

## تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی برخی از خواص کامپوزیت چوب پلاستیک

## چکیده

این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و مورفولوژیکی کامپوزیت چوب پلاستیک انجام گردید. تیمار شیمیایی آرد چوب در ۷ سطح بدون تیمار، استیلایسون، بنزیلاسیون، مرسریزاسیون، هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید کلسیم و تیمار آب گرم به عنوان عامل متغیر در نظر گرفته شد. برای سنجیدن شدت واکنش آرد چوب با مواد شیمیایی، درصد تغییرات وزن (WPG) محاسبه گردید. پس از انجام تیمار شیمیایی، آرد چوب با نسبت وزنی ۶۰ درصد با پلی پروپیلن به همراه phc ۴ جفت کننده مالئیک انیدرید پلی پروپیلن در داخل دستگاه اکسترودر مخلوط شد و نمونه‌های آزمونی با استفاده از دستگاه قالب-گیری تزریقی ساخته شدند. سپس آزمون‌های مکانیکی شامل خمش، کشش و ضربه و آزمون‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بر روی نمونه‌ها مطابق با استاندارد (ASTM) انجام گرفت. همچنین به منظور بررسی ریخت‌شناسی کامپوزیت‌ها از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده گردید. نتایج نشان داد که در اثر تیمار شیمیایی آرد چوب، خواص مکانیکی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک افزایش یافتند در حالی که جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش یافتند. در اثر انجام تیمار شیمیایی آرد چوب وزن آرد چوب افزایش یافت و بیشترین درصد تغییرات وزن مربوط به تیمار بنزیلاسیون بود. همچنین نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی حاکی از بهبود در فصل مشترک بین الیاف و ماتریس پلیمری در اثر تیمار شیمیایی بود، به طوری که در نمونه‌های تیمار شده بیرون زدگی الیاف از داخل ماتریس مشاهده نشد.

**واژگان کلیدی:** تیمار شیمیایی آرد چوب، درصد تغییرات وزن، مورفولوژی، چوب پلاستیک، اصلاح شیمیایی آرد چوب.

سعید اسمعیلی مقدم<sup>\*۱</sup>

مسیح مسعودی فر<sup>۲</sup>

محمد شمسیان<sup>۳</sup>

بابک نصرتی ششکل<sup>۴</sup>

سید مجتبی سیزاده اطاقسرائی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، ایران

<sup>۴</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، ایران

<sup>۵</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، ایران

مسئول مکاتبات:

[Saeed.am17358@gmail.com](mailto:Saeed.am17358@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۰۱

پلاستیک هستند که در کاربردهای مختلف داخل و خارج از ساختمان و همچنین در صنایع خودروسازی به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲]. یکی از محدودیت‌های گسترش روزافزون کامپوزیت‌های چوب پلاستیک، عدم چسبندگی چوب آب‌دوست به ماتریس پلیمری آب-گریز است. نداشتن چسبندگی یا سازگار نبودن این دو فاز، به دلیل برهم‌کنش ضعیف بین الیاف و ماتریس است. از

## مقدمه

در طی سال‌های اخیر ساخت کامپوزیت‌هایی با استفاده از پلیمرهای مصنوعی (ماتریس) و الیاف طبیعی شامل چوب به صورت خاکاره، پودر و آرد (پرکننده) مورد توجه محققان و تولیدکنندگان قرار گرفته است [۱]. این کامپوزیت‌ها تحت عنوان کامپوزیت‌های چوب

پلی استر- شیشه - الیاف آناناس از سه نوع تیمار شیمیایی قلیایی، سیانواتیل و استیل دار کردن الیاف استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که تیمار شیمیایی به دلیل ایجاد اتصالات مناسب در منطقه بین فازی و کم کردن فاصله و حفرات بین الیاف و ماتریس باعث افزایش ۲۵ درصد در مقاومت کششی، ۵۰ درصد در مدول کششی و کاهش ۱۷ درصد در جذب آب می‌شود. ریخت‌شناسی کامپوزیت‌های ساخته‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی نشان داد که در اثر اصلاح شیمیایی فصل مشترک بین چوب و پلاستیک به دلیل سازگاری بیشتر بین دو فاز بهبود یافت [۷]. Luz و همکاران (۲۰۰۸) خواص کامپوزیت‌های پلی- پروپیلن با الیاف استیله شده باگاس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از طیف‌سنجی FTIR حضور گروه‌های استیل و کاهش گروه‌های هیدروکسیل را نشان داد. همچنین نتایج SEM نشان داد که استیلاسیون، مورفولوژی الیاف را تغییر می‌دهد. به طوری که قطر الیاف قبل از استیلاسیون حدود ۱۰ میکرومتر بود اما پس از انجام استیلاسیون، الیاف شکل ظاهری خود را از دست دادند و به صورت بی‌شکل و تجمع یافته با ابعاد تقریبی ۲۰۰-۱۷ میکرومتر باعث کاهش ۱۷ درصدی در مقاومت کششی و افزایش ۷ درصدی در مقاومت خمشی کامپوزیت ساخته‌شده گردیدند [۸]. Kord و Taghizadeh Haratbar (۲۰۱۴) به مطالعه تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر ویژگی‌های نانو کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن/ نانو رس پرداختند. آن‌ها از ۳ نوع تیمار شامل استیلاسیون، بنزیلاسیون و مرسیزاسیون جهت تیمار کردن آرد چوب استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی شامل مقاومت کششی، مدول کششی و مقاومت به ضربه در اثر تیمار شیمیایی افزایش یافتند. درحالی که جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت کاهش یافتند به طوری که بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی مربوط به تیمار اسیدی بود. آن‌ها همچنین از طیف‌سنجی مادون قرمز برای اطمینان از انجام تیمار شیمیایی آرد چوب استفاده کردند. نتایج طیف‌سنجی نشان داد که پیک موجود در باندهای  $1700$  و  $3400$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به گروه‌های هیدروکسیل کاهش یافتند که نشان‌دهنده واکنش گروه‌های هیدروکسیل در اثر اصلاح شیمیایی دارد [۹].

طرفی برهم‌کنش قوی بین الیاف به دلیل وجود پیوند هیدروژنی، پخش الیاف را در ماتریس با مشکل مواجه می‌کند. به طور کلی برای بهبود سطحی الیاف از عوامل جفت کننده و سازگار کننده‌هایی استفاده می‌شود که ضمن آسان کردن پخش الیاف در ماتریس باعث تشکیل پیوند قوی‌تری بین الیاف و ماتریس پلیمری شوند [۳]. ذکر این نکته حائز اهمیت است که خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری به مقاومت اتصال اجزا تشکیل‌دهنده آن در منطقه بین فازی بستگی دارد. این خصوصیات توسط افزایش اتصال و چسبندگی دو فاز الیاف و ماتریس بهبود می‌یابد. جهت بهبود چسبندگی دو روش وجود دارد: اصلاح فاز زمینه پلیمری و اصلاح فاز زمینه لیگنوسولوزی. عوامل جفت کننده متفاوتی جهت اصلاح ترکیبات پلیمرها و مقاومت اتصال و خصوصیات مکانیکی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک مورد استفاده قرار گرفته است. روش دیگر بهبود خصوصیات اتصال، استفاده از تیمار شیمیایی الیاف چوب قبل از اختلاط با پلیمر است. مکانیسم این روش‌ها متفاوت بوده و به ساختار ترکیبات شیمیایی مورد استفاده بستگی دارد [۴-۵].

اصلاح شیمیایی الیاف طبیعی یکی از ساده‌ترین و درعین حال مؤثرترین روش‌ها جهت بهبود اتصالات بین ترکیبات لیگنوسولوزی و پلیمر گرمانرم است. مواد شیمیایی مصرفی ممکن است گروه‌های هیدروکسیل موجود در الیاف طبیعی را فعال ساخته یا مکان‌های جدیدی را به وجود آورند که امکان تولید اتصال مؤثر با پلیمر گرمانرم را فراهم می‌کنند. به هر حال توسعه تئوری-های قاطع در مورد مکانیسم فرآیند اتصال توسط مواد شیمیایی با مشکلات پیچیده‌ای روبرو هستند [۵]. به عنوان مثال تیمار قلیایی با سدیم هیدروکسید روش مفیدی برای حذف موم، لیگنین و همی سلولز از سطح الیاف و نیز کاهش گروه‌های هیدروکسیل و در نتیجه برهم‌کنش بهتر الیاف و زمینه است [۶]. در طی سالیان اخیر مطالعات گسترده‌ای بر روی تأثیرات تیمار شیمیایی بر خواص کامپوزیت‌های چوب پلاستیک انجام شده است که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Mishra و همکاران (۲۰۰۱) در طی ساخت کامپوزیت‌های هیبریدی پلی‌استر- شیشه - سیسال و

روش‌های تیمار شیمیایی متفاوت بوده و به نوع مواد شیمیایی مورد استفاده بستگی دارد، از این رو در این تحقیق سعی بر این است تا از مواد شیمیایی با سطوح اصلاح‌کننده قوی (اسید استیک و بنزین کلرید)، متوسط (هیدروکسید سدیم و آب گرم) و ضعیف (هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید منیزیم) برای اصلاح سطحی آرد چوب استفاده شود؛ بنابراین با توجه به موارد گفته شده انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن درجه Pi 0800 با شاخص جریان مذاب 8 g/10 min از محصولات شرکت پتروشیمی اراک (ایران) به‌عنوان ماتریس پلیمری و از آرد چوب مخلوط پهن برگان شمال ایران با اندازه ابعاد ۶۰ مش (۴۲۵ میکرومتر) تهیه شده از شرکت آریا سلولز ایران به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده گردید. همچنین از مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی‌پروپیلن (PP-g-MA) تهیه شده از شرکت Slova کشور بلژیک و نام تجاری Priex 20070 با شاخص جریان مذاب 6۴ g/10 min و میزان مالئیک انیدرید ۰/۱ درصد به‌عنوان عامل جفت‌کننده استفاده گردید. برای انجام تیمار شیمیایی آرد چوب از هیدروکسید سدیم و بنزین کلرید ساخت شرکت تیتراکم کشور ایران و همچنین از اسید استیک، هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید کلسیم ساخت شرکت Merck کشور آلمان استفاده شد. از اتانول ۹۶ درصد نیز برای انجام تمیز سازی بعد از اصلاح استفاده گردید.

### روش‌ها

#### پیش تیمار قلیایی

در این مرحله، ابتدا محلولی با غلظت ۱۵ درصد هیدروکسید سدیم (NaOH) تهیه گردید. سپس آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت در این محلول غوطه‌ور شد و در پایان ۲۴ ساعت برای خارج کردن NaOH اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و سپس در آون در دمای  $103$  درجه سانتی-

Kalagar و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی چندسازه ساخته شده با پلی‌لاکتیک اسید و الیاف کاه گندم تیمار شده با سیلان پرداختند. آن‌ها درصد‌های مختلف کاه گندم و نوع تیمار شده و بدون تیمار سیلان را به‌عنوان عوامل متغیر در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که در اثر تیمار سیلانی مقاومت کششی چندسازه ساخته شده با ۲۰، ۳۵ و ۴۵ درصد کاه گندم به ترتیب ۱۴، ۵۲ و ۵۳ درصد و مدول الاستیسیته کششی به ترتیب ۳۵، ۳۲ و ۲۹ درصد افزایش یافتند. در ضمن برای اطمینان از انجام تیمار سیلانی آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز بر روی آرد چوب تیمار شده و بدون تیمار انجام شد. نتایج طیف‌سنجی نشان داد که پیک مربوط به گروه‌های هیدروکسیل در اثر تیمار سیلانی کاهش یافت که نشان‌دهنده واکنش گروه‌های هیدروکسیل داشت. همچنین در اثر تیمار سیلانی پیکی در محدوده  $1000-1200 \text{ cm}^{-1}$  تشکیل شد که مربوط به پیوندهای Si-O-Si با CO سلولز است [۱۰]. Ghasemi و Farsi (۲۰۱۰) تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر خواص کامپوزیت‌های چوب پلاستیک را مورد بررسی قرار دادند. عامل متغیر در این تحقیق نوع تیمار شیمیایی در ۵ سطح بدون تیمار، تیمار قلیایی، اسیدی، بنزینی و سیلانی بود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقاومت و مدول کششی و همچنین مقاومت به ضربه کامپوزیت چوب پلاستیک در اثر تیمار شیمیایی بهبود یافت. به طوری که بیشترین میزان مدول کششی مربوط به تیمار اسیدی، بیشترین میزان مقاومت کششی مربوط به تیمار قلیایی و بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به تیمار سیلانی بود. نتایج میکروسکوپ الکترونی پوششی حاکی از بهبود فصل مشترک بین چوب و پلیمر بود و نتایج طیف-سنجی تیمار شیمیایی آرد چوب را تأیید نمود [۱۱]. در طی سالیان اخیر تیمار شیمیایی چوب و مواد لیگنوسلولزی بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات گسترده‌ای در رابطه با مکانیسم‌های نحوه عملکرد تیمارهای شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر خواص چوب و کامپوزیت‌ها صورت گرفته است. لذا با وجود بررسی‌های به‌عمل آمده، در این تحقیق سعی شده است تا علاوه بر تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی خواص کامپوزیت چوب پلاستیک، مقایسه بین تیمار شیمیایی و اصلاح شیمیایی نیز مورد توجه قرار گیرد، در ضمن سازوکار

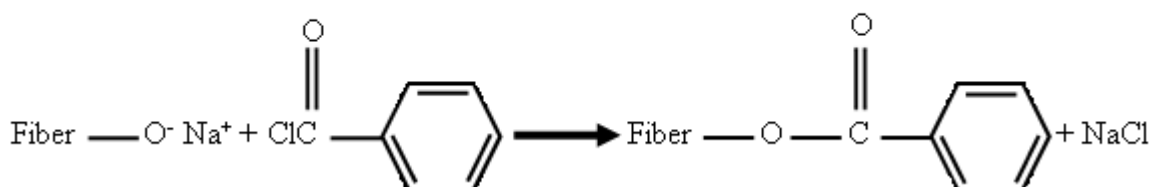
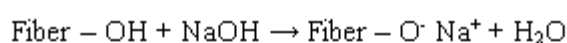
بنزیل کلرید به آرامی به آن اضافه گردید. سپس مقداری از آرد چوب پیش تیمار شده به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول قرار گرفت و بعد از آن به وسیله آب مقطر شستشو گردید. سپس به مدت یک ساعت در اتانول غوطه‌ور شد و مجدداً با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای  $103$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. فرآیند بنزیلاسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود [۱۲-۱۳].

گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. به این ترتیب آرد چوب پیش تیمار شد و برای تیمارهای بنزیلی و اسیدی آماده شدند. نسبت وزنی محلول به الیاف در تمامی تیمارها ۲۰:۱ بود [۹].

### اصلاح شیمیایی

#### بنزیلاسیون

ابتدا محلولی با غلظت ۵ درصد هیدروکسید سدیم آماده شد. سپس به ازای هر یک لیتر محلول ۵۰ میلی‌لیتر



ساعت نمونه‌ها از آون خارج و پس از خنک شدن با آب مقطر شستشو شدند؛ و به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای  $103$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. فرآیند استیلاسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود [۱۲-۱۳].

#### استیلاسیون

ابتدا محلول اسید استیک گلاسیال با غلظت ۵۵ درصد تهیه شد. بخشی از آرد چوب پیش تیمار شده در داخل اسید استیک به مدت ۱ ساعت غوطه‌ور شد. بعد از ۱ ساعت آرد چوب زه‌کشی و در فویل آلومینیومی قرار داده شدند و سپس به مدت ۵ ساعت در داخل آون با دمای  $120$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از گذشت ۵

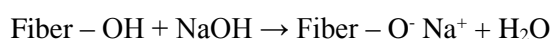


داده شد. آرد چوب شستشو داده شده به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و سپس در آون در دمای  $103$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. فرآیند مرسریزاسیون مطابق با واکنش زیر انجام می‌شود [۱۲-۱۳].

### تیمار شیمیایی

#### مرسریزاسیون

ابتدا محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۴ درصد آماده شد. مقداری از آرد چوب، به مدت ۳۰ دقیقه در این محلول غوطه‌ور شد و در پایان این زمان، برای خارج کردن هیدروکسید سدیم اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو



درصد به مدت ۳۰ دقیقه به صورت جداگانه غوطه‌ور شدند سپس جهت خارج کردن ماده شیمیایی اضافی، آرد چوب با آب مقطر شستشو داده شد. پس از آن به مدت ۴۸ ساعت

تیمار هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید کلسیم در این مقداری از مرحله آرد چوب در محلول هیدروکسید منیزیم و هیدروکسید کلسیم با غلظت ۴

ناهمسوگرد واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. مواد داغ شکل‌پذیر به‌دست‌آمده از فرآیند اختلاط پس از خارج شدن از اکسترودر جمع‌آوری شدند و پس از سرد شدن به‌منظور تهیه گرانول وارد دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت Wieser مدل WG-LS 200/200 ساخت کشور آلمان شدند. به‌منظور حذف رطوبت، گرانول‌ها به مدت ۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و نمونه‌های مربوط به آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی توسط دستگاه تزریق نیمه‌صنعتی ساخت شرکت ایمن ماشین تهران (ایران) با دمای ۱۸۵°C و فشار ۳ MPa، مطابق با استاندارد ASTM D3641-12 [۱۴] ساخته شدند. درنهایت نمونه‌ها قبل از انجام هرگونه آزمون، در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۴۰ ساعت مطابق با استاندارد ASTM D618-13 [۱۵] قرار داده شدند.

در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد) و سپس در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا خشک شوند.

### تیمار آب گرم

در این مرحله، بخشی از آرد چوب در داخل کیسه پلاستیکی قرار داده شد و سپس در داخل حمام آب گرم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت در معرض بخار آب گرم قرار گرفت. پس‌از آن آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا خشک شود. لازم به توضیح است که تیمارهای ذکرشده به‌صورت جداگانه بر روی آرد چوب انجام شده‌اند.

### فرآیند اختلاط و ساخت کامپوزیت

قبل از اختلاط مواد، آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $65 \pm 2$  سانتی‌گراد قرار گرفت. فرآیند اختلاط مواد مطابق با جدول ۱ توسط دستگاه اکسترودر دو ماردونه

جدول ۱- طرح اختلاط مواد

تیمار شیمیایی	آرد چوب (%)	پلی‌پروپیلن (%)	جفت‌کننده* (phc)
بدون تیمار	۶۰	۴۰	۴
بنزیلاسیون	۶۰	۴۰	۴
استیلاسیون	۶۰	۴۰	۴
مرسریزاسیون	۶۰	۴۰	۴
هیدروکسید منیزیم	۶۰	۴۰	۴
هیدروکسید کلسیم	۶۰	۴۰	۴
تیمار آب گرم	۶۰	۴۰	۴

\*Per hundred compound

استفاده شد. رایانه متصل به دستگاه پس از انجام آزمون مربوط به هر تیمار اطلاعاتی نظیر مقاومت حداکثر، تغییر طول نمونه، مقاومت در حد تناسب و مدول الاستیسیته را ارائه نمود. مقاومت به ضربه ایزود بر روی نمونه‌ای با ابعاد  $7 \times 13 \times 64$  میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM D256-10 [۱۸] به‌صورت فاق‌دار بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور از دستگاه ضربه مدل ۵۱۰۲ ساخت شرکت Zwick استفاده شد. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. برای انجام آزمون‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعتی بر روی نمونه‌ای با ابعاد  $3 \times 5 \times 80$  میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM D7031-11

### اندازه‌گیری خواص

آزمون خمش بر روی نمونه‌ای با ابعاد  $5 \times 12 \times 100$  میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM D790 [۱۶] و با سرعت بارگذاری ۲ mm/min و آزمون کشش بر روی نمونه‌ای به شکل دمبل با طول ۱۶۵ میلی‌متر، عرض بالای قسمت دمبلی شکل ۱۹ میلی‌متر، عرض سطح شکست ۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM 638 [۱۷] و با سرعت بارگذاری ۵ mm/min بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. برای این منظور از دستگاه HOUNSFIELD مدل H 25 KS واقع در آزمایشگاه مکانیک چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار آماری SPSS در قالب طرح واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام شد و در صورت وجود تفاوت معنی دار بین سطوح از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. همچنین جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری واریانس، شامل نوع تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی مقاومت خمشی، مدول خمشی، مقاومت کششی، مدول کششی، مقاومت به ضربه، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک به صورت خلاصه در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، تأثیر نوع تیمار شیمیایی بر روی تمامی خواص مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی دار است.

[۱۹] عمل شد و برای هر تیمار ۵ نمونه انتخاب شد. مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با استفاده از روابط ریاضی مربوطه محاسبه گردیدند.

جهت اندازه‌گیری درصد تغییرات وزن آرد چوب (اطلاع از مقدار واکنش)، میزان افزایش وزن آرد چوب پس از انجام تیمار شیمیایی محاسبه شد. برای این منظور وزن خشک آرد چوب قبل و بعد از هر یک از تیمارهای شیمیایی اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد افزایش وزن آرد چوب با استفاده از رابطه مربوطه محاسبه گردید.

جهت بررسی فصل مشترک چوب و پلیمر، توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی عکس‌های میکروسکوپی تهیه گردید. در این روش ابتدا از سطح شکست نمونه‌های تست ضربه، مقطع‌گیری شد و مقاطع توسط لایه‌نازکی از طلا پوشیده شدند. مدل این دستگاه EM3200، مونتاژ شده توسط شرکت KYKY کشور چین است که دارای ولتاژ ۲۵ کیلوولت و محدوده بزرگ‌نمایی ۰ تا ۷۵۰۰۰ برابر است.

جدول ۲- مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از تجزیه واریانس

خواص	مقدار F	سطح معنی‌داری
مقاومت خمشی	۱۱۸/۴۵۸	**
مدول خمشی	۶۵/۴۳۲	**
مقاومت کششی	۳۹/۶۸۸	**
مدول کششی	۲۳۲/۰۸۳	**
مقاومت به ضربه	۲۵۲/۱۳۱	**
جذب آب	۸۴/۲۹۶	**
واکنشیدگی ضخامت	۱۰۹/۶۴۲	**

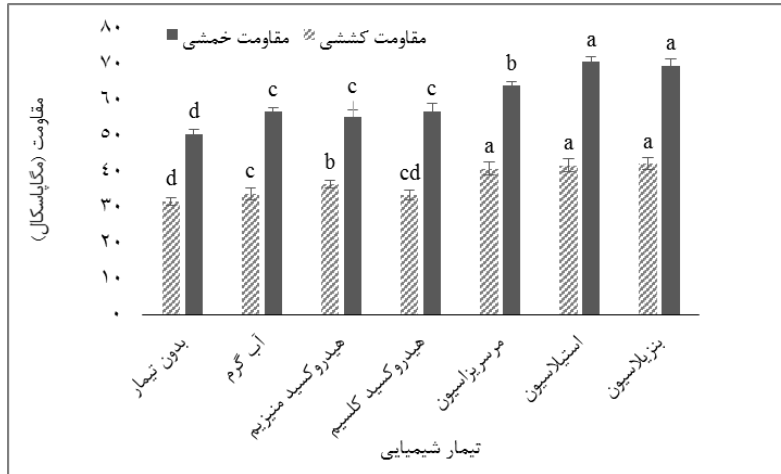
\*\* سطح معنی‌داری ۹۹ درصد

پلاستیک کاهش یافته و این امر سبب بهبود چسبندگی در فصل مشترک بین این دو فاز شود [۲۰]. بنزویلی کردن الیاف به دلیل اضافه شدن عامل بنزویلی (C6H5C=O)، آن‌ها را فعال ساخته و موجب تشکیل اتصالات محکم با مکان‌های فعال روی ماده زمینه می‌شود. به نظر می‌رسد که در تیمار بنزیلاسیون چسبندگی بین الیاف و ماتریس در کامپوزیت حاصل بهبود پیدا می‌کند و در نتیجه افزایش قابل توجهی در مقاومت‌های کامپوزیت حاصل دیده می‌شود [۲۱]. از سوی دیگر طی فرآیند استیلاسیون، ماهیت ماده چوبی از حالت قطبی به غیر

تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر مقاومت‌های خمشی و کششی در شکل ۱ و تأثیر تیمار شیمیایی بر مدول‌های خمشی و کششی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱، بیشترین مقادیر مقاومت خمشی مربوط به تیمارهای استیلاسیون و بنزیلاسیون و بیشترین مقادیر مقاومت کششی مربوط به تیمارهای استیلاسیون، بنزیلاسیون و مرسیزاسیون است. همچنین کمترین مقادیر مقاومت‌های خمشی و کششی مربوط به نمونه بدون تیمار است. انتظار می‌رود که در اثر انجام تیمار شیمیایی بر روی آرد چوب، فاصله آنگسترومی بین الیاف و

پلیمر بهبود یافته و به تبع آن مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد [۷].

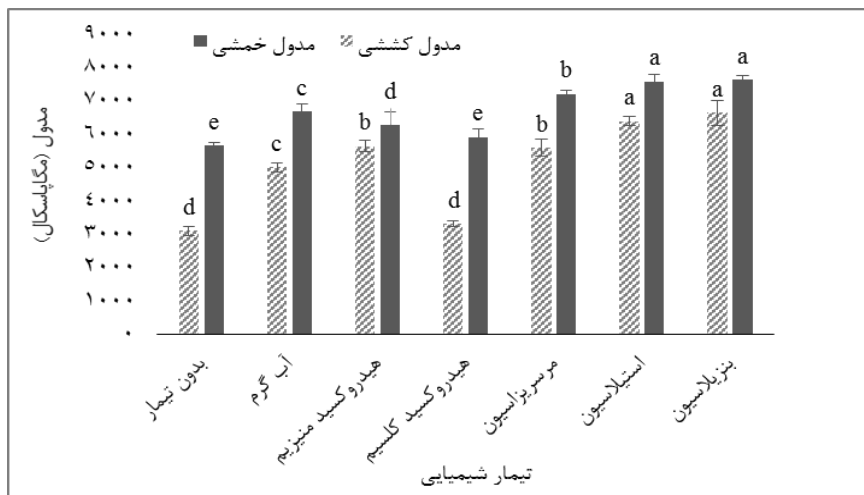
قطبی درآمده و به ماتریس پلیمری از لحاظ آب‌گریزی نزدیک‌تر می‌شود. در این حالت اتصال دو فاز چوب و



شکل ۱- تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی مقاومت‌های خمشی و کششی

بنزیلاسیون مقاومت‌های کامپوزیت به دلیل کاهش تخلخل و به تبع آن افزایش دانسیته کامپوزیت افزایش یابد. همچنین بر اساس شکل ۲، بیشترین مقادیر مدول‌های خمشی و کششی مربوط به تیمارهای استیلاسیون و بنزیلاسیون است. از سوی دیگر، کمترین میزان مدول‌های خمشی و کششی مربوط به نمونه بدون تیمار است.

یکی دیگر از عوامل افزایش مقاومت‌ها در اثر تیمار اسیدی، می‌تواند به افزایش دانسیته الیاف نیز مرتبط است، با جایگزین شدن گروه‌های سنگین‌تر استیل به جای گروه‌های هیدروکسیل، دانسیته الیاف افزایش می‌یابد و در نهایت مقاومت آن‌ها بالا می‌رود. به تعبیری صلبیت تک‌تک الیاف بر اثر استیله شدن افزایش یافته است؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که در اثر استیلاسیون و



شکل ۲- تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی مدول‌های خمشی و کششی

دستجات بزرگ و به هم چسبیده الیاف به سمت شکل-گیری الیاف ریز مجزا از هم پیش روند. می‌توان انتظار داشت که تیمار با ماده قلیایی باعث کاهش قطر الیاف و

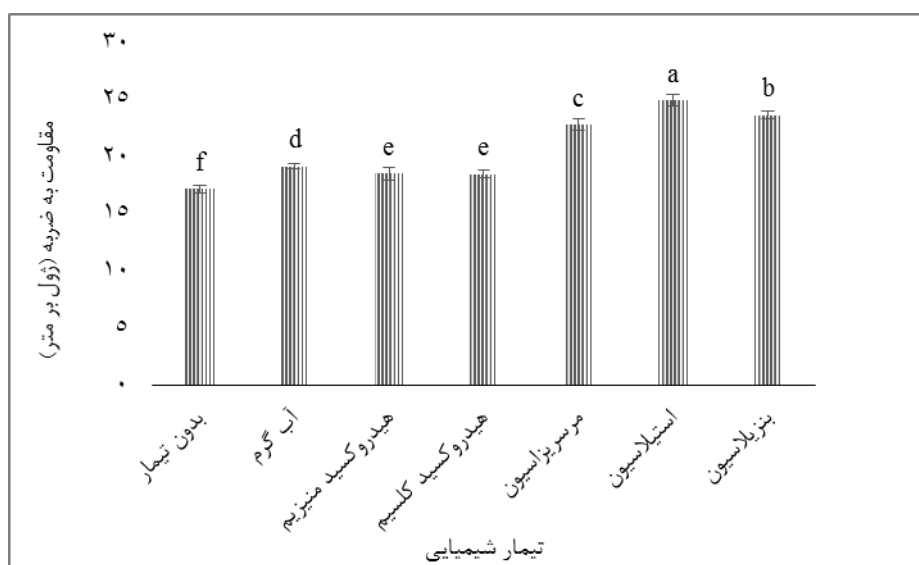
تحقیقات نشان داده است که استفاده از تیمار قلیایی (مرسرئازسیون)، سبب تشکیل و ایجاد ریز لیفچه‌ها (دستجات ریز الیاف) می‌شود و موجب می‌گردد تا



ماتریس پلیمری می‌شود. این پدیده باعث افزایش مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها در اثر تیمار شیمیایی می‌شود [۲۳-۲۲-۱۱-۹]. مبنای واکنش‌های استیله کردن جایگزینی گروه‌های استیل با گروه‌های هیدروکسیل بسپارهای سازنده دیواره سلولی است. در کلیه واکنش‌هایی که به منظور استیله کردن صورت می‌گیرند، گروه‌های استیل جایگزین گروه‌های هیدروکسیل بسپارهای دیواره سلولی می‌شوند، به این ترتیب این گروه‌ها عملاً از بین می‌روند و الیاف لیگنوسولزی از نظر ماهیت به ماتریس پلیمری شبیه‌تر می‌شوند. این عامل باعث بهبود چسبندگی در فصل مشترک بین الیاف و ماتریس پلیمری می‌شود [۲۴-۲۱]؛ بنابراین می‌توان گفت افزایش چسبندگی در فصل مشترک الیاف و ماتریس در اثر استیلاسیون، مانع از رشد ترک در هنگام تست ضربه می‌شود. هر چه این چسبندگی قوی‌تر باشد میزان ترک‌ها کاهش یافته و شکستن کامپوزیت نیروی بیشتری را طلب می‌کند.

در نتیجه افزایش ضریب ضربه‌ی ظاهری الیاف شده و این امر سبب توسعه سطوح زبر در الیاف و در نتیجه بهتر شدن چسبندگی در سطح مشترک الیاف و ماتریس شود و ویژگی‌های مکانیکی چندسازه نیز افزایش یابد. پژوهشگران معتقدند که این نوع تیمار تعداد جایگاه‌های واکنش‌پذیر ممکن در سطح الیاف را افزایش می‌دهد و باعث بهتر شدن خاصیت ترشوندگی الیاف می‌شود [۲۱].

تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل می‌توان مشاهده کرد، در اثر تیمار شیمیایی مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها مربوط به تیمار استیلاسیون و کمترین میزان آن مربوط به نمونه بدون تیمار است. به نظر می‌رسد که اجرای تیمار شیمیایی، باعث کاهش خاصیت آبدوستی الیاف طبیعی می‌شود و این امر می‌تواند سبب توزیع و پراکنش مناسب‌تر الیاف در داخل



شکل ۳- تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی مقاومت به ضربه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

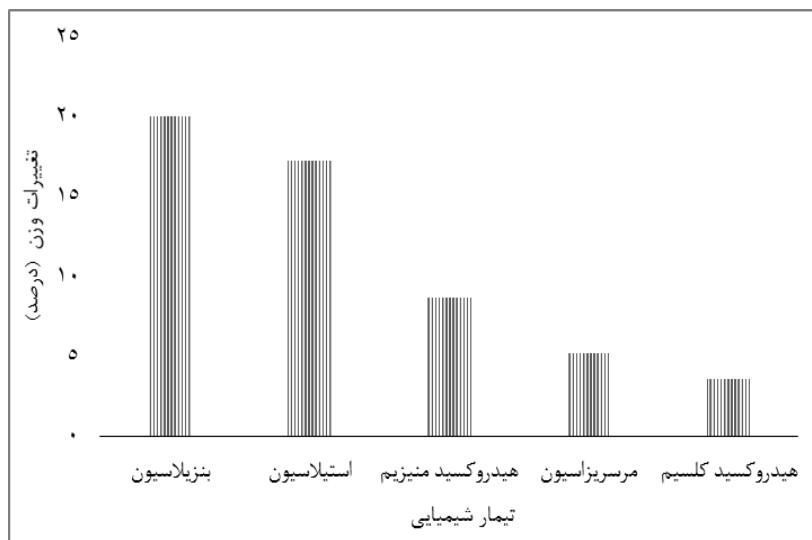
جذب ماده شیمیایی و یک کاهش وزن در اثر خروج مواد استخراجی به وجود خواهد آمد [۴، ۲۵]؛ اما در تیمارهای استیلاسیون و بنزیلاسیون به دلیل این‌که قبل از تیمار اصلی، آرد چوب به مدت ۲۴ ساعت پیش تیمار قلیایی شده بودند، مقادیر زیادی از مواد استخراجی در پیش تیمار قلیایی خارج شد و در هنگام تیمار اصلی فقط جذب

شکل ۴ تأثیر تیمار شیمیایی بر روی درصد تغییرات وزن آرد چوب را نشان می‌دهد. بر طبق این شکل، بیشترین درصد تغییرات وزن مربوط به تیمار بنزیلاسیون است. در هنگام واکنش آرد چوب با مواد شیمیایی در تیمارهای مرسریزاسیون، هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید منیزیم به‌طور هم‌زمان یک افزایش وزن در اثر



بنزیلاسیون در مقایسه با تیمارهای دیگر بیشتر باشد.

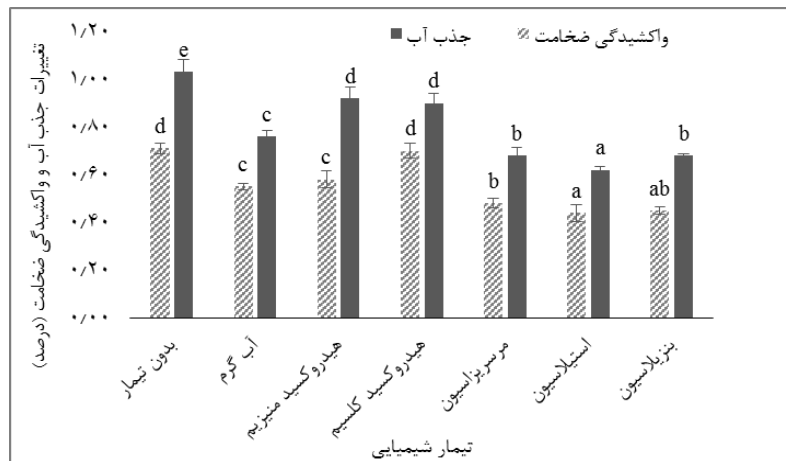
ماده شیمیایی صورت گرفت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که درصد تغییرات وزن در تیمارهای استیلاسیون و



شکل ۴- تأثیر تیمار شیمیایی بر روی درصد تغییرات وزن آرد چوب

سلولزی از چوب مانند چربی، موم، لیگنین و پکتین تا حد زیادی حذف می‌شوند [۲۱]. با بهتر شدن چسبندگی بین ماتریس پلیمری و الیاف در کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در اثر تیمار شیمیایی، فرآیندهای انتشار رطوبت به داخل کامپوزیت بسیار آهسته‌تر صورت می‌گیرد زیرا در این حالت شکاف‌های کمتری در فصل مشترک چوب و پلاستیک وجود دارد [۷-۹-۲۷]. مهار کردن گروه‌های هیدروکسیل به منظور کنترل جذب رطوبت و ثبات ابعاد یکی از مهم‌ترین اهداف اصلاح ماده لیگنوسلولزی است؛ بنابراین در اثر استیلاسیون و جایگزینی گروه‌های آب‌گریز استیل به جای گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل میزان جذب آب کمتر می‌شود و به تبع آن واکنش‌دهی ضخامت نیز در کامپوزیت کاهش می‌یابد [۲۸].

تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ساخته شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل می‌توان مشاهده نمود، جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت در اثر تیمار شیمیایی کاهش می‌یابد. به طوری که کمترین میزان جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت مربوط به تیمار استیلاسیون و بیشترین میزان این کمیت‌ها مربوط به نمونه بدون تیمار است. جذب آب در کامپوزیت‌های چوب پلاستیک از طریق مکانیزم‌های مختلفی انجام می‌شود که عبارت‌اند از: جذب آب از طریق دیواره سلولی ماده لیگنوسلولزی که ناشی از طبیعت هیگروسکوپیک آن‌هاست و منجر به واکنش‌دهی ضخامت کامپوزیت می‌شود؛ و جذب آب به وسیله فرآیند مویبندی که از طریق فواصل و شکاف‌های موجود در حدفاصل بین پلاستیک و الیاف چوب به دلیل اتصال ضعیف بین چوب و پلاستیک ایجاد می‌شود و همچنین خلل و فرج موجود در ماده چوبی و زمینه پلیمری که در حین فرآیند تولید ایجاد می‌شود [۲۶]. انتظار می‌رود که در اثر انجام تیمار شیمیایی آرد چوب از یک طرف ماهیت آب‌دوستی الیاف لیگنوسلولزی به شدت کاهش یابد و از طرف دیگر فواصل و شکاف‌های بین چوب و پلاستیک در اثر تیمار شیمیایی کاهش یابند، زیرا در این حالت ترکیبات شیمیایی غیر



شکل ۵- تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی جذب آب و واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

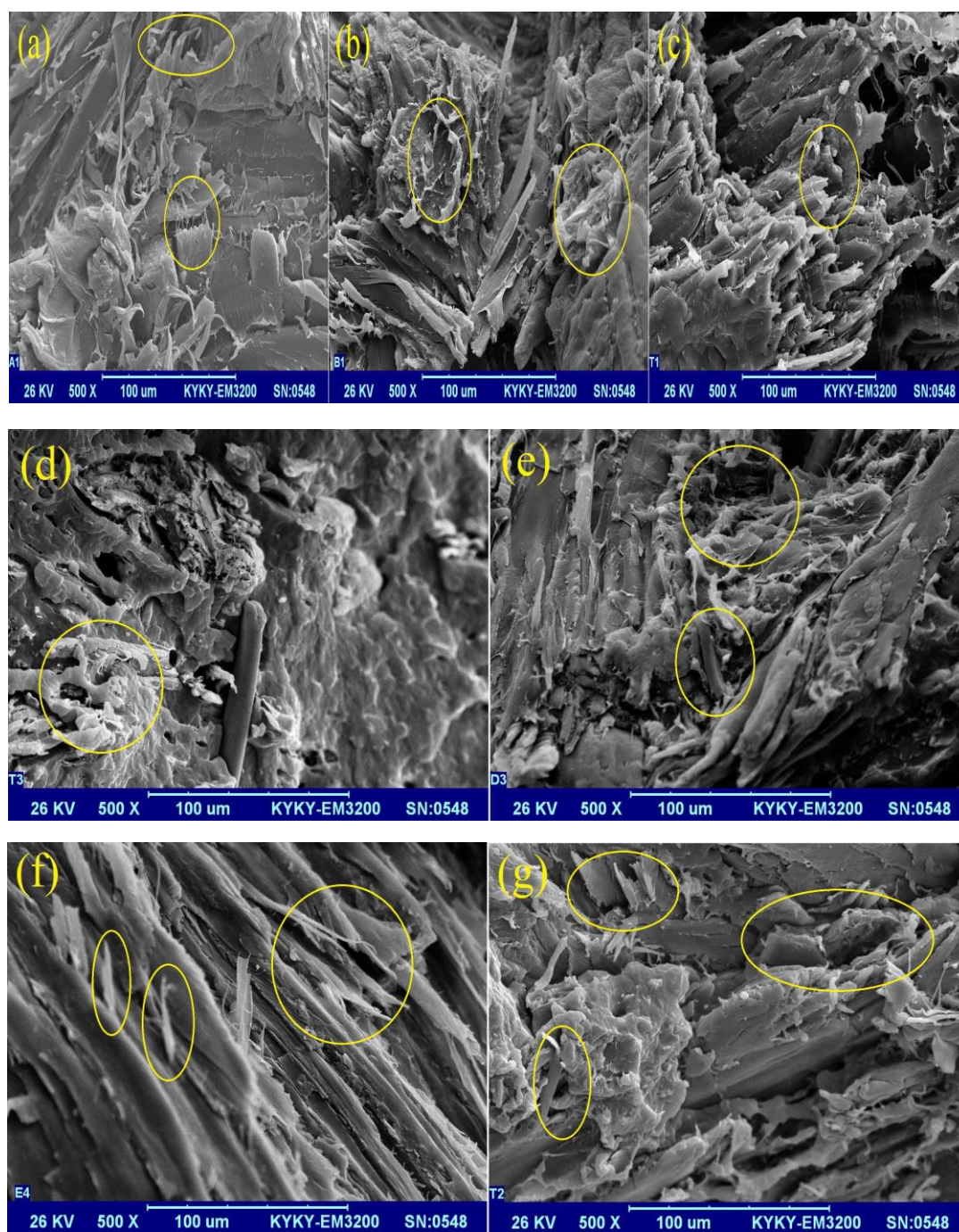
شاهد (آرد چوب بدون تیمار) بهبود یافته است اما نسبت به تیمارهای بنزیلناسیون، استیلناسیون و مرسریزاسیون این فصل مشترک ضعیف‌تر به نظر می‌رسد. همچنین بیرون‌زدگی الیاف چوبی از داخل ماتریس پلیمری نسبت به نمونه شاهد کمتر مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر تیمار شیمیایی آرد چوب بر روی برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و مورفولوژیکی کامپوزیت چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد:

در اثر تیمار شیمیایی آرد چوب خواص مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک بهبود یافتند، به طوری که بیشترین میزان مقاومت‌های خمشی و کششی و همچنین مدول‌های خمشی و کششی کامپوزیت‌ها مربوط به تیمارهای بنزیلناسیون و استیلناسیون بود و بیشترین مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها مربوط به تیمار استیلناسیون بود. در اثر تیمار شیمیایی آرد چوب، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت. کمترین درصد جذب آب و واکشیدگی ضخامت مربوط به تیمار استیلناسیون بود. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی حاکی از بهبود در فصل مشترک بین الیاف و ماتریس پلیمری در اثر تیمار شیمیایی بود. از سوی دیگر بیشترین درصد تغییرات وزن آرد چوب مربوط به تیمار بنزیلناسیون بود.

تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از فصل مشترک بین الیاف و ماتریس پلیمری در اشکال a ۶ تا g ۶ نشان داده شده است. شکل a ۶ تصویر (SEM) مربوط به نمونه بدون تیمار را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، بیرون‌زدگی آرد چوب از داخل ماتریس پلیمری مشاهده می‌شود. در واقع هنگام شکست نمونه، آرد چوب به صورت سالم از داخل پلیمر خارج شده و با خارج شدن آرد چوب از داخل ماتریس فضاهای خالی در داخل آن ایجاد می‌شود که نتیجه برهم‌کنش ضعیف بین دو فاز چوب و پلیمر است. همچنین پرزدار شدن سطوح شکست در این شکل نشان‌دهنده وجود تمرکز تنش در ماتریس و عدم انتقال تنش از آن به الیاف چوبی است. تصاویر میکروسکوپ (SEM) مربوط به تیمارهای بنزیلناسیون، استیلناسیون و مرسریزاسیون به ترتیب در شکل‌های b ۶، c ۶ و d ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در تصاویر مشخص است، در بعضی از مناطق که فعل‌وانفعال بین چوب و پلیمر بیشتر است، بیرون‌زدگی الیاف کمتر مشاهده می‌شود. همچنین به هم‌پیوستگی بیشتری بین تقویت‌کننده و ماتریس مشاهده می‌شود. در این اشکال، شکست آرد چوب به همراه پلیمر نشان‌دهنده اتصال قوی-تر در فصل مشترک چوب و پلیمر است. تصاویر میکروسکوپ (SEM) مربوط به تیمارهای هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید کلسیم و آب گرم به ترتیب در شکل‌های e ۶، f ۶ و g ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، چسبندگی و اتصال در فصل مشترک بین دو فاز تقویت‌کننده و ماتریس نسبت به نمونه



شکل ۶- تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

## منابع

- [1] Viksne, A., Rence, L. and Berzina, R., 2003. Influence of modifiers on the physic mechanical properties of sawdust-polyethylene composites. *Mechanics of Composite Materials*, 40(2): 169-177.
- [2] Ashori, A., 2008. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bio resources Technology*, 99: 4661-4667.
- [3] Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinecz, J.J., 1998. Cell morphology and property relationships of

- microcellular foamed PVC/wood fiber composites. *Polymer Eng Sci*, 38: 1862-1872.
- [4] Mohebbi, B., 2003. Biological attack of acetylated wood. Ph.D. Thesis, Gottingen University, Gottingen, 147 p. (In Persian).
- [5] Hill, C., 2006. Wood modification chemical, Thermal and Other Process John Wiley and Sons Ltd, 260 p.
- [6] Albano, C., Ichazo, M., Gonzalez, J., Delgado, M. and Poleo, R., 2001. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. *J. Mat. Res. Innovate*, 4: 284-293.
- [7] Mishra, S., Tripathy, S.K. and Mohanty, A.K., 2001. Graft copolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers. *Macromolecular Material and Engineering*, 286(2): 107-113.
- [8] Luz, S.M., Del Tio, J., Rocha, G.J.M., Goncalves, A.R. and Del'Arco, Jr.A.P., 2008. Cellulose and cell lignin from sugarcane bagasse reinforced polypropylene composites: Effect of acetylation on mechanical and thermal properties. *Composites: Part A*, 39: 1362-1369.
- [9] Kord, B. and Taghizadeh Haratbar, D., 2014. Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 10.1177/0892705714551592.
- [10] Kalagar, M., Baziyar, B., Khademi eslam, H., Ghasmi, E. and Hemmasi, A.H., 2015. The investigation on composites produced using polylactic acid/wheat straw fibers treated with silane. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 30(2): 207-219. (In Persian).
- [11] Ghasemi, I. and Farsi, M., 2010. Interfacial behavior of wood plastic composite: effect of chemical treatment on wood fibers. *Iran Polymer J*, 19(10): 811-818. (In Persian).
- [12] Ghasemi, I. and Farsi, M., 2010. Interfacial behavior of wood plastic composite: effect of chemical treatment on wood fibers. *Iran Polymer J*, 19(10): 811-818. (In Persian).
- [13] Susheel, K., Kaith, B.S. and Inderjeet, K., 2009. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: a review. *Polymer Eng Sci*, 49: 1253-1272.
- [14] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard practice for injection molding test specimens of thermoplastic molding and materials. Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D3641-12, 2012.
- [15] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard practice for conditioning plastics for testing. ASTM D618-13, for testing, Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D618-13, 2013.
- [16] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D790-10, 2010.
- [17] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard test method for tensile properties of plastics. Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D638-10, 2010.
- [18] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. Annual book of ASTM standards, ASTM D256-10, 2010.
- [19] American Society for Testing and Materials. ASTM. Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Annual book of ASTM standards, Philadelphia, ASTM D7031-11, 2011.
- [20] Dominkovics, Z., Danyadi, L. and puka'nszky, B., 2007. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites Part A*, 38(8): 1893-1901.
- [21] Li, X., Tabil, L.G. and Panigrahi, S., 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber

- reinforced composites: a review. *J. Polymer Environ*, 15: 25–33.
- [22] Farsi, M., 2010. Wood–plastic composites: influence of wood flour chemical modification on the mechanical performance. *J Reinf Plast Compos*, 29(24): 3587–3592.
- [23] Nourbakhsh, A., Karegarfard, A. and Ashori, A., 2010. Effects of particle size and coupling agent concentration on mechanical properties of particulate-filled polymer composites. *J Thermoplastic Compos Mater*, 23(2): 169–174.
- [24] Kalia, S., Kaith, B.S. and Kaur, I., 2009. Pretreatment of natural fiber and their application as reinforcing material in polymer composites. *A review polymer Engineering and science*, 49(7): 1253-1272.
- [25] Rosenqvist, M., 2001. Acetyl group distribution in acetylated wood investigated by micro autoradiography. *Holzforschung*, 55(3): 270-275.
- [26] Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson, S., 2004. Compression of water absorption in natural cellulosic fibers from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Journal of composites Part A*, 35(11): 1267-1276.
- [27] Liu, W., Mohanty, M. and Askeland, A.K., 2004. Influence of fiber surface treatment on properties of Indian grass fiber reinforced soy protein based bio composites. *J Polymer Sci*, 45(22): 7589–7596.
- [28] Militz, H. and Beckers, E.P.J., 1994. Process for acetylating solid wood, European Patent Application, 85850268.5.



## The effect of chemical treatment of wood flour on some properties of wood-plastic composite

### Abstract

This research aimed to investigate the effect of chemical treatment of wood flour on some physical, mechanical and morphological properties of wood-plastic composite. Chemical treatment of wood flour at 7 levels i.e. without treatment, acetylation, benzylation, mercerization, magnesium hydroxide, calcium hydroxide and warm water treatment were considered as variable factors. To evaluate the reaction of wood flour with chemical materials, weight percent gain (WPG) were calculated. After chemical treatment, wood flour and polypropylene were mixed with weight ratio of 60 to 40 and 4 per hundred compound (phc) of coupling agent in the extruder and then the specimens were fabricated by injection molding method. Mechanical tests including tensile, flexural and impact strength and physical examination, including water absorption and thickness swelling was performed on specimens according to ASTM standards. Moreover, to study the morphology of the composites, scanning electron microscopy (SEM) was used. The results showed that the mechanical strength increased and physical properties such as water absorption and thickness swelling decreased after chemical treatment. As a result of chemical treatments, the weight of wood flour increased while the highest value was of the benzylation treatment. Results of SEM showed an improvement in cross linking between fibers and polymeric matrix due to the chemical treatment, in a way that in treated samples, exiting of fibers out of the matrix was not observed.

**Keywords:** chemical treatment of wood flour, weight percent gain, morphology, wood plastic composite, chemical modification of wood flour.

S. Ismaeilimoghadam<sup>1\*</sup>  
M. Masoudifar<sup>2</sup>  
M. Shamsian<sup>3</sup>  
B. Nosrati Sheshkal<sup>4</sup>  
S. M. Seyedzadeh Otaghsaraei<sup>5</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of wood and paper, University of Zabol, Iran

<sup>2</sup> M.Sc., Department of wood and paper, University of Zabol, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of wood and paper, University of Zabol, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of wood and paper, University of Zabol, Iran

<sup>5</sup> M.Sc., Civil Engineering-Structures, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Iran

Corresponding author:  
[Saeed.am17358@gmail.com](mailto:Saeed.am17358@gmail.com)

Received: 2015/03/14  
Accepted: 2016/05/21