



## بررسی اثر رزین‌های اپوکسی - پلی‌استر حاصل از ضایعات رنگ‌های پودری بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه چوب - پلاستیک

زینب فرهادی‌نژاد<sup>۱</sup>، مرتضی احسانی<sup>۲\*</sup>، بهمن خسرویان<sup>۳</sup>، قنبر ابراهیمی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۳۱۱۵-۱۴۹۷۷

۲- دانشیار، پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۳۱۱۵-۱۴۹۷۷

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷

۴- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

### چکیده

برای بررسی تأثیر رزین اپوکسی - پلی‌استر بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی آمیزه چوب - پلاستیک، پلی‌پروپیلن، آرد چوب و رزین اپوکسی - پلی‌استر، توسط مخلوط‌کن داخلی (بنبوری) مخلوط شده و پس از قالب‌گیری مورد آزمایش قرار گرفتند. رزین اپوکسی - پلی‌استر قادر است در دمای اختلاط مواد آمیزه، ایجاد پیوندهای عرضی نماید و خواص آمیزه را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج آزمون‌های کششی و خمشی نشان داد که افزایش میزان رزین اپوکسی - پلی‌استر در آمیزه موجب افزایش مدول کششی و خمشی شده در حالی که استحکام مکانیکی و ازدیاد طول هنگام شکست را کاهش می‌دهند. همچنین اضافه کردن این مواد به آمیزه موجب کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌ها نیز می‌شود. اما از طرفی استفاده از چنین رزین‌هایی موجب کاهش جذب آب در نمونه و در نتیجه کاهش واکنشیدگی ضخامت می‌شود و به این ترتیب از ایجاد تنش‌های ناشی از تورم نمونه به علت جذب آب و جمع‌شدگی به دلیل از دست دادن رطوبت جلوگیری می‌کند. واژه‌های کلیدی: آمیزه چوب - پلاستیک، رزین اپوکسی - پلی‌استر، چگالی پیوند عرضی، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، واکنشیدگی ضخامت.

## Investigation of Epoxy-Polyester Resin Effect Resulting from Waste Powder Coating on the Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composite

Z. Farhadinejad<sup>1</sup>, M. Ehsani<sup>1\*</sup>, B. Khosravian<sup>2</sup>, G. Ebrahimi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Polymer Processing, Iran Polymer and Petrochemical Institute, P. O. Box: 14977-13115, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Wood and Paper Science Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Tehran, Iran

Received: 03-01-2012

Accepted: 22-05-2012

Available online: 08-02-2013

### Abstract

To investigate the effect of epoxy-polyester resin on mechanical and physical properties of wood-plastic composite, polypropylene, wood flour and epoxy-polyester resin were mixed by an internal mixer and molded. The epoxy-polyester resin can be cured and made cross links between chains at the mixing temperature; so it can affect the properties of the composite. The result of tensile and flexural tests revealed that introduction of epoxy-polyester resin increased tensile and flexural modulus but reduced mechanical strength as well as elongation at break. Also such a material decreased impact strength. On the other hand, epoxy-polyester resin reduced water absorption of the samples and consequently decline thickness swelling. Therefore, it reduced stresses which were produced by swelling as a result of water absorption in the sample and shrinkage after drying. *J. Color Sci. Tech.* 6(2013), 321-327 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Wood-plastic composite, Epoxy-polyester resin, Cross link density, Mechanical properties, Physical properties, Thickness swelling.

## ۱- مقدمه

را عرضه می‌کند، ضایعات حاصل از پوشش‌های پودری می‌باشد. پوشش‌های پودری حاوی یک بستر پلیمری، رنگدانه و مواد افزودنی است که به صورت پودرهای ریز تولید می‌شوند. عموماً از رزین‌های اپوکسی و پلی‌استر در ترکیب این پوشش‌ها استفاده می‌شود که قابلیت تشکیل پیوندهای عرضی را دارا می‌باشند. در حین تولید و یا مصرف پوشش‌های پودری، ضایعاتی برجا می‌ماند که قابلیت استفاده به عنوان پوشش را ندارند. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای به کارگیری مجدد و یا بازیافت این مواد صورت گرفته است [۲۶-۲۳]. میزان ضایعات در حین تولید پوشش‌های پودری ۲٪ و در حین مصرف به بیش از ۳٪ می‌رسد که با توجه به میزان بسیار زیاد تولید پوشش‌های پودری در کشور (۱۵ هزار تن) و همچنین مصرف بیش از ۳۰ هزار تن در ایران، میزان ضایعات رقم چشمگیری خواهد بود.

مواد سلولوزی در ساختار خود دارای گروه‌های هیدروکسی می‌باشند که موجب آب دوستی این مواد می‌شود [۴]. بنابراین قطبیت مواد سلولوزی متفاوت از مواد پلیمری است و این امر می‌تواند منجر به جدایی فاز در آمیزه‌های چوب-پلاستیک شود. به همین سبب از مواد سازگارکننده برای ایجاد چسبندگی بهتر میان بستر پلیمری و ماده پرکننده سلولوزی استفاده می‌شود. پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده عامل جفت‌کننده مناسبی برای آمیزه‌های چوب-پلاستیک محسوب می‌شود زیرا بخش پلی‌پروپیلنی این ماده سازگاری با بستر آمیزه خواهد بود [۲۵، ۲۴، ۱۶].

تاکنون به منظور تقویت خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های چوب - پلاستیک عمدتاً از مواد پرکننده معدنی مانند ولاستونایت، تالک و یا نانو خاک رس استفاده شده است [۲۳، ۱۱، ۹، ۷]. در حالی که به نظر می‌رسد استفاده از رزین اپوکسی - پلی‌استر حاصل از ضایعات رنگ‌های پودری نیز قابلیت استفاده به عنوان ماده تقویت‌کننده این آمیزه‌ها را داشته باشد. در این صورت تصور می‌شود که استفاده از این ضایعات به عنوان مواد تقویت‌کننده از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. با توجه به قابلیت تشکیل پیوند عرضی در این رزین‌ها، پیش‌بینی می‌شود که خواص فیزیکی همچون کاهش جذب آب و خواص مکانیکی مانند مدول کششی و خمشی افزایش یابد. در این مقاله به بررسی تأثیر رزین اپوکسی - پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش‌های پودری، بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه چوب-پلاستیک پرداخته شده است. همچنین اثر عامل جفت‌کننده پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده نیز بر روی نمونه‌های تهیه شده مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

پلی پروپیلن از نوع هموپلیمر و مناسب برای تزریق، با شاخص جریان مذاب  $0.10 \text{ g} / \text{min}$  و چگالی  $0.9 \text{ g/cm}^3$  محصول شرکت هیوندای

اخیراً استفاده از آمیزه‌های پلیمری تقویت شده با الیاف طبیعی کاربرد فراوانی در صنعت پلاستیک و به خصوص برای تهیه لوازم منزل همچون مبلمان، الوارهای ساختمان‌سازی، نرده‌های حفاظ و حتی اسکله و عرشه کشتی به دست آورده است [۴-۱]. آمیزه‌های چوب-پلاستیک نوعی از این گونه آمیزه‌ها هستند که به عنوان یک جایگزین مناسب برای چوب، با توجه به کمبود چوب در برخی مناطق جهان، محسوب می‌شوند زیرا علاوه بر دارا بودن مزایای چوب همچون سختی زیاد، مقاومت فشاری بالا، داشتن مدول الاستیک قابل توجه، وزن کم و سازگاری با محیط زیست، از مزیت‌های پلاستیک‌ها نیز همچون قابلیت شکل‌پذیری، قابلیت ماشین‌کاری<sup>۱</sup> و مقاومت فرسایشی برخوردار هستند [۸-۵]. علیرغم خواص قابل توجهی که مواد پرکننده سلولوزی دارا می‌باشند، مقاومت حرارتی پایینی آنها موجب محدود شدن دمای فرآورش آمیزه‌های حاصل از این مواد می‌شود. بنابراین برای فرآورش چنین آمیزه‌هایی نیاز به پلیمرهای گرماترمی است که در دماهای کمتر از  $200^\circ\text{C}$  ذوب شوند [۹، ۷، ۴، ۲]. پلی‌پروپیلن به دلیل دارا بودن خصوصیتی همچون مقاومت در برابر عوامل محیطی، مقاومت شیمیایی خوب، استحکام ضربه<sup>۲</sup> بالا و تطبیق‌پذیری<sup>۳</sup> بالا، بستر مناسبی برای آمیزه‌های چوب-پلاستیک محسوب می‌شود [۱۵-۱۰]. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی پلی پروپیلن‌های پر شده با الیاف طبیعی صورت گرفته است و محققان دریافته‌اند که الیاف طبیعی موجب بهبود خواص مکانیکی پلیمرها می‌شوند [۱۸-۱۶]. با این وجود، تمایل الیاف طبیعی به جذب رطوبت، منجر به تورم مواد سلولوزی موجود در سطح آمیزه و جمع‌شدگی و کاهش ابعاد آمیزه در طی فرآیند خشک‌شدن می‌گردد که این امر سبب ایجاد تنش در ماده و پیدایش ترک‌های کوچک و نهایتاً کاهش استحکام این مواد می‌شود [۲۰، ۱۹، ۲، ۱]. اسمیت<sup>۴</sup> و همکارانش به بررسی دوام خواص مکانیکی آمیزه‌های چوب-پلاستیک که در صنعت کشتی‌سازی به کار می‌روند پرداخته و دریافته‌اند که جذب رطوبت موجب ۵۰٪ کاهش استحکام کششی و خمشی می‌شود [۲۱]. موریس و همکارانش نیز دریافته‌اند که جذب رطوبت و تخریب آمیزه‌های چوب-پلاستیک توسط حمله قارچ‌ها و میکروپها موجب کاهش استحکام مکانیکی می‌شود [۲۲]. همچنین پایداری حرارتی کم آمیزه‌های چوب-پلاستیک موجب تخریب حرارتی زود هنگام این مواد هنگام کاربری می‌شود [۲۳].

یکی از راه‌های متداول برای جبران معایب پرکننده‌های سلولوزی و همچنین بهبود خواص آمیزه چوب-پلاستیک استفاده از مواد افزودنی است. از جمله مواد افزودنی که قیمت پایین ولی کارایی بالایی

- 1- Machinery
- 2- Impact strength
- 3- Versatility
- 4- Smith

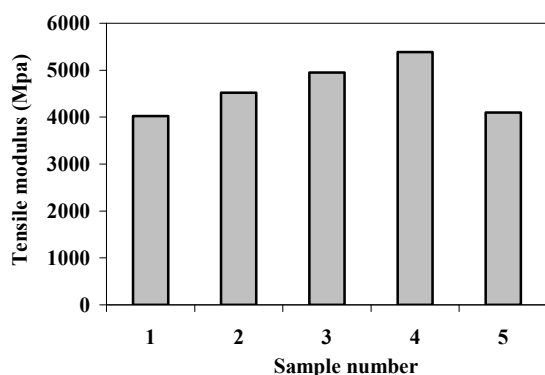
### اندازه‌گیری خواص

آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM D ۶۳۸، توسط دستگاه آزمون جهانی MTS10/M و با سرعت ۵ mm/min انجام شد. آزمون خمش نیز مطابق با استاندارد ASTM D ۷۹۰ توسط دستگاه آزمون جهانی MTS10/M و با سرعت ۱۰ mm/min اجرا شد. آزمون ضربه مطابق با استاندارد ASTM D ۲۵۶ توسط دستگاه Zwick بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. برای تعیین جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت، پس از اینکه نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در آون قرار گرفتند، در آب غوطه‌ور شده و وزن و ضخامت آنها در مدت زمان‌های معینی مورد سنجش قرار گرفت. هر نمونه ۵ بار تحت آزمون‌های ذکر شده قرار گرفته و مقادیر میانگین نتایج حاصل شده به عنوان نتیجه نهایی گزارش شده است.

### ۲- نتایج و بحث

#### ۲-۱- آزمون کشش

نتایج آزمون کشش در شکل ۱ آورده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، با افزایش مقدار رزین اپوکسی- پلی‌استر در نمونه‌ها، مقدار مدول کششی افزایش می‌یابد. که این امر می‌تواند ناشی از افزوده شدن پیوندهای عرضی در داخل آمیزه باشد. اپوکسی و پلی‌استر از نوع مواد گرماسخت هستند که قابلیت ایجاد پیوند عرضی در آنها وجود دارد. بنابراین می‌توانند در حین فرآیند مخلوط‌شدن، پخت شوند و با تشکیل پیوندهای عرضی مانند مانعی در برابر حرکت زنجیرهای پلی‌پروپیلن عمل کنند و مدول را افزایش دهند. از مقایسه مدول کششی نمونه‌های ۵ و ۲ می‌توان اثر ماده سازگارکننده را متوجه شد. کاهش مدول کششی نمونه ۵ در مقایسه با نمونه ۲ ناشی از فقدان ماده سازگارکننده میان پرکننده سلولوزی و بستر می‌باشد. آرد چوب که ماده‌ای آبدوست است فصل مشترک مناسبی با بستر پلیمری که آب‌گریز است برقرار نکرده و همین امر موجب ضعف در انتقال تنش میان بستر و ماده پرکننده شده که نهایتاً منجر به کاهش مدول کششی شده است [۲۴-۲۰].



شکل ۱: نتایج مدول کششی برای نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.

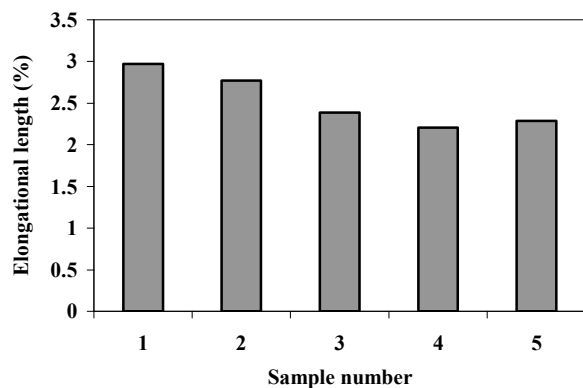
کره جنوبی به عنوان بستر استفاده شد. آرد چوب تهیه شده از چوب درخت راش که به طور متوسط دارای مش ۴۰ می‌باشد، به عنوان پرکننده سلولوزی به کار گرفته شد. از پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده (Scona TPPP 8112) با شاخص جریان مذاب ۸۰ g ۰,۱۰ min ساخت شرکت Kometra به عنوان عامل جفت‌کننده استفاده گردید. به منظور جلوگیری از اکسایش، Iragnox 1010 ساخت شرکت Ciba به عنوان آنتی‌اکسیدان استفاده شد. برای تقویت آمیزه تهیه شده از رزین اپوکسی- پلی‌استر ساخت شرکت استار که شامل رزین اپوکسی- پلی‌استر با نسبت وزنی ۵۰:۵۰، استفاده شده است.

#### ۲-۲- روش کار

آنتی‌اکسیدان و عامل جفت‌کننده به پلی‌پروپیلن افزوده شده و توسط بنبوری مدل SYS 9000 ساخت شرکت Hakke آلمان به مدت ۸ دقیقه با سرعت چرخش ماریچ ۶۰ دور در دقیقه و در دمای ۱۸۰ C° مخلوط شدند تا پلی‌پروپیلن به حالت مذاب در بیاید. سپس رزین اپوکسی- پلی‌استر نیز به این مخلوط افزوده شده و آرد چوب نیز به مواد اضافه شد. پس از کامل شدن اختلاط، مخلوط حاصل شده ما بین دو صفحه فلزی فشرده شد و به صورت یک صفحه در آمد. صفحه حاصل شده سپس توسط آسیاب نیمه صنعتی ساخت شرکت Wieser، به صورت ذرات گرانولی در آمد. در نهایت، گرانول‌های تهیه شده در قالب‌هایی که ابعاد آنها مطابق با استاندارد آزمون‌های مورد نظر بوده است، تزریق شدند. فرمولاسیون نمونه‌های تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است. درصد مواد مورد استفاده در آمیزه‌های جدول ۱ تقریباً بر اساس میزانی که برای تولید صنعتی این آمیزه‌ها به کار می‌رود گزارش شده است. البته به دلیل اضافه کردن رزین‌های اپوکسی- پلی‌استر، میزان پلی‌پروپیلن و مواد افزودنی اصلاح شده است.

جدول ۱: میزان مواد مختلف در فرمولاسیون نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.

مواد برحسب قسمت درصد (phr)	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
پلی‌پروپیلن	۵۶,۸	۵۱,۸	۴۶,۸	۴۱,۸	۵۴,۸
آرد چوب	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
رزین اپوکسی- پلی‌استر	-	۳	۶	۹	۳
عامل جفت‌کننده	۳	۳	۳	۳	-
آنتی‌اکسیدان	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲



شکل ۳: اثر رزین اپوکسی- پلی استر بر افزایش طول هنگام شکست نمونه‌ها در اثر آزمون کشش.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش رزین اپوکسی- پلی استر در آمیزه، مقدار ازدیاد طول هنگام شکست کاهش می‌یابد. افزایش طول هنگام شکست ناشی از حرکت زنجیرها و توانایی آنها در گسترده شدن و تغییر شکل در هنگامی که بیشترین نیروی کششی بر نمونه وارد می‌شود و ماده در آستانه شکست قرار دارد، می‌باشد. به طور کلی مواد پرکننده با ویژگی سفتی و سختی بالا موجب کاهش شدید افزایش طول هنگام شکست نمونه می‌شوند [۲۵]. وجود پیوندهای عرضی ایجاد شده در اپوکسی و پلی استر مانعی در برابر حرکت زنجیرها محسوب شده و بنابراین با افزایش مقدار این مواد در آمیزه، پیش از آنکه افزوده شدن تنش کششی منجر به ازدیاد طول شود، زنجیرها دچار پارگی شده و نمونه می‌شکند.

مقایسه نمونه‌های ۲ و ۵ نشان می‌دهد که فقدان ماده سازگارکننده میان پرکننده و بستر موجب کاهش تغییر طول زنجیرها در هنگام شکست می‌شود. این امر به دلیل عدم انتقال مناسب تنش از بستر به ماده پرکننده است که به علت نبود فصل مشترک قوی میان اجزا می‌باشد.

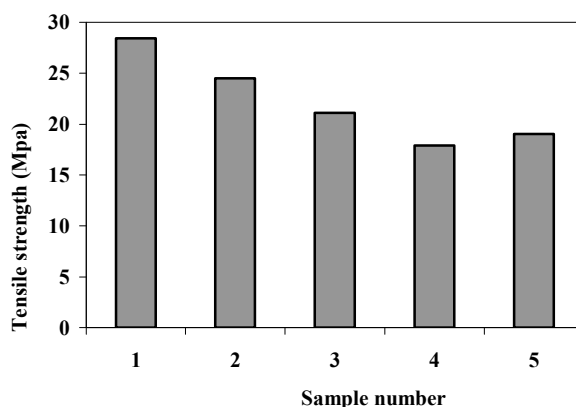
مدول خمشی نمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش رزین اپوکسی- پلی استر در نمونه‌ها موجب افزایش مدول خمشی نمونه‌ها گشته است. قابلیت تشکیل پیوندهای عرضی در اپوکسی و پلی استر موجب سختی این ماده پرکننده شده و باعث می‌شود که زنجیرهایی که تشکیل پیوند عرضی داده‌اند مانند مانعی در برابر حرکت آزادانه زنجیرهای پلی پروپیلن عمل کنند و در نتیجه موجب افزایش مدول خمشی نمونه‌ها شوند.

شکل ۵ نشان دهنده استحکام خمشی نمونه‌ها می‌باشد. استحکام خمشی نمونه‌ها نیز همانند استحکام کششی آنها با افزایش میزان رزین اپوکسی- پلی استر کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل عدم سازگاری زنجیرهای شبکه‌ای شده در ماده افزودنی با زنجیرهای پلی

اما همان‌طور که مشاهده می‌شود مدول کششی نمونه ۵ که حاوی ۳ phr است به میزان ۲٪ بیشتر از نمونه ۱ که فاقد این ماده افزودنی است، می‌باشد. بنابراین استفاده از رزین اپوکسی- پلی استر حتی بودن به کار بردن ماده سازگار کننده در آمیزه چوب پلاستیک، می‌تواند منجر به افزایش مدول کششی شود.

شکل ۲ نشان دهنده استحکام کششی نمونه‌ها می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار رزین اپوکسی- پلی استر در نمونه‌های ۱ تا ۴، مقدار استحکام کششی کاهش می‌یابد. کاهش استحکام کششی با افزوده شدن رزین اپوکسی- پلی استر در نمونه‌ها می‌تواند به علت افزایش مراکز تنش در نمونه‌ها باشد [۲۳]. در واقع می‌توان چنین در نظر گرفت که اضافه شدن رزین اپوکسی- پلی استر در آمیزه‌ها موجب از بین رفتن پیوستگی بستر شده و به این ترتیب استحکام آمیزه را کاهش می‌دهد. مقایسه نتایج استحکام کششی و خمشی با مدول حاصل شده از این آزمون‌ها تلویحاً بیانگر این مطلب است که با افزایش مقدار رزین اپوکسی- پلی استر در آمیزه چوب- پلاستیک، نمونه‌ها شکننده‌تر می‌شوند؛ چرا که مدول افزایش یافته در حالی که استحکام کاهش یافته است و این مطلب می‌رساند که نمونه‌ها از حالت چقرمگی خارج شده و شکننده می‌شوند. دلیل این مطلب نیز می‌تواند تشکیل پیوندهای عرضی در اپوکسی و پلی استر باشد که موجب کاهش انعطاف و حرکت زنجیرها می‌شود. همچنین افت افزایش طول زنجیرها هنگام شکست نمونه (شکل ۳) نیز مؤید شکننده‌تر شدن نمونه‌های آمیزه چوب- پلاستیک است که با افزایش مقدار رزین اپوکسی- پلی استر رخ می‌دهد.

نتایج افزایش طول نمونه‌ها در اثر آزمون کشش، که به هنگام شکست نمونه‌ها رخ داده و ثبت شده است، به صورت درصد در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۴: اثر ضایعات پوشش پودری بر استحکام کششی نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.

با اضافه شدن رزین اپوکسی - پلی‌استر در آمیزه چوب - پلاستیک، شکنندگی نمونه‌ها افزایش یافته و چقرمگی آنها کاهش می‌یابد که ناشی از وجود پیوندهای عرضی در اپوکسی و پلی‌استر است که تنش را در خود نگه داشته و مانع از تغییر شکل زنجیرها هنگام اعمال نیرو می‌شود و همین امر موجب کاهش استحکام ضربه در نمونه‌ها شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، نمونه ۵ که فاقد عامل جفت‌کننده است، نسبت به نمونه ۲ استحکام ضربه بالاتری را نشان می‌دهد. خاصیتی مانند استحکام ضربه بیش از اینکه وابسته به نوع ماده تقویت‌کننده باشد، قویاً وابسته به فصل مشترک میان ماده تقویت‌کننده و بستر است. هر چه این فصل مشترک ضعیف‌تر باشد، هنگام انتقال تنش ناشی از ضربه وارد شده به نمونه، مقداری از آن به علت چسبندگی ناکافی و وجود فاصله‌ای هر چند ناچیز میان بستر و ماده تقویت‌کننده، دفع شده و با شدت کمتری به پرکننده منتقل می‌شود. بنابراین نیاز به نیروی بیشتری برای شکست نمونه وجود دارد. به همین دلیل است که نمونه ۵ استحکام ضربه بالاتری در مقایسه با نمونه ۲ دارد.

### ۲-۲- خواص فیزیکی

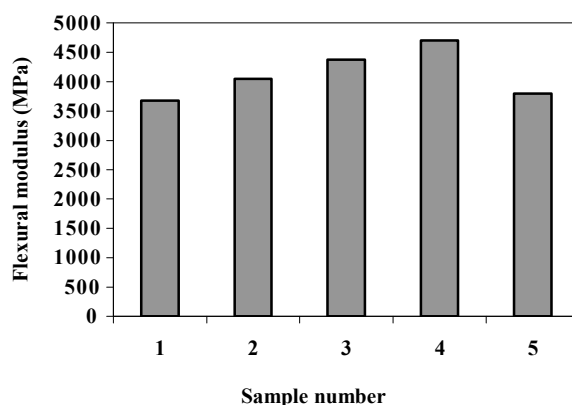
شکل ۷ جذب آب نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک را (برحسب درصد جذب) در زمان‌های مختلف (برحسب ساعت) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان قرارگیری نمونه‌ها در معرض رطوبت، جذب آب نیز افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش مقدار رزین اپوکسی - پلی‌استر در نمونه‌های ۱ تا ۴، موجب کاهش جذب آب در نمونه‌ها می‌شود که دلیل آن می‌تواند افزایش چگالی نمونه‌ها در اثر اضافه شدن رزین اپوکسی - پلی‌استر باشد. جذب آب در نمونه‌ها به علت وجود حجم آزاد در ماده صورت می‌گیرد. هر چه حجم آزاد موجود در ماده کمتر باشد، جذب آب کمتری رخ می‌دهد. ایجاد پیوند عرضی در اپوکسی و پلی‌استر موجود در ضایعات پوشش پودری موجب کاهش حجم آزاد میان زنجیرها شده و به این ترتیب جذب آب کمتر می‌شود. همچنین بالاتر بودن جذب آب در نمونه ۵ در مقایسه با نمونه ۲ ناشی از وجود فصل مشترک نامناسب و چسبندگی نه چندان قوی میان بستر و پرکننده است که می‌تواند منجر به جذب آب بیشتر در فضای فصل مشترک میان آن‌ها شود.

منحنی واکنش‌دهی ضخامت برای نمونه‌های آمیزه چوب - پلاستیک در شکل ۸ نشان داده شده است.

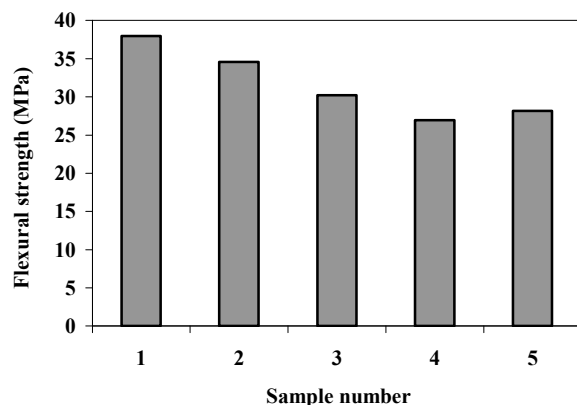
همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان قرارگیری نمونه در معرض رطوبت، مقدار واکنش‌دهی ضخامت افزایش می‌یابد. در ضمن مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار ماده افزودنی در نمونه‌های ۱ تا ۴، مقدار واکنش‌دهی ضخامت کاهش می‌یابد.

پروپیلن که بستر را تشکیل می‌دهند، به این ترتیب ماده افزودنی مانند مراکز تنش برای بستر عمل کرده و منجر به کاهش استحکام خمشی می‌شود.

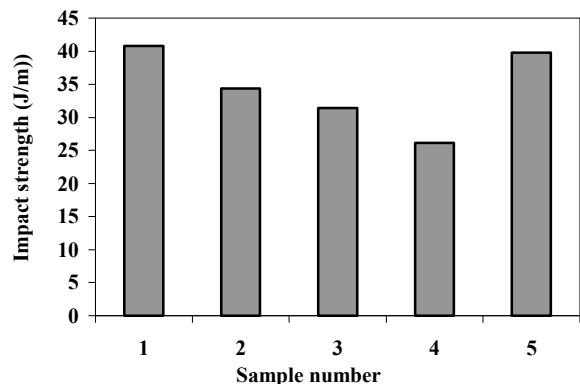
شکل ۶ نشان دهنده نتایج آزمون ضربه برای آمیزه‌های چوب - پلاستیک است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش مقدار ماده افزودنی در نمونه‌های ۱ تا ۴ استحکام ضربه کاهش می‌یابد که این امر به دلیل افزایش مراکز تنش در نمونه است.



شکل ۴: نتایج مدول خمشی برای نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.



شکل ۵: نتایج استحکام خمشی برای نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.



شکل ۶: نتایج استحکام ضربه برای نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.

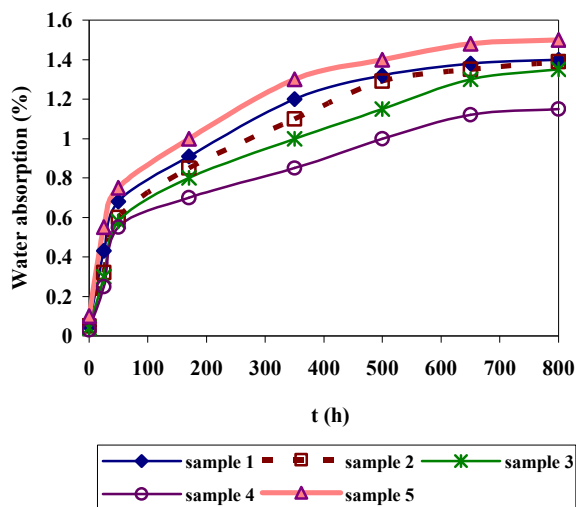
واکسیدگی ضخامت نیز به علت وجود حجم آزاد در ماده ایجاد می‌شود. وجود رزین اپوکسی- پلی‌استر در آمیزه چوب- پلاستیک موجب کاهش حجم آزاد درون ماده می‌شود که این امر به دلیل برقراری پیوندهای عرضی در این ماده است مانعی در برابر واکسیدگی ضخامت محسوب می‌شود. افزایش واکسیدگی ضخامت در نمونه ۵ نسبت به نمونه ۲ ناشی از وجود حجم آزاد بیشتر در نمونه ۵ به دلیل نبود فصل مشترک قوی میان ماده پرکننده و بستر است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

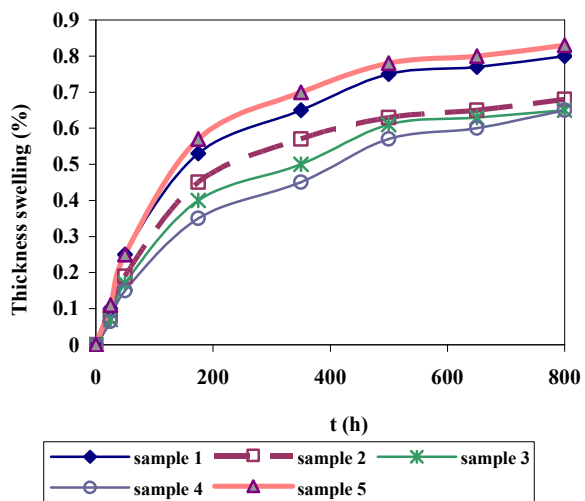
مطالعه تأثیر رزین اپوکسی- پلی‌استر بر روی آمیزه چوب-پلاستیک نشان داد که افزایش رزین اپوکسی- پلی‌استر به آمیزه چوب-پلاستیک موجب شکننده شدن آمیزه می‌شود زیرا بر اثر افزایش میزان این مواد در آمیزه، مدول کششی و خمشی افزایش در حالی که استحکام کششی و خمشی و ضربه و همچنین افزایش طول زنجیرها هنگام شکست کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از رزین اپوکسی- پلی‌استر به عنوان ماده افزودنی در آمیزه موجب کاهش جذب آب و در نتیجه واکسیدگی ضخامت می‌شود. به علاوه مشاهده شد که عامل جفت‌کننده نقش به‌سزایی در خواص مکانیکی و فیزیکی ایفا می‌کند به طوری که فقدان آن موجب افت قابل توجه خواص مکانیکی و فیزیکی می‌شود و تنها در مورد استحکام ضربه مشاهده شد که نبود عامل سازگارکننده منجر به بهبود این ویژگی در آمیزه می‌گردد.

با توجه به نتایج حاصل شده پیشنهاد می‌گردد که از رزین‌های اپوکسی- پلی‌استر برای تقویت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک استفاده شود. به خصوص اگر قرار باشد که این کامپوزیت‌ها در مناطق مرطوب و در مواردی که نیاز به استحکام کششی بالایی نباشند به کار روند.

همچنین با توجه به اینکه رزین اپوکسی- پلی‌استر برخی خواص کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک مانند جذب آب و واکسیدگی ضخامت را بهبود بخشیده ولی از طرفی موجب شکننده‌تر شدن این کامپوزیت‌ها می‌شود، اظهار نظر در مورد مقدار مناسب درصد رزین اپوکسی- پلی‌استر بستگی به کاربرد کامپوزیت دارد. در مواردی که مقاومت به ضربه اهمیت زیادی نداشته باشد، میزان ۹٪ وزنی از رزین اپوکسی- پلی‌استر می‌تواند خواص مطلوب را ارائه دهد.



شکل ۷: اثر رزین اپوکسی- پلی‌استر بر سرعت جذب آب در آمیزه چوب- پلاستیک.



شکل ۸: اثر رزین اپوکسی- پلی‌استر بر واکسیدگی ضخامت در نمونه‌های آمیزه چوب-پلاستیک.

#### ۵- مراجع

1. N. M. Stark, Effect of weathering cycle and manufacturing method on performance of wood flour and high-density polyethylene composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 100(2006), 3131-3140.
2. C. M. Clemons, Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *Forest Prod. J.* 52(2002), 10-18.
3. R. h. Falk, T. Lundin, C. Felton, The effect of weathering on wood-thermoplastic composite intended for outdoor application, In proceeding of the 2<sup>nd</sup> annual conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing, Madison, Wisconsin, (2000), 175-180.

4. A. Enayati, O. Hosseinaei, S. Wang, S. A. Mirshokraie, M. Tajvidi, Thermal properties of wood-plastic composites prepared from hemicellulose-extracted wood flour. *Iranian J. Polym. Sci. Tech.* 22(2009), 171-181.
5. M. H. Beheshty, A. M. Rezadoust, Fiber Reinforced Plastics (Polymer Composites). Polymer and Petrochemical Institute, Tehran. 2005, 69-75.
6. M. Razavi-Nouri, F. Jafar-zadeh-dogouri, A. Oromiehie, A. Ershad-Langroudi, Mechanical properties and water absorption behaviour of chopped rice husk filled Polypropylene composites. *Iran. Polym. J.* 15(2006), 757-766.
7. H. Winata, L. S. Turng, D. F. Caulfield, T. Kuster, R. Spindler, R. Jacobson, Applications of Polyamide/Cellulose Fiber/Wollastonite Composites for Microcellular Injection Molding. ANTEC (2003), 701-705.
8. C. Eckert, Opportunities for natural fibers in plastic composites. In Proceedings, Progress in Wood Fiber-Plastic Composites Conference; Toronto, Canada; (2000).
9. Y. Lei, Q. Wu, C. M. Clemons, F. Yao, Y. Xu, Influence of nanoclay on property of HDPE/Wood composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 106 (2007), 3958-3966.
10. J. M. Felix, P. Gatenholm, The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 42 (1991), 609-920.
11. Švab, V. Musil, M. Leskovic, The Adhesion Phenomena in Polypropylene/wollastonite composites. *Acta. Chim. Slov.* 52(2005), 264-271.
12. X. Gao, X. Meng, H. Wang, B. Wen, Y. Ding, S. Zhang, M. Yang, Antioxidant behaviour of a nanosilica-immobilized antioxidant in polypropylene. *J. Polym. Degrad. Stab.* 93(2008), 1467-1471.
13. Y. Jahani, M. Ehsani, The effects of epoxy resin nano particles on shrinkage behavior and thermal stability of talc-filled. *Polym. Bull.* 63(2009), 743-754.
14. A. S. Luyt, M. D. Dramicanin, Z. Antic, V. Djokovic, Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler. *Polym. Test.* 28(2009), 348-356.
15. Y. Chen, Q. Wang, Thermal oxidative degradation kinetics of flame-retarded polypropylene with intumescent flame retardant master batches in situ pre-prepared in twin-screw extruder. *Polym. Degrad. Stab.* 92 (2007), 280-291.
16. Biagiotti, S. Fiori, L. Torre, M. A. López-Manchado, J. M. Kenny, Mechanical properties of polypropylene matrix composites reinforced with natural fibers: A statistical approach. *Polym. Composites.* 25(2004), 26-36.
17. D. M. Panaitescu, D.M. Vuluga, U. Paven, D.M. Iorga, M. Ghiurea, I. Matasaru, P. Nechita, Properties of polymer composites with cellulose microfibrils. *Molecular Crystals and Liquid Crystals.* 484 (2008), 86-98.
18. M. Tajan, P. Chaiwutthinan, T. Leejarpai, Thermal and mechanical properties of wood plastic composites from iron wood flour and recycled polypropylene. *J. Metals, Mater. Miner.* 18 (2008), 53-56.
19. Y. Jahani, The effect of epoxy polyester hybrid resin on mechanical properties, rheological behavior and water absorption of polypropylene wood flour composites. *Polym. Eng. Sci.* 47 (2007), 2041-2048.
20. Segerholm, Wood plastic composites made from modified wood, B.S thesis, School of Architecture and the Built Environment, Stockholm, Sweden, 2007.
21. G. E. Myers, I. S. Chahyadi, C. A. Coberly, D. S. Ermer, Wood flour/polypropylene composites: Influence of maleated polypropylene and process and composition variables on mechanical properties. *Inter. J. Polym. Mater.* 15(1991), 21-44.
22. P. I. Morris, P. Cooper, Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi. *Forest Prod. J.* 48 (1998), 86-88.
23. Ehsani, Y. Jahani, Investigating the variations in morphological and mechanical properties of PP talc composites by incorporation of epoxy-polyester powder coating. *J. Color Sci. Tech.* 3(2010), 223-232.
24. B. H. Lee, H. J. Kim, H. J. Park, Performance of paper sludge/ polypropylene fiber/lignocellulosic fiber composites. *J. Ind. Eng. Chem.* 8(2002), 50-56.
25. K. Oksaman, C. Clemons, Mechanical properties polypropylene-wood and morphology of impact modified flour composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 67(1998), 1503-1513.
26. Y. Jahani, M. Ehsani, The rheological modification of talc-polypropylene by epoxy-polyester hybrid resin and its effect on morphology, crystallinity and mechanical properties. *Polym. Eng. Sci.* 49(2009), 619-629.