



علوم محیطی

علوم محیطی سال ششم، شماره دوم، زمستان ۱۳۸۷  
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.6, No.2, Winter 2009

۱۳۳-۱۵۴

## بررسی امکان ساخت چند سازه چوب-پلاستیک از خاک اره و پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی

محمد غفرانی\*

گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

### Study on the Possibility of WPC Production with Sawdust and Poly Ethylene Terephthalate Residues

Mohammad Ghofrani

Department of Wood Industries, Faculty of Civil Engineering,  
Shahid Rajaei Teacher Training University

#### Abstract

The present study has been done to find a suitable way to produce Wood-Plastic Composites (WPC) from Polyethylene terephthalate (PET) in accordance with the specifications mentioned in the National Standard of Iran. The experimental samples were prepared with 45 x 45 cm area; in 5, 10, and 16 mm thickness; 0.8 gr/cm<sup>2</sup> density; altering weight proportions between % 20 to 49 of residual PET based on the total weight of the samples; using hot press method and these factored were as follows:

*Modulus of rupture (MOR);*

*Internal Bond (IB) in vertical direction to the surface of samples;*

*Swelling;*

*Water adsorption after 2 and 24 hours submersion in water.*

The outcome of the present study proves that there is a good possibility to produce Wood-Plastic Composites with different thicknesses from PET residuals in 200 degrees centigrade under 3 min hot press; we achieved producing layered boards of 5 mm thickness, having %20 residual PET, %10 Polyethylene, and %70 saw-dust, in compliance with the above mentioned standard.

**Keywords:** PET; Polyethylene; polyethylene terephthalate (PET); composites; wood-plastic composites (WPC); sawdust; recycling.

#### چکیده

با توجه به مزایای چند سازه چوب-پلاستیک<sup>۱</sup> و گسترش تولید و مصرف این فرآورده در کشورهای در حال توسعه، تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان ساخت این چند سازه با خواص فیزیکی و مکانیکی مورد نظر استاندارد ملی ایران<sup>۲</sup>، با استفاده از ماده پلیمری پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی به انجام رسیده است. نمونه های آزمایشی در ابعاد سطح ۴۵ × ۴۵ و با ضخامت های ۵ و ۱۰ میلی متر ساخته و آزمایش شدند. با توجه به استفاده از ماده پلی اتیلن ترفتالات (پت) ضایعاتی برای اولین بار در ترکیب چوب-پلاستیک و در نتیجه نبود هیچ گونه اطلاعات اولیه در این زمینه، ابتدا به ساخت و آزمایش نمونه هایی با ضخامت های ۵، ۱۰ و ۱۶ میلی متر و ذرات چوبی متفاوت از نظر ابعاد، پرداخته شد؛ پس از مشخص شدن خواص مناسب نمونه هایی با ضخامت ۵ میلی متر که در آنها از خاک اره استفاده شده بود، در قالب فرآوری هایی اثر سطوح مختلف متغیر های میزان پت، پلی اتیلن<sup>۳</sup>، زمان پرس و لایه ای بودن، بر خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه ها بصورت مستقل و متقابل بررسی و فرآوری های در نظر گرفته شده نیز از نظر خواص مذکور با یکدیگر مقایسه شدند. تکرار در نظر گرفته شده برای هر فرآوری پنج بار، آزمایش های خواص فیزیکی شامل جذب آب نمونه ها و واکنش پذیری ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت و آزمایش های خواص مکانیکی شامل مقاومت خمشی<sup>۴</sup> و چسبندگی داخلی<sup>۵</sup> می باشند. بر اساس نتایج به دست آمده، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی در نمونه های لایه ای با ضخامت ۵ میلی متر و ترکیب ۱۰٪ پلی اتیلن در لایه میانی، ۲۰٪ پت ضایعاتی در لایه های سطحی و ۷۰٪ خاک اره، در دمای پرس ۲۰۰ °C و زمان ۱۸۰ ثانیه مشاهده شد. این ترکیب شامل ۹۰٪ مواد ضایعاتی و ۱۰٪ مواد دست اول می باشد.

واژه های کلیدی: پت، پلی اتیلن، خاک اره، پلی اتیلن ترفتالات (پت)، چند سازه، چوب پلاستیک، بازیافت

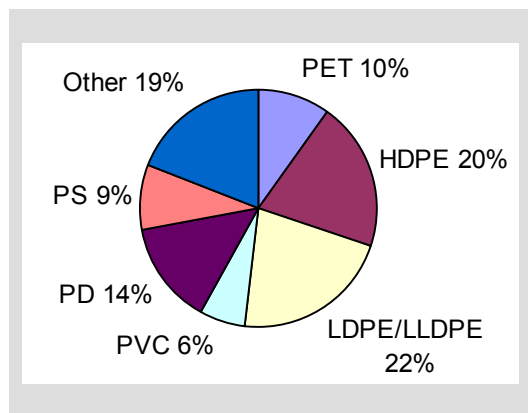
\* Corresponding author. E-mail Address: ghofrani@srttu.edu

## مقدمه

امروزه فرآورده های چوب - پلاستیک بصورت گسترده در کشورهای صنعتی<sup>۶</sup> تولید و مورد استفاده قرار می گیرند. فرآیند تولید این فرآورده ها بصورت کلی عبارت است از ترکیب ذرات چوب و پلاستیک تحت دما، زمان و فشار معین طی یک یا چند مرحله (Enayati & Mersad, 2001).

یکی از روش های تولید چند سازه چوب - پلاستیک پرس گرم می باشد، با استفاده از این روش می توان تخته هایی با ابعاد بزرگ و دانسیته متفاوت را در حجم زیاد تولید و از حجم بالای الیاف نیز استفاده کرد (بیشتر از ۸۰٪ وزنی). لذا محصولات تولیدی به دلیل داشتن درصد بالای الیاف چوبی که قابلیت تجزیه بیولوژیکی دارند بسیار سازگار با محیط می باشد [Wechsler]. از جمله فاکتورهایی که از نظر تئوری از طریق تغییر آنها می توان به اصلاح خواص چوب - پلاستیک پرداخت، می توان به اصلاح مواد اولیه از نظر ابعاد و نوع و استفاده از مواد کمکی اشاره کرد (Verhey et al., 2002).

یکی از منابع مهم تأمین کننده مواد اولیه این محصول ضایعات پلاستیکی و خاک اره می باشد که معمولاً به هر میزانی که مورد نظر باشد در دسترس هستند. تبدیل این مواد به فرآورده قابل مصرف ضمن جلوگیری از انباشته شدن آنها و آلودگی محیط زیست، ایجاد اشتغال نیز می نماید.



شکل ۱- توزیع پلاستیک های ضایعاتی<sup>۷</sup> صلب در کشورهای صنعتی (2002; Washing ton DC.)

شکل (۱) نشان دهنده مقدار انواع پلاستیک های ضایعاتی در کشورهای صنعتی می باشد. یک شاخه از مواد پلاستیکی غیر قابل برگشت به طبیعت پلی اتیلن ترفتالات با نام اختصاری PET<sup>۸</sup> است. این ماده از خانواده پلی استرهای ترمو پلاستیک می باشد.

امروزه در کشور ما ایران: ۱- به دلیل عدم وجود کارخانه بازیافت در خصوص مواد زائد، این ماده (پت) بازیافت نمی شود. ۲- میزان واردات PET بصورت گرانول، سالیانه بیش از ۱۰۰،۰۰۰ تن می باشد (Anonymous, 2006) که عمده ترین مصرف کنندگان در گروه های زیر طبقه بندی می گردند:

جدول ۱- مصرف کنندگان عمده PET در کشور ایران

نوشابه سازی و بسته بندی	حدود ۲۲،۰۰۰ تن
کارخانجات روغن نباتی	حدود ۲۸،۰۰۰ تن
بهداشتی شیمیایی	حدود ۵۰،۰۰۰ تن

منبع: ۳

لازم به ذکر است که به دلیل تهیه گرانول توسط مصرف کنندگان از طریق مبادی غیر دولتی میزان مصرف بیش از آمار فوق می باشد؛ ظروف ساخته شده از پت به جز مقداری اندک که پس از خرد شدن به عنوان ضایعات به خارج از کشور صادر می گردد، به صورت زباله در محیط باقی می ماند.

این بررسی با هدف هموار سازی مسیر استفاده از زباله های پت (پلی اتیلن ترفتالات) در تولید محصول با دوام، با ارزش افزوده بالا، دوست دار محیط زیست (دارای قابلیت بازیافت شوندگی) و کاهش مشکلات ناشی از انباشت این زباله ها در محیط زیست و همچنین کاهش فشار روز افزون تقاضا برای مواد لیگنو سلولزی (جنگل ها و ...) و بهینه کردن چند سازه ها برای استفاده در محیط های خارج از ساختمان به انجام رسیده است.<sup>۹</sup>

در چند سال اخیر مطالعاتی در مورد فرآورده های

چوب - پلاستیک در داخل و خارج از کشور به انجام رسیده است از جمله چوتیرات و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی خواص مکانیکی چند سازه چوب - پلاستیک حاصل از ترکیب ماده پلی مری ABS<sup>۱۰</sup> و خاک اره پرداختند. بر اساس نتایج این بررسی مقدار خاک اره باعث افزایش مدول الاستیسیته و گسیختگی فرآورده و کاهش خواص مکانیکی آن شده است، همچنین کیفیت اتصال‌های تشکیل شده بین ذرات نمونه‌ها که با طیف سنجی FT IR<sup>۱۱</sup> بررسی گردید با افزایش خاک اره کاهش می یابد (Tajvidi et al., 2007).

هان و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی جذب آب و خواص مکانیکی چوب - پلاستیک حاصل از ترکیب آرد سیوس برنج و پلی الفین<sup>۱۲</sup> پرداختند، نتایج به دست آمده با میزان جذب آب تخته خرده چوب، ام دی اف و چوب‌های گونه کاج قرمز و توس مقایسه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها با افزایش آرد سیوس برنج افزایش یافته و مقاومت مکانیکی آن‌ها کاهش می یابد، این چند سازه جهت استفاده در پوشش‌های داخلی حمام، کف پوشش‌ها و بسته بندی مواد غذایی مناسب شناخته شد (Hon, 1992).

بر اساس تحقیق کیت و همکاران (۱۹۹۰) بهترین مقاومت خمشی چند سازه تشکیل شده از آرد چوب و پلی اتیلن در دمای پرس گرم C ۱۷۰<sup>۱۳</sup> و درصد وزنی پلی اتیلن در حد میان ۲۵ تا ۵۰ بوجود می آید (Chotirat et al., 2007).

نتایج تحقیقات عنایتی (۱۳۸۰) و هان (۱۹۹۲) نیز به ترتیب نشان دهنده اثر مثبت افزایش مقدار پلی استایرن بر کلیه خواص فیزیکی یک نوع چند سازه چوب پلاستیک ساخته شده با این ماده و عدم وجود هیچ واکنش شیمیایی بین الیاف و پلاستیک‌های ذوب شده پلی استایرن، پلی پروپیلن و پلی اتیلن، در نوع دیگری از انواع چند سازه چوب پلاستیک می باشد (Hon, 1999; Enayati and Mersad, 2001).

تجوییدی و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی به بررسی

خواص فیزیکی چوب - پلاستیک ساخته شده از آرد چوب و PVC<sup>۱۳</sup> پرداختند. بر اساس نتایج این بررسی که نمونه‌های آزمایشی آن با استفاده از روش پرس گرم ساخته شدند، با افزایش مقدار PVC از ۲۰ به ۳۰ درصد حداکثر جذب آب و حداکثر کشیدگی ضخامت و رطوبت تعادل فرآورده کاهش یافته ولی اختلاف معنی داری میان مقدار PVC و ضریب انتشار رطوبت مشاهده نگردید، همچنین نمونه‌های لایه ای (به طور میانگین) در مقایسه با نمونه‌های همسان ضریب انتشار رطوبت بالاتری دارند. دیگر اینکه در نمونه‌های لایه ای EMC<sup>۱۴</sup> کاهش یافته و حداکثر جذب آب و حداکثر واکنشیدگی ضخامت افزایش یافته است (Elsevier, 2007).

سرزراع (۱۳۷۵) در تحقیقی امکان استفاده از پس مانده‌های پلی اتیلن در ساخت تخته خرده چوب با استفاده از چوب صنوبر را در شرایطی که جرم مخصوص تخته‌ها  $0.7 \text{ gr} / \text{cm}^3$  بود، بررسی کرد. نتایج به دست آمده نشان داد که در دمای پرس C ۱۹۰<sup>۱۵</sup> و زمان ۵ دقیقه، با افزایش پلی اتیلن تا حد ۵ درصد مقاومت مکانیکی و تا حد ۱۵ الی ۲۰ درصد، پایداری ابعاد تخته خرده چوب افزایش می یابد (ASTM).

تجوییدی (۲۰۰۵) ویژگی‌های استاتیکی و دینامیکی - مکانیکی کامپوزیت‌های هیبرید پلی پروپیلن / الیاف کنف / آرد چوب را بررسی نموده و آن‌ها را با کامپوزیت‌های خالص الیاف کنف و آرد چوب مورد مقایسه قرار داد. نتایج نشان داد که به طور کلی ویژگی‌های کامپوزیت هیبرید در حد متوسطی از کامپوزیت‌های خالص الیاف کنف و آرد چوب قرار دارند (Ballerini, 2004).

در تحقیق دیگری چهار محالی (۱۳۸۴) به بررسی خواص مکانیکی چند سازه چوب - پلاستیک ساخته شده از ضایعات تخته خرده چوب، MDF و ضایعات پلی اتیلن سنگین پرداخت؛ بر اساس نتایج این بررسی بیشترین مقدار مدول الاستیسیته در نمونه هایی حاوی ۷۰ درصد

پلاستیک استفاده گردید.

### ب- تجهیزات مورد استفاده:

جهت ساخت و آزمایش نمونه‌های این تحقیق از تجهیزات موجود در کارگاه/آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه شهید رجایی استفاده گردید. بسته شدن پرس آزمایشگاهی مورد استفاده جهت ساخت نمونه‌ها از طریق جابجایی صفحه پایینی و با سرعت ۳ میلی متر در دقیقه انجام می‌شود. پرس مذکور از دقت اعمال فشار، حرارت و تنظیم زمان پرس، برابر استانداردهای لازم، برخوردار می‌باشد.

دستگاه کشش و فشار: برای تعیین مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی نمونه‌ها از دستگاه تستینگ (کشش و فشار) استفاده شد (شکل ۳)، دستگاه مذکور ساخت ایران (سری PT) و دقت سرعت بار گذاری و نیرو سنج آن به ترتیب ۰/۲۵ میلی متر در دقیقه و ۰/۵ نیوتن است.



شکل ۲- ذرات پولک مانند حاصل از خرد شدن زباله‌های پت



شکل ۳- دستگاه تستینگ استفاده شده جهت اندازه گیری مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی نمونه‌های آزمایشی

ذرات چوبی بوده ولی قدرت نگهداری پیچ و میخ عمود بر سطح و مقاومت به ضربه بدون فاق با افزایش مواد چوبی از ۶۰ به ۸۰ درصد کاهش یافت Enayati and (Mersad 2001).

همچنین نامبردگان در تحقیق مشابهی به بررسی خواص فیزیکی چند سازه‌های فوق الذکر پرداختند که بر اساس نتایج این تحقیق نیز رطوبت تعادل، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها با افزایش درصد ذرات چوبی از ۶۰ به ۸۰ درصد، افزایش می‌یابد. (Alizadeh, 1993).

### مواد و روش ها

#### الف- مواد مصرفی:

**پت ضایعاتی:** پت ضایعاتی مورد استفاده از مرکز فروش آن در حومه شهر تهران خریداری گردید (شکل ۲)، این ذرات به شکل پولک، دارای ضخامت ۰/۳ میلی متر بوده و حاصل خرد شدن ظروف ساخته شده از این ماده می‌باشند؛ ذرات مذکور پس از انتقال به آزمایشگاه به وسیله غربال‌های آزمایشگاهی دسته بندی و پس از غربال با مش ۴ برای ساخت نمونه‌های آزمایشی استفاده گردید.<sup>۱۵</sup>

**پلی اتیلن:** در این بررسی از پلی اتیلن سبک<sup>۱۶</sup> ساخت کارخانه پتروشیمی بندر امام در لایه میانی برخی نمونه‌ها بجای پت استفاده شده است.

**خاک اره:** به مقدار مورد نیاز از خاک اره حاصل از پس ماند برش گونه‌های راش و نراد توسط ماشین‌های اره نواری و اره گرد در کارگاه صنایع چوب دانشگاه شهید رجایی جداسازی گردید. بر اساس روش استفاده شده در (Wechsler and Hiziroglu, 2007)، ذرات عبور کرده از الک مش ۲۰، جداسازی و در ساخت نمونه‌های آزمایشی استفاده شدند، در منابع (Han-seung et al., 2006; Chotirat L., 2007; Tajvidi, 2007; Kit et al., 1999) نیز از خاک اره جهت تحقیق بر روی چند سازه چوب

جهت دوربری و تبدیل نمونه‌های ساخته شده به ابعاد مورد نیاز از دستگاه اره مجموعه استفاده گردید. **آون:** تنظیم رطوبت کیک نمونه‌ها بوسیله ۲ عدد آون (اتو) موجود به ظرفیت حجمی ۳۰۰ لیتر، در محدوده ۲ تا ۳ درصد، انجام گرفت، میزان رطوبت مذکور بر اساس اطلاعات موجود در (Processing wood, 2007) انتخاب گردید. **توزین:** وزن مواد تشکیل دهنده نمونه‌های آزمایشی با توجه به ترکیب در نظر گرفته شده برای هر فراوری، ضخامت، ابعاد سطح (۴۵cm × ۴۵cm) و دانسیته  $0.8 \text{ gr} / \text{cm}^3$  تعیین و بوسیله ترازوی دیجیتالی با دقت  $0.01 \text{ gr}$  اندازه گیری گردید.

### ج- روش‌ها:

در این بررسی دما و فشار به ترتیب  $200^\circ \text{C}$  و  $150$  بار تنظیم گردید. جهت شکل دهی کیک قبل از ورود به پرس گرم، مواد هر نمونه آزمایشی با توجه به یک یا چند لایه بودن بر روی یک صفحه فلزی به ضخامت نیم میلی متر بصورت یکنواخت ریخته شده و پس از فشردن سازی توسط نیروی دست، به همراه ۲ عدد شابلون در کناره‌ها و یک صفحه دیگر در سطح بالایی، به داخل پرس گرم منتقل گردید.

پس از مرحله پرس با دما و زمان مشخص، نمونه‌ها از هر طرف به میزان ۱۰cm کناره بری و سپس به مدت یک ماه در محیط آزمایشگاه متعادل سازی شدند. استفاده از

روش پرس گرم در این تحقیق به تبعیت از روش بکار رفته در منبع (Tajvidi et al., 2007) می‌باشد.

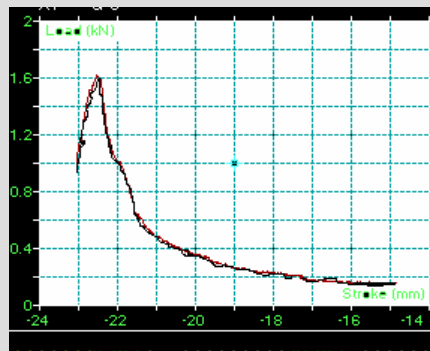
پس از متعادل سازی نمونه‌های ساخته شده، آزمایش‌های ذیل با توجه به استاندارد ملی ۲۴۹۲، و بر اساس روش موجود در استاندارد ASTM، D1013-04 بر روی نمونه‌ها انجام گرفت.

- ۱- آزمایش‌های جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت
- ۲- آزمایش‌های واکنش‌دهی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت
- ۳- آزمایش مقاومت به خمش استاتیک
- ۴- آزمایش مقاومت به کشش عمود بر سطوح (IB) <sup>۱۷</sup>

چگونگی اندازه گیری مقاومت خمشی در شکل ۶ نشان داده شده است، پس از آزمایش هر نمونه گراف مربوط به آن آزمایش استخراج (شکل ۴) و بر مبنای آن حداکثر باری را که نمونه تحمل کرده است، ثبت گردید. مقاومت خمشی نمونه‌ها رابطه زیر محاسبه شده است:

$$MOR = \frac{3PL}{bd^2}$$

فاکتورهای متغیر در نظر گرفته شده: با توجه به اهمیت چهار عامل زمان پرس، لایه بندی، مقدار ماده کمکی پلی اتیلن و پت ضایعاتی برخواص چند سازه چوب-پلاستیک، در این تحقیق نیز به بررسی اثر همین عوامل برخواص مورد نظر این مطالعه، به شرح جدول ۱ پرداخته شد.



شکل ۴- نمونه ای از گراف‌های ترسیم شده توسط دستگاه کشش و فشار پس از اندازه گیری مقاومت خمشی نمونه‌ها

## د- طرح آماری

خواص فیزیکی و میانگین مقاومت‌ها با استفاده از نتایج آزمایش نمونه‌های تکرار شده هر تیمار محاسبه شده است. برای مقایسه کلی بین میانگین خواص فیزیکی و مقاومت‌های نمونه‌های تکرار شده هر تیمار از تجزیه واریانس یک طرفه<sup>۱۸</sup> و با توجه به همگن بودن واریانسها از آزمون‌های تکمیلی R-E-G-WQ، tukey و برای بررسی اثر تغییر فاکتورهای متغیر، به صورت مستقل و متقابل، از تجزیه واریانس دو و چند طرفه<sup>۱۹</sup> و چند طرفه استفاده شد.

## نتایج:

با توجه به بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد مطالعه‌ای در مورد امکان ساخت چند سازه چوب - پلاستیک از ماده پت چه به صورت دسته اول و چه ضایعاتی تا کنون انجام نگرفته و این بررسی اولین تحقیق انجام شده می‌باشد<sup>۲۱</sup>، در ابتدا جهت بدست آوردن اطلاعات کلی از امکان ساخت WPC از پت ضایعاتی، از طریق ساخت نمونه‌هایی به جستجو ترکیب و روشی پرداخته شد که بوسیله آن بتوان فرآورده‌ای تولید کرد که حداقل دارای مشخصات ظاهری مشابه سایر چند سازه‌های چوبی باشد،

جدول ۲- چگونگی ترکیب سطوح فاکتورهای متغیر و مشخصات تیمارهای مورد بررسی

شماره تیمار	لایه ای بودن	زمان پرس	درصد وزنی پلی اتیلن نسبت به کل نمونه	درصد وزنی پت نسبت به کل نمونه
۱	۱	۱۵۰	۱۰	۲۰
۲	۲	۱۵۰	۱۰	
۳	۱	۱۸۰	۱۰	
۴	۲	۱۸۰	۱۰	
۵	۱	۱۵۰	۲۰	
۶	۲	۱۵۰	۲۰	
۷	۱	۱۸۰	۲۰	
۸	۲	۱۸۰	۲۰	
۹	۱	۱۵۰	۲۴	۲۵
۱۰	۲	۱۵۰	۲۴	
۱۱	۱	۱۸۰	۲۴	
۱۲	۲	۱۸۰	۲۴	
۱۳	۱	۱۵۰	۰	۳۰
۱۴	۱	۱۸۰	۰	
۱۵	۱	۱۵۰	۱۰	
۱۶	۲	۱۵۰	۱۰	
۱۷	۱	۱۸۰	۱۰	
۱۸	۲	۱۸۰	۱۰	
۱۹	۱	۱۵۰	۱۹	
۲۰	۲	۱۵۰	۱۹	
۲۱	۱	۱۵۰	۱۹	
۲۲	۲	۱۸۰	۱۹	
۲۳	۱	۱۸۰	۱۹	
۲۴	۲	۱۸۰	۱۹	
۲۵	۱	۱۵۰	۰	
۲۶	۱	۱۸۰	۰	

نتایج به دست آمده نشان دادند که در محدوده دمایی  $190^{\circ}\text{C}$  تا  $200^{\circ}\text{C}$  و زمان پرس ۱۲۰ تا ۱۸۰ ثانیه، می‌توان به پانل صفحه‌ای دست پیدا کرد.

در مراحل بعدی، به ترتیب به بررسی روش‌هایی برای جلوگیری از چسبیدن نمونه‌های آزمایشی به صفحات پرس<sup>۲۲</sup>، تأثیر عواملی مانند ابعاد پولک‌های ضایعاتی خرد شده و ذرات چوبی مورد استفاده، درصد وزنی پت، لایه‌ای کردن نمونه از طریق تغییر مواد پلاستیکی مورد استفاده در لایه میانی و لایه‌های سطحی و اثر استفاده از بعضی مواد مانند انواع پلی اتیلن سنگین و سبک و پلی وینیل الکل صنعتی در ترکیب با پت و یا بصورت مستقل در لایه میانی نمونه‌ها، پرداخته شد.

بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های اولیه که با استفاده از روش آزمون و خطا ساخته شدند، مشخص گردید که کیفیت نمونه‌های ساخته شده با ضخامت ۵ میلی‌متر از خاک اره، پلی اتیلن سبک (بکار رفته در لایه میانی) و ضایعات پت (بکار رفته در لایه‌های سطحی) از سایر نمونه‌ها بهتر است. این

امر نیز با توجه به رابطه معکوسی که میان ضخامت نمونه و کیفیت انتقال حرارت به لایه میانی وجود دارد، بدیهی به نظر می‌رسد. این نتیجه با روش کار انجام گرفته توسط کامدم و همکاران (Pascal et al., 2004) تجویدی و همکاران (Tajvidi, 2007) همخوانی دارد.

نامبردگان نیز در تحقیقات خود از نمونه‌های با ضخامت ۵ میلی‌متر استفاده کرده‌اند. با توجه به نتایج اولیه مذکور در راستای بدست آوردن بهترین روش ساخت چند سازه مرکب چوب-پلاستیک از خاک اره و پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی، در قالب طرح جدول ۲، سطوح مختلف فاکتورهای متغیر نشان داده شده بررسی گردید.

نمونه‌های آزمایشی پس از ساخته شدن بر اساس ترکیب و روش هر فراوری، به مدت ۱ ماه در محیط آزمایشگاه متعادل سازی و سپس مورد آزمایش خواص مکانیکی (مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی) و فیزیکی (جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت پس از ۲۴ و ۲ ساعت) قرار گرفتند.



**شکل ۶-** نمونه قرار گرفته در دستگاه کشش و فشار برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی



**شکل ۵-** نمونه‌های اولیه آزمایشی با ضخامت ۱۰ تا ۱۶ میلی‌متر ساخته شده از خرده چوبهای درشت

مقاومت خمشی (شکل ۶):

جدول ۳- نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش مقاومت خمشی

مقاومت تیمارهایی که بصورت افقی و عمودی درمقابل یکدیگر نشان داده شده اند فاقد اختلاف معنی دار است								فرآوری ها
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
							-	۲۱
						-	-	۲۰
						-	-	۱۰
						-	-	۲۴
						-	-	۱۹
						-	-	۲۳
					-	-	-	۲۲
					-	-	-	۸
					-	-	-	۱۱
				-	-	-	-	۱۲
			-	-	-	-	-	۹
			-	-	-	-	-	۵
			-	-	-	-	-	۷
			-	-	-	-	-	۱۳
		-	-	-	-	-	-	۲۶
		-	-	-	-	-	-	۱۴
		-	-	-	-	-	-	۶
	-	-	-	-	-	-	-	۱۵
	-	-	-	-	-	-	-	۲۵
	-	-	-	-	-	-	-	۱۷
	-	-	-	-	-	-	-	۱
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۸
-	-	-	-	-	-	-	-	۳
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۶
-	-	-	-	-	-	-	-	۲
-	-	-	-	-	-	-	-	۴

(نتایج آزمون R.E.G.W.R. نیز مشابه جدول ۳ می باشد)



بر اساس استاندارد پیش گفته این مقاومت با استفاده از دستگاه کشش و فشار و بر روی نمونه هایی به عرض ۵۰ میلی متر و طول ۲۴ برابر ضخامت (۱۲۰ میلی متر) انجام و برای مقایسه مقاومت خمشی فراوری های مختلف با یکدیگر از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد. نتیجه آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان دهنده مقدار P کمتر از ۰/۰۱ می باشد، لذا فرض صفر مبنی بر عدم اختلاف میانگین ها رد می شود. بنابراین حداقل میان ۲ فراوری از نظر میانگین مقاومت خمشی، اختلاف معنادار آماری وجود دارد. با توجه به این که در این بررسی متغیر مستقل دارای ۲۶ سطح می باشد (بیش از دو عامل) و همچنین معنی دار بودن آزمون همگنی واریانس، از آزمون های تکمیلی Tukey و R-E-G-WQ جهت مقایسه فراوری ها استفاده گردید (جدول ۳). مقدار مجذور اتا نیز برابر ۶۵٪ بوده که نشان دهنده رابطه قوی فاکتورهای متغیر<sup>۲۳</sup> و تغییر مقاومت خمشی است (۶۵٪ تغییرات متغیر وابسته ناشی از تغییر فراوری ها می باشد). بر اساس جدول ۳ فراوری های لایه ای که در بخش میانی ضخامت آنها از ۱۰٪ پلی اتیلن و در طرفین از ۲۰٪ پت استفاده گردیده دارای بیشترین مقاومت خمشی و همچنین اختلاف معنی دار آماری با سایر فراوری ها می باشند. بر اساس این جدول نمونه های آزمایش شده از نظر مقاومت خمشی به ترتیب از بیشترین مقدار به صورت ذیل تقسیم می گردند:

- ۱- نمونه هایی حاوی ۱۰٪ پلی اتیلن در لایه میانی و ۲۰٪ پت ضایعاتی در طرفین، دارای بیشترین مقاومت.
- ۲- نمونه های تشکیل شده از ۲۰٪ پلی اتیلن و ۲۰٪ پت ضایعاتی.
- ۳- نمونه های تشکیل شده از ۲۴٪ پلی اتیلن و ۲۵٪ پت ضایعاتی.
- ۴- نمونه های تشکیل شده از ۳۰٪ پت ضایعاتی با یا بدون پلی اتیلن.

این تقسیم بندی نشان دهنده اثر مثبت افزایش پلی اتیلن و اثر منفی افزایش (بیش از ۲۰٪) پت ضایعاتی

است، به شکلی که مقاومت گروه ۳ نسبت به گروه ۴، ۱۷٪، گروه ۲ نسبت به ۳، ۱۸٪ و گروه ۱ نسبت به ۲، ۲۷٪ بیشتر می باشد. در مجموع افزایش مواد پلیمری بیش از ۳۰٪ وزنی نمونه، بر مقاومت خمشی اثر منفی دارد. اثر سطوح مختلف فاکتورهای متغیر به صورت مستقل و متقابل جهت تحلیل بیشتر و بهتر در جدول ۴ نشان داده شده است.

مقاومت خمشی بالای نمونه های لایه ای را می توان ناشی از حرارت مناسب انتقال یافته به مرکز نمونه جهت ذوب شدن پلی اتیلن که برخلاف پت فاقد حلقه های آروماتیک<sup>۲۵</sup> و دمای ذوب پایین تری است، دانست. همچنین ترکیب ۳۰٪ ماده پلاستیکی و ۷۰٪ خاک اره نیز فرمول مناسبی برای چند سازه می باشد.

نتیجه بدست آمده از آزمایش نمونه های حاوی ۴۰٪ تا ۵۰٪ پلی مر را می توان ناشی از نسبت زیاد ماده پلیمری به خاک اره و مقاومت کم نمونه هایی که تنها از پت در ترکیب آنها استفاده شده را نیز می توان ناشی از ناکافی بودن انتقال حرارت به مرکز نمونه جهت ذوب این ماده دانست. با توجه به اختلاف معنادار بین فراوری ها در جدول ۳، نمونه های حاوی ۲۰٪ پت ضایعاتی و ۱۰٪ پلی اتیلن از نظر ترتیب قرار گیری مواد پلاستیکی جهت انتقال حرارت لازم و ترکیب مواد تشکیل دهنده و از نظر درصد وزنی کاملاً مناسب می باشند. همچنین تأثیر این فاکتورها در حدی است که عامل ایجاد اختلاف معنی دار آماری بینی فراوری ها می شود (جدول ۴) نتیجه تحقیق کیت و همکاران نیز نشان دهنده مناسب بودن دمای C ۱۷۰ جهت ذوب پلی اتیلن است که با توجه به دمای C ۲۰۰ در صفحات پرس در این بررسی، وجود دمای C ۱۷۰ در مرکز نمونه بدیهی می نماید (Chotirat, L. et al; 2007).

آزمون همگنی واریانس نشان دهنده معنادار بودن همگنی واریانس در حد ۹۹٪ است، بر اساس جدول ۴ اثر متغیرهای درصد وزنی پت ضایعاتی نسبت به وزن کل

**جدول ۴-** نتایج آزمون F تحلیل واریانس دو و چند طرفه<sup>۲۴</sup> بر روی نتایج اندازه گیری مقاومت خمشی

Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	متغیر
۰,۰۰۱	۶,۸۳۲	۲۶۴۹,۴۸۶	۲	Pet*
۰,۰۰۰	۹۹,۸۱۷	۳۸۷۱۱,۷۹۷	۳	poly ethylene*
۰,۲۷۶	۶,۷۴۵	۲۶۱۵,۹۱۵	۱	press time*
۰,۰۱۰	۱,۱۹۲	۴۶۲,۳۶۳	۰	layer*
	۶,۵۰۲		۲	pe*po*
۰,۰۰۲	۲,۸۹۳	۲۵۲۱,۷۲۷	۳	pe*pt*
۰,۰۳۶	۶,۹۶۳	۱۱۲۱,۹۵۷	۰	po*pt*
	-	۲۷۰۰,۴۸۸	۰	pe*la*
۰,۰۰۹		-	۰	pe*po*pt*la*
۰,۰۳۷		۱,۵۳	۰	Pet**
۰,۰۰۰	۳,۳۴	۳۵,۹۱	۲	poly ethylene**
۰,۰۳۵	۷۸,۵۳	۱,۵۵	۳	pe*pt**
۰,۰۰۳	۳,۳۹	۲,۷۰۷	۲	po*la**
۰,۰۰۶	۵,۹۲	۳,۵۳	۱	pe*po*pt**
۰,۰۳۶	-	۱,۵۴	۲	pe*po*la**
۰,۰۰۰		-	۰	la*pe*po*pt**
۰,۰۰۰	۲,۲۹	۱۰۷,۱۱۹	۲	Pet***
۰,۱۰۳	۷,۵۶	۳۵۲,۹۷۴	۳	poly ethylene***
۰,۰۹۴	۲,۸۲	۱۳۱,۸۶۲	۱	press time***
۰,۳۲۹	۰,۹۵۷	۴۴,۶۶	۱	Layer***
۰,۱۵		۱۹۹,۵۹۷	۲	pe*po*pt***
۰,۰۰۰	-	-	۰	la*pe*po*pt***
۰,۰۰۰	۰,۰۶۴	۰,۸۲۸	۲	Pet****
۰,۹۳۸	۶۷,۰۳۷	۸۶۷,۳۶۱	۳	poly ethylene****
۰,۳۱	۴,۷	۶۰,۸۸	۱	press time****
۰,۲۱	۱,۵۸	۲۰,۴۶	۱	Layer****
۰,۰۱۲	۴۴۹,۶	۴۳۶,۸۳	۱	la*pe*pt****
۰,۰۰۰	-	-	۰	la*pe*po*pt****

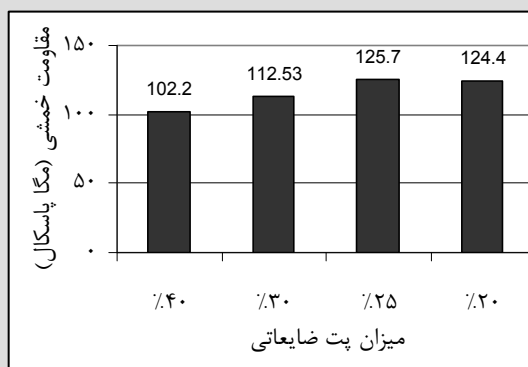
- متغیرهایی که سمت راست آنها \* وجود دارد، مربوط به آزمایش مقاومت خمشی می‌باشند.  
 - متغیرهایی که سمت راست آنها \*\* وجود دارد، مربوط به آزمایش مقاومت چسبندگی داخلی می‌باشند.  
 - متغیرهایی که سمت راست آنها \*\*\* وجود دارد، مربوط به آزمایش جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه وری می‌باشند.  
 - متغیرهایی که سمت راست آنها \*\*\*\* وجود دارد، مربوط به آزمایش جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه وری می‌باشند.

نمونه، درصد وزنی پلی اتیلن نسبت به وزن کل نمونه و لایه دار بودن نمونه بصورت مستقل و در سطح ۹۹٪ و متغیرهای متقابل درصد وزنی پت ضایعاتی و لایه ای بودن نمونه (در سطح ۹۹٪)، درصد وزنی پلی اتیلن و زمان پرس (در سطوح ۹۵٪) و درصد وزنی پت ضایعاتی و زمان پرس (در سطح ۹۹٪)، بر مقاومت خمشی از نظر آماری معنادار می‌باشند. ولی عامل متقابل ۴ عامله پت ضایعاتی، پلی اتیلن، لایه بندی و زمان پرس فاقد اثر معنا دار است (مجذور اتا نیز در این عامل صفر می‌باشد) نتایج مذکور با نتایج نشان داده شده در جدول ۳ همخوانی دارند، بر اساس گروه بندی تیمارها نیز مشخص گردید که فراوری‌های با مقدار پت ضایعاتی متفاوت از نظر مقاومت خمشی نیز اختلاف معنی دار دارند.

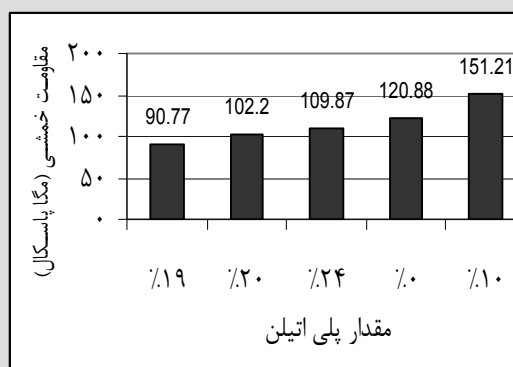
معنادار بودن اثر عوامل فوق با توجه به نقش بسیار اساسی پت ضایعاتی و پلی اتیلن به عنوان عوامل ایجاد چسبندگی میان ذرات نمونه کاملاً مستدل می‌باشد، همانطور که ذکر گردید عامل لایه بندی نیز با توجه به کاهش دما در لایه میانی ضخامت به دلیل عایق بودن ذرات چوبی و مشخصات فیزیکی پلی اتیلن (دمای ذوب پایین تر نسبت به پت) دارای نقش مثبتی در مقاومت

خمشی می‌باشد که نتایج بدست آمده نیز این مسئله را تأیید می‌نماید. اشکال ۷ و ۸ نشان دهنده مقاومت فراوری‌هایی می‌باشند که از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار با یکدیگرند. بر اساس این نمودارها اختلاف مقاومت فراوری‌های حاوی ۲۰ و ۴۹ درصد پت ضایعاتی با فراوری‌هایی که مقدار پت آنها ۲۵ و ۳۰ درصد است، ۲۱ درصد می‌باشد، این نتیجه نشان دهنده مقدار مناسب پت در محدوده ۲۵ و ۳۰ درصد است. از جمله دلایل این اختلاف می‌توان به مقدار کم ماده پلیمری (ماده چسباننده ذرات چند سازه به یکدیگر) در نمونه‌هایی حاوی ۲۰٪ پت ضایعاتی و مقدار زیاد آن در نمونه‌هایی حاوی ۴۹٪ پت ضایعاتی اشاره کرد.

اثر منفی کاهش میزان مواد پلیمری (افزایش خاک اره) بر مقاومت نمونه با نتیجه تحقیق چوتیرات و همکاران همخوانی دارد (Tajvidi et al., 2007)، در تحقیق کیت و همکاران نیز میزان مناسب مواد پلیمری جهت ایجاد حداکثر مقاومت خمشی ۲۵ تا ۵۰ درصد پیشنهاد گردیده (Chotirat et al., 2007)، در نتایج تحقیق چهار محالی نیز به کاهش مقاومت خمشی در اثر افزایش مواد چوبی اشاره شده است (Enayati and Mersad, 2001). شکل ۸



شکل ۸- اثر ماده کمکی پلی اتیلن بر مقاومت خمشی



شکل ۷- اثر میزان پت ضایعاتی بر مقاومت خمشی

نشان‌دهنده مقاومت نمونه‌هایی حاوی درصدهایی متفاوت از پلی اتیلن است (این اختلاف از نظر آماری معنی دار است). بر اساس این نتیجه نیز نمونه‌های حاوی ۱۰٪ پلی اتیلن دارای بیشترین مقاومت خمشی می‌باشند؛ مقاومت این نمونه‌ها از نمونه‌های بدون پلی اتیلن ۲۵٪، حاوی ۲۰ و ۱۹ درصد پلی اتیلن، ۴۳٪ و نسبت به نمونه‌هایی با ۲۴٪ پلی اتیلن، ۶۷٪ بیشتر است. این نتیجه اثر منفی افزایش بیش از ۳۰٪ مواد پلی مری بر خواص مکانیکی چند سازه را تأیید می‌نمایند.

اثر معنادار فاکتورهای متقابل دو عامله و سه عامله بر مقاومت خمشی ناشی از مضاعف شدن اثر مثبت این فاکتورها بصورت مستقل است. همانطور که ذکر گردید فاکتورهای... بر مقاومت خمشی به صورت مستقل دارای اثر مثبت بوده و این اثر با اصول حاکم بر فرآیند ساخت چند سازه‌های چوب - پلاستیک و نتایج سایر تحقیقات انجام گرفته همخوانی دارد، معنی دار بودن اثرات متقابل نیز با توجه به اثرات مستقل تشکیل دهنده آنها کاملاً بدیهی می‌باشد. معنی دار بودن اثر متقابل میزان پت ضایعاتی و زمان پرس بر مقاومت خمشی نشان دهنده ارتباط میان این دو عامل است، بگونه‌ای که ذوب ذرات پت<sup>۲۶</sup> موجود در لایه میانی ضخامت نیازمند زمان بوده و محدودیت زمان موجود نیز منجر به ایجاد تفاوت معنی دار میان نمونه‌هایی با یا بدون پلی اتیلن، به دلیل ذوب این ماده در دمای پایین تر شده است.

در این آزمایش نیز مقدار P به احتمال ۹۹٪ از نظر آماری معنی دار و وابستگی تغییرات این مقاومت با تغییر فراوریها (بر اساس مجذور اِتا محاسبه شده) در سطح ۶۵٪ می‌باشد. بر اساس این نتیجه فرض صفر رد و بین میانگین مقاومت چسبندگی داخلی تیمارهای مختلف از نظر آماری اختلاف وجود دارد که جهت مشخص شدن

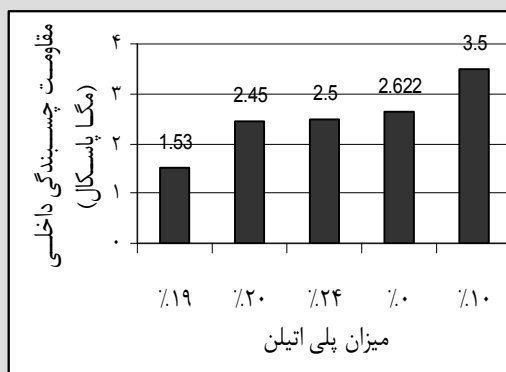
جزئیات این اختلاف با توجه به معنی دار بودن همگنی واریانس در سطح ۹۹٪ از آزمون‌های تکمیلی tukey و R.E.G.WQ (جدول ۵) استفاده شده است. طبق نتیجه نشان داده شده در جدول ۵ مقاومت چسبندگی داخلی نیز مانند مقاومت خمشی در نمونه‌های لایه ای حاوی ۳۰٪ مواد پلاستیکی شامل ۱۰٪ پلی اتیلن در مرکز و ۲۰٪ پت ضایعاتی در طرفین حداکثر و به ترتیب در نمونه‌هایی که حاوی مقدار بیشتری مواد پلاستیکی هستند و سپس نمونه‌های یک لایه کاهش می‌یابد، این نتیجه ترکیب مناسب ۳۰٪ مواد پلاستیکی، ۷۰٪ مواد چوبی و استفاده از پلی اتیلن در لایه میانی را تأیید می‌کند. با توجه به اهمیت بیشتر چسبندگی بین ذرات داخلی در این آزمایش نسبت به آزمایش خمش، اثر لایه بندی بر این مقاومت و همچنین اختلاف معنی دار آماری بین نمونه‌های همسان و لایه دار، بیشتر از نتایج حاصل از آزمایش مقاومت خمشی می‌باشد (اگر فراوری‌های جدول ۵ را به دو گروه ۱۲ تا و ۱۴ تا تقسیم کنیم، مقاومت گروه دوم ۷۳٪ بیشتر از گروه اول می‌باشد). جدول ۴ نشان دهنده اثر فاکتورهای متغیر به صورت مستقل و متقابل بر مقاومت چسبندگی داخلی و نمودارهای ۹ و ۱۰ نشان دهنده اثر فاکتورهای مستقل معنادار بر مقاومت چسبندگی داخلی می‌باشند (این گروه بندی با توجه به معنی دار بودن آزمون همگنی واریانس در سطح ۹۹٪ با استفاده از آزمون‌های tukey و R.E.G.WQ انجام شده است). بر اساس جدول ۴ اثر فاکتور درصد وزنی پت ضایعاتی و پلی اتیلن به وزن کل نمونه به صورت مستقل بر مقاومت داخلی به ترتیب در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی دار می‌باشد. این نتیجه با نتیجه نشان داده شده در جدول ۵ مشابه می‌باشد.

نتایج آزمایش مقاومت چسبندگی داخلی:

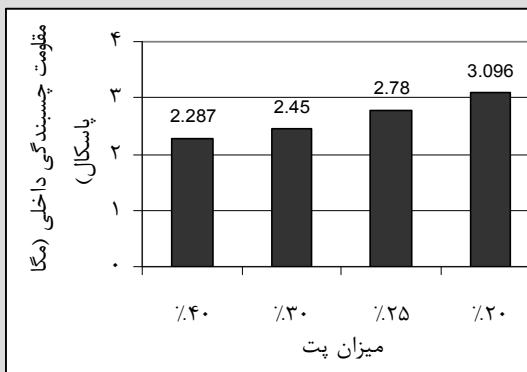
جدول ۵- نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش مقاومت چسبندگی داخلی

(نتایج آزمون R.E.G.W.R. نیز مشابه جدول فوق می باشد)

مقاومت تیمارهایی که بصورت افقی و عمودی در مقابل یکدیگر نشان داده شده اند فاقد اختلاف معنی دار است								فراوری ها
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
							-	۲۰
							-	۲۱
						-	-	۲۲
					-	-	-	۲۴
					-	-	-	۱۹
				-	-	-	-	۵
				-	-	-	-	۱۰
				-	-	-	-	۲۳
				-	-	-	-	۹
				-	-	-	-	۱۳
				-	-	-	-	۶
				-	-	-	-	۲۶
			-	-	-	-	-	۱۴
			-	-	-	-	-	۱۷
		-	-	-	-	-	-	۸
		-	-	-	-	-	-	۱۱
		-	-	-	-	-	-	۱۲
	-	-	-	-	-	-	-	۷
	-	-	-	-	-	-	-	۲۵
	-	-	-	-	-	-	-	۱۵
	-	-	-	-	-	-	-	۴
-	-	-	-	-	-	-	-	۳
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۶
-	-	-	-	-	-	-	-	۱۸
-	-	-	-	-	-	-	-	۱
-	-	-	-	-	-	-	-	۲



شکل ۱۰- اثر میزان پلی اتیلن بر مقاومت چسبندگی داخلی



شکل ۹- اثر میزان پت ضایعاتی بر مقاومت چسبندگی داخلی

متقابل ۴ عامله بر نتایج این آزمایش فاقد معنی و مجذور اتا نیز در این عامل صفر است.

نتیجه بدست آمده مبنی بر مقاومت مناسب چوب - پلاستیک ساخته شده از ۳۰٪ مواد پلیمری و ۷۰٪ خاک اره با نتایج سایر تحقیقات انجام گرفته مشابه است، از جمله بر اساس تحقیقات چوتیرات و همکاران کیفیت اتصال‌های تشکیل شده بین ذرات نمونه‌ها که با طیف سنجی یا FTIR بررسی گردید، با افزایش خاک اره کاهش می‌یابد.

بر اساس نتایج به تحلیل انجام شده، در هر ۲ آزمایش جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری واریانس همگن و مقدار F در سطح ۹۹٪ معنی دار می‌باشد، لذا در تمام این آزمایشات اختلاف معنی دار آماری بین فراوری‌ها وجود دارد که جدول ۶ چگونگی این اختلاف را مشخص ساخته است، بر اساس این گروه بندی، فراوری‌هایی با درصد مواد پلاستیکی بیشتر دارای کمترین جذب آب می‌باشند که این امر نیز با توجه به خاصیت جذب آب ذرات چوبی، کاملاً طبیعی است. بر اساس جدول ۶ اختلاف معنی دار فراوری‌ها با یکدیگر زیاد نبوده و در ستون‌های پی در پی تعداد زیادی از آنها تکرار شده اند که این امر نیز حاکی از عدم اختلاف زیاد

بر اساس شکل ۹ مقاومت نمونه‌هایی که درصد وزنی پت ضایعاتی در آنها ۲۰٪ است نسبت به نمونه‌های حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد پت، ۲۰٪ و نسبت به نمونه‌های حاوی ۴۹٪ پت، ۳۶٪ بیشتر و دارای اختلاف معنا دار آماری نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد. شکل ۱۰ نشان دهنده مقاومت داخلی حداکثر در نمونه‌هایی با درصد وزنی ۱۰٪ پلی اتیلن و اختلاف معنا دار این نمونه‌ها با سایر فراوری‌ها از نظر آماری می‌باشد؛ این اختلاف از نظر مقدار در بین گروه اول و سوم جدول، ۱۳۰٪ است.

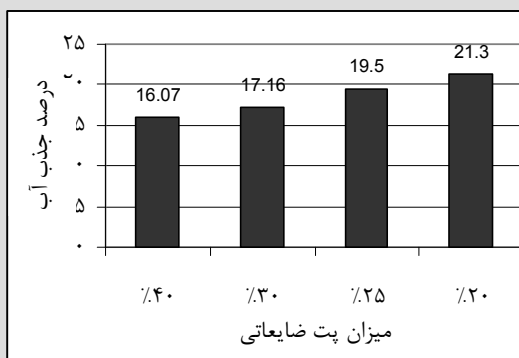
جدول ۴ نشان دهنده تأثیر معنی دار فاکتور متقابل درصد پت و پلی اتیلن به ترتیب با زمان پرس و لایه بندی می‌باشد که این نتیجه، نتایج قبلی را تأیید می‌نماید. بطوریکه دما و بخصوص لایه بندی به همراه مقدار مناسب مواد پلاستیکی شرایط بسیار مساعدی را برای چسبیدن ذرات داخل نمونه به یکدیگر مهیا می‌کند و لذا اثر مثبت معنی داری بر مقاومت مذکور خواهند داشت. همچنین جدول ۴ نشان دهنده تأثیر فاکتورهای درصد پت ضایعاتی، پلی اتیلن و لایه ای بودن بشکل متقابل سه گانه، بر مقاومت داخلی نمونه‌ها می‌باشد، این اثر متقابل سه گانه نیز با توجه به تأثیر مثبت هر یک از این عوامل بصورت مستقل کاملاً بدیهی می‌باشد. عامل

نتایج آزمایش‌های خواص فیزیکی:

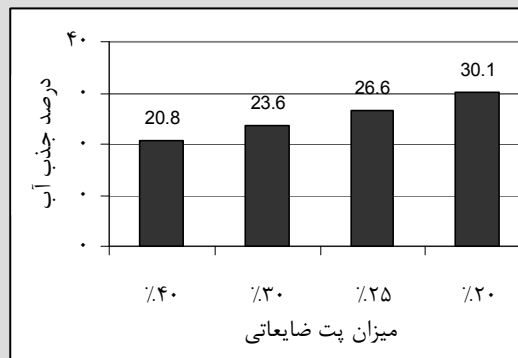
**جدول ۶-** نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش جذب آب پس از ۲ ساعت<sup>۳۷</sup>

(نتایج آزمون R.E.G.W.R. نیز مشابه جدول فوق می‌باشد)

مقاومت تیمارهایی که بصورت افقی و عمودی درمقابل یکدیگر نشان داده شده اند فاقد اختلاف معنی دار است						فراوری ها
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
					-	۲
				-	-	۳
				-	-	۱۶
			-	-	-	۷
			-	-	-	۱
		-	-	-	-	۱۸
		-	-	-	-	۲۵
	-	-	-	-	-	۱۴
	-	-	-	-	-	۱۱
-	-	-	-	-	-	۱۵
-	-	-	-	-	-	۴
-	-	-	-	-	-	۵
-	-	-	-	-	-	۲۲
-	-	-	-	-	-	۱۳
-	-	-	-	-	-	۲۳
-	-	-	-	-	-	۲۶
-	-	-	-	-	-	۱۲
-	-	-	-	-	-	۹
-	-	-	-	-	-	۱۹
-	-	-	-	-	-	۲۰
-	-	-	-	-	-	۱۰
-	-	-	-	-	-	۲۱
-	-	-	-	-	-	۸
-	-	-	-	-	-	۶
-	-	-	-	-	-	۲۴
-	-	-	-	-	-	۷



شکل ۱۲- اثر میزان پت بر جذب آب نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری



شکل ۱۱- اثر میزان پت بر جذب آب نمونه‌ها پس از ۲ ساعت غوطه‌وری

بیشتر در ستون‌های ابتدایی (میزان جذب آب کمتر) قرار گرفته‌اند.

معنی دار نبودن اثر میزان پلی اتیلن بر نتایج این آزمایش را می‌توان ناشی از حجم کم این ماده در درصد‌های مختلف نسبت به ذرات چوبی نمونه‌ها چه در حالت لایه ای و چه در حالت همسان دانست، بطوریکه به دلیل پودری بودن ذرات پلی اتیلن، بین نمونه‌هایی که از درصد‌های متفاوتی از آن در آنها استفاده شده و نمونه‌های فاقد هیچ‌گونه اختلاف ظاهری مشاهده نگردیده و سطوح تمامی نمونه‌ها از پولک‌های پت و ذرات چوبی پوشیده شده‌اند (شکل ۵)، پولک‌های پت ضایعاتی به دلیل داشتن سطح زیاد در میزان رسیدن مولکول‌های آب به ذرات چوبی مؤثر ولی ذرات بسیار ریز پلی اتیلن در این امر نقشی نداشته و لذا بر این خاصیت نیز فاقد اثرند.

نتایج تحلیل واریانس یک طرفه انجام گرفته بر روی نتایج آزمایش واكشیدگی ضخامت نمونه‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت از نظر کلی با نتایج به دست آمده از آزمایش جذب آب، شبیه می‌باشند. تفاوت نتایج آزمایش جذب آب با واكشیدگی ضخامت در گروه بندی فرآوری‌ها بوده که در آزمایش اخیر فرآوری‌ها به تعداد کمتری تقسیم شده‌اند. همچنین تعداد فرآوری‌هایی که با

در بین فرآوری‌های مختلف می‌باشد. مقاومت بالای چند سازه چوب - پلاستیک نسبت به رطوبت در کلیه منابع ذکر و نتایج این آزمایش نیز نشان دهنده همین موضوع است.

در جدول ۴ اثر فاکتورهای متغیر به شکل مستقل و متقابل بر آزمایش جذب آب فرآوری‌ها نشان داده شده است، با توجه به اینکه تنها اثر میزان پت ضایعاتی به شکل مستقل بر این خاصیت از نظر آماری معنی دار می‌باشد، گروه بندی مربوطه نیز در مورد این فاکتور مستقل محاسبه و در

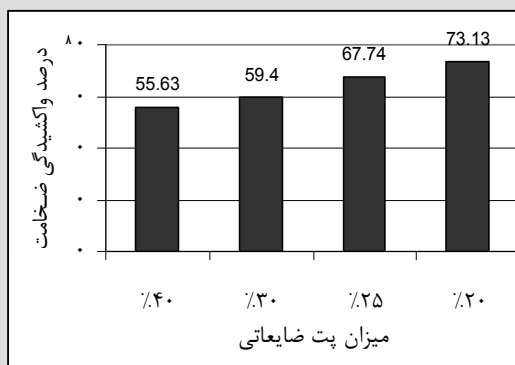
نمودارهای اشکال ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است، معنی دار نبودن سایر فاکتورهای متغیر به شکل مستقل و متقابل بر این خاصیت حاکی از عایق بودن نمونه‌ها نسبت به نفوذ رطوبت می‌باشد، بطوریکه رطوبت در داخل نمونه‌ها نفوذ نکرده و لذا تغییرات داخلی مانند لایه بندی نیز بر این خاصیت دارای اثر نمی‌باشد. اثر مستقل میزان پت ضایعاتی نیز با توجه به اینکه این فاکتور بر میزان ذرات چوبی در سطح مؤثر بوده و با افزایش آن سطح بیشتری از نمونه با پلی مرهای پولکی شکل پت ضایعاتی پوشانده می‌شوند، بر این عامل فیزیکی دارای اثر است. در گروه بندی محاسبه شده نیز نمونه‌هایی با درصد پت



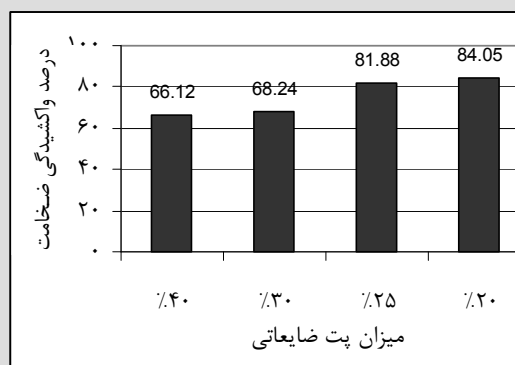
**جدول ۸-** نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش واکنش پذیری ضخامت پس از ۲۴ ساعت<sup>۲۸</sup>

(نتایج آزمون R.E.G.W.R. نیز مشابه جدول فوق می باشد)

مقاومت تیمارهایی که بصورت افقی و عمودی درمقابل یکدیگر نشان داده شده اند فاقد اختلاف معنی دار است			فراوری ها
۳	۲	۱	
		-	۱
	-	-	۲
-	-	-	۱۱
-	-	-	۹
-	-	-	۷
-	-	-	۳
-	-	-	۵
-	-	-	۱۸
-	-	-	۱۰
-	-	-	۱۶
-	-	-	۱۲
-	-	-	۱۷
-	-	-	۸
-	-	-	۴
-	-	-	۲۴
-	-	-	۶
-	-	-	۱۵
-	-	-	۲۳
-	-	-	۲۶
-	-	-	۱۹
-	-	-	۲۵
-	-	-	۲۱
-	-	-	۱۴
-	-	-	۱۳
-	-	-	۲۲
-	-	-	۲۰
-	-	-	



شکل ۱۴- اثر میزان پت بر واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت غوطه‌وری



شکل ۱۳- اثر میزان پت بر واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها پس از نمونه‌ها پس ۲۴ ساعت غوطه‌وری

افزایش آرد سبوس برنج (نوعی ماده لیگنو مانند چوب) افزایش می‌یابد (Hon, 1992). نتیجه تحقیق تجویدی و همکاران نیز بر کاهش جذب آب و واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها با افزایش مواد پلیمری اشاره دارد. همچنین نتیجه تحقیق چهار محالی نشان دهنده افزایش جذب آب و واکسیدگی ضخامت به دلیل افزایش ذرات چوبی می‌باشد (Alizadeh, 1993).

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به مصرف بسیار زیاد و رایج ماده پت در جامعه امروز و در نتیجه بوجود آمدن انبوهی زباله به دلیل یکبار مصرف بودن ظروف ساخته شده از این ماده، این بررسی با هدف استفاده مجدد از پت ضایعاتی در راستای بازیافت زباله‌های تولید شده به انجام رسیده است.

با توجه به نبود اطلاعات اولیه به دلیل عدم انجام تحقیقی مشابه در مورد ساخت چند سازه چوب - پلاستیک از پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی، به تبعیت از روش‌های بکار رفته در تولید سایر انواع چند سازه‌های چوب پلاستیک، به بررسی فاکتورهای اثرگذار و پس از اخذ اطلاعات زمینه‌ای در قالب فراوری‌هایی تأثیر سطوح مختلف متغیرهای درصد وزنی پت ضایعاتی، درصد وزنی پلی اتیلن، زمان پرس و لایه دار کردن

یکدیگر از نظر واکسیدگی ضخامت اختلاف معنی‌دار آماری دارند کمتر می‌باشد (اکثر فراوری‌ها در ستون‌های پی در پی تکرار شده‌اند) این تفاوت را می‌توان ناشی از این امر دانست که واکسیدگی ضخامت در نمونه‌های آزمایش مستلزم نفوذ رطوبت در داخل نمونه بوده و با مرطوب شدن ذرات چوب موجود در سطح محقق نمی‌گردد. عامل مذکور باعث شباهت بیشتر فراوری‌ها با یکدیگر از نظر واکسیدگی ضخامت گردیده است.

در این آزمایش نیز میزان پت ضایعاتی که افزایش ذرات آن در سطح نمونه از مرطوب شدن ذرات چوبی جلوگیری می‌نماید، دارای اثر معنی‌دار آماری می‌باشد، هرچند این ماده به دلیل وجود گروه‌های استری، در مقایسه با پلی اتیلن، آبدوست تر است ولی بر اساس نتایج اخذ شده اثر این تفاوت بر خواص فیزیکی جذب آب و واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها محسوس نمی‌باشد. مقدار پلی اتیلن بر این خاصیت مانند آزمایش جذب آب معنی‌دار نبوده که دلیل آنرا می‌توان به حجم کم آن نسبت به ذرات چوبی نسبت داد.

نتایج بدست آمده از آزمایش‌های جذب آب و واکسیدگی ضخامت با نتایج حاصل از سایر تحقیقات انجام گرفته مشابه است، بر اساس نتیجه تحقیق هان و همکاران جذب آب و واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها با

نمونه‌ها بر مقاومت خمشی (MOR)، چسبندگی (IB)، جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمایشی پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب بررسی گردید.

بر اساس نتایج آزمایش‌های فوق ترکیب ۳۰٪ ماده پت و خاک اره با ایجاد لایه‌های مقاوم سطحی به افزایش مقاومت خمشی منجر شده و وجود پلی اتیلن در لایه مرکزی نسبت به نمونه‌هایی که در مرکز آنها از ماده پت استفاده شده است (به دلیل دمای ذوب پایین تر پلی اتیلن) مقاومت چسبندگی داخلی را افزایش می‌دهد.

با وجود مشاهده اختلاف معنی دار میان نتایج آزمایشات جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، نمونه‌هایی با ترکیب پیش گفته، از نظر این دو خاصیت فیزیکی در سطح قابل قبولی می‌باشند، لذا در مواردی که تنها خواص ضد آب چند سازه مد نظر باشد می‌توان از چند سازه ای با حداقل مواد سلولزی استفاده نمود؛ در این چند سازه‌ها از ۵۰٪ مواد پلیمری استفاده گردیده و مقاومت‌های مکانیکی حدود ۳۰٪ کمتر از چند سازه‌هایی است که حاوی ۳۰٪ مواد پلیمری می‌باشند. در صورت اهمیت مقاومت‌های مکانیکی، چند سازه ساخته شده با ترکیب و روش پیشنهاد شده ذیل دارای مشخصات مورد نظر استاندارد ۲۴۹۲ بوده و نتیجه اصلی این مطالعه نیز با توجه به هدف، می‌باشد:

- ابعاد ذرات: چوبی خاک اره عبور داده شده از غربال مش ۲۰
- گونه چوبی: مخلوط گونه‌های کاج و راش
- رطوبت کیک: ۲ تا ۳ درصد
- پلیمرهای مورد استفاده: پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی خرد شده با ضخامت ۰/۳ میلی متر پس از گذشتن از غربال مش ۴
- پودر پلی اتیلن سبک دست اول
- ترکیب مواد تشکیل دهنده در هر یک از لایه‌های

سطحی رو و زیر: ۱۰٪ از وزن کل نمونه پت ضایعاتی + ۱/۳ وزن کل خاک اره در نظر گرفته شده برای نمونه لایه داخل: ۱۰٪ وزن کل نمونه پلی اتیلن + ۱/۳ وزن کل نمونه خاک اره

- دمای پرس: ۲۰۰ درجه سانتی گراد  
زمان پرس: ۱۸۰ ثانیه  
دانسیته: ۰/۸ گرم بر سانتی متر مکعب

### پی‌نوشت

1- Wood plastic composite  
۲- با توجه به استفاده از روش پرس گرم در این بررسی و امکان جایگزینی چند سازه چوب - پلاستیک تولید شده با این روش با چند سازه‌هایی مانند تخته خرده چوب از نظر کاربرد، مشخصات مذکور در استاندارد ملی شماره ۲۴۹۲ که شامل مشخصات فیزیکی و مکانیکی چند سازه‌های چوبی با دانسیته متوسط می‌باشد، به عنوان معیاری جهت تعیین ترکیب و روش مناسب ساخت چوب پلاستیک از پت ضایعاتی و خاک اره، مورد استفاده قرار گرفت.

۳- به عنوان مواد کمکی

۴- Modulus of Rupture

۵- Internal bond

۶- بر اساس منبع ۱۶ تنها مصارف ساختمانی این فرآورده در ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۶ پانصد هزار تن بوده است، این فرآورده در صنایع مختلف از جمله صنایع اتومبیل سازی کاربرد دارد.

۷- PET: پلی اتیلن ترفتالات، LLDPE/LDPE: پلی اتیلن با وزن مخصوص سبک، HDPE: پلی اتیلن با وزن مخصوص سنگین، PVC: پلی وینیل کلراید، PS: پلی استایرن

۸- PET بیشتر به عنوان ظروف برای نوشیدنی‌ها و مواد غذایی بکار می‌رود. این ماده همچنین یکی از مهم‌ترین مواد اولیه مورد استفاده در تولید فیبرهای

فویل آلومینیم و اسپری جدا کننده، بکارگیری اسپری جداکننده نتایج بهتری در پی داشت و لذا همین روش انتخاب گردید

۲۳- فاکتورهایی که سطوح آنها بین فراوری‌ها متفاوت بوده و عامل بوجود آورنده فراوری‌ها هستند.

24- two-way analysis of variance  
25- -----CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>----

۲۶- به دلیل محدودیت حرارت اعمال شده

۲۷- نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش جذب آب پس از ۲۴ ساعت نیز مشابه جدول ۱۰ می‌باشد.

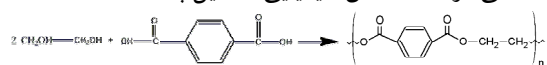
۲۸- نتیجه آزمون تکمیلی tukey HSD انجام شده بر نتایج آزمایش جذب آب پس از ۲ ساعت نیز مشابه جدول ۱۶ می‌باشد.

#### References

- Alizadeh G. R. (1993). Study on the Possibility of Utilization of Perlite in Particleboard Production; MSc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiyat Moddaress University.
- Andrea, W. and H. Salix (2007). Some of properties of wood-plastic composites. *Building and Environment*, 42:2637- 2644.
- Anonymous (2006). Iranian Almanac of Foreign and Domestic Trade. Tehran: The Ministry of Commerce.
- Ballerini, A. Fondef project NDO4I1185 (2004). Development, of chemical additives from tall oil to improve the compatibility of wood-plastic composites <[http://www.conicyt.cl/bases/fondef/PROYECTO\\_04/I/Do4I\\_1185.HTML](http://www.conicyt.cl/bases/fondef/PROYECTO_04/I/Do4I_1185.HTML).
- Chahar-mahali, M., S. Kazemi Nadjafi, M. Tajvidi and R. Haji Hassani (2005). Study on Absorption and Thickness Swelling Behavior of WPC in the Long Run. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 20: 255-271.

مصنوعی می‌باشد. بسته به روش فرآوری و حرارت دهی، پلی اتیلن ترفتالات می‌تواند به دو شکل آمورف (شفاف) و نیمه کریستال (سفید و مات) وجود داشته باشد. پلی اتیلن ترفتالات را می‌توان از طریق واکنش استری کردن ترانس اتیلن گلیکول و دی متیل ترفتالات سنتز نمود. این ماده تحت نام‌های تجاری فیلم‌های Melinex، Rynite, Impet، Arnite و Mylar و فیبرهای Dacron، Terylene و Trevira تولید

می‌گردد، واکنش شیمیایی تشکیل پت:



۹- جنبه‌های نوآوری این تحقیق عبارتند از: ساخت فرآورده WPC بصورت پانل صفحه ای با استفاده از پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی

- 10- Acrylonitrile butadiene styrene  
11- Fourier transform Infrared  
12- Polyolefin  
13- Poly vinyl chloride  
14- equilibrium moisture content  
۱۵- بیشترین توزیع آماری پولک‌های خرد شده بوسیله دستگاه‌های خردکن صنعتی در حدود الک مش ۴ است

- 16- Low density polyethylene  
17- Internal bond  
18- One-way Analysis Variance  
19- Two-way Analysis Variance  
۲۰- لایه ای و همسان بودن نمونه‌های آزمایشی ساخته شده با توجه به چگونگی توزیع ماده پلیمری پلی اتیلن تنظیم گردید، نمونه هایی که در ساختار آنها از پلی اتیلن استفاده نشده بود و همچنین یکسری از نمونه‌های با پلی اتیلن (با توجه به فراوری) به شکل همسان و در سایر فراوری‌ها از پلی اتیلن در لایه مرکزی نمونه و از پت در لایه‌های سطحی استفاده گردید

۲۱- بر اساس بررسی‌های انجام گرفته هیچ گونه سابقه ای در ارتباط با ساخت WPC با استفاده از ماده پلی اتیلن ترفتالات یافت نشد.

۲۲- از بین روشهای موجود استفاده از صفحات کاغذی،

Faculty of Natural Resources, The University of Tehran.

Verhey A. S. , E. P. Lacks, L.D. Richter, D.E. Keranen, M.G. Larkin (2002). Use of field takes to evaluate the decay resistance of wood fiber-thermoplastic composites. *Forest Protects Journal*, 53 (5): 67-74.

Wood, H., R.T.L. Shiang and J. Balatinecz (1991). Intensive mining of wood fiber with thermo plastics for injection-molded composites. *Wood/plastic composites conference proceeding*, 75-78. Madison.



Chahar-mahali, M., S. Kazemi Nadjafi and M. A. Poodineh-pour (2005). Study on the Mechanical Properties of WPC Made of Particleboard, MDF, and High Density Polyethylene Residues. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 20: 271-285.

Enayati, A. A. and A.R. Mersad (2001). A Study on the Possibility of Polystyrene Utilization in Particleboard Manufacture. *Iranian Journal of Natural Resources*, 54(1-2): 47-60.

Han-seung, Y., K. Hyun-joong, B. Hee-junpark and H. Teak-Sung (2006). Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites. *Composite Structures*, 72(4): 429-437.

Hon, D.N.S. (1992). Recycling Commingled plastics/Newspaper composites. *Plastic Engineering* (October): 25-28.

Kit, L., YAM, Binoy, K. Gogot, C.Lal Christopher, and S. E-selke (1990). Composites from compounding wood fibers with Recycled High Density polyethylene. *Polymer Engineering and Sciences*, 30: No. 11.

L. Chotirat L., k. Chaochanehaikul and N. Sombatsompop (2007). On adhesion mechanisms and interfacial strength in acrylonitrile-butadiene-styrene wood sawdust composites. *International Journal of Adhesion and Result list Adhesives*, 27 (8): 669-778.

Mehdi T., S. Hagdan and N. Seed Kazemi (2007). Physical properties of Novel Layered Composites of Wood Flour and PVC. *Journal of Rieforded Plastics and Composites*, 27(16-17): 1759-1765 .

Sarzare, M. (1996). Study on the Effect of Polyethylene on Practical Location of Particleboard. MSc. Thesis,

