

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۲۴

ص ۱۹۵-۲۰۷

## اثر مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات بر خواص مکانیکی

### و مقاومت در برابر پوسیدگی راش ایرانی

#### (*Fagus Orientalis*)

- ❖ مریم قربانی\*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ روزین کاکي؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ اصغر امیدوار؛ استاد دانشکده جنگل‌داری و فناوری چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

#### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر مونومرهای حفره‌ای استایرن و متیل متاکریلات بر خواص مکانیکی و مقاومت در برابر پوسیدگی چوب راش ایرانی انجام شد. نمونه‌های آزمون مکانیکی و زیستی به ترتیب بر اساس استاندارد ASTM D 143-94 و DIN EN113 تهیه و به روش بتل، در پنج غلظت ۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد اشباع شد. به منظور پلیمریزاسیون مونومر، نمونه‌های اشباع‌شده در آون، به مدت ۲۴ ساعت، تحت دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و متعاقباً برای همین زمان، تحت دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. مدول گسیختگی و الاستیسیته، سختی، فشار موازی الیاف و کاهش وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، مقاومت‌های مکانیکی با غلظت مونومر افزایش یافت. مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، سختی و فشار موازی الیاف در بالاترین سطح تیمار (غلظت ۱۰۰ درصد) نسبت به نمونه شاهد، به ترتیب ۳۶/۴، ۴۴/۴، ۲۹ و ۳۰/۷ درصد برای مونومر متیل متاکریلات، و برای مونومر استایرن ۳۲، ۳۵/۵، ۳۶/۵ و ۲۷/۵ درصد افزایش یافت. همچنین، با افزایش میزان جذب پلیمر در چوب، بهبود مقاومت در برابر پوسیدگی مشاهده شد، به طوری که بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های شاهد ۳۶/۹ درصد بود، ولی در نمونه‌های اشباع‌شده با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات به ترتیب به ۷/۶ و ۶/۵ درصد تقلیل یافت.

واژگان کلیدی: استایرن، چوب پلیمر، خواص مکانیکی، متیل متاکریلات، مقاومت در برابر پوسیدگی.

## مقدمه

چوب به عنوان ماده مهندسی، علی‌رغم ویژگی‌های فوق‌العاده‌ای مانند قابلیت کار عالی، ظاهر زیبا، سبک‌بودن و در عین حال مقاوم‌بودن، به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند خاصیت هیگروسکوپیک، تخریب در برابر اشعه UV، خصوصیات مکانیکی ناهمگن و تخریب زیستی در بسیاری از صنایع قابل استفاده نیست. از این‌رو، باید سعی شود ماهیت فیزیکی و مکانیکی آن را به گونه‌ای تغییر داد تا قابلیت‌های کاربردی آن افزایش یابد. در دهه‌های اخیر، یکی از اهداف مهم مهندسی صنایع چوب بهبود مقاومت‌های مکانیکی و زیستی چوب و فرآورده‌های چوبی با استفاده از مواد و روش‌های مختلف در سطح جهانی است. یکی از انواع روش‌های بهبود خواص زیستی و مکانیکی چوب، اشباع آن با مونومر است. همراه با پیشرفت صنعت پلیمرهای مصنوعی، این پلیمرها به صورت گسترده‌ای برای اصلاح چوب استفاده می‌شوند [۱]. در این سیستم، مونومرهای وینیلی جذب‌شده طی اشباع، با اعمال حرارت، به پلیمر تبدیل و فرآورده مرکب چوب-پلیمر تولید می‌شود که حفره سلولی، بین سلولی یا روزنه‌های ریز دیواره سلولی آن را پلیمر اشغال کرده و به لحاظ زیست محیطی قابل قبول است [۲، ۳]. این مونومرها پس از نفوذ در داخل چوب طی فرایندهای حرارتی یا تابش پرتوهای گاما پلیمر، سفت و سخت می‌شود [۲، ۴]. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فرآورده چوب-پلیمر در مقایسه با چوب تیمارنشده بهبود می‌یابد [۵]. مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، سختی سطح و ثبات ابعاد به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و

بدون نیاز به پوشش سطحی یا سمباده‌زنی و پرداخت، سطحی کاملاً صاف و براق به دست می‌آید [۵]. همچنین، این فرآورده در صنایع نظامی و نساجی، سوله هواپیما، استادیوم ورزشی، تجهیزات اداری و سازه‌های دریایی کاربرد دارد [۵].

بررسی چندسازه چوب-پلیمر حاصل از گونه صنوبر (*P. ussuriensis*) و مونومر استایرن نشان داد که مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و سختی به ترتیب ۳۸، ۷۷ و ۹۷ درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود یافته است [۶]. تصاویر میکروسکوپ الکترونی چوب پلیمر حاصل از گونه صنوبر با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات نشان داد که پلیمر به خوبی در حفره سلولی قرار گرفته و باعث استحکام چوب، بهبود ثبات ابعاد، ثبات حرارتی، مقاومت در برابر پوسیدگی و مقاومت خمشی شده است [۷].

اثر مثبت استفاده از مونومرهای مختلف حفره‌ای<sup>۱</sup> بر خواص فیزیکی، مکانیکی و بیولوژیکی برخی گونه‌های چوبی اثبات شده است، ولی تاکنون تحقیقی پیرامون اثر سطوح مختلف مونومرهای حفره‌ای استایرن و متیل متاکریلات بر ویژگی‌های چوب راش ایرانی (*Fagus orientalis*) انجام نشده است. با توجه به اینکه این گونه با بافتی همگن، نفوذپذیری خوب، کم‌دوام و مواد استخراجی پایین، بخش اعظم جنگل‌های تجاری شمال کشور را به خود اختصاص داده است، این تحقیق با هدف بررسی اثر استفاده از غلظت‌های مختلف این مونومرها بر مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی، فشار

۱. مونومری که فقط به داخل حفره‌های سلولی چوب نفوذ کند و وارد روزنه‌های دیواره سلولی نشود یا به مقدار کم در دیواره نفوذ کند.

دانسیتته  $23/2 \text{ g/cm}^3$  و نقطه جوش  $104-106^\circ\text{C}$  اتصال دهنده عرضی به میزان ۱ درصد وزنی مونومر و بنزن<sup>۵</sup> با جرم مولکولی  $87/11 \text{ gr}$  و دانسیته  $\text{g/cm}^3$   $0/877 - 0/878$  نیز حلال به منظور بررسی سطوح مختلف غلظت مونومر استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. سطوح غلظت مونومرهای مورد استفاده

سطح مونومر (%)	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰
بنزن (%)	۰	۲۰	۴۰	۶۰

### اشباع نمونه‌ها

نمونه‌ها با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات به روش سلول پر در سیلندر اشباع واقع در آزمایشگاه فناوری برش دانشکده منابع طبیعی ساری اشباع شد. جهت خارج سازی هوای داخل نمونه‌های چوبی و سیلندر ابتدا خلأیی به اندازه  $0/7$  بار و به مدت ۳۰ دقیقه برقرار شد. در انتهای مرحله خلأ شیر مخزن جهت ورود مایع به داخل باز و مونومر به داخل سیلندر مکیده شد. پس از این مرحله فشاری معادل ۸ بار و برای مدت ۱ ساعت اعمال شد. پس از اتمام فرایند، نمونه‌ها از داخل سیلندر خارج و توزین شد. درصد جذب مونومر از روابط زیر به دست آمد:

$$W_m = W_t - W_c \quad (1)$$

$W_m$  وزن مونومر،  $W_t$  وزن نمونه بعد از اشباع،  $W_c$  وزن نمونه قبل از اشباع را نشان می‌دهد.

$$M_u = (W_m/W_c) \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $M_u$  درصد پلیمر جذب شده بر مبنای وزن خشک نمونه چوب است.

بعد از مرحله اشباع، نمونه‌ها در فویل آلومینیومی

موازی الیاف، سختی و مقاومت در برابر پوسیدگی گونه چوبی راش ایرانی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### گونه چوبی

گونه راش ایرانی (*Fagus orientalis*) از جنگل داراب کلا، واقع در شهرستان ساری تهیه شد. برای رسیدن به رطوبت تعادل محیط، گرده‌بینه‌ها به الوار تبدیل شد و حدود یک ماه در محیط کارگاه قرار گرفت و برای تعیین خواص مکانیکی و مقاومت در برابر پوسیدگی طبق استانداردهای ASTM- D143 و DIN EN 113 تبدیل شد. برای هر سطح تیمار (۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد) پنج تکرار در نظر گرفته شد. نمونه‌های آزمونی تحت دمای  $2 \pm 10.3$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آن برای رسیدن به رطوبت کمتر از ۶ درصد جهت انجام پلیمریزاسیون بهتر خشک و با ترازویی با دقت  $0/001$  گرم توزین شد. وزن خشک آن‌ها ثبت و تا زمان اشباع درون کیسه‌های پلاستیکی نگه‌داری شد.

#### آماده‌سازی محلول مونومر

مونومرهای وینیلی استایرن<sup>۱</sup> و متیل متاکریلات<sup>۲</sup> به ترتیب با نقطه جوش  $145^\circ\text{C}$  و  $101^\circ\text{C}$  و دانسیته  $0/906 \text{ g/cm}^3$  و  $0/94 \text{ g/cm}^3$  انتخاب شد. بنزویل پراکساید<sup>۳</sup> با دانسیته  $22/19 \text{ g/cm}^3$  و نقطه جوش  $105-102^\circ\text{C}$  آغازگر واکنش پلیمریزاسیون به میزان ۲ درصد وزنی مونومر و اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات<sup>۴</sup> با

1.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$
2.  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$
3.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CO) O}_2$
4.  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2$

شد. پس از توسعه کامل قارچ روی محیط کشت، نمونه‌های استریل چوبی به داخل ظروف منتقل شد. ظروف حاوی نمونه‌ها، داخل انکوباتور تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار گرفت. پس از ۱۶ هفته، نمونه‌ها از ظروف خارج و متعاقب زدودن ریشه‌ها از سطوح نمونه، درون آون تحت دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. با اندازه‌گیری وزن خشک پس از تخریب، کاهش وزن نمونه‌ها از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$WL = ((W_2 - W_1) / W_1) \times 100 \quad (3)$$

WL کاهش وزن (%)،  $W_1$  وزن خشک اولیه

$W_2$  (gr)، وزن خشک ثانویه (gr) را نشان می‌دهد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. همچنین، گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) انجام شد.

## نتایج و بحث

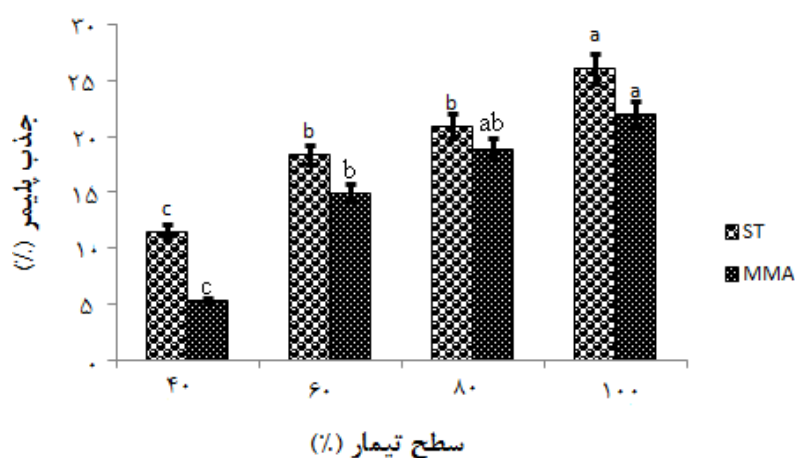
نتایج نشان داد که با افزایش غلظت مونومر، درصد پلیمر جذب‌شده افزایش یافت (شکل ۱).

پیچیده شد و به منظور پلیمریزاسیون مونومر، داخل آون به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس، بدون پوشش آلومینیمی مجدداً تحت دمای ۱۰۳°C قرار داده شد تا مونومر بخش مغزی نمونه نیز به پلیمر تبدیل شود. متعاقباً، نمونه‌ها از آون خارج و توزین شد. از آنجا که یکی از اهداف این تحقیق، به‌دست آوردن درصد‌های جذب مختلف مونومرها بود، مراحل ذکر شده در بالا با درصد اختلاط متفاوت بنزن صورت پذیرفت.

## آزمون‌های مکانیکی و مقاومت در برابر

### پوسیدگی

آزمون مکانیکی مطابق با استاندارد ASTM D 143-94 انجام شد. ابعاد نمونه‌های مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته ۲۰×۲۰×۲۸۰ میلی‌متر، سختی ۲۰×۲۰×۶۰ میلی‌متر و فشار موازی الیاف ۲۰×۲۰×۵۰ میلی‌متر تعیین شد. آزمون مقاومت در برابر پوسیدگی مطابق با استاندارد EN 113 انجام شد. ابعاد نمونه‌ها ۱۵×۲۵×۵۰ میلی‌متر تعیین شد. تحت شرایط استریل، قارچ پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor*) به ظروف حاوی محیط کشت عصاره مالت آگار منتقل



شکل ۱. درصد پلیمر جذب‌شده متیل متاکریلات و استایرن

شاهد داشت، به طوری که مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد به ترتیب از ۷۴۴۹/۴ به ۱۳۴۱۶/۸ و ۱۱۵۶۴/۹۴MPa در مونومر متیل متاکریلات و استایرن افزایش یافت (شکل ۲).

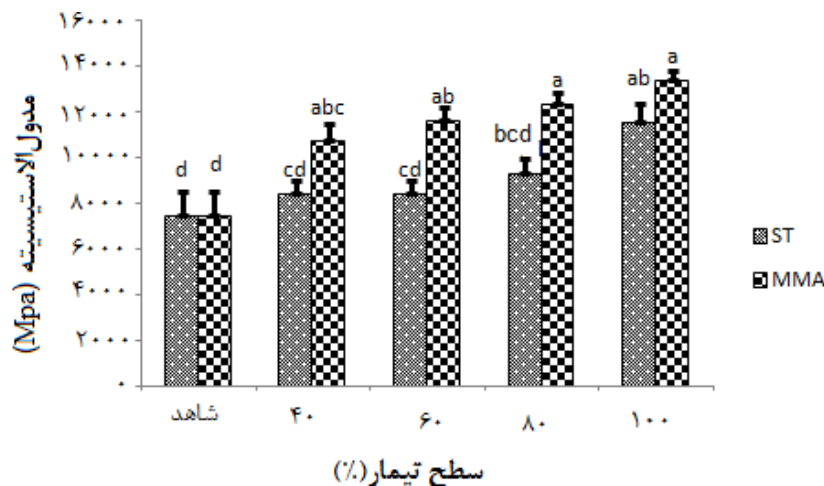
### مدول گسیختگی

بر اساس نتایج، بین سطوح مختلف تیمار و نمونه‌های شاهد در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنادار مشاهده شد، ولی اختلاف بین دو مونومر معنادار نبود. به همین دلیل، گزارش نتایج هر مونومر در قالب شکل‌های مجزا ارائه شد.

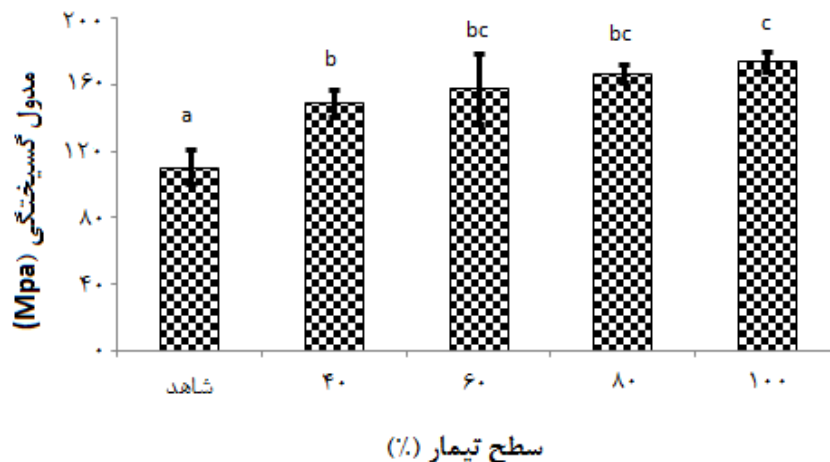
به طور کلی، افزایش غلظت مونومر و متعاقب آن جذب بیشتر پلیمر به بهبود مقادیر مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، فشار موازی الیاف و سختی و مقاومت در برابر پوسیدگی نمونه‌ها پس از تیمار با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات منتهی شد.

### مدول الاستیسیته

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح غلظت، مدول الاستیسیته افزایش یافت که مقدار آن در مونومر متیل متاکریلات بهبود معناداری نسبت به مونومر استایرن در سطح اعتماد ۹۹ درصد داشته است. مدول الاستیسیته در سطح ۱۰۰ درصد اختلاف معناداری با



شکل ۲. اثر سطوح غلظت مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات بر مدول الاستیسیته

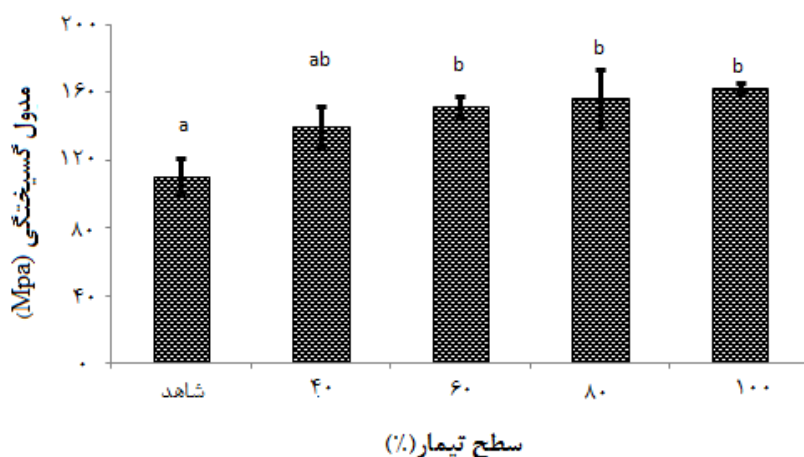


شکل ۳. مدول گسیختگی نمونه‌های چوب- پلیمر اشباع شده با مونومر متیل متاکریلات

می‌گردد [۱۱]، ولی با توجه به نتایج این تحقیق، اثر مونومر متیل متاکریلات بر مقاومت‌های خمشی، حتی در سطوح غلظت مونومر یکسان بهتر از مونومر استایرن است. می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که علی‌رغم افزایش دانسیته بیشتر متعاقب جذب استایرن، فاکتور غالب در اثر پلیمر بر این مقاومت توزیع یکنواخت پلیمر داخل ساختار چوب است و مونومر متیل متاکریلات با ماهیت قطبی‌تر در مقایسه با استایرن (به واسطه داشتن گروه‌های هیدروکسیل) قدرت نفوذ بیشتر به داخل ساختار چوب دارد و این توزیع بیشتر و یکنواخت‌تر به اثر مثبت محسوس‌تر بر مقاومت‌های خمشی منتهی می‌شود. وجود پلیمر در حفره سلولی موجب استحکام دیواره نازک سلولی می‌شود و از کماتش دیواره زیر بار فشار جلوگیری می‌کند. این موضوع احتمالاً علت افزایش مقاومت خمشی چوب پلیمرهاست [۹، ۱۰]. مونومر متیل متاکریلات با ساختار قطبی‌تر در مقایسه با استایرن باعث بهبود بیشتر در ثبات ابعاد و مقاومت‌های خمشی می‌شود [۱۲].

مدول گسیختگی در نمونه‌های اشباع شده با مونومر متیل متاکریلات روند صعودی داشت، به طوری که در بالاترین و پایین‌ترین غلظت ۳۶/۴ و ۲۵/۷ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافته است (شکل ۳).

شکل ۴ مقادیر مدول گسیختگی نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرن نسبت به شاهد را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده اختلاف معناداری وجود دارد، اما بین سطوح مختلف تیمار این اختلاف مشاهده نشد. مقدار مدول گسیختگی نمونه‌های شاهد از ۱۱۰/۸۲ MPa به ۱۶۳/۱۵ MPa در سطح ۱۰۰ درصد افزایش یافت. مدول خمشی نشان‌دهنده نیروی لازم برای خم کردن نمونه است. بنابراین، اجسام دارای سفتی بیشتر مدول خمشی زیادتری دارند [۸]. وجود پلیمر در چوب ظاهراً سفتی دیواره نازک سلولی را برای جلوگیری از کماتش تحت فشار بار به اندازه کافی بالا می‌برد که این امر به افزایش نسبتاً بالا در مقاومت‌های خمشی فرآورده‌های چوب پلیمر منتهی می‌شود [۹، ۱۰]. افزایش دانسیته نیز منجر به بهبود مدول گسیختگی

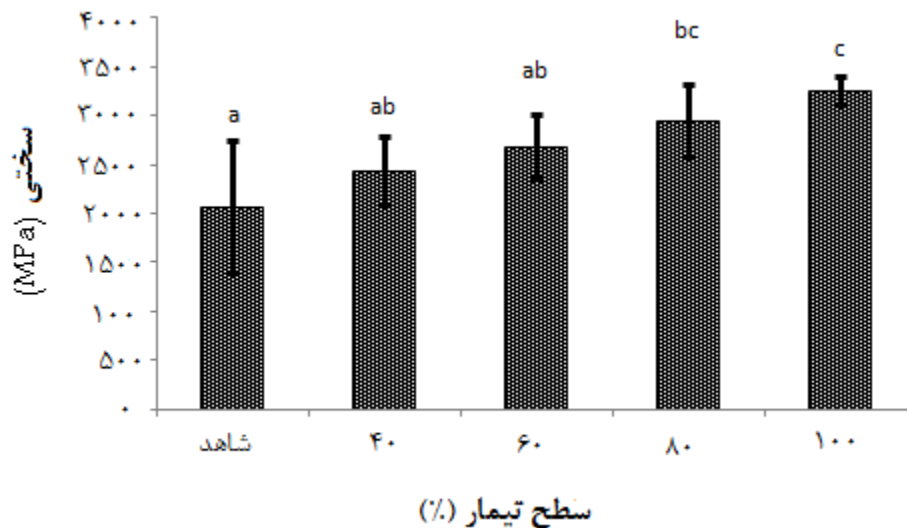


شکل ۴. مدول گسیختگی نمونه‌های چوب پلیمر اشباع شده با مونومر استایرن

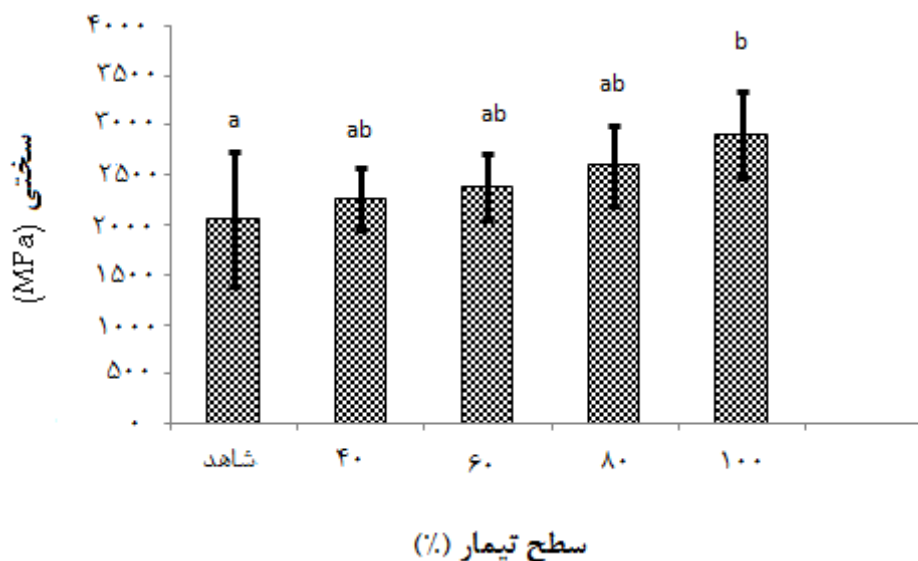
۲۹ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. شکل ۶ مقادیر سختی نمونه‌های اشباع‌شده با مونومر استایرن نسبت به شاهد را نشان می‌دهد. با افزایش سطح تیمار (افزایش غلظت مونومر)، سختی نمونه‌ها افزایش یافت، به طوری که سختی نمونه‌ها در سطح ۱۰۰ درصد، ۳۶/۵ درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود نشان داد.

### سختی

شکل ۵ میانگین نتایج مقادیر سختی چوب پلیمر اشباع‌شده با مونومرهای متیل متاکریلات و استایرن را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به دست آمده، بین سطوح مختلف تیمار با سطح شاهد اختلاف معنادار در سطح اعتماد ۹۹ درصد مشاهده شد. میانگین مقدار سختی نمونه‌های تیمار شده با مونومر متیل متاکریلات نسبت به شاهد بهبود یافت و سختی در سطح ۱۰۰ درصد،



شکل ۵. مقادیر سختی نمونه‌های اشباع‌شده با مونومر متیل متاکریلات



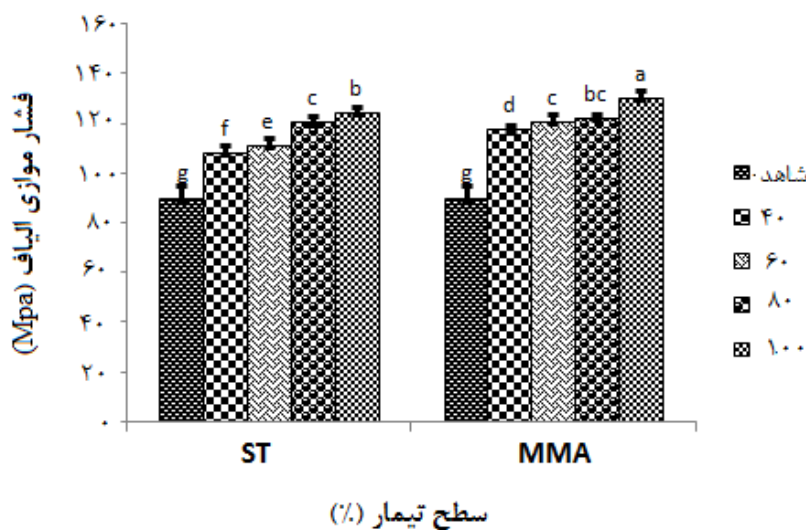
شکل ۶. مقادیر سختی نمونه‌های اشباع‌شده با مونومر استایرن

جوش و ویسکوزیته بالاتر و هم‌کشیدگی کمتر اثر محسوس‌تری بر سختی نشان داده است. همچنین، سختی پلیمر به درجه پلیمریزاسیون و مقدار مونومر باقیمانده بستگی دارد [۱۰]. از آنجا که در سطوح یکسان غلظت مونومر، مقدار جذب پلیمر استایرن بیش از متیل متاکریلات بوده است، بر بهبود سختی مؤثرتر عمل کرده است. مونومر متیل متاکریلات در مقایسه با استایرن بهبود کمتری در سختی ایجاد می‌کند [۱۶].

### فشار موازی الیاف

نتایج نشان داد که اختلاف معناداری بین فشار موازی الیاف دو مونومر در غلظت‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین دانکن نشان داد که بیشترین فشار موازی الیاف نسبت به شاهد مربوط به سطح ۱۰۰ درصد مونومر متیل متاکریلات (MMA) با ۳۰/۷ درصد افزایش بود. کمترین بهبود فشار موازی الیاف نسبت به شاهد در سطح ۴۰ درصد مونومر استایرن با ۱۶/۶ درصد افزایش مشاهده شد (شکل ۷).

سختی چوب، ارتباط معکوس با رطوبت و با جرم ویژه و جهت الیاف چوب رابطه مستقیم دارد. نوع پلیمر، اتصال‌دهنده‌های عرضی، میزان جذب، روش و میزان پلیمریزاسیون روی سختی پلیمر تأثیر می‌گذارد. میزان جذب نیز بستگی به نوع چوب، دانسیته و خلل و فرج چوب دارد [۱۳]. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت مونومر سختی افزایش یافت، به طوری که سختی در سطوح ۴۰ و ۱۰۰ درصد، ۸ و ۲۹ درصد در مونومر متیل متاکریلات، ۱۵/۲ و ۳۶/۵ درصد در مونومر استایرن نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. اتیلن گلیکول دی‌متاکریلات با فرمول  $C_6H_{14}O_2$  اتصال‌دهنده عرضی است که برای ایجاد اتصالات عرضی و درگیر کردن گروه‌های هیدروکسیل آزاد چوب استفاده شد و ظاهراً بیش از گروه‌های هیدروکسیل ساختار متیل متاکریلات به افزایش سختی منتهی شده است [۱۴]. فرایند جذب تحت تأثیر روش اشباع و ویژگی‌های مونومر مانند ویسکوزیته، نقطه جوش (به علت تبخیر طی فرایند پلیمر شدن)، قطبیت، وزن مولکولی و هم‌کشیدگی متعاقب پلیمریزاسیون است [۱۵]. استایرن با نقطه



شکل ۷. میانگین مقاومت به فشار موازی الیاف نمونه‌های اشباع‌شده با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات

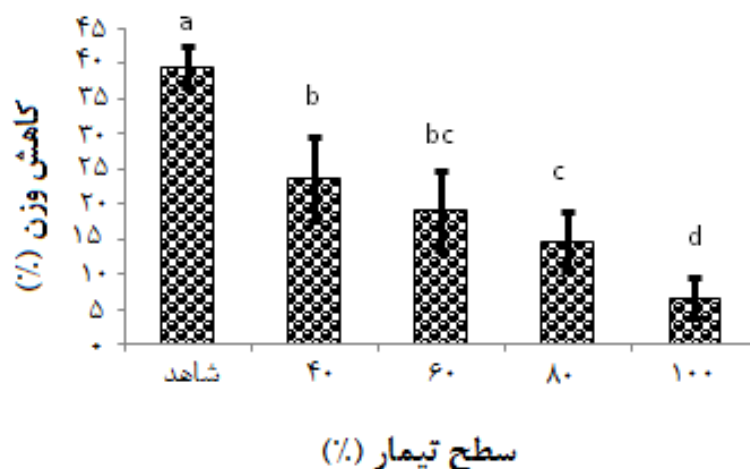


فشار موازی الیاف افزایش می‌دهد [۱۷]. این اثر مهارکنندگی ممکن است به علت اثر متقابل بین گروه‌های هیدروکسیل متیل متاکریلات و اتصال‌دهنده‌ی عرضی در استایرن با گروه‌های هیدروکسیل چوب افزایش یابد، که این امر در متیل متاکریلات با ماهیت قطبی‌تر معنادارتر بوده است. از آنجا که این ویژگی رابطه‌ی مستقیمی با وزن مخصوص دارد، می‌توان پیش‌بینی کرد که چوب پلیمر با وزن مخصوص بالاتر قابلیت بالایی در عرضه‌ی محصولاتی با مقاومت فشاری بهتر است. در واقع، تشکیل پلیمر داخل چوب، نسبت فضای خالی آن را کاهش می‌دهد و مقدار نیروی لازم برای تغییر شکل چوب پلیمر افزایش می‌یابد [۱۸].

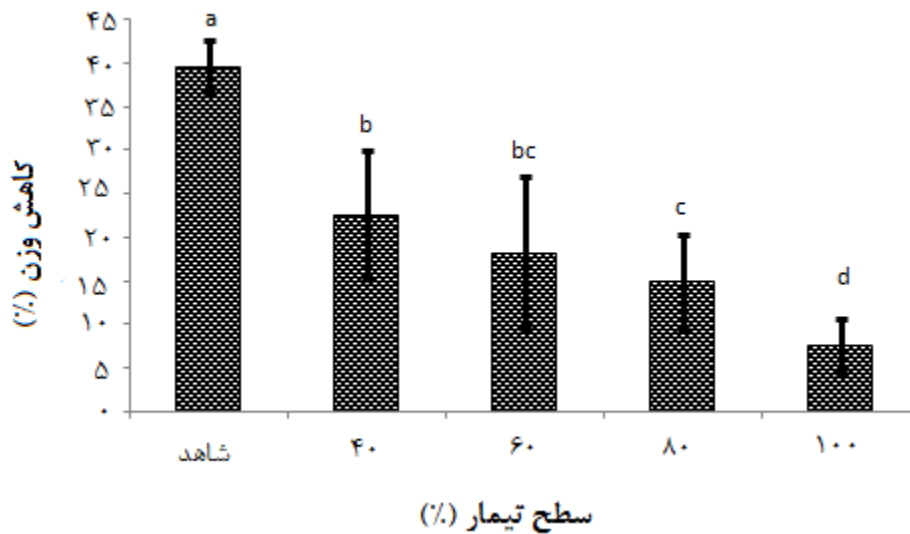
### مقاومت به پوسیدگی

نتایج نشان داد که کاهش وزن ناشی از پوسیدگی قارچی بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده در سطح اعتماد ۹۹٪ معنادار است، ولی بین دو نوع مونومر اختلاف معنادار مشاهده نشد.

نتایج نشان داد که با افزایش سطح تیمار، مقاومت به فشار موازی الیاف افزایش یافت، به طوری که در مونومرهای متیل متاکریلات و استایرن به ترتیب در بالاترین سطح غلظت (۱۰۰ درصد)، ۳۰/۷ و ۲۷/۵ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد بهبود نشان داد. اثر افزایشی مقاومت فشاری در چوب پلیمر، بیش از مقاومت‌های کششی و خمشی است، زیرا پلیمر در حفره‌های سلولی موجب نگهداری و استحکام دیواره سلولی و مقاومت آن در برابر کماتش ناشی از فشار می‌شود [۵]. این خاصیت در محدوده بار الاستیکی بیشتر نمایان است، گرچه به نظر می‌رسد که این تقویت و نگهداری دیواره سلولی تا مرحله پلاستیک و شکست هم ادامه داشته است [۱۰]. چوب تیمار نشده به علت داشتن دیواره نازک و خالی بودن حفره سلولی، در مقابل فشار موازی الیاف دچار لهیدگی می‌شود، اما وجود پلیمر در حفره باعث پوشش دیواره می‌شود و ضخامت آن را زیاد می‌کند؛ به همین دلیل موجب ثبات ابعاد و استحکام جانبی آن می‌شود [۹]. افزودن پلیمر روی دیواره سلولی آن را ضخیم‌تر می‌سازد و تا حد زیادی ثبات جانبی آن را تحت



شکل ۸. کاهش وزن نمونه‌های چوب- پلیمر متیل متاکریلات بر اثر قارچ رنگین کمان



شکل ۹. کاهش وزن نمونه‌های چوب- پلیمر استایرن بر اثر قارچ رنگین کمان

در چوب، کاهش وزن نمونه‌ها روند نزولی نشان داد، به طوری که بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های شاهد، ۳۶/۹ درصد بود ولی در نمونه‌های اشباع‌شده با مونومرهای استایرن و متیل‌متاکریلات به ۷/۶ و ۶/۵ درصد کاهش یافت. قارچ‌ها پوسیدگی چوب را بر اساس مکانیسم آنزیمی تخریب می‌کند. این آنزیم‌ها به دیواره سلولی نفوذ می‌کند و پلیمرهای دیواره سلولی را به ترکیبات تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌شکند که این امر با گسترش هیف توسعه می‌یابد [۱۹]. دلیل مقاومت به پوسیدگی چوب پلیمر سمیت مونومرهای به کار رفته نیست، زیرا پس از تبدیل مونومر به پلیمر، این سمیت از بین می‌رود، بلکه وجود پلاستیک در داخل حفره‌های سلولی و ریزروزیتهای دیواره، سدی در راه نفوذ و حرکت ریشه‌های قارچ ایجاد می‌کند [۵]. پرشدن گذرگاه‌های فوق، موجب کندشدن حرکت مولکول‌های آب و کاهش نپذیری چوب- پلیمر می‌شود، که به جلوگیری از رشد و گسترش قارچ‌ها می‌انجامد [۵]. به علاوه، پلیمر مانع

میانگین هشت تکرار کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف متیل‌متاکریلات ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد و نمونه شاهد پس از حمله قارچ پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor*) در شکل ۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان جذب پلیمر در چوب، کاهش وزن نمونه‌ها به شدت روند نزولی پیدا کرده است، به طوری که کاهش وزن نمونه‌های اشباع شده با مونومر متیل‌متاکریلات در سطح ۱۰۰ درصد، ۸۳/۶ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد تنزل پیدا کرد شکل ۹ روند تغییرات کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرن را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت مونومر، کاهش وزن ناشی از پوسیدگی کاهش یافت، به طوری که کاهش وزن نمونه‌های اشباع‌شده با مونومر استایرن در سطح ۱۰۰ درصد، ۸۰/۸ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد تنزل پیدا کرد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان جذب پلیمر

کاهش یافت. در مقایسه نتایج دو مونومر مشاهده شد که متیل متاکریلات با ساختار قطبی تر در مقایسه با استایرن باعث بهبود بیشتر در مقاومت‌های خمشی و فشار موازی الیاف شد. در سطوح یکسان غلظت مونومر، استایرن با مقدار جذب بیش از متیل متاکریلات، بر بهبود سختی مؤثرتر عمل کرد. دو مونومر در بهبود مقاومت در برابر پوسیدگی اختلاف معناداری نشان ندادند. در این تحقیق از گونه راش ایرانی استفاده شد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی از دیگر گونه‌های پرمصرف و بومی ایران و دارای نفوذپذیری مناسب و دانسیته کمتر استفاده شود. همچنین، می‌توان با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی SEM و TEM و طیف‌های FTIR و XRD، محل قرار گرفتن مونومر در ساختار متخلخل چوب پلیمر را نشان داد.

فیزیکی سخت در چوب است که حفرات سلولی (حفرات آوند، فیبر و سلول‌های پارانشیمی) را مسدود می‌کند و مانع حرکت میسیلیوم قارچ در حفرات و از آنجا به پونکتواسیون‌ها و نهایتاً به دیواره سلول‌ها می‌شود. در این رابطه نتایج مشابهی نیز در تحقیقات انجام شده به دست آمد [۹، ۲۰].

### نتیجه‌گیری

در نتیجه‌گیری کلی، می‌توان اظهار داشت که با افزایش غلظت محلول مونومر، مقاومت‌های مکانیکی افزایش یافت. همچنین، با افزایش میزان جذب پلیمر در چوب، بهبود مقاومت در برابر پوسیدگی نیز مشاهده شد، به طوری که بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های شاهد، ۳۶/۹ درصد بود ولی در نمونه‌های اشباع شده با مونومرهای استایرن و متیل متاکریلات در سطح ۱۰۰ درصد، به ترتیب به ۷/۶ و ۶/۵ درصد

## References

- [1]. Baysal, E., Yalinkilik, M. K., Altinok, M., Sonmez, A., Peker, H., and Colak, M. (2007). Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. *Construction and Building Materials*, (21): 1879–1885.
- [2]. Omidvare, A., and Amoozadeh omrani, M. (2005). Investigation on treatability of palownia wood using polymerization technique. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 12(5): 128-138.
- [3]. Lande, S., Westin, M., and Schneider, M. (2004). Properties of furfurylated wood. *Journal of Forest Research*, 19(5): 22-30.
- [4]. Zahedi tajrishi, A., and Omidvar, A. (2007). Resistance of poplar wood polymer composites against *Coriolus versicolor* fungus. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*, 14(1): 81-90.
- [5]. Omidvare, A. (2009). *Wood Polymer Composites*, 1<sup>th</sup> Ed., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources press, Gorgan.
- [6]. Li, Y., Liu, Y., Wang, X., Wu, Q., Yu, H., and Li, J. (2011). Wood-polymer composites prepared by in-situ polymerization of monomers within wood. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(6): 3207–3216.
- [7]. Li, Y., Dong, X., Lu, Z., Jia, W., and Liu, Y. (2012). Effect of polymer in situ synthesized from methyl methacrylate and styrene on the morphology, thermal behavior and durability of wood. *Journal of Applied Polymer Science*, (10): 1-8.
- [8]. Mehrabzadeh, M., and Kamal, M. R. (2009). Effects of different types of clays and maleic anhydride modified polystyrene on polystyrene/clay nanocomposites. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, (2): 151-157.
- [9]. Siau, J.F., Davidson, R.W., Meyer, J.A., and Skaar, C. (1968). Geometrical model for wood-polymer composites. *Wood Science and Technology*, 1(2): 116–128.
- [10]. Schneider, M.H., Phillips, J.G., Tingley, D.A., and Brebner, K.I. (1990). Mechanical properties of polymer-impregnated sugar maple. *Forest Products Journal*, 40(1): 37–41.
- [11]. Yalinkilic, M.K., Tsunoda, K., Takahashi, M., Gezer, E.D., Dwianto, W., and Nemoto, H. (1998). Enhancement of biological and physical properties of wood by boric acid-vinyl monomer combination treatment. *Holzforshung*, 52 (6): 667–672.
- [12]. Kawakami, H., Yamashina, H., and Taneda, K. (1977). Production of wood-plastic composites by functional resins. I. Effects of adding crosslinking and polar monomers to methyl methacrylate. *Journal of Hokkaido Forest Products Research*, 306: 10–17.
- [13]. Ibach, R., and Ellis, W. (2005). Lumen Modifications, in Roger M. Rowell of Editors (ed.), *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, Washington, D.C., 421-446.
- [14]. Lawniczak, M., and Szwarz, S. (1987). Crosslinking of polystyrene in wood-polystyrene composite preparation. *Zesz. Probl. Postepow Nauk Rolniczych*, 299(37): 115–125.
- [15]. Ellis, W. (2000). Wood-polymer composites: Review of processes and properties. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 353: 75-84.
- [16]. Yalinkilic, M., Gezer, E., Takahashi, M., Demirci, Z., Ilhan, R., and Imamura, Y. (1999). Boron

- Addition to Non- or Low-Formaldehyde Cross-linking Reagents to enhance biological resistance and dimensional stability of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 57 (5): 351-357.
- [17]. Rozman, H.D., Kumar, R.N., Abusamah, A., and Saad, M.J. (1998). Rubber wood-polymer composites based on glycidyl meth-acrylate and diallylphthalate. *Journal of Applied Polymer Science*, 67: 1221-1226.
- [18]. Saiful Islam, M.D., Sinin Hamdan, I., Jusoh, M.D., Rezaur Rahman, A.S.A. (2012). The effect of alkali pretreatment on mechanical and morphological properties of tropical wood polymer composites. *Materials and Design Journal*, 33: 419-424.
- [19]. Mohebbi, B. (2003). Biological attack of acetylated wood. Ph. D. thesis. Göttingen University, Göttingen. 147 P.
- [20]. Fruno, T. (1991). The role of wall polymer in the dimensional stability and decay durability of wood-polymer composites. In: *Proceeding of International Symposium on chemical modification of wood*, Kyoto, Japan, 160- 165.

