



## استفاده از ضایعات پلاستیک و چوب در صنعت کامپوزیت‌ها

امیر نوربخش<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل کارگرفرد<sup>۲</sup>، فرداد گلبابائی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲۵

چکیده

برخی صنایع در دنیا همواره به دنبال ایجاد فن آوری تولید مواد و قطعات کامپوزیتی بر مبنای چوب و پلیمر و استفاده از آن بوده‌اند. بر اساس قوانین محیط‌زیستی اتحادیه اروپا جایگزینی ۸۰ درصد قطعات بدنه و تزئینات داخلی خودروها، پروفیل‌های در و پنجره، کف‌سازی ساختمان‌ها، و لوازم چوبی خانگی با این نوع کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۲۵ میلادی مد نظر است. اهمیت مواد لیگنوسلولزی به اندازه‌ای زیاد شده که این مواد امروزه به‌عنوان تقویت‌کننده پلاستیک‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. استفاده از ضایعات پلیمری و چوبی در دنیا موضوعی ارزشمند است که به دلایل بسیاری از جمله ارزانی، بازیافت پذیری، ایجاد ارزش افزوده و کاهش انرژی مد نظر محققان قرار گرفته است. انواع پلیمرهای ضایعاتی شامل پلی پروپیلن (PP) و پلی اتیلن سنگین (HDPE) دارای حجم تولید بسیار بالایی هستند. علاوه بر آن پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی استایرن (PS) و پلی اتیلن سبک (LDPE) نیز از حجم تولید قابل توجهی برخوردارند. انواع گرمانرم‌ها که به شکل‌های مختلف تولید می‌شوند بعد از مصرف قابلیت بازیافت را دارند. نتایج تحقیقات در این زمینه نشان داده است که می‌توان از انواع ضایعات چوبی و سلولزی به همراه ضایعات پلیمری در ساخت کامپوزیت چوب-پلاستیک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ضایعات چوب، ضایعات پلاستیک، کامپوزیت، کاربرد

### Utilization of waste plastic and wood in the composites industry

A.Nourbakhsh<sup>1\*</sup>, A.Kargarfard<sup>2</sup>, and F.Golbabaei<sup>3</sup>

#### Abstract

Some industries in the world are always looking for technologies to produce composite materials based on wood and polymers. Based on the European Union environmental legislation, replacing 80% of car body parts and interior trim, window and door profiles, flooring buildings, and wooden home appliances with this type of composites is targeted by 2025. The importance of lignocellulosic materials is high enough that the material is regarded as reinforced plastics by many researchers. The use of plastic and wood waste in the world is something worthwhile receiving high attention by researchers for various reasons including affordability, sustainability, added value, and reducing energy. Types of waste polymers including polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE) have a very high production volume. In addition, polyethylene terephthalate (PET), polystyrene (PS) and polyethylene (LDPE) are also of considerable production volume. Types of thermoplastics produced in various forms can be recycled after use. Research in this field has shown that wood and cellulosic waste with plastic waste could be used in the manufacture of wood-plastic composites.

**Keywords:** Waste wood, waste plastics, composite application

۱- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: Nourbakhsh\_amir@yahoo.com

۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

1\*- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran  
E-mail: Nourbakhsh\_amir@yahoo.com

2- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

## ● مقدمه

تحقیقات گسترده‌ای که در دنیا برای ارتقای مواد صورت می‌گیرد، بیشتر در جهت کاهش وزن، ثبت مقاومت‌های بالاتر و بهای کمتر بوده است. در جریان تولید و استفاده از مواد به‌جایی می‌رسیم که آن مواد بدون کاربرد و استفاده می‌شوند. بنابراین محققان و صاحبان صنایع در دنیا به‌طور جدی برای بهبودی مواد و تکامل آنها در تلاش هستند. کامپوزیت‌ها از جمله موادی به‌شمار می‌روند که در طبقه‌بندی جدید مورد توجه قرار گرفته‌اند. یک ماده کامپوزیتی از دو یا چند فاز تشکیل شده که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی از یکدیگر دارند. فاز اولیه، توده پیوسته بوده و فاز ثانویه یا غیرپیوسته به‌عنوان تقویت‌کننده معمولاً سفت‌تر و محکم‌تر از فاز اولیه است. وظیفه فاز اولیه نگهداری از الیاف و انتقال نیرو به فاز ثانویه بوده و نقش فاز ثانویه هم تقویت فیزیکی و مکانیکی فاز اولیه است. به‌طور کلی نقش تقویت‌کننده‌ها در مواد کامپوزیتی تحمل عمده بار وارده بر ساختار کامپوزیت است. بدین ترتیب تقویت‌کننده‌ها از اصلی‌ترین اجزای مواد کامپوزیتی به‌شمار می‌روند. بسیاری از خواص کامپوزیت‌ها از جمله ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تحت تأثیر مستقیم تقویت‌کننده‌ها و همچنین میزان

و چگونگی آرایش آنها در ساختار کامپوزیت است. تنوع کامپوزیت‌ها به‌عنوان یک ماده مهندسی به سبب کاربردهای متنوع، بازار وسیع، شکل، نوآوری و طراحی مواد دارای جاذبه‌های زیادی برای محققان و صاحبان صنایع کامپوزیتی، پلاستیکی و چوبی و رشته‌های مشابه است. هدف از توسعه کامپوزیت‌ها رسیدن به مجموعه‌ای از خواص است که یک ماده به‌تنهایی دارای آن نیست. رشد ۵۰ درصدی بازار جهانی محصولات و پروفیل‌های ساختمانی و لوازم اداری و خانگی و همچنین افزایش ۳۵ درصدی استفاده برخی دیگر از قطعات حاصل از این کامپوزیت‌ها، سودآوری و آینده این صنعت را تضمین می‌کند. مواد پلیمری که همان ماده زمینه یا ماتریس محسوب می‌شوند شامل پلیمرهای گرم‌انرم یا پلیمرهای گرم‌سخت هستند. کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک دارای کاربردهای وسیعی همچون صنایع خودروسازی، ساختمانی، دریایی، الکترونیکی، در و پنجره‌سازی، پروفیل، کف‌سازی، هوا و فضا، موارد نرده‌ای و ریلی هستند.

بازار صنایع چوب-پلاستیک در حال حاضر فعالیت‌های اقتصادی بیش از چندین میلیون دلاری را به‌خود اختصاص داده‌اند. همچنین بازار وسیع استفاده از الیاف طبیعی در صنایع کامپوزیت در جهت جایگزینی الیاف شیشه و سایر مواد مصنوعی گام

برمی‌دارد. از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۰۳ استفاده از الیاف طبیعی کامپوزیت‌ها در صنایع خودروسازی آلمان از ۴ هزار تن به ۱۸ هزار تن در سال افزایش داشته است. در مطالعه‌ای که در آمریکای شمالی صورت گرفته نیز برآورد شده که ظرفیت بازار ۴۵ هزار تنی برای الیاف طبیعی چون جوت، شاهدانه، فلاکس و سیزال انتظار رشدی ۱۵ تا ۲۰ درصدی را در هر سال داشته است. بر اساس گزارش سازمان خواربار جهانی (FAO) به‌طور متوسط ۵ تا ۱۰ کیلوگرم الیاف طبیعی در آینده‌ای نه‌چندان دور در صنایع خودروسازی به ازای هر خودرو استفاده خواهد شد.

استفاده از ضایعات پلیمری در دنیا موضوعی ارزشمند است که به‌دلایل متعدد از جمله ارزانی، بازیافت‌پذیری، ایجاد ارزش افزوده و کاهش انرژی مد نظر محققان قرار گرفته است. انواع پلیمرهای ضایعاتی شامل پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) دارای حجم تولید بسیار بالایی هستند. علاوه‌بر آن پلی‌اتیلن تری‌فتالات (PET)، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌اتیلن سبک (LDPE) نیز از حجم تولید قابل توجهی برخوردارند.

انواع گرم‌انرم‌ها که به شکل‌های مختلف تولید می‌شوند بعد از مصرف قابلیت بازیافت دارند. بنابراین با استفاده از



شکل ۱- استفاده از گرانول‌های ترکیب‌شده چوب و پلاستیک در ساخت کامپوزیت‌ها



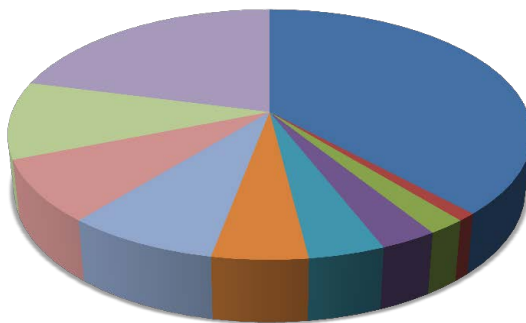
شکل ۲- کاربردهای کف سازی محصولات چند کامپوزیتی

در حال افزایش بوده و نداشتن وابستگی به سوخت‌های فسیلی و امکان استفاده از منابع تجدیدشونده شعار قوی این صنعت است. بر اساس گزارش آژانس انرژی آمریکا (DOE) منابع تجدیدشونده تا سال ۲۰۲۰ حدود ۱۰ درصد مواد ساختمانی شیمیایی بر پایه الیاف طبیعی را به خود اختصاص خواهند داد (شکل ۱). همچنین با روند توسعه و تحقیقات به دست آمده تا سال ۲۰۵۰ این میزان به حدود ۵۰ درصد خواهد رسید (Sain, 2002).

تجارت کامپوزیت‌های بر پایه الیاف طبیعی به شدت در حال رشد است. رشد این صنعت در سال ۲۰۰۰ حدود ۵۰ درصد بوده و به این ترتیب بر اساس گزارش‌های

کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک دارای رشد بسیار سریعی هستند. این محصولات در سال ۲۰۰۲ در اروپا و آمریکای شمالی به سرعت به روند رشد خود ادامه داده و تقاضای ۱/۵ میلیون پوندی به ارزش ۷۷۵ میلیون دلار را شامل شده‌اند. استقبال از آنها در بازارهای آمریکای شمالی به مراتب وسیع‌تر از اروپا بوده و ۸۵ درصد تقاضا معادل ۱/۳ میلیون پوند را در این سال شامل شده است. تکامل فرآورده‌های ساختمانی این محصول اخیراً در ۳۰ درصد صنایع کف‌سازی و پروفیل در و پنجره بوده و انتظار می‌رود در چند سال آینده دارای رشدی ۳۰ درصدی باشد. توسعه محصولات بر پایه الیاف طبیعی در سال‌های اخیر به سرعت

سیستم‌های جداسازی و تفکیک می‌توانند به عنوان ماده اولیه ضایعاتی دوباره در ساخت محصولات پلیمری استفاده شوند. در این راستا تحقیقات گسترده‌ای در دنیا و ایران صورت گرفته است. اکنون بیشتر پلاستیک‌های تقویت‌شده (کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک) با الیاف طبیعی توسط شرکت‌های اروپایی و آمریکایی همانند ترکس، یواس پلاستیک الوار و سایر شرکت‌های مشابه تهیه می‌شود. همچنین شرکت‌هایی در آسیا همچون EIN در ژاپن با استفاده از چوب‌های ضایعاتی و پلاستیک‌های بازیافتی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک را برای کاربردهای بیرونی ساختمانی تولید می‌کنند. شرکت هلندی تک‌وود اینترنشنال نیز قطعات ساختمانی از جمله چهارچوب در و پنجره، روکش‌های دیوار و کف‌پوش را تولید می‌کند. کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در دو دهه اخیر بیشتر به کار برده شده و صنایع پلاستیک به طور تجاری از مواد تالک، کربنات کلسیم، میکا و الیاف مصنوعی برای اصلاح پلاستیک‌ها استفاده می‌کنند. بر اساس گزارش اکرت در سال ۲۰۰۰ میلادی حدود ۲/۵ میلیون کیلوگرم معادل ۵/۵ میلیون پوند از مواد پرکننده و تقویت‌کننده استفاده شده است. بنابراین صنایع جدید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک با مسایلی نظیر استفاده از الیاف طبیعی همانند کنف، کتان و سایر منابع تجدیدشونده با ارزش کمتر روبه‌رو شدند.



شکل ۳- کاربردهای کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک بدون کاربردهای خودروسازی

کلاین در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ رشد این صنعت بیش از ۶۰ درصد بوده است. قسمت اعظم این رشد مربوط به کاربردهای ساختمانی از جمله کف‌پوش‌ها، نرده، قاب و پنجره بوده است. از لحاظ بازار نیز کفی‌ها در رتبه نخست محصولات کامپوزیتی چوب-پلاستیک قرار داشته‌اند. اکنون ۸۰ درصد از کل بازار کفی‌ها به ارزش تقریبی ۳۰۰ میلیون دلار مربوط به این محصولات است. از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ میزان استفاده از محصولات کفی سالانه دو برابر شده و با وجود بهای اولیه بالاتر، به دلیل کمتر بودن هزینه نگهداری و مسایل زیست‌محیطی کاربرانشان بسیار موفقیت‌آمیز بوده است. بر اساس نتایج مطالعاتی که توسط مؤسسه آلمانی نوانجام شده، با وجود شرایط نامطلوب اقتصادی و فشار زیاد هزینه‌ها، الیاف طبیعی جایگاه خود را در صنعت خودروسازی آلمان تثبیت کرده و پیشرفت‌های شایان ذکری داشته است. مؤسسه پرینسی‌پا پارتنرز میزان تقاضا برای کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در آمریکای شمالی و اروپای غربی را در سال ۲۰۰۲، ۶۸۰ هزار تن اعلام کرده است. در سال ۲۰۰۳ نیز مصرف کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف کتان و شاهدانه-کنف در آلمان با ۵ درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۰۲ به ۴۵ هزار تن رسیده بود. این مواد بیشتر در صنایع حمل‌ونقل و صفحات تودری خودروها مورد استفاده قرار گرفت و میزان به‌کارگیری این نوع کامپوزیت‌ها در آن سال از مرز ۳۶ هزار تن گذشت. همان سال در هر کدام از ۵/۵ میلیون دستگاه خودرو تولید شده در آلمان به‌طور متوسط ۱۶ کیلوگرم الیاف طبیعی استفاده شده بود. در آینده استفاده از الیاف طبیعی در صنایع، بهای مواد اولیه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. برخی مزایای محصولات کامپوزیتی

عبارتند از:

- کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی و کاهش مصرف پلاستیک و پلیمرهای معمولی آلاینده محیط‌زیست از طریق تولید ماده‌ای با دارا بودن خاصیت تخریب بیولوژیکی در طبیعت و نداشتن آلودگی زیست‌محیطی
- نبودسایش ماشین‌آلات، قابلیت‌شکل‌دهی و قالب‌گیری بالا، خواص و مقاومت‌های ویژه، سهم عالی از منابع داخلی، سود مناسب ناشی از فروش در بازار جهانی، بزرگی و تنوع بازار هدف
- برگشت مناسب سرمایه، ارزش افزوده عالی، ارزش افزوده صادراتی خوب، رشد عالی بازار داخلی و جهانی
- ضد آب و مقاوم بودن در برابر حرارت، قابلیت آنتی باکتریال، ضد خش، مقاوم در برابر عوامل محیطی، رطوبت و قارچ‌ها، دارا بودن قابلیت بازیافت
- مقاومت در برابر حشرات، عاری بودن از هر گونه گاز فرمالدئید یا ترکیبات آلی ناپایدار برخلاف MDF و سایر محصولات مشابه، دوام، سختی و انبساط خطی مناسب، سبک بودن و قابلیت حمل آسان
- مقاومت در برابر فرسودگی و خوردگی، پایداری ابعادی (حداقل تغییر شکل زیر فشار بار)
- عمر مفید طولانی و هزینه نگهداری پایین حتی در شرایط آب و هوایی نامساعد

● ابزارخوری مناسب و قابلیت کار آسان با ابزار نجاری و چوب، استهلاک پایین (شکل ۲).

### ● کاربردها

کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک دارای کاربردهای وسیعی در صنایع خودروسازی، ساختمانی، دریایی، الکترونیکی، در و پنجره‌سازی، پروفیل، کف‌سازی، هوافضا، نرده و ریلی هستند. همچنین امروزه بازار صنایع کامپوزیتی چوب-پلاستیک، فعالیت‌های اقتصادی چند میلیون دلاری را به خود اختصاص داده است. بازار وسیع استفاده از الیاف طبیعی در صنایع کامپوزیت در جهت جایگزینی الیاف شیشه و سایر مواد مصنوعی گام بر می‌دارد. ساخت قطعات خودرو و قسمت‌های داخلی آن شامل قطعات داخلی خودرو، درها و تزئینات داخلی، صندلی‌ها، داشبورد، پرده‌ها، و غیره از کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در حال گسترش است. استفاده از الیاف طبیعی در صنایع خودرو برای مقاصد عایق‌های صوتی، حرارتی نیز متداول شده است (شکل ۳). به‌عنوان مثال استفاده از الیاف فلاکس در لنت ترمز ماشین و جایگزینی آن با الیاف آزیست از جمله کاربردهای این نوع الیاف است (Bismark et al., 2006). در سال‌های گذشته شرکت خودروسازی دایملر-بنز، ایده جایگزینی الیاف شیشه با الیاف طبیعی را در ترکیبات قطعات خودرو در سال ۱۹۹۱ ابداع کرد. سال ۱۹۹۶ این شیوه در پانل‌های درهای خودرو مرسدس بنز بر مبنای الیاف جوت در کلاس E مورد استفاده قرار گرفت. در سپتامبر سال ۲۰۰۰ شرکت دایملر-کرایسلر شروع به استفاده از الیاف طبیعی برای وسایل نقلیه خود کرد. الیاف مورد نظر از نوع باست بود، که مورد توجه این شرکت قرار گرفت. کاهش

**تجارت**  
کامپوزیت‌های بر پایه الیاف طبیعی به‌شدت در حال رشد است. رشد این صنعت در سال ۲۰۰۰ حدود ۵۰ درصد بوده و به این ترتیب بر اساس گزارش‌های کلاین در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ رشد این صنعت بیش از ۶۰ درصد رسیده است.



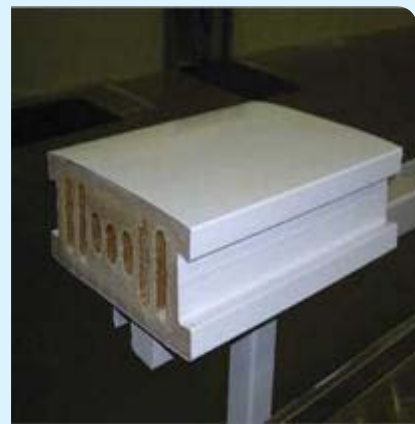
شکل ۴- نمونه‌هایی از کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در پنل‌های داخلی خودرو



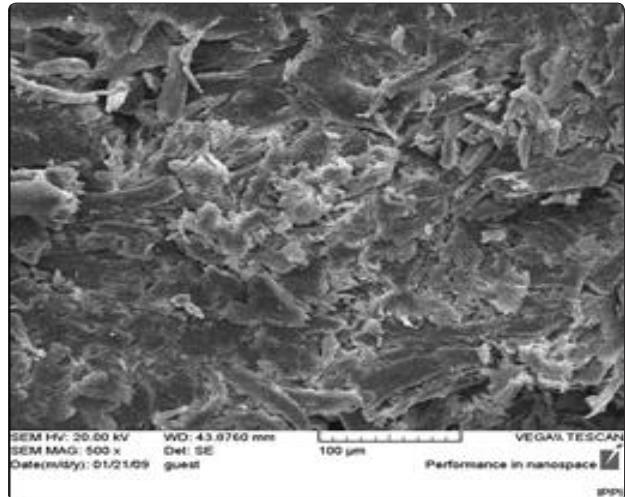
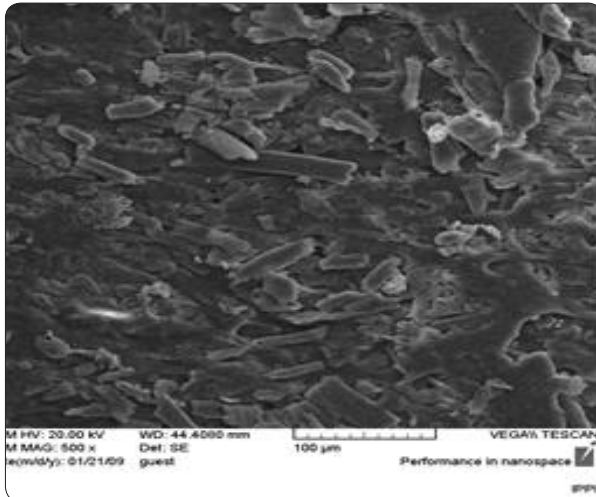
وزن در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد از مسایل مورد علاقه این شرکت بود. در سال ۲۰۰۵ شرکت‌های مختلف خودروساز آمریکایی و اروپایی از جمله دایملر-کرایسلر، مرسدس بنز، فیات، فورد، پژو، رنو، فولکس واگن، گروه آتودی، بی ام دبلیو و اپل، کاربرد الیاف طبیعی را در محصولات خود مورد توجه قرار دادند. مسایل تکنیکی همچون خواص مکانیکی بالاتر، نقش عایق‌بودن، کاهش وزنی مواد، مصرف انرژی و سوخت، زمان تولید، بهبودی ایمنی سرنشینان خودرو،

خواص حرارتی بهتر و بهبودی تخریب پذیری قطعات داخلی (شکل ۴)، مصرف الیاف طبیعی را به‌عنوان تقویت‌کننده در کامپوزیت مورد توجه قرار داده است (Chen et al., 2005). استفاده از کامپوزیت چوب-پلاستیک در ساخت صفحات کفی نیز حجم قابل توجهی را به‌خود اختصاص داده و بازار این فرآورده در سال‌های اخیر با سرعت زیادی رشد داشته است. تنها در کشور آمریکا حجم این محصول به ۳/۴ تریلیون پوند فوت رسیده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۱ به تقاضایی در حدود ۱۳/۷ میلیون مترمکعب برسد.

محصولات ریلی نیز یکی از فرآورده‌های کامپوزیت چوب-پلاستیک است. در بریتانیا استفاده از الیاف طبیعی در فضا‌های بیرونی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای فرآورده‌های سنتی در حال گسترش است. استفاده از این نوع کامپوزیت‌ها در مواردی همچون نرده‌های حصارکشی، نیمکت‌ها و صندلی‌های خارج از ساختمان نیز متداول شده است. مصارف ساختمانی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک در سال ۲۰۰۲ دارای ارزشی حدود ۸۶۰ میلیون دلار بوده است. کاربرد اصلی این فرآورده در مصارف ساختمانی، پروفیل‌های



شکل ۵- کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک و موارد کاربرد آن در صنایع مختلف دریایی و ساختمانی



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی نمونه‌های کششی با بزرگ‌نمایی ۱۰۰، تصویر سمت راست نمونه حاوی ۲ درصد نانورس و پلی اتیلن ضایعاتی / تصویر سمت چپ نمونه حاوی ۲ درصد نانورس و پلی پروپیلن ضایعاتی

وجود دارد که کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک جزو طبقه سوم بوده و به‌عنوان ماده‌ای تقویت‌کننده در ماتریس گرمانرم مطرح است. توجه به این نکته ضروری است که امروزه طبقه‌بندی‌های مختلفی در این نوع کامپوزیت‌ها وجود دارد که بسته به شرایط تولید قابلیت تغییر دارند و تولید آنها به کمک روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. البته کلید موفقیت در تولید این محصولات ضریب پخش مناسب ترکیبات چوبی به ماتریس پلیمری است (شکل ۶). به‌طورکلی بیشتر روش‌های تولید با استفاده از اکسترودرهای دو مارپیچه یا با روش‌های مخلوط‌سازی مذاب است. در ابتدا مواد اولیه به‌طور کافی با هم مخلوط شده و سپس کامپوزیت به‌دست آمده به شکل نهایی خود با

دکوراتیو، دیوارکوب‌های داخلی، کابینت آشپزخانه، میلمان، عایق‌های ضد رطوبت و صوت، کفی کامیونت‌ها و اتوبوس‌ها، پوشش سقف، مصارف باغی، لوازم بازی کودکان، لوازم ورزشی، مصارف بسته‌بندی، پالت‌سازی، ترکیبات مورد استفاده در لنگرگاه‌ها، انواع موج‌شکن و تابلوهای تفرجگاهی اشاره کرد.

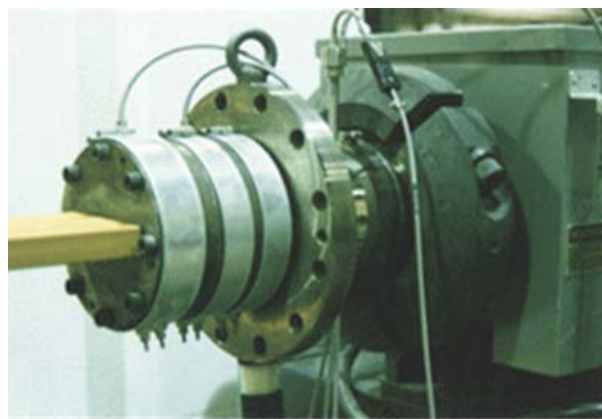
### ● روش‌های ساخت

روش‌های ساخت در کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک با توجه به میزان مواد چوبی و سلولزی مورد استفاده به دو شکل متفاوت است. در حالت اول ماده پلیمری به‌عنوان ماده فرعی در شبکه کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حالت دوم ماده پلیمری به‌عنوان ماده اصلی در شبکه کامپوزیت مطرح است. در حالت دوم، سه طبقه‌بندی

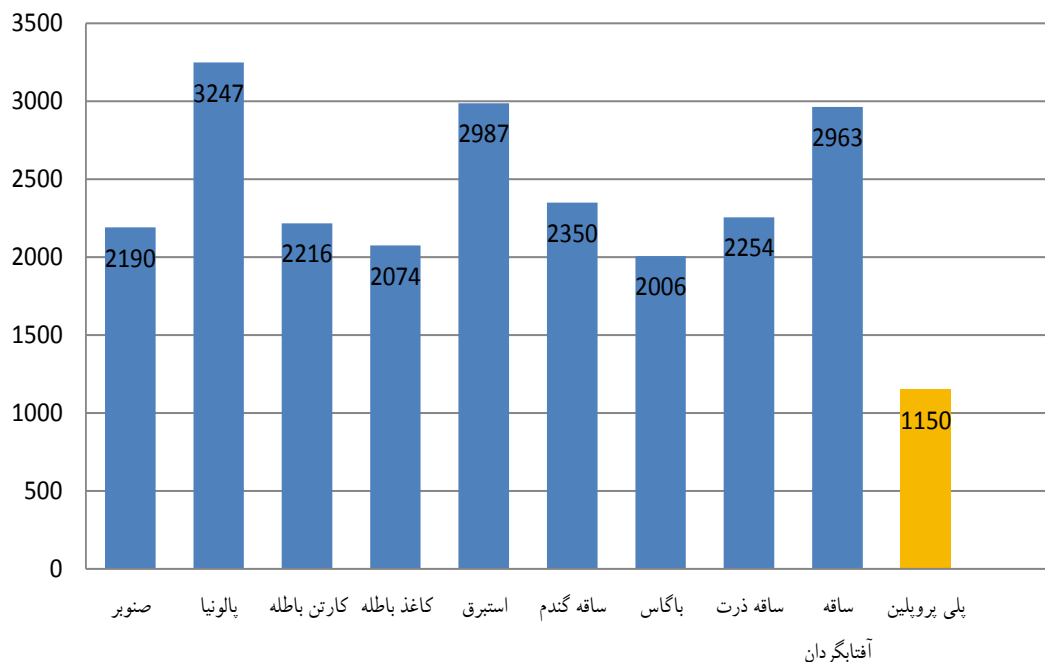
در و پنجره در فضاها بیرونی است. تقاضا برای این محصول در سال ۲۰۰۶ بالغ بر ۱۳۵ میلیون دلار معادل رشد دو برابری نسبت به سال ۲۰۰۱ بوده است.

در مصارف دریایی، جایگزینی کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک با مواد چوبی حفاظت‌شده از نوع CCA و جنبه‌های زیست‌محیطی آن مورد توجه قرار گرفته است. انتظار می‌رود این محصولات بتوانند جایگزین چوب‌آلات تیمار شده حفاظتی شوند. استفاده از این فرآورده در عرشه‌ها و اسکله‌های شناوری که از نوع سبک ساخته می‌شوند نیز مورد توجه قرار دارد (شکل ۵).

از دیگر کاربردهای کامپوزیت‌های دارای لیاف طبیعی می‌توان به صنایع مختلفی همچون قایق‌سازی، الوار و تخته، نردبان و پلکان‌ها، پوشش بام، سایبان، مقاطع



شکل ۷- روش اکسترودر در تولید کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک



شکل ۸- مدول الاستیسیته خمشی کامپوزیت چوب-پلاستیک با ۳۰ درصد الیاف سلولزی و مقایسه آن با پلیاستیک شاهد

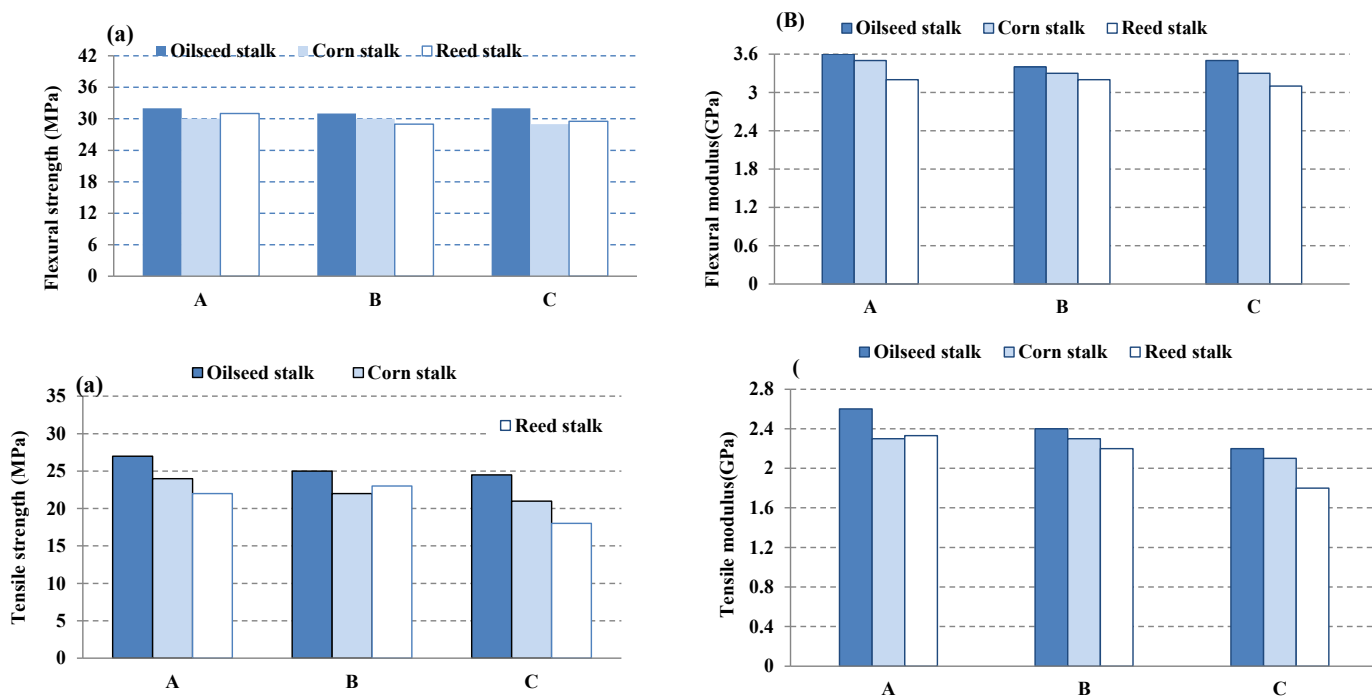
پلی اتیلن و پلی پروپیلن ضایعاتی فواصل میان لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته است. همچنین فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی ذرات نانورس به دلیل نفوذ زنجیرهای پلیمری افزایش یافته ولی جدایی کامل ذرات نانورس صورت نگرفته است. مطالعات میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) نیز نشان داده که حضور حفره‌ها در سطح شکست نمونه حاوی پلی پروپیلن به همراه ۲ درصد نانو حاکی از اتصال ضعیف بین ماده لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری دارد. در مقایسه با این تصویر سطح شکست نمونه حاوی ۲ درصد نانو و پلی اتیلن را نشان داده که با حفره‌های کمتر و پوشش مناسب‌تر، اتصال بهتری بین ماده زمینه و ماده لیگنوسلولزی داشته است (شکل ۸). در تحقیقی دیگر (Nourbakhsh and Ashori, 2010) در خصوص استفاده از ضایعات و پسماندهای کشاورزی در ساخت کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک استفاده از سه نوع ضایعات ساقه ذرت، ساقه نی و ساقه آفتابگردان در مقادیر مختلف ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد الیاف مورد توجه قرار گرفت. در این بررسی استفاده از کربنات کلسیم نیز به عنوان پرکننده در فرآیند کامپوزیت در مقادیر ۱۰ و ۲۰

به صورت تک ماریچه یا دو ماریچه وجود داشته باشند. این ماریچه‌ها می‌توانند به صورت موازی و مخروطی شکل به کار روند (شکل ۷).

#### ● یافته‌ها

در ارتباط با استفاده از مواد اولیه چوبی و غیرچوبی تحقیقاتی در بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شده است. در تحقیقی استفاده از دو نوع پلیمر ضایعاتی به همراه نانو ذرات رس در ساخت کامپوزیت چوب-پلاستیک استفاده شده است. در این تحقیق اثر دو پلیمر ضایعاتی پلی پروپیلن و پلی اتیلن سنگین و سه سطح الیاف باگاس ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد به عنوان عوامل متغیر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داده که استفاده از ضایعات پلی اتیلن سنگین (rHDPE) سبب افزایش مقاومت کششی، مدول خمشی و مقاومت به ضربه نسبت به ضایعات پلی پروپیلن (rPP) شده است. منحنی پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه‌ها حاوی ۲ درصد نانورس به همراه پلی پروپیلن و پلی اتیلن ضایعاتی ترسیم شده است. با تغییر تیمار از نانورس خالص به نانورس در سطح ۲ درصد در

کمک روش‌های شکل‌گیری همانند اکستروژن یا قالب‌گیری درمی‌آید. بیشتر تولیدکنندگان کامپوزیت چوب-پلاستیک از روش‌های اکستروژن پروفیلی استفاده می‌کنند تا قطعات پیوسته بلند همانند تخته‌های کفی یا ترکیبات در و پنجره تولید شود. مخلوط پلیمرها با مواد چوبی به طور معمول، به شکل پلت به سمت تغذیه‌کن‌های اکسترودر هدایت می‌شوند. پس از ورود مواد به منطقه اولیه اکسترودر، پیچ‌ها گرم شده و مواد پلیمری، نرم و ذوب می‌شوند. سپس مواد ذوب‌شده از طریق یک منطقه خروجی به شکل پروفیل‌های پیوسته درمی‌آیند. این مواد چوب-پلاستیکی ذوب‌شده دارای گرانروی (ویسکوزیته) بالایی هستند، بنابراین تجهیزات، نیاز به قدرت کافی برای هدایت مواد در طول ماشین تا منطقه خروجی را دارند. پس از آنکه مواد چوب-پلاستیک از دستگاه اکسترودر خارج شدند، به تدریج در یک اتاقک با جریان اسپری آب گرم یا حمام آب سرد هدایت‌شده و به سرعت ماتریس پلیمری سخت می‌شود. در نهایت مواد چوب-پلاستیک به شکل نهایی مورد نظر درآمده و به ابعاد مناسب بریده می‌شوند. اکسترودرها می‌توانند



شکل ۹- ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت چوب- پلاستیک با استفاده از سه نوع ضایعات کشاورزی

properties. *Polymers and Polymer Composites*. 16 (5): 283-287.

Nourbakhsh, A., and Ashori, A., 2009. Preparation and properties of wood plastic composites made of recycled HDPE. *Composite Materials*. 43 (8): 877-883.

Nourbakhsh, A., Kouhpayehzadeh, M., 2009. Mechanical Properties and Water Absorption of Fiber-Reinforced Polypropylene Composites Prepared by Bagasse and Beech Fiber. *Applied Polymer Science*. 114 (4): 653-657.

Nourbakhsh, A., and Ashori, A., 2008. Fundamental studies on wood-plastic composites: Effects of fiber concentration and mixing temperature on the mechanical properties of poplar/PP composite. *Polymer Composites*. 29 (5): 569-573.

Nourbakhsh, A., Ashori, A., and Kouhpayehzadeh, M., 2009. Giant milkweed (*Calotropis persica*) fibers -- A potential reinforcement agent for thermoplastics composites. *Reinforced Plastics and Composites*. 28 (17): 2143-2149.

Ashori, A., & Nourbakhsh, A., 2009. Mechanical behavior of agro-residue reinforced polyethylene composites. *Applied Polymer Science*. 111 (5): 2616-2620.

Nourbakhsh, A., Hosseinzadeh, A., and Basiji, F., 2011. Effects of filler content and compatibilizing agents on mechanical behavior of the particle-reinforced composites. *J. Polymer Environ*. 19. 908-911.

تجزیه شدن سریع‌تر این نوع کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک پس از مصرف و کاهش اثرات تخریبی محیط نسبت به مواد خالص شیشه‌ای و پلیمری که تجزیه آنها صدها سال به طول انجامیده و اثرات مخرب زیست‌محیطی را در طبیعت به‌دنبال دارند. - کاهش هزینه‌های تولید و کاهش وزن کامپوزیت در مسایل مربوط به ساخت قطعات داخلی خودرو و حمل و نقل - استفاده از طیف گسترده پسماندهای الیافی کشاورزی (سلولزی)، ضایعات کاغذی، روزنامه‌ای، کارتن و مقوا در ترکیب ساخت کامپوزیت

#### منابع

Nourbakhsh, A., and Ashori, A., 2010. Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis of mechanical properties. *Bioresource Technology*. 101. 2525-2528.

Nourbakhsh, A., Kokta, B.V., Ashori, A. and Jahan-Latibari, A., 2008. Effect of a novel coupling agent, polybutadiene isocyanate, on mechanical properties of wood-fiber polypropylene composites. *Reinforced Plastics and Composites*. 27 (16-17): 1679-1687.

Nourbakhsh, A., and Ashori, A., 2008. Highly fiber-loaded composites: Physical and mechanical

درصد استفاده شد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این بررسی مشخص شده که استفاده از الیاف ساقه آفتابگردان که ضریب کشیدگی بالاتری نسبت به ساقه ذرت و ساقه نی داشته دارای ویژگی‌های کاربردی مناسب‌تری است. همچنین خواص کششی و خمشی در کامپوزیت‌هایی که در ترکیب آنها کربنات کلسیم بوده کاهش یافته ولی از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر بوده است (شکل ۹).

#### نتیجه‌گیری نهایی

انواع گرمانرم‌ها که به شکل‌های مختلف تولید می‌شوند بعد از مصرف می‌توانند بازیافت شوند. نتایج تحقیقات در این زمینه نشان داده که می‌توان از انواع ضایعات چوبی و سلولزی به‌همراه ضایعات پلیمری در ساخت کامپوزیت چوب- پلاستیک استفاده کرد. از این‌رو با توجه به قابلیت‌های ویژه این مواد بهره‌گیری گسترده از آنها باید مورد توجه قرار گیرد. برخی از مهمترین موارد استفاده و ویژگی‌های کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک عبارتند از:

- استفاده از انواع ضایعات پلاستیکی، زباله‌های پلیمری و شهری در تولید کامپوزیت چوب- پلاستیک