

## بررسی خواص مکانیکی چند سازه چوب-پلاستیک ساخته شده از ضایعات تخته خرده چوب و MDF و ضایعات پلی اتیلن سنگین

مجید چهارمحالی<sup>۱</sup>، سعید کاظمی نجفی<sup>۲</sup>، مهدی تجویدی<sup>۳</sup>  
محمدعلی بودینه پور<sup>۴</sup>

### چکیده

در این تحقیق امکان ساخت تخته های چوب پلاستیک با استفاده از روش ذوب مخلوط مورد بررسی قرار گرفت، این تخته ها با دانسیته اسمی  $1 \text{ g/cm}^3$  و ابعاد اسمی  $1 \times 35 \times 35$  سانتیمتر از ضایعات پلی اتیلن سنگین حاصل از بطری های شیر(به عنوان پلاستیک) و ضایعات تخته خرده چوب و ضایعات MDF (به عنوان الیاف طبیعی) با نسبت وزنی  $70\%$  و  $60\%$  درصد الیاف ساخته شدند، سپس خواص مکانیکی مانند مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت خمشی، قدرت نگهداری پیچ و میخ عمود بر سطح و مقاومت به ضربه بدون فاق اندازه گیری شدند. نتایج نشان دادند که مقاومت های مکانیکی به شدت تحت تاثیر مقدار الیاف می باشند. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته در سطح  $70\%$  درصد الیاف بدست آمد. مقاومت خمشی، قدرت نگهداری پیچ و میخ عمود بر سطح و مقاومت به ضربه بدون فاق چند سازه چوب پلاستیک با افزایش درصد الیاف از  $60\%$  به  $80\%$  درصد کاهش یافت، این کاهش در مقاومت خمشی، قدرت نگهداری پیچ عمود بر سطح و مقاومت به ضربه شدید تر و در قدرت نگهداری میخ عمود بر سطح کمتر بود.

**واژه های کلیدی:** چند سازه چوب-پلاستیک، پرس گرم، تخته خرده چوب، MDF، ضایعات، پلی اتیلن سنگین. خواص مکانیکی.

- 
- ۱- نویسنده مسئول- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، Email: chaharmahali\_majid@yahoo.com
  - ۲- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
  - ۳- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
  - ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

## مقدمه

چند سازه های چوب پلاستیک که به اختصار «WPC» نامیده می شوند، گروه جدیدی از مواد هستند که در بسیاری از کشورهای پیشرفته در حال تولید و گسترش هستند. در ساخت این چند سازه ها محدوده وسیعی از پلیمرها مانند پروپیلن، پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید، پلی استر و... به همراه پرکننده های سلولزی شامل پودر و الیاف حاصل از مواد چوبی، پودر و الیاف حاصل از بقایای محصولات کشاورزی و ضایعات حاصل از انواع کاغذ قابل استفاده می باشند [۱۴].

به دنبال افزایش نسبی قیمت پلاستیک ها در چندین سال گذشته، افزودن الیاف و پرکننده های طبیعی به منظور کاهش هزینه ها در صنعت پلاستیک و در برخی موارد افزایش تولید، مورد توجه قرار گرفت [۱۴]. به علاوه استفاده از این مواد مزایای دیگری نیز نسبت به پرکننده های معدنی (رس، تالک، آهک و...) و الیاف مصنوعی (شیشه، کربن و...) دارند که عبارتند از: قیمت پایین، دانسیته کم، قابلیت پرکنندگی زیاد، دسترسی به انواع گوناگونی از الیاف در سرتاسر جهان، قابلیت تخریب بیولوژیکی در طبیعت، ضریب انبساط حرارتی کم، تجدید شونده گی، عدم سایش ماشین آلات و عدم تولید مواد سمی بعد از سوختن [۱۰ و ۱۴].

از این رو با ورود الیاف و پرکننده های سلولزی به صنعت پلاستیک مواد مرکب چوب که شامل الیاف چوب یا دیگر مواد لیگنوسلولزی به عنوان پرکننده یا تقویت کننده و ترموپلاستیک هادی باشند، متولد شدند.

با توجه به ویژگیهای بسیار خوب مواد مرکب چوب پلاستیک، این مواد کاربرد های مختلفی پیدا کرده اند و استفاده از آنها به سرعت رو به افزایش و گسترش می باشد. تجارت مواد مرکب چوب - پلاستیک از سال ۱۹۹۸ رشد ۲۵ درصدی داشته است. تقاضا برای تولید مواد مرکب چوب-پلاستیک در آمریکای شمالی و اروپا از

۵۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۵ به ۷۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۲ رسیده است [۱۳]. پیش بینی شده است که WPC ها تا سال ۲۰۱۰ هم حدود ۱۴ درصد در سال رشد داشته باشند. تجارت WPC ها بیشترین رشد را در بخش های مختلف صنعت پلاستیک داشته است. این مواد کاربردهای زیادی دارند و می توانند به راحتی در بیشتر موارد جایگزین تولیدات چوبی و پلاستیکی شوند. ساختمان سازی، دکوراسیون داخل و خارج ساختمان و خودرو سازی... بخش های اصلی هستند که این محصولات می توانند بکار روند. بزرگترین و سریعترین رشد بازار برای WPC ها برای کاربرد های خارج ساختمان و محصولات ساختمانی می باشد که در حدود ۷۰ درصد کل تولید WPC ها را به خود اختصاص می دهد. هیچ یک از محصولات ساختمانی به چنین تقاضایی نرسیده اند (۵ و ۹ و ۱۳).

برای تولید چند سازه چوب پلاستیک روشهای مختلفی وجود دارد: روش روزن رانی (اکستروژن)، تزریق، انتقال رزین و پرس گرم. محصول تولید شده از هر روش دارای خواص و کاربرد های متفاوتی می باشد. پرس گرم روشی است که با استفاده از آن می توان تخته هایی با ابعاد بزرگ، دانسیته متفاوت و با حجم زیاد تولید کرد. ضمن اینکه در این روش می توان از حجم بالای الیاف استفاده کرد (بیشتر از ۸۰ درصد وزنی بنابراین محصول تولیدی به دلیل داشتن درصد بالای الیاف که قابلیت تجزیه بیولوژیکی دارند بسیار سازگار با محیط می باشد. تخته های ساخته شده با این روش یک رقیب جدی برای تخته های MDF و تخته خرده چوب می باشند؛ زیرا یکی از مهمترین معایب این محصولات انتشار گاز فرمالدئید می باشد که با ورود تخته های چوب پلاستیک این مسأله حل خواهد شد. از طرف دیگر در ساخت تخته های چوب پلاستیک می توان حتی از ضایعات لیگنوسلولزی که قابل استفاده در ساخت تخته خرده چوب و MDF نیستند استفاده کرد مانند ذرات ریز حاصل از سمباده زنی و... بنابراین تبدیل ضایعات پلی اتیلن سنگین، ضایعات تخته خرده چوب و ضایعات MDF در

تولید محصولی با دوام، با ارزش افزوده بالا و دوست دار محیط زیست که خود نیز قابلیت بازیافت شونده را دارد، هدف اصلی این تحقیق می باشد.

## مواد و روشها

### مواد

#### پلی اتیلن ضایعاتی

ذرات پلی اتیلن سنگین<sup>۱</sup> (HDPE) ضایعاتی مورد استفاده از بطری های شیر مستعمل تهیه شد. شاخص جریان مذاب<sup>۲</sup> (MFI) پلی اتیلن سنگین (HDPE) ضایعاتی مورد استفاده ۱۸g/۱۰min بوده است.

#### ضایعات MDF (تخته فیبر نیمه سنگین)

این ضایعات که از کارخانه خزر چوب تهیه شدند، شامل دو بخش بودند: ۱- خاک اره حاصل از برش تخته ها ۲- قطعات حاصل از کناره بری تخته ها که این قطعات ابتدا توسط یک آسیا به خرده های کوچک تبدیل شدند. بعد این خرده ها توسط یک آسیا چکشی آزمایشگاهی با مش ۲۰ به پودر تبدیل شدند. دو بخش مذکور با نسبت های مساوی با هم مخلوط شدند. تجزیه و تحلیل ذرات این مخلوط (آرد MDF) در جدول شماره ۱ آورده شده است.

#### ضایعات تخته خرده چوب

این ضایعات از کارخانه نئوپان گنبد تهیه شدند، و شامل دو بخش بودند: ۱- خاک اره حاصل از برش این تخته ها ۲- قطعات حاصل از کناره بری آنها. قطعات حاصل از کناره بری؛ مانند قطعات MDF ابتدا توسط آسیا به خرده های کوچک تبدیل و بعد

---

1- High Density Polyethylene

2- Melt Flow Index

توسط آسیا چکشی به پودر تبدیل شدند. بعد از آن پودر و خاک اره بدست آمده با نسبت های مساوی با هم مخلوط شدند. تجزیه و تحلیل ذرات این مخلوط (آرد تخته خرده چوب) در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول شماره ۱- تجزیه و تحلیل ذرات ضایعات تخته خرده چوب و MDF

نوع ذرات	مش ۳۰ <	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	>۱۰۰
تخته خرده چوب (%)	۱۵	۱۶	۲۰	۳۰	۲۱/۵
MDF (%)	۱۲/۵	۱۱/۵	۱۶	۲۹/۵	۳۵/۵

## روشها

### آماده سازی مواد اولیه:

آرد حاصل از تخته خرده چوب و MDF در یک آون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و برای جلوگیری از جذب رطوبت داخل کیسه های پلاستیکی ریخته شدند.

### فرآیند اختلاط

آرد چوب خشک شده و پلی اتیلن ضایعاتی با نسبت درصد وزنی مورد نظر توسط یک دستگاه اکسترودر دو ماردونه مدل 1□□□-WPC ساخت شرکت برنا پارس مهر، در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد و با سرعت ۱۰ دور بر دقیقه با هم مخلوط شدند. مواد خروجی از اکسترودر توسط یک آسیاب تیغه ای به پلت<sup>۱</sup> تبدیل شدند. پلت ها قبل از مرحله پرس گرم در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت

<sup>۱</sup> - pellet

خشک شدند. هریک از ترکیب ها بر اساس نوع آرد مصرفی و مقدار آن مطابق جدول شماره ۲ کدگذاری شدند.

جدول شماره ۲- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف مواد مرکب چوب پلاستیک

شماره	کد	نوع آرد	مقدار آرد (%)	ارپلی اتیلن (%)
۱	PB(80)	PB	۸۰	۲۰
۲	PB(70)	PB	۷۰	۳۰
۳	PB (60)	PB	۶۰	۴۰
۴	MDF (80)	MDF	۸۰	۲۰
۵	MDF (70)	MDF	۷۰	۳۰
۶	MDF (60)	MDF	۶۰	۴۰
۷	PB+MDF(80)	MDF-PB	۸۰	۲۰
۸	PB+MDF(70)	MDF-PB	۷۰	۳۰
۹	PB+MDF(60)	MDF-PB	۶۰	۴۰

PB: آرد تخته خرده چوب MDF: آرد تخته فیبر با دانسیته متوسط

#### ساخت تخته ها:

از اختلاط های انجام شده با استفاده از قالب و به وسیله دستگاه پرس گرم هیدرولیک صفحاتی (مواد مرکب چوب-پلاستیک) به ضخامت اسمی ۱ سانتیمتر و ابعاد ۳۵\*۳۵ سانتی متر تهیه گردید. زمان و دمای پرس گرم به ترتیب ۲۵ دقیقه و ۱۹۵ °C بوده است. یادآوری می شود برای خروج بخار حاصل از رطوبت احتمالی، گازهای فرار ناشی از تجزیه مواد چوبی و یا گاز فرمالدهید در ۲۰ دقیقه اول پرس از ۲ عدد فضا دهنده آهنی روی دو طرف شابلون استفاده شد. پس از اتمام زمان پرس گرم، تخته ها به مدت ۵ دقیقه در داخل پرس سرد قرار داده شدند تا تحت فشار سرد شوند. سه تخته از هر ترکیب ساخته شد که در کل ۲۷ تخته چوب پلاستیک ساخته شد.

## تهیه نمونه های آزمونی

صفحات ساخته شده پس از کلیماتیزه شدن در شرایط آزمایشگاه به مدت دو هفته، به منظور تهیه نمونه های آزمونی با توجه به آزمایش های پیش بینی شده برش داده شدند.

### اندازه گیری خواص مکانیکی:

آزمون خمش سه نقطه ای مطابق استاندارد DIN-EN 310، آزمون ضربه مطابق آیین نامه D256 استاندارد ASTM و آزمون های قدرت نگهداری پیچ و میخ عمود بر سطح به ترتیب مطابق با استاندارد DIN-EN 320 و استاندارد ASTM آیین نامه D1037 انجام شدند.

### پردازش آماری داده ها

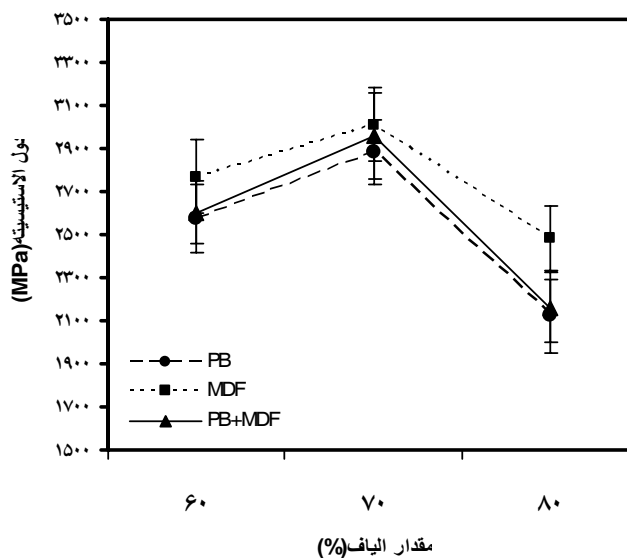
جهت بررسی و مقایسه خواص مکانیکی تخته ها از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. در مواردی که تفاوت تیمارهای مختلف مورد مقایسه معنی دار تشخیص داده شد با استفاده از آزمون چند دامنه های دانکن مقایسه چند گانه میانگین ها انجام شد.

## نتایج و بحث

### مدول الاستیسیته خمشی

همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می شود با افزایش درصد الیاف از ۶۰ به ۷۰ درصد مدول الاستیسیته افزایش می یابد (این افزایش در تمام موارد معنی دار نمی باشد) و پس از آن با افزایش درصد الیاف به ۸۰ درصد مدول الاستیسیته به طور معنی داری کاهش

می‌یابد. نتایج **Sanadi** و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که مدول الاستیسیته مواد مرکب ساخته شده با ۸۰ درصد الیاف از ۶۰ درصد کمتر است. یکی از مهمترین عواملی که بر مدول الاستیسیته مواد مرکب تاثیر دارد مدول الاستیسیته اجزای آن می‌باشد (۱). مدول الاستیسیته الیاف چوب از پلی اتیلن بیشتر است، بنابراین با افزایش مقدار آرد چوب از ۶۰ به ۷۰ درصد مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش می‌یابد، ولی با افزایش الیاف تا ۸۰ درصد به دلیل بالا رفتن مقدار الیاف و کاهش مقدار پلاستیک مواد مرکب به خوبی قادر به تحمل نیروهای تغییر شکلی نیستند؛ زیرا در مواد مرکب ساخته شده، پلاستیک نقش چسب را برای چسباندن ذرات چوب ایفا می‌کند و در سطح ۸۰ درصد مقدار کافی پلاستیک برای چسباندن مناسب ذرات چوب وجود ندارد؛ بنابراین افزایش آرد چوب تا این سطح به جای این که نقش مفیدی در افزایش مدول الاستیسیته داشته باشد، نتیجه عکس دارد و نمونه‌ها با وارد کردن تنش به راحتی تغییر شکل می‌دهند.

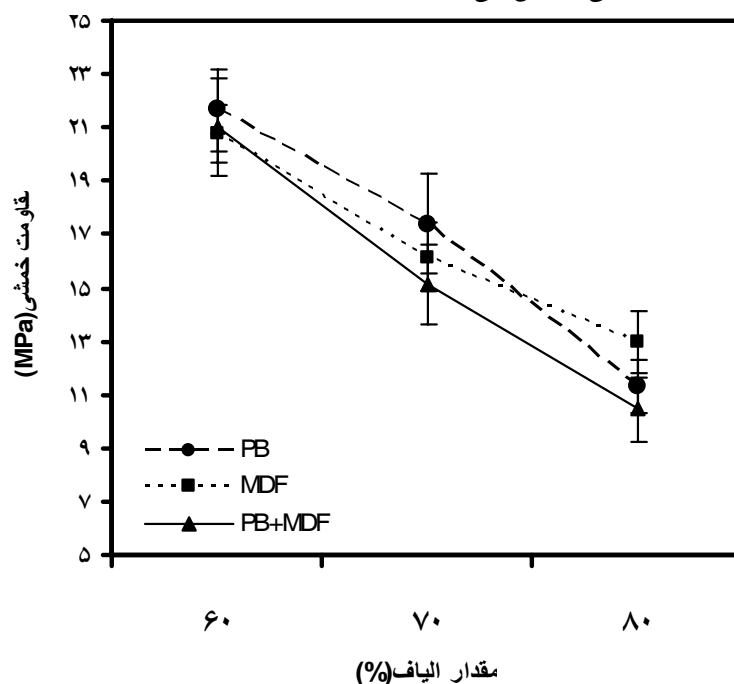


شکل ۱- تاثیر نوع و درصد ذرات چوب بر مدول الاستیسیته چند سازه چوب پلاستیک



## مقاومت خمشی

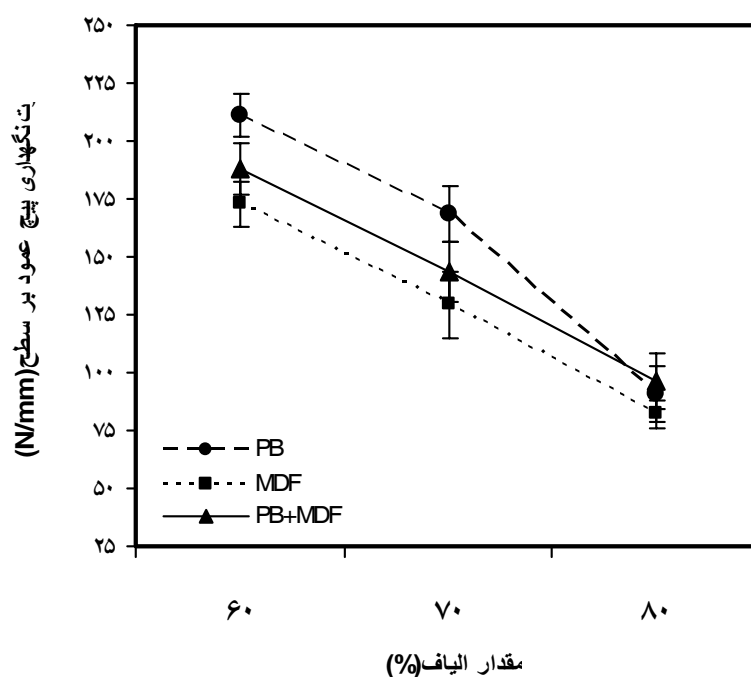
همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از ۶۰ به ۸۰ درصد مقاومت خمشی در تمام موارد به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. اصولاً در مواد مرکب چوب پلاستیک با مقادیر بالای الیاف، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی به هم ایفا می‌کند. البته اتصالی را که با الیاف چوبی ایجاد می‌کند از نوع مکانیکی می‌باشد (عدم ایجاد اتصالات شیمیایی به خاطر طبیعت غیر قطبی پلاستیک و طبیعت قطبی الیاف چوب می‌باشد). این اتصال در نتیجه ذوب شدن پلاستیک بوجود می‌آید و باعث اتصال الیاف چوب به یکدیگر می‌شود، بنابراین وقتی درصد پلاستیک کاهش می‌یابد؛ مقدار این اتصالات نیز کاهش خواهد یافت که در نتیجه آن مقاومت‌های مکانیکی کاهش می‌یابد.



شکل ۲- تاثیر نوع و درصد ذرات چوب بر مقاومت خمشی چند سازه چوب پلاستیک

### قدرت نگهداری به پیچ عمود بر سطح

همان طور که در شکل ۳ به وضوح مشاهده می شود با افزایش درصد الیاف از ۶۰ به ۸۰ درصد قدرت نگهداری به پیچ عمود بر سطح کاهش می یابد. که دلیل آن کاهش چسبندگی بین الیاف در نتیجه کاهش پلاستیک می باشد. در سطوح ۶۰ و ۷۰ درصد،



شکل ۳- تاثیر نوع و درصد ذرات چوب بر قدرت نگهداری پیچ عمود بر سطح چند سازه چوب پلاستیک

**Falk** (۲۰۰۱) دلیل افزایش قدرت نگهداری به پیچ تخته های چوب پلاستیک را با افزایش پلاستیک را به توانایی تبعیت پلاستیک از رزوه های پیچ و انتقال پیوسته بار در طول رزوه پیچ نسبت داد است (زیرا پلاستیک انعطاف پذیرتر از چوب می باشد

بنابراین افزایش مقدار آن در مواد مرکب چوب پلاستیک انعطاف پذیری این مواد را افزایش می دهد).

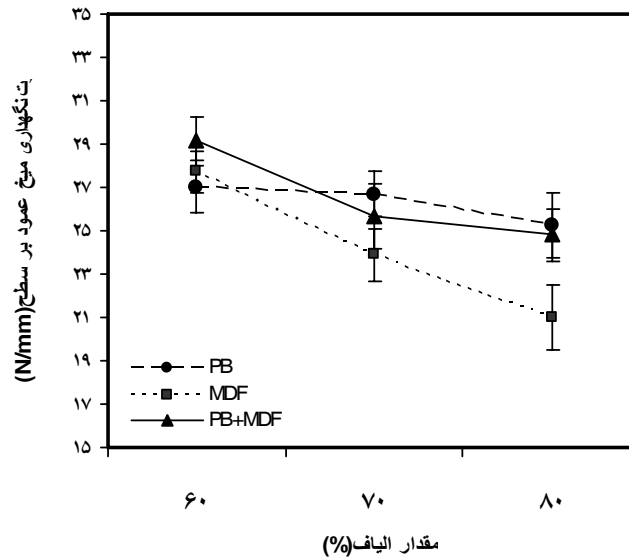
#### قدرت نگهداری میخ عمود بر سطح

همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می شود با افزایش درصد الیاف، قدرت نگهداری میخ عمود بر سطح نمونه ها کاهش می یابد. دلایل این امر رامی توان به ضعیف تر شدن اتصال بین الیاف و کاهش انعطاف پذیری نمونه ها با کاهش پلاستیک نسبت داد (زیرا انعطاف پذیری سبب می شود که بعد از وارد شدن میخ به درون نمونه به خوبی احاطه شود در نتیجه هنگام خارج کردن آن انرژی بیشتری صرف می گردد

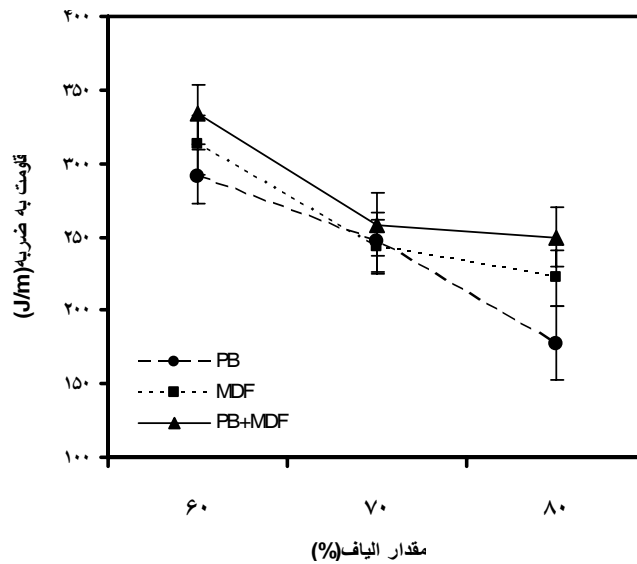
#### مقاومت به ضربه ایزود بدون فاق

مقاومت به ضربه بدون فاق معرف مقاومت ماده در برابر ایجاد شکست است. بنابراین بالاتر بودن مقاومت به ضربه بدون فاق نشان دهنده انرژی جذب شده بیشتر است [۲]

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود با افزایش درصد الیاف مقاومت به ضربه در اکثر موارد به طور معنی داری کاهش می یابد.



شکل ۴- تاثیر نوع و درصد ذرات چوب بر قدرت نگهداری میخ عمود بر سطح چند سازه چوب پلاستیک



شکل ۵- تاثیر نوع و درصد ذرات چوب بر مقاومت به ضربه چند سازه چوب پلاستیک

### نتیجه گیری

- ۱- با افزایش درصد الیاف از ۶۰ به ۷۰ درصد مدول الاستیسیته افزایش می یابد و با افزایش الیاف از ۷۰ به ۸۰ درصد این پارامتر کاهش می یابد.
- ۲- با افزایش درصد الیاف مقاومت خمشی در اکثر موارد به طور معنی داری افزایش می یابد.
- ۳- نتایج آزمون قدرت نگهداری پیچ عمود بر سطح نشان داد که با افزایش درصد الیاف این فاکتور به طور معنی داری کاهش می یابد.
- ۴- نتایج قدرت نگهداری میخ عمود نشان می دهد که با افزایش مقدار الیاف قدرت نگهداری میخ کاهش می یابد. البته در برخی موارد این کاهش معنی دار نمی باشد.
- ۵- این نتایج نیز نشان می دهند، که با افزایش درصد الیاف مقاومت به ضربه ایزود کاهش می یابد.

### منابع مورد استفاده:

- ۱- امیر خیزی، م. ح.، ۱۳۸۰، آمیزه کاری در صنایع پلیمری، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۱۱ صفحه.
- ۲- تجویدی، م.، ۱۳۸۲، بررسی خواص مهندسی و ویسکوالاستیک مواد مرکب حاصل از پلیمرهای گرمانرم و الیاف طبیعی با استفاده از تحلیل دینامیکی- مکانیکی، رساله دکترا، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- 3- American Society for Testing and Materials. 1999. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D 1037-96a. ASTM, West Conshohocken, Pa. USA
- 4- Bledzki AK, Reihmane S, Gassan J., 1998. Thermoplastics reinforced with wood fillers: a literature review. Polym Plast Technol Eng; 37(4): 451-68.
- 5- Clemons C. M., 2002. wood fiber plastic composites in the united states- history and current and future markes research engineer, USDA Forest Service , Forest Product Laboratory Madison, WIUSA
- 6- European Standard. 1993. Determination of moduls of elasticity in bending and bending strength. Din En 310.

- 7- European Standard. 1993. Determination of resistance to axial withdrawal of screw .  
Din En 320.
- 8- European Standard. 1993. Determination of swelling in thickness after immersion in water. Din En 317
- 9- Eckert, C., 2000. Opportunities for natural fiber in plastic composites. Presented at Progress in Wood Fiber-Plastic Composites Conference
- 10- Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Composites: Part A* 35 (2004): 1267-1276.
- 11- 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.
- 12- Falk, R. H., Vos, D. G., Cramer, S. M., and English, B. W., 2001, Performance of fasteners in wood flour-thermoplastic composite panel, *Forest Product Journal*, 51(1):55-61
- 13- Morton J. Current and emerging application for natural and wood fiber composite, Presentation in the 7<sup>th</sup> international conference of wood fiber-plastic composite, Madison. May 19-20, 2003
- 14- Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Rowell, R.M. 1994. Reinforcing polypropylene with natural fiber. *Plastic Engineering*. Vol. 1. No. 4. PP: 27-28.
- 15- Sanadi, A. R., Hunt, J. F., Caulfield, D. F., Kovacsvolgyi, G., Destree, B., (2001). High fiber -low matrix composites: Kanaf fiber/polypropylene. The Sixth International Conference on Wood-Fiber Composites. Forest Product Society. PP: 121-124