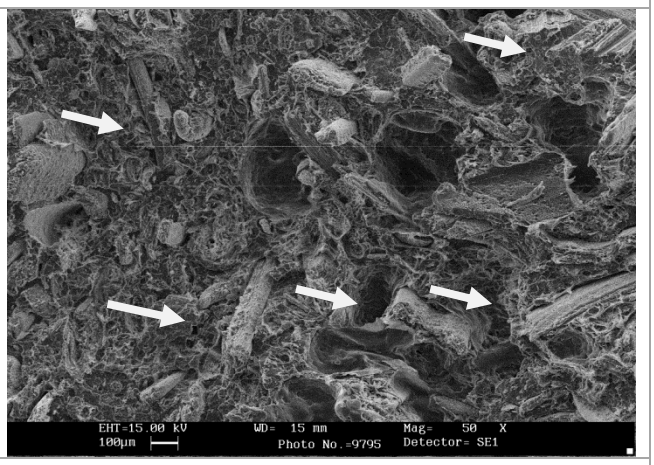
A) چندسازه با PE خالص



B) چندسازه با PE یک‌بار بازیافت



C) چندسازه با PE دو بار بازیافت



D) چندسازه با PE دو بار بازیافت با MAPE

شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از چندسازه‌های ساخته‌شده با پلی‌اتیلن خالص و بازیافتی

منابع

[1] Kord, B., Sheikholeslami. A., Najafi, A.,2016. A Study on Creep Behavior of a Wood Flour-Polypropylene-Nanoclay Hybrid Composite. Iranian journal of wood and paper industries, 7(1): 1-12. (In Persian).

[2] Lee, S. and Wang, S., 2006. Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. Composites: Part A, 37 (4): 80–91.

[3] Siddique, R., Khatib, J. and Kaur, I., 2008. A Use of recycled plastic in concrete: A review. Waste Management, 28(4): 1835–1852.

[4] Rouhani, M., kord, B., 2017. Fire performance, mechanical strength and dimensional stability of wood flour–polyethylene composites under the influence of different fire retardants. Iranian journal of wood and paper industries, 8(1): 145-158. (In Persian).

[5] Kraiem, D., Pimbert, S., Ayadi, A. and Bradai, C., 2013. Effect of low content reed (Phragmite australis) fibers on the mechanical properties of recycled HDPE composites.Composites: Part B, 44 (2): 368–374.

[6] Adhikary, B., Shusheng, P. and Mark, P.,2008. Dimensional stability and mechanical behavior of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). Composites: Part B, 39 (5): 807–815.

[7] Torres, N., Robin, J. and Boutevin, B., 2000.Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) before and after injection molding. European Polymer Journal, 36 (2):2075-2080.

[8] Shojaei, A., Yousefian, H. and Saharkhiz, S., 2007. Performance characterization of composite materials based on recycled high-density polyethylene and ground tire rubber reinforced with short glass fibers for structural applications. Journal of Applied Polymer Science, 104(6):1-8.

[9] Urreaga,M., Matías, C., Orden, U., Munguía, L. and Sánchez, G.,2000. Effects of coupling agents on the oxidation and darkening of cellulosic materials used as reinforcements of thermoplastic matrices in composites. Polymer Engineering, 40(6): 407-417.

[10] Jayaraman, K. and Bhattacharyya, D., 2004. Mechanical performance of wood fiber-waste plastic composites material. Resources, Resources, Conservation and Recycling, 41(2): 307-319.

[11] Ashori, A. and Nourbakhsh, A., 2009. Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials. Waste Management, 29 (3): 1291–1295. (In Persian)

[12] Nourbakhsh, A., Kokta, V., Ashori, A. and Jahan- Latibari, A.,2008. Effect of a novel coupling agent, polybutadiene isocyanates, on mechanical properties of wood fiber polypropylene composites. Reinforced Plastics and Composites, 27(4): 1679–1687. (In Persian).

[13] Lu, Z., Wu, Q. and Negulescu , F.,2005. Wood–fiber/High-Density-Polyethylene Composites: coupling agent performance. Journal of Applied Polymer Science, 96(8): 93–102.

The mechanical and morphological properties of recycled polyethylene-MDF saw dust composites

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of using recycled polyethylene on the mechanical properties of PE-MDF composite. Saw dust as a filler at 30% and MAPE as coupling agent at two levels of 0 and 2 wt% were mixed in an internal mixer and the samples were prepared by injection molding method. Mechanical properties such as tensile and flexural (strength and modulus) were measured. Morphology of composites was also evaluated by scanning electron microscopy (SEM). Although virgin polyethylene had better mechanical properties than once and twice recycled polyethylene, but with the addition of sawdust as filler consisting of recycled polyethylene composites, mechanical properties significantly increased. The results of mechanical properties showed an improvement by the addition of MAPE. The SEM micrographs showed that the use of twice recycled polyethylene and MAPE led to the better interactions between matrix and filler. The melt flow index (MFI) indicated that with increasing number of recycled polyethylene, melt flow index increased. Therefore, according to the results of mechanical properties, it can be concluded that increasing the melt flow index has a positive effect on composite construction.

Keywords: recycled polyethylene, saw dust, binder, mechanical properties.

M. Kalagar[1*]
E. Marzban Moridani[2]
M. Asadi[3]
B. Kolabi[4]

[1] Ph.D. of wood and paper industry, Expert forest, Shafa Rud forest institute, Gilan, Iran

[2] MSc, Department of wood and paper science and technology, College of agriculture and natural resources, Science and research branch, Islamic azad university, Tehran, Iran

[3] Ph.D OF Wood and Paper Industry, Research and innovation center of ETKA organization, Iran

[4] Ph.D student, Department of forestry, College of agriculture and natural resources, Science and research branch, Islamic azad university, Tehran, Iran

Corresponding author:
Mehdi.Kalagar@gmail.com

Received: 2015/05/27
Accepted: 2016/10/29