Iranian Journal of Wood and Paper Science Research

Print ISSN: 1735-0913

Online ISSN: 2383-112X

Vol. 41, No. 1, Page 32-45 (2026) DOI: 10.22092/ijwpr.2025.370941.1816

(OPEN ACCESS)

Effect of using waste tire powder as a filler of alcohol soluble PF resin on physical and mechanical properties of *Populous nigra* LVL

Hossein Babaei Shahvardi[1]*, Farshid Faraji[2], Laya Jamali Rad[3] and Seyyed Majid Zabihzadeh[4]

1*-Corresponding author, M.Sc. Student, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran, Email: h63.babayi@gmail.com

2-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

3-Associate Professor, Department of Wood Engineering and Technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources,Gorgan, Iran

4-Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of sari, sari, I.R. Iran.

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 6 October 2025
Revised: 10 December 2025
Accepted: 14 December 2025
Published online: 20 March 2026

Keywords:
Adhesive,
laminated lumber,
phenol formaldehyde,
waste tire powder,
wood products.
.

ABSTRACT

Background and Objective: Laminated Veneer Lumber (LVL) is one of the most important engineered wood products, offering efficient utilization of fast-growing species such as poplar. Despite its advantages, LVL suffers from dimensional instability and limited durability under moisture exposure, which restricts its wider applications. In recent years, various fillers have been added to phenol-formaldehyde (PF) resins to enhance physical and mechanical properties of LVL. Waste tire powder, owing to its hydrophobic and polymeric nature, has emerged as a promising alternative to traditional fillers such as wheat flour. Recycling waste tires not only contributes to sustainable waste management but also offers a low-cost resource for wood composites. This study aimed to investigate the effect of particle size (40, 60, 80 mesh) and content (10, 20, 30%) of waste tire powder on the mechanical and physical properties of poplar LVL.

Materials and Methods: Two 12-year-old poplar (*Populous nigra*) trees were harvested and peeled into 2.2 mm veneers, which were conditioned to about 5% moisture content. Phenol-formaldehyde resin dissolved in methanol without additives was used as the adhesive. Waste tire powder obtained from a recycling plant was sieved into three particle sizes (40, 60, 80 mesh). It was incorporated into the PF resin at 10, 20, and 30% based on the dry weight of resin. For comparison, control samples were prepared using 20% wheat flour as filler. In total, 27 experimental LVL panels (9 treatments × 3 replications) plus 3 control panels were produced. The panels were hot-pressed at 180°C under a pressure of 30 kg/cm² for 8 minutes. Mechanical properties including

modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) were evaluated according to EN 310, screw and nail withdrawal resistance according to ASTM D 1037, and physical properties including water absorption and thickness swelling (24 h immersion) according to EN 317. A completely randomized design was applied, and data were analyzed using analysis of variance (ANOVA). Multiple comparisons of means were performed using Turkey's test at 95% and 99% confidence levels.

Results: The results indicated that both particle size and content of waste tire powder significantly affected the physical and mechanical performance of poplar LVL. MOR decreased in all treatments compared with the control; however, the reduction was less pronounced at 20% and 30% content, which showed no significant difference from each other. MOE followed a similar trend, with finer particles (60 and 80 mesh) outperforming coarser particles (40 mesh). Screw and nail withdrawal resistance were highly influenced by the interaction of both factors. The combination of 20% tire powder with 80-mesh particles resulted in the highest screw holding strength (an improvement over the control), while the weakest performance was observed at 10% content and 40 mesh. Regarding physical properties, waste tire powder showed a remarkable positive effect. Treatments with higher contents and finer particles exhibited significant reductions in water absorption and thickness swelling compared with the control. Specifically, panels with 30% and 80 mesh achieved the lowest water absorption, while 20% with 60 mesh provided the best dimensional stability with over 40% reduction in thickness swelling. These findings suggest that finer tire particles at moderate-to-high contents enhance resin distribution, reduce voids, and improve interfacial bonding, thereby increasing resistance to moisture.

Conclusion: Based on the findings, the use of waste tire powder in phenol formaldehyde resin can be proposed as a sustainable approach in the production of *Populous nigra* LVL. Although mechanical properties such as flexural strength were slightly reduced, the modulus of elasticity and joint strength were maintained under optimal conditions. On the other hand, the improvement of physical properties such as reduced water absorption and thickness swelling is likely the result of the positive interaction between tire powder and the hydrophobic nature of phenol formaldehyde adhesive. Therefore, the use of tire powder in adhesive formulation can be an effective approach to improve sustainability and develop a circular economy in the engineered wood industry, while contributing to the recycling of waste tires.

Cite this article: Hossein Babaei Shahvardi, Farshid Faraji, Laya Jamali Rad and Seyyed Majid Zabihzadeh. 2026. Effect of using waste tire powder as a filler of alcohol soluble PF resin on physical and mechanical properties of *Populous nigra* LVL. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 41(1), 32-45. **DOI** **https://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.370941.1816**

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijwpr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

تأثیر استفاده از پودر تایر بازیافتی به‌عنوان فیلر رزین فنل فرم‌آلدهید بر خواص فیزیکی و مکانیکی LVL صنوبر تبریزی (*Populous nigra*)

حسین بابایی شاهوردی [۱*]، فرشید فرجی [۲]، لعیا جمالی راد [۳] و سید مجید ذبیح زاده [۴]

۱*-نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فراورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه گنبدکاووس، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گنبد، ایران، پست الکترونیک h63.babayi@gmail.com

۲-استادیار گروه صنایع چوب و کاغذ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد، گنبد، ایران

۳-دانشیار گروه مهندسی و تکنولوژی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۴- دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
کامل علمی - پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹

واژه‌های کلیدی:
الوار لایه‌ای،
پودر تایر ضایعاتی،
چسب فنول فرم‌آلدهید،
فرآورده‌های چوبی.

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از الوار لایه‌ای Laminated Veneer Lumber (LVL) به‌عنوان یکی از فراورده‌های نوین چوبی، امکان بهره‌برداری از گونه‌های سریع‌الرشد مانند *Populus nigra* را فراهم کرده و نقش مهمی در کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی دارد. باوجود مزایای متعدد، محدودیت اصلی LVL، حساسیت آن به تغییرات رطوبتی و کاهش نسبی دوام در شرایط محیطی است. در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به افزودنی‌های نوین برای بهبود خواص این محصول شده است. در همین راستا، پودر تایر ضایعاتی به دلیل ماهیت هیدروفوبیک و ساختار پلیمری خود به‌عنوان فیلری جایگزین برای مواد سنتی مانند آرد گندم پیشنهاد گردیده است. این مطالعه باهدف بررسی اثر اندازه ذرات (۴۰، ۶۰ و ۸۰ مش) و درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) بر خواص مکانیکی و فیزیکی LVL صنوبر تبریزی انجام شد.

مواد و روش: برای انجام این پژوهش، دو اصله درخت صنوبر تبریزی (*Populus nigra*) دوازده‌ساله برداشت و پس از پوست‌کنی و لایه‌برداری، لایه‌هایی به ضخامت ۲/۲ میلی‌متر تهیه شد. لایه‌ها تا رسیدن به رطوبت حدود ۵ درصد در خشک‌کن هوایی نگهداری گردید. به‌منظور آماده‌سازی چسب، رزین فنول فرم‌آلدهید محلول در متانول بدون افزودنی انتخاب شد و پودر تایر ضایعاتی حاصل از بازیافت تایرهای فرسوده در کارخانه به سه اندازه ذرات (۴۰، ۶۰ و ۸۰ مش) آسیاب و جداسازی گردید. این پودر به نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بر اساس وزن خشک رزین به مخلوط چسب افزوده شد. نمونه‌های شاهد با استفاده از رزین حاوی ۲۰ درصد آرد گندم به‌عنوان فیلر تهیه گردید. درمجموع ۲۷ پنل آزمایشی (۹ تیمار در سه تکرار) و سه پنل شاهد ساخته شد. فرایند پرس در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و زمان ۸ دقیقه انجام شد. برای سنجش مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته طبق استاندارد EN 310، واکشیدگی ضخامت و جذب آب طبق EN 317 و مقاومت نگهداری پیچ و میخ طبق ASTM D 1037 استفاده شد. طرح آماری مورد استفاده کاملاً تصادفی بود و تجزیه واریانس برای داده‌ها انجام شد. تفاوت میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی گردید.

نتایج: نتایج نشان داد که حضور پودر تایر ضایعاتی تأثیر معناداری بر خواص فیزیکی و مکانیکی LVL صنوبر تبریزی دارد. مقاومت خمشی در تمامی تیمارهای حاوی پودر تایر نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت، اما تفاوت آن در سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد مصرف پود تایر نسبت به ۱۰ درصد کمتر بود. مدول‌الاستیسیته نیز روند مشابهی داشت، تیمارهای با ذرات ریزتر (۶۰ و ۸۰ مش) عملکرد بهتری نسبت به ذرات درشت‌تر (۴۰ مش) داشتند. در مورد مقاومت نگهداری پیچ و میخ، اثر متقابل دو عامل اصلی مشخص شد، به‌طوری‌که بهترین نتایج در ترکیب ۲۰

درصد مصرف پودر تایر و مش ۸۰ مشاهده گردید، درحالی‌که ضعیف‌ترین نتایج مربوط به ۱۰ درصد مصرف پودر تایر و ذرات ۴۰ بود. در بخش خواص فیزیکی، یافته‌ها حکایت از آن داشت که افزودن پودر تایر توانست میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت را به شکل محسوسی کاهش دهد. تیمارهای با ۳۰ درصد مصرف پودر تایر و مش ۸۰ کمترین جذب آب را داشتند و تیمارهای ۲۰ درصد مصرف پودر تایر و ذرات با مش ۶۰ و ۸۰ کاهش چشمگیری در واکشیدگی ضخامت نشان دادند. به‌طورکلی، داده‌ها نشان دادند که ذرات ریزتر و درصد مصرف بالاتر می‌توانند ثبات ابعادی و مقاومت رطوبتی LVL را به‌طور مؤثر بهبود دهند.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌ها، استفاده از پودر تایر ضایعاتی در رزین فنول فرم‌آلدهید می‌تواند به‌عنوان رویکردی پایدار در تولید LVL صنوبر تبریزی مطرح شود. اگرچه خواص مکانیکی نمانند مقاومت خمشی اندکی کاهش یافت، اما مدول‌الاستیسیته و مقاومت اتصالات در شرایط بهینه حفظ شدند. از سوی دیگر، بهبود خواص فیزیکی مانند کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت احتمالاً نتیجه تعامل مثبت بین پودر تایر و ماهیت آب‌گریز چسب فنول فرم‌آلدهید است؛ بنابراین، کاربرد پودر تایر در فرمولاسیون چسب می‌تواند ضمن کمک به بازیافت ضایعات تایر، رویکردی مؤثر برای بهبود پایداری و توسعه اقتصاد چرخشی در صنعت چوب مهندسی‌شده باشد.

استناد: حسین بابایی شاهوردی، فرشید فرجی، لعیا جمالی راد و سید مجید ذبیح زاده. ۱۴۰۵. تأثیر استفاده از پودر تایر بازیافتی به‌عنوان فیلر رزین فنل فرم‌آلدهید بر خواص فیزیکی و مکانیکی LVL صنوبر تبریزی (*Populous nigra*). نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۱(۱)، ۴۵-۳۲.

DOI https://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.370941.1816

مقدمه

رشد سریع جمعیت انسانی و تقاضای روزافزون برای منابع طبیعی، به‌ویژه چوب، موجب شده است فشار سنگینی بر زیست‌بوم‌های زمین وارد شود (Mangla *et al.*, 2024). در این میان، جنگل‌ها به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ذخایر زیستی، نقشی حیاتی در تنظیم اقلیم، تثبیت کربن، حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از فرسایش خاک ایفا می‌کنند (Rajasugunasekar *et al.*, 2023). بااین‌حال، بهره‌برداری بی‌رویه، تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری موجب کاهش مساحت و کیفیت جنگل‌ها در بسیاری از نقاط جهان شده است. به‌طوری‌که مطالعه Mapulanga و Naito (۲۰۱۸) در مالاوی نشان داد که یک درصد افزایش جمعیت محلی منجر به افزایش نسبی ۲/۷ درصد جنگل‌زدایی شده است. همچنین براساس گزارش‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، سالانه میلیون‌ها هکتار از جنگل‌های طبیعی از بین می‌روند و این روند نگران‌کننده به‌طور مستقیم با رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای فراورده‌های چوبی مرتبط بوده است (Katila & Katila, 2011). این شرایط ضرورت استفاده از گونه‌های سریع‌الرشد و توسعه فناوری‌های نوین در تولید فراورده‌های چوبی مهندسی‌شده را بیش‌ازپیش آشکار می‌کند. همسو با این ضرورت Jahan latibari و همکاران (۱۹۹۰) اعلام کردند که محصولاتی مانند تخته لایه و الوار لایه‌ای (LVL) این امکان را فراهم می‌آورند که از چوب‌های کم‌ارزش و منابع زراعی به‌صورت بهینه استفاده شود و درعین‌حال، فشار بر جنگل‌های طبیعی کاهش یابد. از سوی دیگر، توسعه این محصولات نیازمند استفاده از چسب‌ها و پرکننده‌های مناسب است تا علاوه بر ایجاد مقاومت مکانیکی مطلوب، دوام و پایداری ابعادی در شرایط مختلف محیطی تضمین شود. در سال‌های اخیر، استفاده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان پرکننده در کامپوزیت‌های چوبی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مطالعات (Barzali *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2022; Fayzullin *et al.*, 2024; Manickaraj *et al.*, 2025) نشان داد که افزودن پرکننده‌های طبیعی مانند الیاف گیاهی و ضایعات کشاورزی می‌تواند تا

حدی خواص مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت‌های چوبی را بهبود بخشد؛ بااین‌حال، محدودیت‌هایی مانند ناهمگنی، جذب رطوبت بالا و پایداری پایین در برابر عوامل محیطی، کارایی این مواد را محدود می‌سازد. بر این اساس، Jia و همکاران (۲۰۱۰) بهره‌گیری از پرکننده‌های نوین مانند پودر تایر لاستیکی را به‌عنوان رویکردی کارآمدتر مطرح کردند. تایرها به دلیل ماهیت غیرقابل تجزیه و مقاومت بالا در برابر عوامل محیطی، سالانه در حجم عظیم تولید و پس از پایان عمر مصرفی دفع می‌شوند. به‌طوری‌که Chernegea (۲۰۲۴) اعلام کرد که یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی جهان، انباشت تایرهای فرسوده است. انباشته شدن این پسماندها در محل‌های دفن زباله موجب آلودگی خاک و آب و انتشار آلاینده‌های زیان‌آور در اثر احتراق می‌شود؛ بنابراین، بازیافت و استفاده دوباره از تایرهای فرسوده به‌عنوان یک راهکار عملی نه‌تنها به کاهش مشکلات زیست‌محیطی کمک می‌کند بلکه می‌تواند ارزش‌افزوده اقتصادی نیز ایجاد نماید (Luqian, 2012).

استفاده از پودر تایر بازیافتی در تولید کامپوزیت‌های چوب، پلاستیک و فراورده‌های لیگنوسلولزی به‌عنوان یک رویکرد نوین در بازیافت مواد و ارتقای ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی محصولات، طی دهه اخیر موردتوجه پژوهشگران متعددی قرارگرفته است. برای نمونه، مطالعه Özkaya و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که افزودن ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزن پودر تایر به چسب‌های UF و PVAc در تولید تخته‌های LVL با گونه‌های صنوبر اسکاتلندی، توس شرقی و گونه جونی‌پروس موجب کاهش چگالی، کاهش مقاومت خمشی، ولی بهبود مقاومت به چسبندگی بین لایه‌ها شده است. همچنین پژوهش Xu و Li (۲۰۱۲) نشان داد که افزودن پودر تایر به ذرات چوب صنوبر در ساخت تخته خرده چوب باعث کاهش استحکام خمشی و مدول‌الاستیسیته می‌شود، اما واکشیدگی ضخامت بعد خیس شدن کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده بهبود عملکرد در برابر رطوبت است. Xuو همکاران (۲۰۲۰) نیز تأیید کرده‌اند که هرچند افزودن پودر تایر به دلیل کاهش پیوند بین فیبر چوب و پودر لاستیکی سبب افت خواص مکانیکی شده، ولی پایداری رطوبتی و انعطاف‌پذیری کامپوزیت‌ها بهبود یافته است.

باوجود پیشینه مطالعات در استفاده از لاستیک پودر شده در ترکیب با چوب یا رزین‌ها، هنوز برخی شکاف‌های مهم در این زمینه باقی است. به‌ویژه، تأثیر میزان مصرف و اندازه ذرات پودر تایر بر ویژگی‌های مکانیکی (مانند مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و قدرت نگهداری پیچ) و خواص فیزیکی (مانند جذب آب و واکشیدگی ضخامت) در فراورده‌هایی مانند LVL نیازمند بررسی عمیق‌تر است. این شکاف تحقیقاتی، ضرورت بررسی علمی و دقیق این ترکیب را بیش‌ازپیش نمایان می‌کند. این پژوهش باهدف بررسی اثر پودر تایر بازیافتی به‌عنوان فیلر رزین فنول فرم‌آلدهید در تولید LVL صنوبر تبریزی انجام‌شده است. نوآوری اصلی این تحقیق در استفاده هم‌زمان از یک‌گونه چوب سریع‌الرشد (*Populous nigra*) و یک ضایعه صنعتی مشکل‌زا (تایرهای فرسوده) نهفته است. اهداف اصلی تحقیق شامل ارزیابی اثر میزان مصرف پودر تایر و اندازه ذرات آن بر خواص فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت) و خواص مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته و قدرت نگهداری پیچ و میخ) است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، دو اصله درخت صنوبر تبریزی ۱۲ ساله با قطر برابرسینه ۴۰ سانتی‌متر از محیط دانشگاه گنبدکاووس برداشت شدند. پس از برداشت، درختان به‌سرعت به کارگاه لوله‌بری منتقل گردیدند. فرایند پوست‌کنی با روش دستی انجام شد و لوله‌بری گرده‌بینه‌ها بدون بخاردهی، مستقیماً بر روی گرده‌بینه‌های تازه قطع‌شده انجام شد. لایه‌های تهیه‌شده با ضخامت ۲/۲ میلی‌متر (با در نظر گرفتن ۳ درصد هم‌کشیدگی شعاعی در جهت ضخامت) به ابعاد ۴۵×۴۵ سانتی‌متر با استفاده از قیچی گیوتین برش داده شدند. سپس، این لایه‌ها به مدت مشخصی در خشک‌کن قرار گرفتند تا رطوبت آن‌ها به ۵ درصد کاهش یابد. برای جلوگیری از

جذب رطوبت محیط، نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی غیر قابل‌نفوذ قرارگرفته و به آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه گنبدکاووس انتقال داده شدند.

رزین فنول فرم‌آلدهید

رزین فنول فرم‌آلدهید استفاده‌شده در این مطالعه از نوع رزول محلول در متانول بود که به شکل مایع از کارخانه عایق الکتریک گرگان تهیه شد، این رزین فاقد هرگونه ماده افزودنی مانند پرکننده یا کاتالیزور بود. خصوصیات فنی این رزین در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول۱- خصوصیات رزین فنل فرم‌آلدهید

Table1. Characteristics of phenol formaldehyde resin

Properties	Value
Solids content (%)	62
Density (g/cm^3)	1/125
pH	7/5
Viscosity (CPS)	320
Gel time (100 ˚C, s)	58

جفت‌کننده

پودر تایر ضایعاتی از کارخانه کویر قم تهیه و بعد توسط الک آزمایشگاهی به سه مش ۴۰، ۶۰ و ۸۰ تقسیم‌بندی شد. آرد گندم نیز به‌عنوان پرکننده در ساخت LVL های شاهد استفاده شد، به میزان ۲۰ درصد نیز از مش ۶۰ به‌عنوان افزودنی به رزین فنول فرم‌آلدهید اضافه گردید. در فرایند تولید، به میزان ۱۸۰ گرم رزین فنول فرم‌آلدهید جامد برای هر مترمربع از لایه‌ها استفاده شد. پودر تایر به نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزن خشک رزین (Özkaya *et al.*, 2021) و با مش‌های مختلف ۴۰، ۶۰ و ۸۰، به‌صورت مجزا به رزین افزوده شد و به‌وسیله همزن آزمایشگاهی به‌طور یکنواخت مخلوط گردید. سپس این ترکیب با استفاده از کاردک نرم در سطح خط چسب توزیع شد. پنج لایه چوبی به‌صورت موازی با ۴ خط چسب در هر لایه بین دو صفحه آلومینیومی قرار گرفتند و بعد تحت‌فشار در پرس هیدرولیکی با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پرس ۸ دقیقه قرار گرفتند. پارامترهای پرس به شرح جدول ۲ است. همچنین جفت کننده سیلانی مورداستفاده در این تحقیق از نوع تری متوکسی متیل سیلان در فرم مایع بی‌رنگ با نقطه‌جوش ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که از شرکت مینا تجهیزآریا تهران تهیه گردید و برابر ۲ درصد وزنی نسبت به جرم پودر تایر ضایعاتی در نظر گرفته شد. درمجموع تعداد ۲۷ پنل LVL (در ۹ تیمار و ۳ تکرار) به همراه پنل شاهد (با فیلر آرد گندم) در ۳ تکرار و جمعاً به تعداد ۳۰ پنل LVL تولید گردید(جدول ۳).

جدول ۲- پارامترهای تولید *LVL* صنوبر تبریزی

Table 2. Manufacturing Parameters of Poplar Laminated Veneer Lumber (LVL)

Parameter	Value
press Temperature	180 °C
Press Time	8minutes
Resin Content	180 gr/m^2
Pressure	30 Kg/cm^2
Nominal Thickness	8/5 mm
Dimensions of the Produced Board	450*450mm^2
Edge Trim Dimensions (from each side)	25mm

جدول ۳- مشخصات تیمارهای آزمایشی و تعداد نمونه‌ها

Table 3- Characteristics of experimental treatments and number of samples

Code Panel	Waste tire powder (%)	Mesh	Panels	Samples
T1	10%	40	3	9
T2	20%	40	3	9
T3	30%	40	3	9
T4	10%	60	3	9
T5	20%	60	3	9
T6	30%	60	3	9
T7	10%	80	3	9
T8	20%	80	3	9
T9	30%	80	3	9
Control	20%(Flour)	80	3	9

تجزیه‌وتحلیل آماری

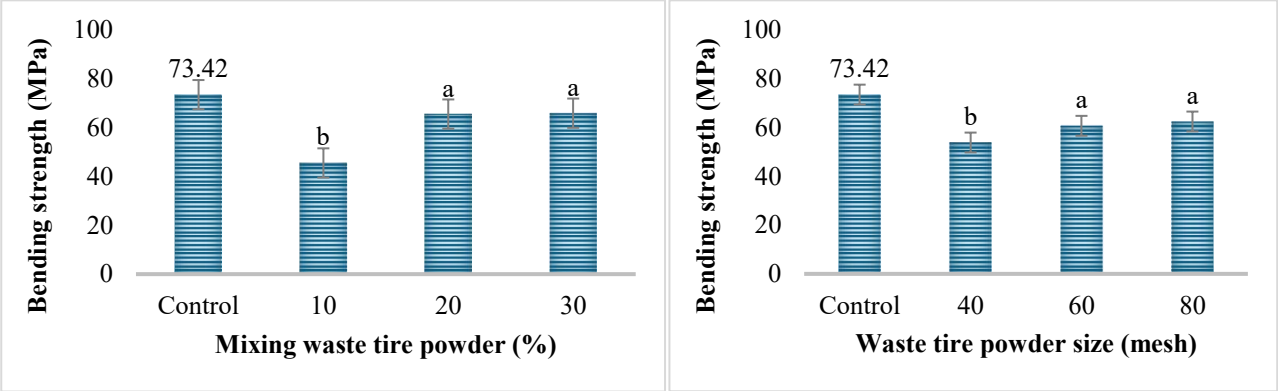
پس از تکمیل فرایند پرس، تخته‌های LVL به‌وسیله دستگاه اره گرد به ابعاد استاندارد بریده شدند تا برای انجام آزمون‌های مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته، جذب آب، واکشیدگی ضخامت و قدرت نگهداری پیچ آماده شوند. برای ارزیابی میزان سختی و استحکام تخته در برابر بارگذاری خمشی و مدول‌الاستیسیته از استاندارد EN 310، برای اندازه‌گیری تورم ضخامت تخته‌ها پس از غوطه‌وری در آب به مدت ۲۴ ساعت از استاندارد EN 317 و برای آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی بر روی تخته‌های چوبی (واکشیدگی ضخامت و قدرت نگهداری پیچ) از استاندارد ASTM D 1037 استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده گردید و تمامی محاسبات با کمک نرم‌افزار JMP نسخه ۷ انجام شد.

نتایج

بررسی اثرهای مستقل عوامل اصلی

شکل ۱ اثر مستقل اندازه ذرات و میزان مصرف پودر تایر را بر مقاومت خمشی LVL صنوبر تبریزی نشان می‌دهد. براساس این نمودار، افزایش درصد پودر تایر از ۱۰ به ۲۰ و ۳۰ درصد با بهبود معنی‌دار در مقاومت خمشی همراه بوده است، به‌طوری‌که تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد عملکرد مکانیکی برتری نسبت به تیمار ۱۰ درصد نشان دادند. این رفتار افزایشی نشان می‌دهد که حضور فراوان‌تر مرحله لاستیکی در ماتریس چوب موجب کاهش تمرکز تنش‌های موضعی و

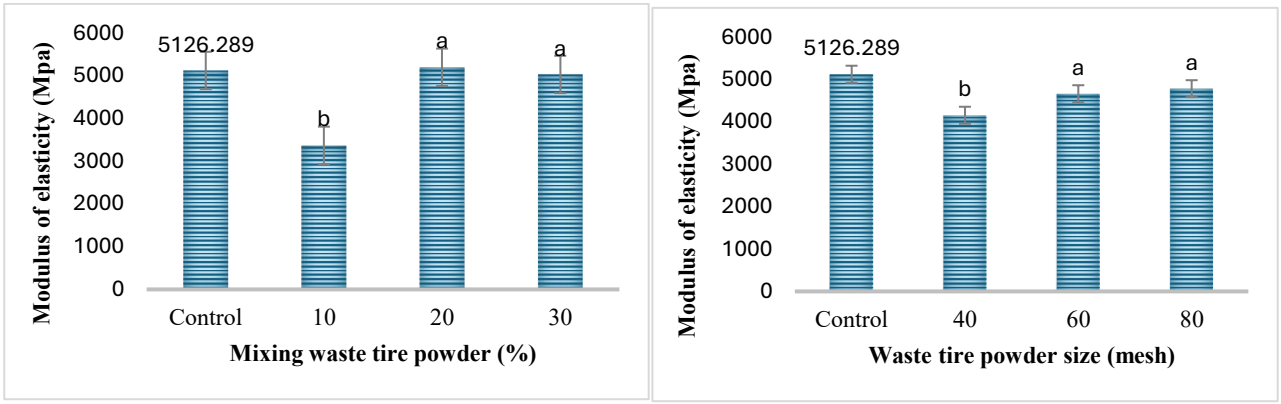
افزایش انعطاف‌پذیری سازه می‌شود. درنتیجه، کاربرد مقادیر بیش از ۱۰ درصد پودر تایر قادر است بخشی از افت اولیه مقاومت را جبران کرده و پایداری بیشتری در برابر بارگذاری خمشی فراهم نماید. بااین‌حال، هیچ‌یک از تیمارها به سطح مقاومت گروه شاهد (۷۳/۴۲ مگاپاسکال) نرسیدند، این یافته نشان می‌دهد که هرچند افزایش نسبت پودر تایر قادر است بخشی از افت اولیه مقاومت را جبران کرده و رفتار خمشی را بهبود بخشد، اما در مقایسه با گروه شاهد، عملکرد ضعیف‌تری دارد. این کاهش می‌تواند ناشی از تضعیف پیوستگی داخلی و نیز لایه میانی چوب و کاهش کارایی انتقال تنش در مقیاس ریزساختاری باشد. عاملی که درنهایت باعث افت مقاومت نهایی در مقایسه با گروه شاهد می‌گردد. از منظر اندازه ذرات نیز روند مشابهی مشاهده شد. تیمارهای بامش ۶۰ و ۸۰ مقاومت خمشی بالاتری نسبت به مش ۴۰ نشان داده‌اند؛ بنابراین کاهش اندازه ذرات پودر تایر به بهبود توزیع یکنواخت‌تر در ساختار لایه‌ای کمک کرده و ظرفیت خمشی بهتری فراهم می‌کند. در مقابل، مش درشت‌تر (۴۰) با ایجاد ناهمگنی و کاهش انسجام ماتریس، منجر به افت مقاومت خمشی می‌شود.



شکل ۱ – اثر مستقل اندازه ذرات و مقدار مصرف پودر تایر بر مقاومت خمشی LVL صنوبرتبریزی

Figure 1. Independent effect of particle size and tire powder dosage on bending strength of *Populous nigra* LVL

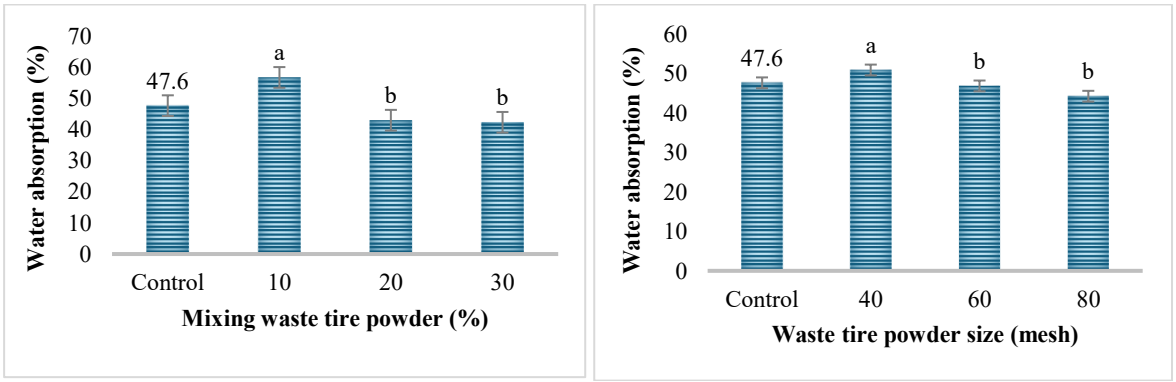
شکل ۲ اثرهای مستقل مقدار مصرف پودر تایر و اندازه ذرات آن را بر مدول‌الاستیسیته LVL صنوبر تبریزی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که استفاده از ۱۰ درصد پودر تایر موجب کاهش معنادار مدول‌الاستیسیته نسبت به نمونه شاهد می‌شود، درحالی‌که افزایش مصرف به ۲۰ و ۳۰ درصد موجب بهبود مدول‌الاستیسیته گردید. این روند نشان می‌دهد که مصرف پایین پودر تایر احتمالاً منجر به ایجاد نواحی با چسبندگی ناکافی بین لایه‌ها می‌شود و مقادیر بالاتر با پر کردن بهتر منافذ و افزایش انسجام لایه‌ها، موجب تقویت انتقال تنش و بهبود مدول‌الاستیسیته می‌گردد. همچنین نتایج مربوط به‌اندازه ذرات نشان داد که ذرات درشت‌تر (۴۰ مش) کمترین مقدار مدول‌الاستیسیته را ایجاد کردند. در مقابل، استفاده از ذرات ریزتر (۶۰ و ۸۰ مش) به دلیل افزایش سطح تماس با رزین موجب افزایش نسبتاً بالای مدول‌الاستیسیته شد.



شکل۲ – اثر مستقل اندازه ذرات و مقدار مصرف پودر تایر بر مدول‌الاستیسیته در LVL صنوبرتبریزی

Figure 2. The independent effect of particle size and amount of tire powder consumption on modulus of elasticity in *Populous nigra* LVL

در شکل ۳ می‌توان میزان جذب آب LVL صنوبر تبریزی را تحت تأثیر اندازه ذرات و مقدار مصرف پودر تایر پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری مشاهده کرد. مقدار مصرف، تیمارهای حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد پودر تایر موجب جذب آب کمتری نسبت به تیمار ۱۰ درصد شدند. این موضوع می‌تواند به دلیل اثرهای ترکیبات هیدروفوبیک موجود در لاستیک و پر شدن منافذ بین ذرات چوب باشد که نفوذ آب به ساختار داخلی LVLرا محدود می‌کند. در مورد اندازه ذرات، نتایج نشان دادند که ذرات بامش ۸۰ جذب آب کمتری نسبت به ذرات بامش ۶۰ و ۴۰ داشتند. به نظر می‌رسد ذرات ریزتر با توزیع یکنواخت در لایه‌ها، اگرچه در برخی خواص مکانیکی اثر تقویتی دارند، اما کاهش جذب آب ممکن است ناشی از پر شدن مؤثر منافذ و کاهش مسیرهای موئینگی باشد. در مقابل، ذرات درشت‌تر (۴۰ مش) به دلیل پر شدن کمتر یکنواخت منافذ، نفوذ آب بیشتری را اجازه داده و میزان جذب آب بالاتری نشان دادند؛ بنابراین، انتخاب اندازه ذرات مناسب نقش مهمی در کاهش نفوذپذیری آب و افزایش پایداری ابعادی LVL دارد و باید در طراحی فرمولاسیون موردتوجه قرار گیرد.



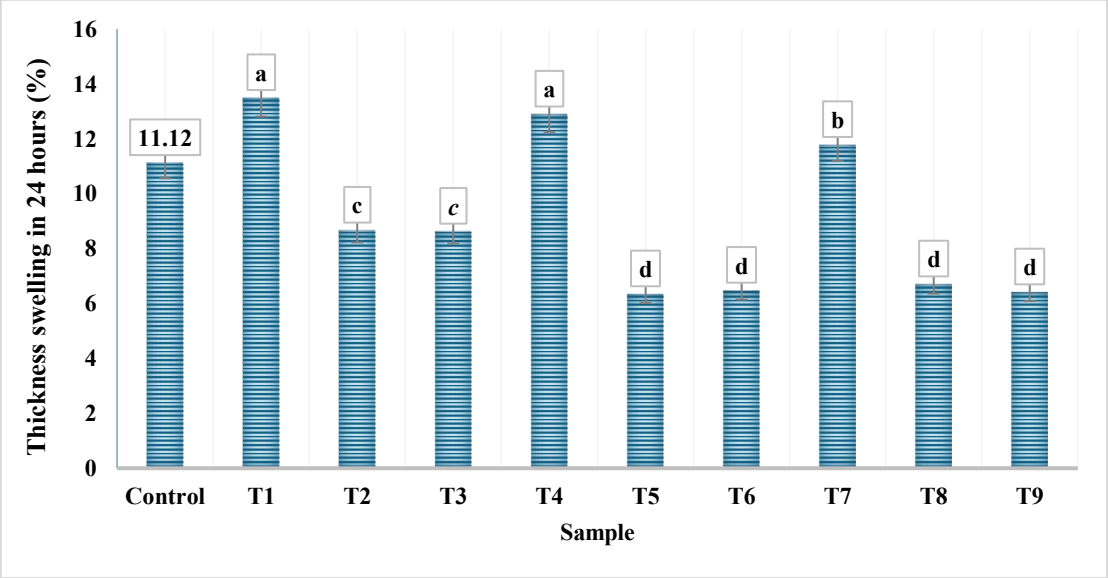
شکل ۳– اثر مستقل اندازه ذرات و مقدار مصرف تایر بر میزان جذب آب در ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 3. The independent effect of particle size and tire consumption on the amount of water absorption in 24 hours of immersion in water

بررسی اثرهای متقابل عوامل اصلی

شکل ۴ اثر متقابل اندازه ذرات و مقدار مصرف پودر تایر را بر واکشیدگی ضخامت LVL صنوبر تبریزی پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب نشان می‌دهد. براساس داده‌ها، در

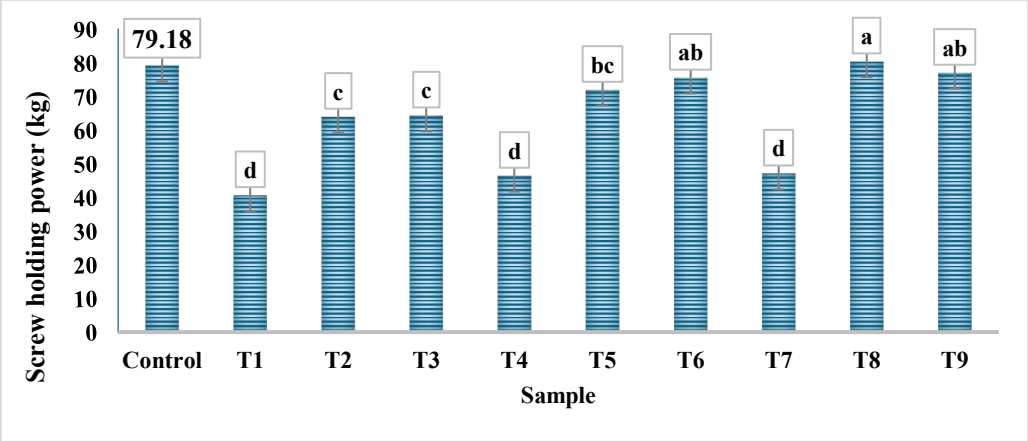
درصدهای پایین‌تر (۱۰ درصد) و به‌ویژه بامش درشت‌تر (۴۰)، بیشترین واکشیدگی مشاهده شد که نشان‌دهنده ساختاری متخلخل و ضعیف در برابر تغییرات ابعادی است. در مقابل، در سطوح مصرف بالاتر (۲۰ و ۳۰ درصد) و همراه با مش‌های ریزتر (۶۰ و ۸۰)، میزان واکشیدگی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. این یافته نشان می‌دهد که ذرات ریزتر در غلظت‌های بالاتر می‌توانند به پر شدن خلل و فرج و ایجاد انسجام بیشتر در لایه‌ها کمک کنند و تغییرات ابعادی ناشی از جذب آب را محدود نمایند.



شکل ۴- اثر متقابل اندازه ذرات و مقدار مصرف تایر بر واکشیدگی ضخامت در ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

Figure 4. The mutual effect of particle size and tire consumption on thickness absorption in 24 hours of immersion in water

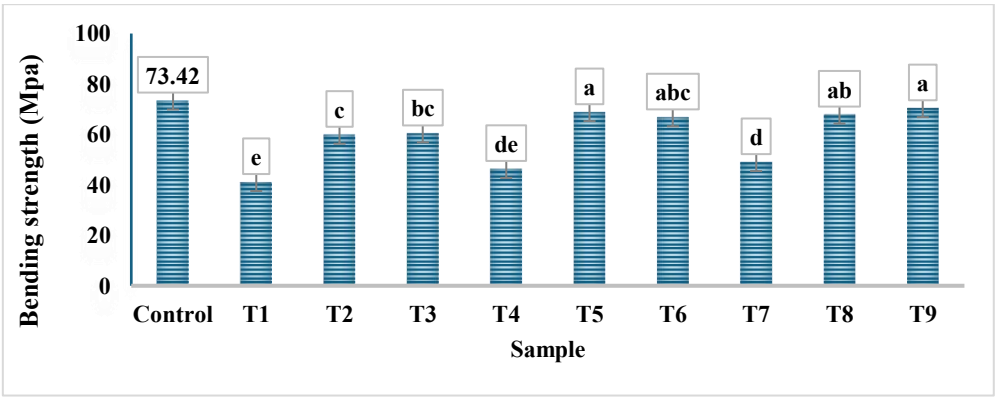
اثر متقابل اندازه ذرات و درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی را بر قدرت نگهداری پیچ LVL صنوبر تبریزی در شکل ۵ قابل مشاهده است. بر اساس این نمودار مصرف درصد پایین‌تر (۱۰ درصد) به‌ویژه همراه با ذرات درشت‌تر (۴۰ درصد) پایین‌ترین قدرت نگهداری پیچ را ثبت کرد. این موضوع می‌تواند ناشی از ضعف انسجام در ساختار و توزیع ناهمگن ذرات در ماتریس چوب باشد که باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش و کاهش ظرفیت نگهداری پیچ می‌شود. در مقابل، افزایش درصد مصرف به ۲۰ و ۳۰ درصد، به‌ویژه همراه با ذرات ریزتر (۶۰ و ۸۰ مش)، به دلیل افزایش سطح تماس ذرات ریز با الیاف چوب و توزیع یکنواخت تنش در اطراف پیچ موجب بهبود قابل‌توجهی در مقاومت نگهداری پیچ شد. این اثر ناشی از پر شدن منافذ، افزایش سطح تماس ذرات ریز با الیاف چوب و توزیع یکنواخت تنش در اطراف پیچ است؛ بنابراین برای دستیابی به قدرت نگهداری پیچ مطلوب، استفاده از ذرات ریزتر همراه با سطوح بالاتر مصرف پودر تایر کاراترین گزینه است. این ترکیب نه‌تنها موجب ارتقای مقاومت اتصالات مکانیکی می‌شود، بلکه کاربرد صنعتی LVL را در شرایطی که استحکام اتصال از اهمیت بالایی برخوردار است، تسهیل می‌کند. در مقابل، ترکیب ذرات درشت‌تر و مصرف پایین باید به‌عنوان شرایط نامطلوب در طراحی فرایند تولید مدنظر قرار گیرد.



شکل ۵- تأثیر متقابل درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی و اندازه ذرات پودر تایر ضایعاتی بر قدرت نگهداری پیچ LVL صنوبرتبریزی

Figure 5. The mutual effect of waste tire powder consumption percentage and waste tire powder particle size on the holding power of *Populous nigra* LVL screw

اثر متقابل اندازه ذرات و درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی بر مقاومت خمشی LVL صنوبرتبریزی در شکل ۶ قابل مشاهده است. در مقادیر پایین‌تر پودر تایر (۱۰ درصد)، افزایش اندازه ذرات از ۴۰ به ۶۰ و ۸۰ مش سبب افزایش تدریجی مقاومت خمشی شده است. این موضوع احتمالاً به بهبود توزیع ذرات در چسب و کاهش نواحی تنش متمرکز مربوط می‌شود. درحالی‌که ذرات ریزتر (۴۰ مش) تمایل بیشتری به تجمع دارند و موجب تضعیف پیوند چسب و چوب می‌شوند. در غلظت‌های بالاتر پودر (۲۰ تا ۳۰)، اثر اندازه ذرات برجسته‌تر می‌شود. نمونه‌های حاوی ذرات با اندازه متوسط تا درشت (۶۰ و ۸۰ مش) مقاومت خمشی نسبتاً بالاتری از نمونه‌های دارای ذرات ریزتر (۴۰ مش) نشان می‌دهند که بیانگر نقش مؤثر ساختار میکروسکوپی چسب و نحوه توزیع پرکننده در انتقال تنش است.

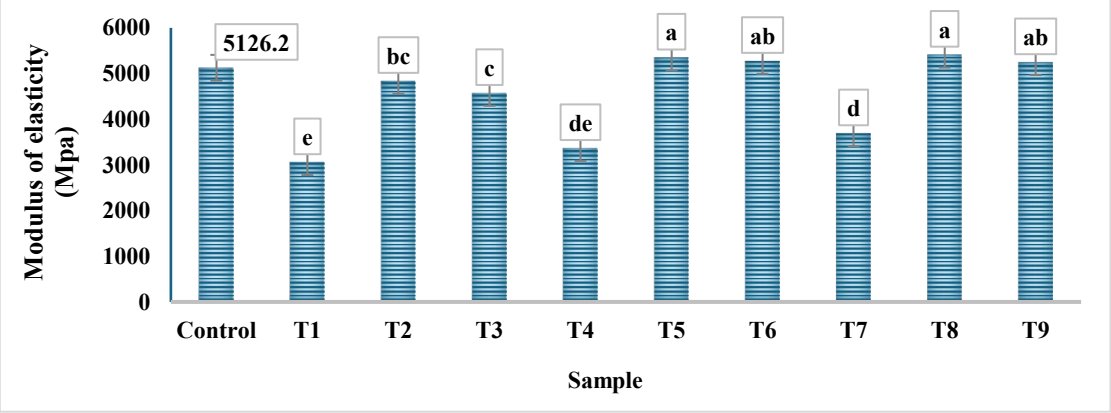


شکل ۶- تأثیر متقابل درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی و اندازه ذرات پودر تایر ضایعاتی بر مقاومت خمشی LVL صنوبر تبریزی

Figure 6 - The interaction effect of the percentage of waste tire powder consumption and the particle size of waste tire powder on the Bending strength of *Populous nigra* LVL

اثر متقابل اندازه ذرات و درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی بر مدول‌الاستیسیته LVL صنوبر تبریزی در شکل ۷ قابل مشاهده است. ذرات درشت‌تر (۸۰ مش) نسبت به ذرات ریزتر (۴۰ مش) باعث حفظ بهتر خاصیت الاستیک تخته لایه شد. همچنین در سطوح بالاتر مصرف پودر (۲۰ و ۳۰ درصد)، مقدار مدول‌الاستیسیته افزایش یافت، به‌طورکلی استفاده از

ذرات درشت‌تر (۸۰ و ۶۰ مش) و مصرف پودر (۲۰ و ۳۰ درصد) موجب تقویت انتقال تنش و بهبود مدول‌الاستیسیته شده است. همچنین ترکیب حاوی ۱۰ درصد پودر تایر با ذرات مش (۴۰، ۶۰ و ۸۰) به‌طورکلی باعث کاهش مدول‌الاستیسیته می‌شود؛ بنابراین، انتخاب بهینه ترکیب پودر تایر و اندازه ذرات آن برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی LVL، می‌توانند به ارتقای کاربردهای صنعتی این ماده در ساختارهای مهندسی کمک کنند.



شکل ۷- تأثیر متقابل درصد مصرف پودر تایر ضایعاتی و اندازه ذرات پودر تایر ضایعاتی بر مدول‌الاستیسیته LVL صنوبر تبریزی

Figure 7. The interaction effect of the percentage of waste tire powder consumption and the particle size of waste tire powder on the Modulus of elasticity of *Populous nigra* LVL

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پودر تایر ضایعاتی به‌عنوان فیلر در رزین فنول فرم‌آلدهید تأثیر معناداری بر خواص مکانیکی و فیزیکی LVL صنوبر تبریزی دارد. یافته‌ها بیانگر آن است که اگرچه حضور پودر تایر به‌طورکلی موجب کاهش نسبی مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته در مقایسه با نمونه شاهد شد، اما در سطوح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد و به‌ویژه با استفاده از ذرات ریزتر (مش ۶۰ و ۸۰) کاهش عملکرد مکانیکی به حداقل رسید و در برخی موارد حتی بهبود نسبی نسبت به شاهد مشاهده گردید. این الگو با نتایج گزارش‌شده توسط Özkaya و همکاران (۲۰۲۱) و Xu و Li (۲۰۱۲) که نشان دادند افزودن پودر تایر در ساخت پانل‌ها، هرچند به افت استحکام مکانیکی منجر می‌شود، اما پایداری ابعادی و چسبندگی بین لایه‌ها را بهبود می‌بخشد مطابقت دارد. از سوی دیگر، بررسی خواص فیزیکی نشان داد که حضور پودر تایر موجب کاهش قابل‌توجه جذب آب و واکشیدگی ضخامت در مقایسه با نمونه شاهد گردید. به‌طور خاص، تیمارهای با ذرات ریزتر و درصد مصرف بالاتر بهترین عملکرد را در کاهش نفوذپذیری آب و افزایش ثبات ابعادی نشان دادند. این یافته با گزارش Xu و همکاران (۲۰۲۰) که استفاده از پودر تایر در ترکیب با رزین‌های فنولیک را به‌عنوان رویکردی مؤثر برای بهبود مقاومت به رطوبت معرفی کردند همسو است. علت این موضوع را می‌توان در ماهیت هیدروفوبیک پودر تایر جستجو کرد که برخلاف فیلرهای سنتی آب‌دوست مانند آرد گندم، مانع نفوذ آب به ساختار داخلی می‌شود و به کاهش تغییرات ابعادی کمک می‌کند. تحلیل نتایج همچنین نشان داد که اثرهای متقابل اندازه ذرات و درصد مصرف پودر تایر در برخی ویژگی‌ها (به‌ویژه قدرت نگهداری پیچ و واکشیدگی ضخامت) اهمیت بالایی دارد. این موضوع حکایت از آن دارد که انتخاب مستقل هر یک از عوامل نمی‌تواند به‌تنهایی منجر به نتایج بهینه شود، بلکه ترکیب دقیق این متغیرها تعیین‌کننده کیفیت نهایی LVL است. این نتایج نشان داد که ترکیب ذرات ریزتر همراه با درصد مصرف بالاتر (۲۰–۳۰ درصد)

به‌طور هم‌زمان موجب بهبود خواص مکانیکی اتصالات و کاهش تغییرات ابعادی شد، درحالی‌که استفاده از ذرات درشت‌تر و مقادیر پایین‌تر کارایی چندانی نداشت و حتی در برخی موارد منجر به افت عملکرد گردید. این یافته با گزارش‌های Zhao و همکاران (۲۰۲۱) که تعامل پودر تایر با رزین فنول فرم‌آلدهید را عامل کلیدی در تعیین کیفیت نهایی کامپوزیت‌های چوبی معرفی کرده‌اند هم‌راستا است.

در مقایسه با فیلرهای سنتی، استفاده از پودر تایر ضایعاتی علاوه بر بهبود برخی خواص فیزیکی، ازنظر زیست‌محیطی و اقتصادی نیز ارزش‌افزوده قابل‌توجهی دارد. انباشت تایرهای فرسوده یکی از چالش‌های جدی زیست‌محیطی به شمار می‌رود (Luqian, 2012; Chernega, 2024) و بازیافت آن‌ها در تولید محصولات چوبی مهندسی‌شده می‌تواند هم‌زمان با کاهش اثرهای منفی زیست‌محیطی، منبعی پایدار و کم‌هزینه برای صنایع فراهم کند. بدین ترتیب، یافته‌های این پژوهش نه‌تنها اهمیت فنی استفاده از پودر تایر را نشان می‌دهد، بلکه با رویکردهای جهانی در جهت توسعه اقتصاد چرخشی و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی نیز همخوانی دارد (Rajasugunasekar *et al.*, 2023; Mangla *et al.*, 2024).

درنهایت، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پودر تایر بازیافتی نه‌تنها یک رویکرد فنی قابل‌اتکا برای بهبود LVL صنوبر تبریزی است، بلکه راهکاری پایدار برای مدیریت ضایعات لاستیک و کاهش فشار بر منابع طبیعی نیز محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از پودر تایر ضایعاتی به‌عنوان فیلر در رزین فنول فرم‌آلدهید می‌تواند تأثیرات دوگانه‌ای بر خواص فیزیکی و مکانیکی LVL صنوبر تبریزی داشته باشد. در بُعد مکانیکی، هرچند حضور این فیلر در مقایسه با نمونه شاهد موجب کاهش نسبی مقاومت خمشی شد، اما در برخی تیمارها (به‌ویژه با مصرف ۲۰ درصد و مش‌های ریزتر) مدول‌الاستیسیته و مقاومت نگهداری پیچ و میخ بهبود نسبی یافت. در مقابل، خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکشیدگی ضخامت به‌طور محسوسی تحت تأثیر قرار گرفت و در تیمارهای بهینه (۲۰ تا ۳۰ درصد و مش ۶۰ و ۸۰) کاهش چشمگیری در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد. از سوی دیگر، تحلیل اثرهای متقابل نشان داد که برخی خواص (به‌ویژه واکشیدگی ضخامت و قدرت نگهداری پیچ) به ترکیب دقیق دو عامل اصلی وابسته‌اند و انتخاب مستقل هر عامل به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد بهینه را تضمین کند. درمجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پودر تایر ضایعاتی در تولید LVL صنوبر تبریزی رویکردی پایدار و کارآمد است که در صورت انتخاب بهینه اندازه مش و درصد مصرف، می‌تواند هم‌زمان الزامات فنی و زیست‌محیطی را برآورده نماید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، چند پیشنهاد عملی برای توسعه صنعتی و پژوهش‌های آینده ارائه می‌شود.

کاربرد صنعتی: استفاده از پودر تایر با اندازه ذرات ریزتر (مش ۶۰ و ۸۰) و درصد مصرف ۲۰ درصد به‌عنوان شرایط بهینه پیشنهاد می‌شود، زیرا این ترکیب توانست بهترین تعادل میان خواص مکانیکی و فیزیکی را فراهم کند. این فرمولاسیون می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای فیلرهای سنتی (مانند آرد گندم) در صنایع تولید LVL استفاده شود.

پایداری زیست‌محیط: نتایج نشان داد که بازیافت تایرهای فرسوده در تولید محصولات چوبی نه‌تنها به کاهش ضایعات صنعتی کمک می‌کند، بلکه ارزش‌افزوده‌ای برای صنایع چوب ایجاد می‌نماید؛ بنابراین توصیه می‌شود سیاست‌های حمایتی و اقتصادی برای تشویق صنایع به بهره‌برداری از این منبع ضایعاتی تدوین گردد.

References

-Barzali, S., Jamalirad, L., Faraji, F. & Hajazi, S., 2015. Using cellulose nanofiber as filler of urea formaldehyde resin in plywood manufacture. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *6*(2), 227-237. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089066.1394. 6.2.4.5

-Čabalová, I., Krilek, J., Bubeníková, T., Ružiak, I., Nemec, M., Lee, S.H., ... & Giudice, V.L., 2025. Utilization of waste tire and rubber from automobiles in the manufacturing of particleboards and evaluation of its properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, *83*(2), 67. DOI: https://doi.org/10.1007/s00107-025-02215-1

-Chernega, V., 2024. The use of worn tires from the aspects of economic and environmental use. Sucasnì Tehnologiï Mašinobuduvannì Ta Transportì(23), 276–281. https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1549

-Fayzullin, I., Gorbachev, A., Volfson, S., Serikbayev, Y., Nakyp, A. & Akylbekov, N., 2024. Composite material based on polypropylene and modified natural fillers. *Polymers*, 16(12), 1703. DOI: 10.3390/ polym16121703

-Jahan Latibari, A., 2007. Science and Technology of Lignocellulosic Materials Adhesion, Islamic Azad University, Karaj Branch, *Chapters* 1 to 10, 336 pp. (In Persian)

-Jahan Latibari, A., Arab Tabar Firuzjaei, H., Golbabaei, F., Kargarfard, A., Nourbakhsh, A. and Fakhrian Roghani, A., 1990. Investigation of the production of LB and LVL laminated wood and determination of their functional properties. *Iranian Wood and Paper Science Research*, -(12), 1-38. (In Persian) SID. https://sid.ir/paper/109584/fa

-Jia, D., Liu, Z., Wang, X. & Zhu, L., 2010. *Preparation method for thermoset resin/waste rubber powder/waste tire fiber composite material*.

-Katila, P., & Katila, M. 2011. New paradigm for saving the world's forests *Silva Fennica*, *45*(4). https://doi.org/10.14214/sf.448

-Li, L., Sun, X. & Jiang, W., 2020. Water resistance of phenol-formaldehyde resin and its application in wood adhesives. *Journal of Applied Polymer Science*. https://doi.org/10.3390/polym12122805

-Liu, J., Li, Y., Mo, H., Xie, E., Fang, J. & Gan, W., 2022. Current utilization of waste biomass as filler for wood adhesives: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 115, 48-6. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.08.016

-Luqian, K. 2012. Study on recycling and utilization of waste 0tires for resource saving. *Recyclable Resources and Circular Economy*.

-Mangla, S., Sharma, S., Rajoria, Y.K. & Chikara, D., 2024. Modelling the combined impact of population density and its precursor on forest resources. *International Journal of Global Warming*, *32*(4), 399–417. https://doi.org/10.1504/ijgw.2024.137164

-Manickaraj, K., Thirumalaisamy, R., Palanisamy, S., Ayrilmis, N., Massoud, E.E.S., Palaniappan, M. & Sankar, S.L., 2025. Value-added utilization of agricultural wastes in biocomposite production: Characteristics and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*. DOI: 10.1111/nyas.15368

-Mapulanga, A.M. & Naito, H., 2018. *Does A Higher Population Growth Cause Deforestation: A Study of Malawi's Rapid Deforestation* (No. 2018-005). Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba.

-Özkaya, K., Dizel, T. & Imirzi, H.Ö., 2021. Study of effect of waste tire rubber which is a recycling material in production of laminated veneer lumber (LVL) boards. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, *37*(4), 412-421 https://doi.org/10.1177/14777606211019408

-Rajasugunasekar, D., Devi, K.B., Singh, A., Selvam, P. & Chandra, A., 2023. An Integrative Review for the Role of Forests in Combating Climate Change and Promoting Sustainable Development. *International Journal of Enviornment and Climate Change*. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113614

-Shao, D., Xu, M., Cai, L. & Shi, S.Q., 2016. Fabrication of wood-rubber composites using rubber compound as a bonding agent instead of adhesives. *Materials,* *9*(6), 469. DOI: 10.3390/ma906 0469

-Xu, M. & Li, J., 2012. Effect of adding rubber powder to poplar particles on composite properties. *Bioresource Technology*, *118*, 56-60. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.041

-Xu, X., Tian, F. and Li, X., 2020. Regenerated waste tire powders as fillers for wood fiber composites, *BioRes.* 15(2), 3029-3040.

-Zhao, X., Zhang, Y., Li, Y., & Zhou, S., 2021. Improvement of mechanical properties of wood-based composites using phenol-formaldehyde resin. *Journal of Adhesion Science and Technology*.

-Zhang, J., Liu, H., Sablani, S.S. & Wu, Q., 2024. Recycling Functional Fillers from Waste Tires for Tailored Polystyrene Composites: Mechanical, Fire Retarding, Electromagnetic Field Shielding, and Acoustic Insulation Properties—A Short Review. *Materials*, *17*(11), 2675. https://doi.org/ 10.3390/ma17112675