

عبدالله نجفی<sup>۱</sup>، مهدی فائزی پور<sup>۲</sup>، حبیب الله خادم اسلام<sup>۳</sup>، سعید کاظمی نجفی<sup>۴</sup> و امیرهومن حمصی<sup>۵</sup>  
Email: ab\_najafi@yahoo.com

## چکیده

خواص خمشی مواد مرکب ساخته شده از ضایعات مواد لیگنوسلولزی و پلی اتیلن ضایعاتی به روش خشک مخلوط / پرس گرم در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، چهار نوع پرکننده لیگنوسلولزی (خاک اره چوب، خاک سندیگ MDF، خاک اره تخته خرده چوب، پوسته برنج) و پودر پلی اتیلن سنگین به صورت خام و ضایعاتی و مخلوط، با نسبت ۶۰٪ وزن پرکننده در مخلوط کن دوربالا با هم مخلوط شده و با استفاده از پرس گرم به صورت تخته‌های ۱×۳۵×۳۵ سانتیمتر با دانسیته یک  $\text{gr/cm}^3$  ساخته شدند. بعد از مشروط شدن نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی، تحت آزمایش خمش استاتیکی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی مواد مرکب ساخته شده از پرکننده‌های خاک سنباده MDF و خاک اره تخته خرده چوب بیش از سایر پرکننده‌های لیگنوسلولزی بود. در کلیه ترکیب‌هایی با افزایش مقدار پلی اتیلن سنگین ضایعاتی مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تیمارها افزایش می‌یافت.

واژه‌های کلیدی: مواد مرکب الیاف طبیعی / پلاستیک، پرکننده، پلی اتیلن سنگین، مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی.

## مقدمه

مواد مرکب چوب پلاستیک که به اختصار WPCs نامیده می‌شوند گروه جدیدی از مواد مرکب هستند که به سرعت رو به گسترش می‌باشند. در ساخت این مواد مرکب محدوده وسیعی از پلیمرها مثل پروپیلن، پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید، پلی استر و... به همراه پرکننده‌های سلولزی شامل آرد و الیاف چوب، الیاف کتان، کنف، بامبو، کاه و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دنبال افزایش نسبی قیمت پلاستیک‌ها طی سالهای گذشته، افزودن الیاف و پرکننده‌های طبیعی به منظور کاهش هزینه‌ها در صنعت

پلاستیک و در برخی موارد افزایش تولید، مورد توجه قرار گرفت. در مقایسه با مواد معدنی و مصنوعی که به عنوان پرکننده و تقویت کننده در پلاستیک‌ها استفاده می‌شوند، آرد و الیاف لیگنوسلولزی موجب کاهش دانسیته، کاهش سایش تجهیزات ساخت و فرآوری و قیمت ارزاتر مواد مرکب می‌شوند ضمن این که قابلیت بازیابی مجدد را دارند که از لحاظ زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد. از ویژگیهای بسیار مهم مواد مرکب چوب پلاستیک این است که در ساخت آنها می‌توان از ضایعات پلاستیک و ضایعات بخشهای مختلف صنایع چوب که غیر قابل استفاده بوده و انباشت و دفع آنها از معضلات کارخانه‌ها

1- Wood Plastic Composites  
2- Composites

می کند روزانه حدود ۱۰ تن خاک سنباده تولید می شود. علاوه بر ضایعات بالا مقدار قابل توجهی پسماندهای کشاورزی وجود دارد که در حال حاضر بدون استفاده بوده و در بسیاری از مزارع سوزانده می شوند. به طور مثال، تنها سالانه حدود ۴۶۰ هزار تن پوسته برنج در استانهای شمالی تولید می گردد [۲].

با توجه به سطح محدود جنگلهای کشور، استفاده از ضایعات صنایع چوب و پسماندهای کشاورزی در تولید موادی که دارای خواص مشابه و حتی بهتر از مواد مرکب چوبی رایج (تخته خرده چوب، MDF، تخته فیبر و...) داشته باشند، بسیار ضروری به نظر می رسد. مواد مرکب چوب-پلاستیک نه تنها خواص مشابه مواد مرکب چوبی رایج دارند، بلکه دارای جذب آب کمتر و ثبات ابعاد بیشتری می باشند و نسبت به میکروارگانیزمها مقاومت بیشتری دارند، ضمن اینکه در تولید آنها از فرمالدهید استفاده نمی شود [۶]. از مزایای مهم مواد مرکب چوب-پلاستیک این است که در ساخت آنها از موادی استفاده می شود که قابل استفاده در تولید تخته های مرکب چوبی رایج نیستند.

به طور کلی برای تولید مواد مرکب چوب-پلاستیک روشهای مختلفی وجود دارد: روش روزن رانی (اکستروژن)، تزریق، انتقال رزین و پرس گرم که محصول تولید شده در هر روش دارای خواص و کاربردهای متفاوتی می باشند. از بین روشهای یاد شده پرس گرم روشی است که با استفاده از آن می توان تخته هایی با ابعاد بزرگ، دانسیته متفاوت، مصرف بالای مواد لیگنوسلولزی و نیز در حجم زیاد تولید کرد. در روش پرس گرم می توان از ضایعات لیگنوسلولزی با ابعاد متفاوتی استفاده کرد.

در این روش، پلاستیک و پرکننده لیگنوسلولزی ممکن است به دو روش مخلوط گردند: ذوب مخلوط و خشک مخلوط. در روش ذوب مخلوط، پلاستیک در درجه حرارت بالا ذوب شده و در حالت مذاب با پرکننده

می باشد استفاده کرد. ضمناً می توان از پسماندهای کشاورزی نیز در ساخت آن استفاده نمود.

نتایج تحقیقات مختلف نشان می دهد علاوه بر پلاستیکهای خام، پلاستیکهای بازیافتی و ضایعاتی که نقطه ذوبشان پایین تر از دمای کربونیزه شدن ( $200^{\circ}\text{C}$ ) پرکننده های لیگنوسلولزی باشند نیز برای تولید مواد مرکب چوب-پلاستیک مناسب می باشند [۱۲]. روزانه مقدار قابل توجهی انواع ضایعات پلاستیک تولید می شود، به طوری که در یک شهر سه می لیونی در یک کشور در حال توسعه روزانه ۴۰۰ تن انواع پلاستیک تولید می شود [۳]. استفاده از این مواد نسبتاً ارزان قیمت در ساخت مواد مرکب چوب-پلاستیک نه تنها از نظر مسایل زیست محیطی بسیار ارزشمند است، بلکه می تواند از وابستگی صنعت نوپای چوب-پلاستیک به صنعت پتروشیمی بکاهد. از طرف دیگر استفاده از ضایعات بخشهای مختلف صنایع چوب و پسماندهای کشاورزی برای کشور که به شدت از فقر منابع تولید چوب رنج می برد بسیار حایز اهمیت است. استفاده از ضایعات کارخانجات صنایع چوب در ساخت مواد مرکب چوب-پلاستیک نه تنها باعث کاهش هزینه های تولید بلکه باعث رفع مشکل واحدهای صنایع چوب از نظر انباشت و دفع این ضایعات می باشد. به طور کلی، ضایعات مواد چوبی عبارتند از: الف- خاکاره حاصل از تبدیل گردبینه و الوار در کارخانه های صنایع چوب و درودگریهای کوچک و بزرگ. قابل یادآوری است تنها در تبدیل گرده بینه به تخته حدود ۱۰ درصد خاکاره تولید می شود [۱]. ب- خاکاره حاصل از برش مواد مرکب چوبی (تخته خرده چوب و MDF) در کارخانه ها و کارگاه های کوچک و بزرگ. ج- پودر حاصل از سنباده زنی سطوح تخته خرده چوب و MDF در کارخانه های تولید کننده آنها. به طور مثال، در کارخانه صنایع چوب خزر که تخته  $\text{MDF}^2$  تولید

1- virgin

2-Medium Density Fiberboard

جدول ۱- شاخص جریان مذاب  
پلی اتیلن سنگین (ASTM D۱۲۳۸)

MFI(g/ Min)	
( )	/
( )	/

**پرکننده‌ها:** بر اساس جدول ۲، چهار نوع پرکننده در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت: خاک سنباده MDF تهیه شده از کارخانه صنایع چوب خزر، خاکاره چوب نراد تهیه شده از یک واحد چوب بری، پوسته برنج (شلتوک) تهیه شده از یک شالی کوبی شمال کشور، خاک اره حاصل از برش تخته خرده چوب در واحدهای نجاری و کارگاهی.

**آماده‌سازی مواد:** با توجه به روش مورد استفاده در این تحقیق برای ساخت مواد مرکب (روش خشک-مخلوط) و برای بدست آوردن یک مخلوط همگن، پلاستیکهای مورد استفاده (پلی اتیلن خام و ضایعاتی) در مجتمع صنایع پلاستیک طبرستان (واقع در شهرک صنعتی شماره ۲ ساری) به پودر تبدیل شدند.

این مواد پس از بازرسی و حذف هرگونه آلودگی احتمالی، در اتو و در دمای  $103 \pm 2^\circ \text{C}$  بمدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک شدند و جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی تا هنگام مصرف در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. رطوبت مواد در هنگام مصرف  $1 \pm 2\%$  درصد بوده است. دانه‌بندی مواد پلیمری و لیگنوسلولزی مورد استفاده در جدول ۲ و تصویر میکروسکوپی پرکننده‌های لیگنوسلولزی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

سلولزی مخلوط می‌شود. در این روش به تجهیزات مخصوص اختلاط نیاز می‌باشد. در روش خشک مخلوط، پلاستیک (ترجیحاً بصورت پودر) با پرکننده سلولزی در یک مخلوط‌کن معمولی و درجه حرارت محیط مخلوط می‌شوند و به تجهیزات ویژه و گران قیمت نیازی نیست.

بنابراین، هدف از این تحقیق ساخت مواد مرکب چوب- پلاستیک از ضایعات پلاستیک و انواع ضایعات لیگنوسلولزی با یک روش ساده و ارزان می‌باشد. بدین منظور، مواد مرکب چوب- پلاستیک از ضایعات پلی اتیلن (به‌عنوان پلاستیک) و آرد چوب نراد، خاکاره تخته خرده چوب، خاک سنباده MDF و آرد پوسته برنج (به‌عنوان پسماند کشاورزی) با روش خشک مخلوط پرس گرم ساخته شده و خواص خمشی آنها با مواد مرکب ساخته شده از پلی اتیلن خام مقایسه شده است.

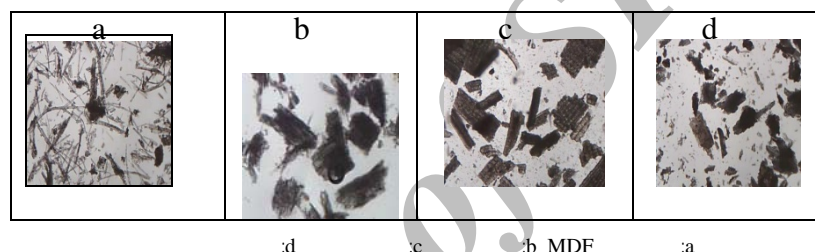
## مواد و روشها

**پلاستیک:** پلی اتیلن سنگین (HDPE) به‌عنوان پلاستیک در سه سطح پلی اتیلن خام، پلی اتیلن ضایعاتی و مخلوط خام و ضایعاتی مورد استفاده قرار گرفت. پلی اتیلن خام (به‌صورت گرانول) با درجه ۵۲۱۸ محصول شرکت صنایع پتروشیمی اراک و پلی اتیلن بازیافتی (به شکل و اندازه پولک) حاصل آسیاب بطریهای شیر بوده اند. شاخص جریان مذاب (MFI) مواد پلاستیکی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۲- دانه بندی مواد چوبی و پلاستیکی (%)

( )					
<				>	MDF
/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	
-	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	
/	/	/	/	/	( )
-	/	/	/	/	( )

از بین مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده پوسته برنج توسط آسیاب به پودر تبدیل شد و بقیه مواد به همان شکل اولیه مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۱- عکس میکروسکوپ نوری بزرگنمایی (X ۴)

جدول ۴- تیمارها و سطوح اختلاط مواد

	(%)	(%)	(%)	(%)
VPE /MDF				MDF
RVPE /MDF				MDF
RPE /MDF				MDF
VPE/WF			-	WF
RVPE/WF		-		WF
RPE/WF				WF
VPE/RH			-	RH
RVPE/RH		-		RH
RPE/RH				RH
VPE/PB			-	PB
RVPE/PB		-		PB
RPE/PB				PB

ترکیب اندازه‌گیری شد. مقادیر خواص خمشی تخته‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی متعادل در کلیه تیمارها، و به وسیله آزمون Kolmogrov-Smirnov میزان تبعیت آنها از توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت، از آزمون پارامتری آنالیز واریانس یک طرفه برای بررسی وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین مقادیر خواص خمشی تخته‌های مختلف استفاده شد و پس از اثبات وجود چنین تفاوتی، با توجه به میانگینهای مقادیر خواص تخته‌ها و اشتباه معیار به‌دست آمده از آنالیز واریانس، به وسیله آزمون مقایسه چندگانه Duncan تفاوت آماری بین تیمارها مشخص گردید. برای آنالیز اثر متقابل عوامل مورد بررسی از آزمون General Linear Model استفاده شد. در تمام مراحل تجزیه و تحلیل آماری سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

در آزمون خمشی، دو خاصیت مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) اندازه‌گیری شدند.

**مدول الاستیسیته:** از مهمترین عواملی که بر مدول الاستیسیته مواد مرکب تأثیر دارد مدول اجزای آن است. مدول الاستیسیته مواد لیگنوسلولزی از پلی اتیلن سنگین، بیشتر است. با توجه به ثابت بودن نسبت اختلاط اجزای تخته‌های آزمون، تفاوت بین مدول الاستیسیته می‌تواند از دو نظر مورد ملاحظه قرار گیرد، یکی به لحاظ نوع پرکننده و دیگر خام یا بازیافتی بودن پلی اتیلن سنگین، جدول ۵، تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن سنگین را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود نوع پرکننده بر مدول الاستیسیته اثر معنی‌داری ندارد.

**فرایند اختلاط:** مواد لیگنوسلولزی خشک شده و پلی اتیلن سنگین با نسبت اختلاط ثابت (۶۰٪ ماده چوبی و ۴۰٪ ماده پلاستیکی) مطابق جدول ۳ با هم مخلوط شدند. عمل اختلاط بوسیله یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی دور بالا (۱۵۰۰ دور در دقیقه) به مدت ۵ دقیقه انجام شد.

**ساخت تخته‌ها:** با توجه به اختلاطهای مورد نظر (جدول ۲) با استفاده از قالب و به وسیله دستگاه پرس گرم هیدرولیک تخته‌های آزمونی به ضخامت اسمی ۱ سانتیمتر و ابعاد ۳۵×۳۵ سانتیمتر و دانسیته تخته‌ها  $1 \text{ g/cm}^3$  تهیه گردید. زمان و دمای پرس به ترتیب ۲۵ دقیقه و  $195^\circ \text{C}$  بوده است. قابل یادآوری است، جهت خروج بخار حاصل از رطوبت احتمالی و گازهای فرار ناشی از تجزیه مواد چوبی و یا گاز فرم‌آلدئید (در مورد خاک سنباده MDF و خاک اره تخته خرده چوب) در ۲۰ دقیقه اول پرس از ۲ عدد فضا دهنده آهنی روی دو طرف شابلون استفاده شد. پس از اتمام زمان پرس، تخته‌ها به مدت ۵ دقیقه در داخل پرس سرد قرار داده شدند تا تحت فشار سرد شوند که در مجموع ۶۰ تخته ساخته شد (از هر ترکیب ۵ تخته).

**تهیه نمونه‌های آزمونی:** برای تهیه نمونه‌های آزمونی تخته‌ها به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاهی (رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  درصد و دمای  $20 \pm 2$  درجه سانتیگراد) نگهداری شده تا مشروط شوند.

### اندازه‌گیری خواص خمشی

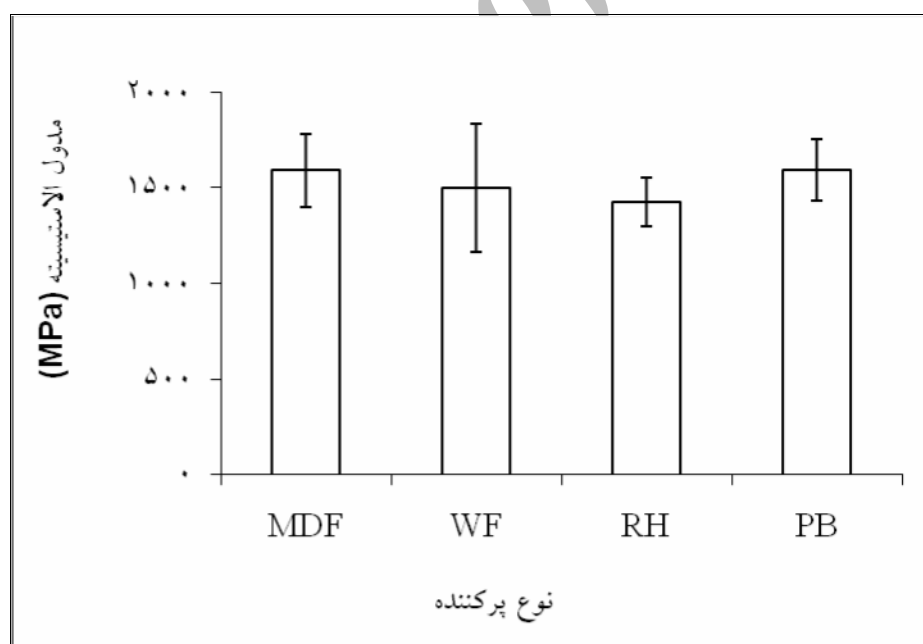
**خمش سه نقطه‌ای:** آزمون خمش با سه نقطه بارگذاری مطابق آیین نامه استاندارد ASTM D 7031-04 انجام شد. ابعاد نمونه‌ها  $220 \times 50 \times 11 \text{ mm}$  و سرعت رأس بارگذاری  $1/8 \text{ mm/min}$  بوده است. در این آزمون مدول الاستیسیته (MOE) و مقاومت خمشی (MOR) با استفاده از ماشین آزمون Instron بر روی ۵ نمونه از هر

جدول ۵ - تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل پرکننده و پلیمر بر مدول الاستیسیته خمشی

p	F		
/	/	/	/
/	/	/	/
/	/	/	/

از ماده چوبی آنها به چسب اوره فرم آلدیید نیز آغشته است که احتمالاً در هنگام پرس گرم انصالات را بهبود می بخشد. براساس شکل میکروسکوپی پرکننده‌ها (شکل ۱)، خاک سنباده MDF هر چند که از الیاف شکسته تشکیل شده است، ولی دارای فرم الیافی است که موجب تقویت مواد مرکب خواهد شد.

شکل ۲ اثر نوع پرکننده بر مدول الاستیسیته خمشی را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود در بین مواد لیگنوسلولزی تیمارهای آزمون، تخته‌هایی که از پرکننده‌های خاک سنباده MDF و خاک اره تخته خورده چوب ساخته شدند مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به سایر مواد لیگنوسلولزی دارند. فصل مشترک این دو ماده لیگنوسلولزی این است که هر دو از تخته‌های چسب خورده گرفته شدند و درصدی



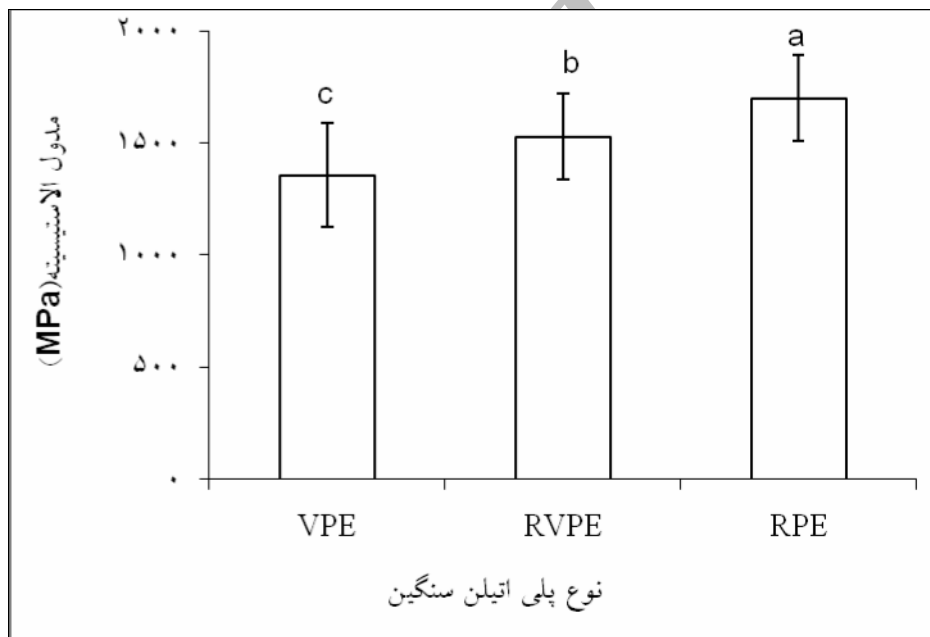
شکل ۲ - اثر نوع پرکننده بر مدول الاستیسیته

لیگنوسلولزی بود. ابعاد این دو پرکننده لیگنوسلولزی بزرگتر از سایر پرکننده‌ها بود. Stark و همکاران (۱۹۹۷)

مدول الاستیسیته تخته‌های حاوی پرکننده‌های پوسته برنج و خاک اره نراد کمتر از سایر پرکننده‌های

خمشی را با افزایش اندازه آرد از ۴۰ تا ۲۰ مش در ماده مرکب پلی پروپیلن/آرد چوب گزارش کردند [۱۴ و ۱۰]. جدول ۵ اثر نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول الاستیسیته خمشی را نشان می دهد، براساس جدول فوق اثر نوع پلی اتیلن بر مدول الاستیسیته معنی دار است. شکل ۶ اثر خام یا بازیافتی بودن پلی اتیلن سنگین بر مدول الاستیسیته تخته های آزمون را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود مواد مرکب حاوی پلی اتیلن ضایعاتی دارای بیشترین و مواد مرکب شامل پلی اتیلن سنگین خام داری کمترین مقدار مدول الاستیسیته می باشند. هر چه در ترکیب مواد مرکب مورد مطالعه مقدار پلی اتیلن خام کاهش یابد و بر مقدار پلی اتیلن ضایعاتی اضافه گردد مدول الاستیسیته نیز افزایش می یابد

در مورد اثر ابعاد پرکننده بر مدول الاستیسیته خمشی ماده مرکب چوب/پلی پروپیلن اظهار داشت که ابعاد بزرگ مدول را کاهش می دهد [۱۲]. وی بیشترین مقدار مدول الاستیسیته خمشی را در مش ۷۰ گزارش کرد و نشان داد که با افزایش و یا کاهش مش از مقدار یاد شده بالا مقدار مدول الاستیسیته خمشی نیز کاهش می یابد. در بین پرکننده های مورد استفاده این آزمون، درصد بیشتری از دانه بندی خاک سنباده MDF و خاک اره تخته خرده چوب در این دامنه قرار دارد (جدول ۳). Zaini و همکاران (۱۹۹۵) افزایش مدول الاستیسیته خمشی را از ۲۳۰ تا ۶۰ مش در مواد مرکب پلی پروپیلن/آرد چوب نخل و نیز Myers و همکاران (۱۹۹۱) کاهش مدول الاستیسیته



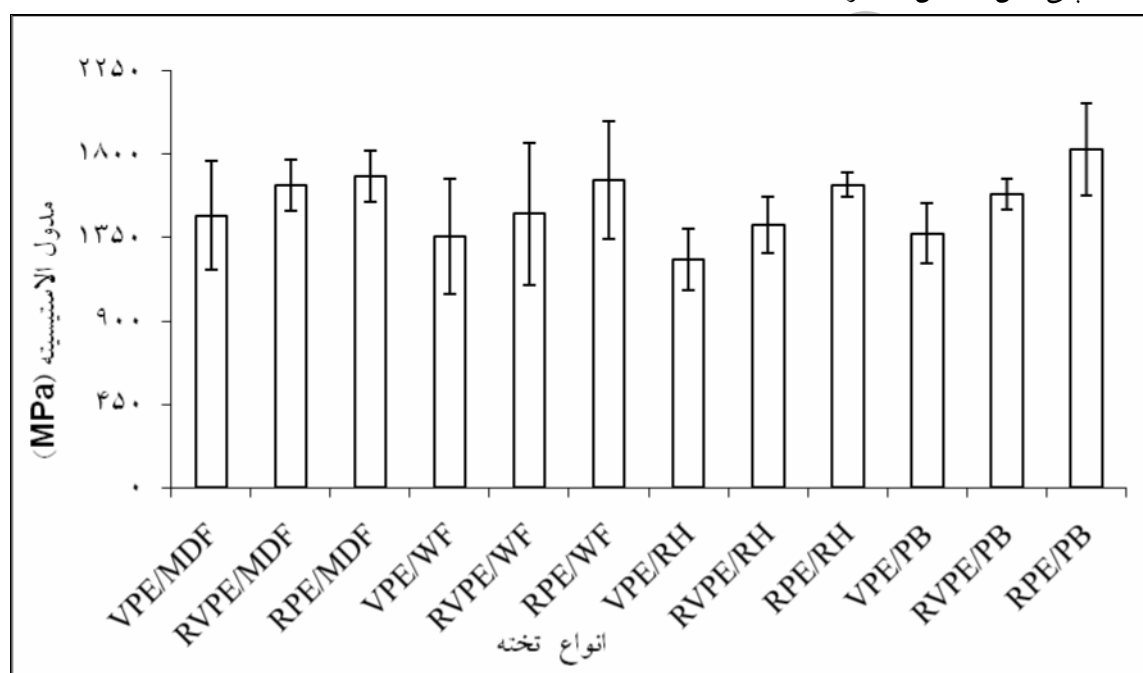
شکل ۳ - اثر نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول الاستیسیته

Youngquist و همکاران (۱۹۹۴) مدول الاستیسیته خمشی مواد مرکب حاصل از پلی اتیلن ضایعاتی و الیاف چوب را به طور معنی داری بیشتر از مواد مرکب حاصل از پلی اتیلن خام گزارش کردند. Kazemi و همکاران

مطابق شکل ۳، گروه بندی دانکن انواع پلی اتیلن سنگین را در سه گروه قرار می دهد و پلی اتیلن سنگین ضایعاتی در گروه a قرار دارد.

تأثیر عوامل ترمومکانیکی قرار گرفته، که موجب کاهش وزن مولکولی و افزایش کریستالیت آن شده و در نتیجه موجب افزایش شاخص جریان مذاب در پلی اتیلن ضایعاتی شده است (جدول ۱). این مطلب می تواند مورد آن باشد، در مواردی که خواص خمشی مورد نظر است می توان از پلاستیک ضایعاتی در مواد مرکب چوب پلاستیک استفاده کرد.

(۲۰۰۶) در مطالعه‌ای که از پلی پروپیلن خام و ضایعاتی به عنوان پلیمر و آرد چوب به عنوان پرکننده استفاده کردند، مشاهده کردند که مواد مرکب پلی پروپیلن ضایعاتی/آرد چوب دارای مدول الاستیسیته خمشی بیشتری نسبت به مواد مرکب آرد چوب/پلی پروپیلن خام بود. خواص خمشی بیشتر در پلی اتیلن ترفنالات (PET) ضایعاتی به افزایش ساختار کریستالین آن نسبت داده شد [۴]. احتمالاً پلی اتیلن سنگین در فرآیند بازیافت تحت



مشاهده می شود اثر متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول الاستیسیته خمشی معنی دار نیست. **مدول گسیختگی:** از دیگر خواص خمشی مورد اندازه گیری در این مطالعه مدول گسیختگی (مقاومت خمشی) است. جدول ۶ تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نوع پرکننده و نوع پلیمر بر مدول گسیختگی را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می گردد اثر نوع پرکننده بر مدول گسیختگی معنی دار است.

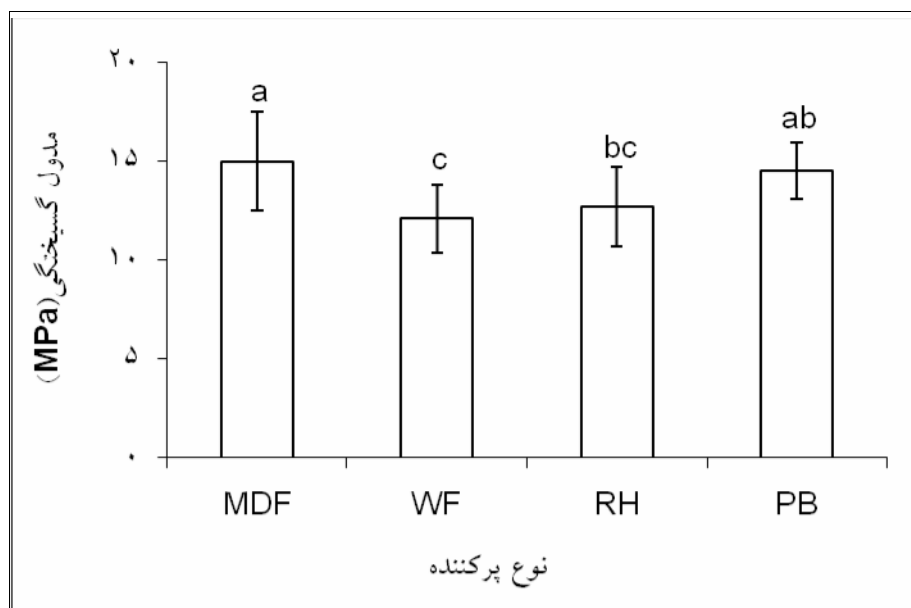
شکل ۴ اثر متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول الاستیسیته خمشی را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود در تمام ترکیب های با افزایش پلی اتیلن سنگین مدول الاستیسیته افزایش می یابد. در مواد مرکب مورد مطالعه پلی اتیلن سنگین ضایعاتی در ترکیب با پرکننده های لیگنوسلولزی نسبت به پلی اتیلن خام مدول الاستیسیته را افزایش می دهد که احتمالاً افزایش شاخص جریان مذاب در پلی اتیلن ضایعاتی موجب افزایش آن می شود. جدول ۵ تجزیه واریانس اثر متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن سنگین را نشان می دهد. همان گونه که



جدول ۶ - تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل پرکننده و پلیمر بر مدول گسیختگی

p	F		
/	/	/	/
/	/	/	/
/	/	/	/

شکل ۵ اثر نوع پرکننده را بر مدول گسیختگی نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مدول گسیختگی مواد مرکب شامل پرکننده



شکل ۵ - اثر نوع پرکننده بر مدول گسیختگی

می‌بخشد. کمترین مقدار مدول گسیختگی که در گروه بندی دانکن پایین ترین گروه را تشکیل می‌دهد. پرکننده خاک اره نراد است که احتمالاً از ابعاد بزرگتر این پرکننده نسبت به سایر پرکننده‌ها ناشی می‌گردد.

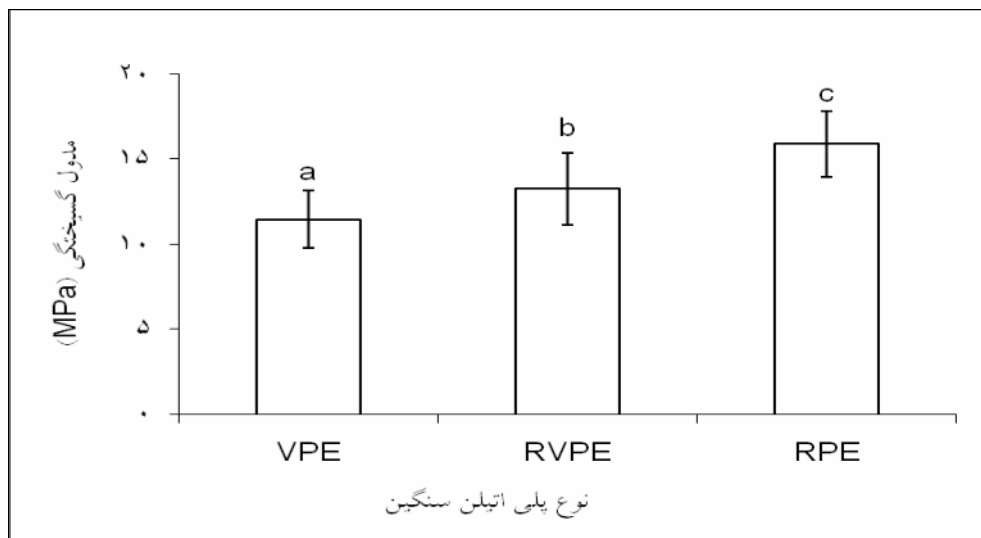
شکل ۶ - اثر نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول گسیختگی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مدول گسیختگی در ترکیب‌های حاوی پلی اتیلن ضایعاتی است. همانند مدول الاستیسیته در ترکیب‌های مواد مرکب هر چه بر مقدار پلی اتیلن ضایعاتی اضافه گردد مدول گسیختگی نیز افزایش می‌یابد. بر اساس جدول ۶ اثر نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول گسیختگی نیز معنی دار است.

خاک سنباده MDF و کمترین مقدار مدول گسیختگی در ترکیب‌های حاوی خاک اره نراد مشاهده می‌گردد.

با توجه به معنی دار بودن اثر نوع پرکننده، گروه بندی پرکننده‌ها با آزمون دانکن انجام شد. بر این اساس خاک سنباده MDF به تنهایی در یک گروه قرار دارد. همان گونه که در شکل می‌کروسکوپی پرکننده‌ها مشاهده گردید خاک سنباده MDF هر چند که از الیاف شکسته تشکیل شده است ولی دارای فرم الیافی است که موجب تقویت مواد مرکب خواهد شد. به علاوه خاک سنباده MDF از تخته‌های چسب خورده MDF گرفته شده است، در نتیجه حاوی مقداری چسب بکار رفته در ساخت MDF نیز می‌باشد که در هنگام پرس گرم احتمالاً اتصالات را بهبود

در گروه‌بندی انواع پلی اتیلن، هر نوع پلی اتیلن در گروه‌های جداگانه قرار داشته و پلی اتیلن سنگین ضایعاتی

در گروه a قرار دارد.



با استفاده از روش خشک مخلوط/پرس گرم مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج زیر بدست آمد.

نوع پرکننده‌های مورد مطالعه بر مدول الاستیسیته خمشی مواد مرکب چوب پلاستیک ساخته شده از ضایعات مواد لیگنوسلولزی و ضایعات پلی اتیلن سنگین اثر معنی‌داری نداشته ولی پرکننده‌هایی که ضایعات MDF و تخته خرده چوب بودند بیش از سایر پرکننده‌ها مدول الاستیسیته خمشی را افزایش دادند.

نوع پرکننده بر مدول گسیختگی اثر معنی‌دار داشته و مدول گسیختگی مواد مرکب چوب پلاستیک ساخته شده از پرکننده لیفی شکل بیشتر از سایر پرکننده‌های مورد مطالعه می‌باشد.

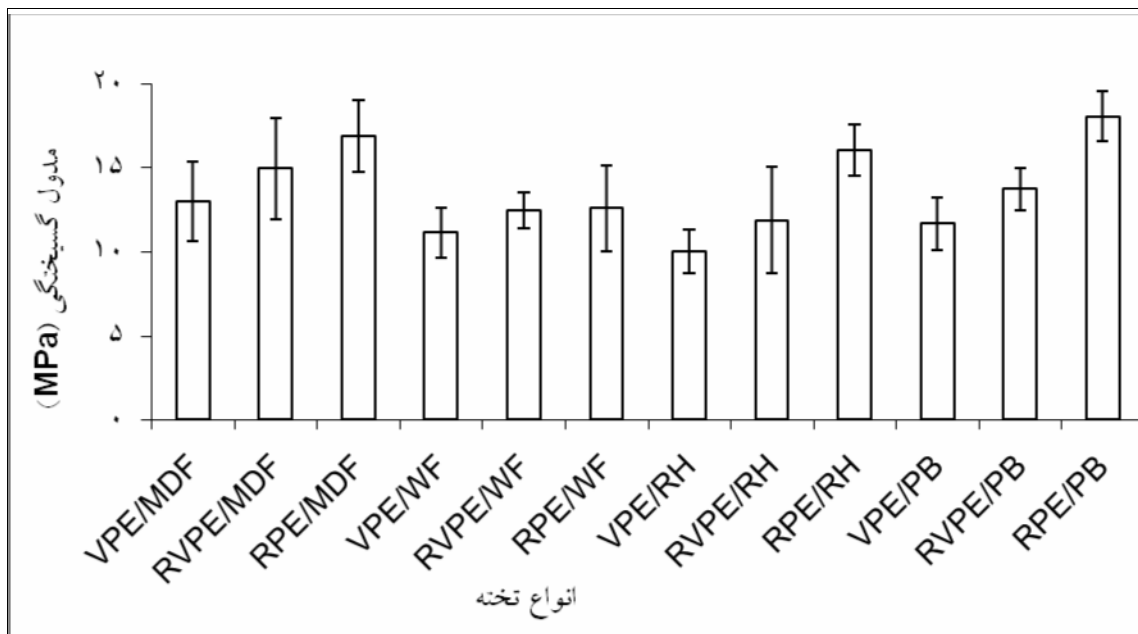
مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در تخته‌های چوب پلاستیک مورد مطالعه تحت تأثیر خام یا ضایعاتی بودن پلی اتیلن سنگین قرار می‌گیرد.

مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی خمشی مواد مرکب چوب پلاستیک ساخته شده از پلی اتیلن سنگین ضایعاتی بیشتر از پلی اتیلن خام در این مطالعه بوده است.

مشابه مدول الاستیسیته افزایش شاخص جریان مذاب در پلی اتیلن ضایعاتی موجب افزایش مدول گسیختگی در مواد مرکب حاوی پلی اتیلن سنگین ضایعاتی می‌گردد. شکل ۷ اثر متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن سنگین بر مدول گسیختگی را نشان می‌دهد. هر چند مطابق جدول ۶ اثر متقابل نوع پرکننده و نوع پلی اتیلن بر مدول گسیختگی معنی‌دار نمی‌باشد، ولی در کلیه تخته‌ها مشاهده می‌گردد که با افزایش پلی اتیلن ضایعاتی بر مدول گسیختگی افزوده می‌گردد. بیشترین مقدار مدول گسیختگی در ماده مرکب خاک سنباده MDF و پلی اتیلن سنگین ضایعاتی و نیز در ماده مرکب خاک اره تخته خرده چوب و پلی اتیلن ضایعاتی مشاهده می‌شود. این دو نوع تخته از پرکننده‌هایی ساخته شده‌اند که آغشته به چسب می‌باشند و نوع پلی اتیلن آنها ضایعاتی است که به دلایل یاد شده دارای مدول گسیختگی بیشتری هستند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق خواص خمشی مواد مرکب ساخته شده از ضایعات مواد لیگنوسلولزی و ضایعات پلی اتیلن سنگین



treated wood removed from service, Composites: Part A 2004, 35: 347-355.

- Kazemi-Najafi, S., Hamidinia, E., Tajvidi, M., Chaharmahali, M., 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and Recycled Plastics. *Journal of Applied polymer science*, 100:3641-3645.
- Myer, G. E., Chahyadi, C.A., 1991. Wood flour/polypropylene composites: influence of maleated polypropylene and process and composition variables on mechanical properties. *Intl. J. Polymeric Matter* 15:21-44
- Optimate Ltd and MERL Ltd. Wood Plastic Composite Study -Technologies and UK Market
- Stark N.M. and Berger M.J., 1997. Effect of particle size on properties of wood-flour reinforced PP composites, The 4<sup>th</sup> international conference on woodfiber-plastic composites, Madison, WI; 12-14 May 1997, pp. 134-143.
- Youngquist, J. A.; Myers, G. E.; Muehl, J. H.; Krzysik, A. M.; Clemens, C. M., 1994. Composites from recycled wood and plastics, USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison, W53705-2398.
- Zaini, M. J., Fuad, M. Y. A., Ismail, Z., Mansour, M. S., Mustafa, J., 1995. The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene palm wood flour composites. *Polymer Intl.* 0959-8103/96. UK

## منابع مورد استفاده

- شفیعی فر، س.، نخعی، م.، ۱۳۶۶ ضایعات چوب از جنگل تا صنعت، سازمان جنگلها و مراتع کشور، نشریه ۲۷.
- بلالایی، ف.، سلوکی، م.، ۱۳۸۱. آشنایی با کاربردهای صنعتی پوسته شلتوک برنج و خاکستر آن، مجله کشاورزی و صنعت، نشریه ۳۵.
- Avila A.F., 2001. Modeling recycled polymeric matrix composites: a social environmental solution. *Polym-Plast Technol* 40: 407-22.
- Avila, A. F.; Duaret, M. V., 2003. A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites. *Polym Degrad Stab*, 80:373-382.
- Chow P., Bajwa D. S., Lu, W., Youngquist J. A.; Stark N. M., Li Q., Cook C. G., 1998. Injection-molded composites from Kenaf and recycled plastic, *Proceedings of 1<sup>st</sup> Annual American Kenaf Society Meeting, San Antonio, TX, USA.*
- Falk, R. H., Vos, D. G., Cramer, S. M., 1999, The comparative performance of woodfiber-plastic and wood-based panels, Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites.
- Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., 2004. Mechanical performance of wood fiber-waste plastic composites material, *Resources, Conservation and Recycling*, 41: 307-319.
- Kamdern, D. P., Jiang, H., Cui, W.; Freed, J., Matuana, L. M. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-

## **Flexural Properties of Wood-Plastic Composites Made From Lignocellulosic Fillers and Recycled High Density Polyethylene Manufactured Using a Dry Blend/Hot Press Method.**

**Najafi, A.<sup>1</sup>, Faezipour, M.<sup>2</sup>, Khademi eslam, H.<sup>3</sup>, Kazemi Najafi, S.<sup>4</sup>  
and Hemmasi, A.H.<sup>5</sup>**

1- PhD graduate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Islamic Azad University branch of Chalous.  
(Email: ab\_najafi@yahoo.com)

2-Professor, Faculty of Natural Resources Tehran University

3- Assistant Professor, Islamic Azad University

4- Associated Professor, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

5- Assistant Professor, Islamic Azad University

### **Abstract**

In this study flexural properties Wood-plastic composites (WPCs), the composites made from high density polyethylene(virgin, recycled and mix of them) and four types lignocellulosic fillers (wood sawdust, sanding of MDF, particleboard sawdust and rice hull) at %60 by weight fiber loadings were manufactured using a dry blend/hot press method. Nominal density and dimensions of the panels were  $1\text{g/cm}^3$  and  $35 \times 35 \times 1\text{cm}$ , respectively. After conditioning, flexural properties of the panels including flexural modulus and flexural strength were determined. The results show the flexural modulus and strength wood plastic composites containing sanding MDF and particleboard sawdust were higher than those made from other fillers. The flexural modulus and strength were affected by kind of high density polyethylene (virgin or recycled).

**Key words:** Wood plastic composites, Fillers, High density poly ethylene, Modulus of elasticity, Modulus of rupture.

Archive of SID