

Improving the mold resistance of medium density fiberboard made with environmentally friendly materials

Batoul Kameshki¹, Ali Bayatkashkoli^{2*}, Razeyeh Shams³

1- Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol Iran

2- Corresponding author, Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: ali.bayatkashkoli@uoz.ac.ir

3- Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: December 2025

Accepted: May 2026

Abstract

Problem definition and objectives: Due to the ban on the exploitation of forests and the lack of widespread wood cultivation in Iran, it is necessary to find a suitable alternative and rely on other sources such as licorice waste. And due to its favorable physical and mechanical properties, medium density fiberboard has countless applications. However, mold fungal is one of the destructive factors that attack this wood product and cause MDF destruction especially after production in the factory warehouse. Fiberboard protection methods can be environmentally friendly and include materials that both stabilize formaldehyde and disinfect. The purpose of this research is to improve the resistance of medium density fiberboard made from industrial factory fibers and licorice waste fibers against decay fungi with natural disinfectants beneficial to humans and the natural environment.

Methodology: Industrial fibers were obtained from a medium density fiberboard factory in the north of the country, and licorice waste was obtained from an extraction factory near Shiraz. The adhesive used in the manufacture of medium density fiberboard is urea formaldehyde, which is modified with compounds of the first type: oak fruit extract, mountain almond gum, and copper (II) sulfate, and the second type: walnut leaf extract, tragacanth gum and alum. Adhesive modified with environmentally friendly materials was sprayed on these two types of fibers, as well as on a mixture of 70% industrial fibers and 30% licorice waste, and four treatments of medium density fiberboard with control sample were made and internal bonding tests were performed on them. Finally, first the mold fungi that were contaminating the fiberboard in the factory's warehouse were identified by preparing pure isolates. These fungal isolates were then grown individually and exposed to four types of manufactured fiberboard, and the amount of mold resistance was assessed visually and by mass loss. then the most optimal medium density fiberboard was investigated in terms of internal bonding and durability against mold fungal and the most efficient treatment was determined according to statistical analysis.

Results: Five species of mold -causing fungi were identified on stored fiberboard samples in the factory by sampling the fungus-infected fiberboard and isolating the fungal isolates with the nature of the strains including; *Fusarium sp.*, *Tricoderma sp.*, *Chaetomium sp.*, *Aspergillus sp.*, and *Neurospora sp.* The LSD test showed that the treatments made with a combination of 70% industrial factory fibers and 30% licorice root waste fibers and modified urea formaldehyde

adhesive had the lowest mold fungal compared to the control sample (100 industrial fibers from the factory) and are almost similar in terms of internal bonding strength with control samples.

Conclusion: The modified adhesive with both types of environmentally friendly additives had good performance and produced medium density fiberboard with standard internal bonding and rot resistance. Using lignocellulosic wastes such as licorice root fibers, in addition to the solutions to reduce the supply of wood resources, it is possible to produce medium-density fiberboard that meets the minimum standard requirements and is resistant to various types of mold-causing fungi.

Keywords: Medium density fiberboard, licorice root residue, internal bonding strength, mold fungi.

بهبود مقاومت به کپک‌زدگی تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده با مواد دوست‌دار محیط زیست

بقول کمشکی^۱، علی بیات کشکولی^۲، راضیه شمسی^۳

۱- فارغ التحصیل دکتری گروه چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: ali.bayatkashkoli@uoz.ac.ir

۳- فارغ التحصیل دوره دکتری گروه چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۵

چکیده

بیان مساله و اهداف: به دلیل ممنوعیت بهره‌برداری از جنگل‌ها و رونق نیافتن گسترده زراعت چوب در ایران لزوم یافتن جایگزین مناسب و اتکا به سایر منابع مثل پسماندهای لیگنوسلولزی شیرین بیان، ضروری است. تخته فیبر دانسیته متوسط به سبب خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب، کاربردهای بی‌شماری دارد. اما کپک‌زدگی یکی از عوامل مخربی است که این فرآورده چوبی را مورد حمله قرار داده و باعث ضرر زیان بویژه بعد از تولید در انبار کارخانه می‌شود. روش‌های حفاظت از تخته فیبر می‌تواند دوست‌دار محیط زیست و از موادی باشد که هم باعث تثبیت فرمالدهید و هم گندزدا باشد. هدف از انجام این تحقیق بهبود دوام تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده از الیاف صنعتی کارخانه و الیاف پسماند شیرین بیان در برابر قارچ‌های عامل کپک‌زدگی با مواد گندزدای طبیعی مفید برای انسان و طبیعت است.

مواد و روشها: الیاف صنعتی از یکی از کارخانه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط شمال کشور و پسماند شیرین بیان از کارخانه عصاره گیری اطراف شیراز تهیه گردید. چسب مصرفی در ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط اوره فرم‌آلدهید می‌باشد که با ترکیباتی از نوع اول، عصاره میوه بلوط، صمغ بادام کوهی و سولفات مس (II)، و نوع دوم؛ عصاره برگ گردو، صمغ کتیرا، آلوم، اصلاح شد. چسب اصلاح شده با مواد دوست‌دار محیط زیست بر روی این دو نوع الیاف و همچنین بر روی ترکیب ۷۰ درصد الیاف صنعتی و ۳۰ درصد پسماند شیرین بیان پاشیده شد و چهار تیمار تخته فیبر دانسیته متوسط همراه با نمونه شاهد ساخته شد و آزمون چسبندگی داخلی بر روی آنها انجام شد. درنهایت ابتدا قارچ‌های کپک‌زدگی که باعث الودگی تخته فیبرهای انبار این کارخانه می‌شدند، با تهیه جدایه‌های خالص شناسایی شدند. سپس چهار نوع تخته فیبر ساخته شده همراه با نمونه شاهد در معرض این جدایه‌های قارچ که به صورت جداگانه رشد داده شدند، قرار داده شدند و مقدار مقاومت به قارچ به صورت بصری و کاهش جرم ارزیابی شد. بهینه‌ترین تخته فیبر دانسیته متوسط از نظر چسبندگی داخلی و دوام در برابر کپک‌زدگی بررسی و کاراترین تیمار طبق تجزیه و تحلیل آماری مشخص شد.

نتایج: پنج گونه قارچ عامل کپک‌زدگی بر روی نمونه‌های انبارشده تخته فیبر در کارخانه با نمونه برداری از تخته فیبرهای آلوده به قارچ، جداسازی جدایه‌های قارچی با ماهیت سویه‌های شامل؛ *Tricoderma sp.*، *Fusarium sp.*، *Aspergillus sp.* و *Chaetomium sp.* شناسایی شد. بررسی اختلاف میانگین گروه‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی داری نشان داد که در تیمارهایی که با ترکیبی از ۷۰ درصد الیاف صنعتی کارخانه و ۳۰ درصد الیاف پسماند ریشه شیرین بیان و چسب اوره فرم‌آلدهید اصلاح شده، ساخته شده‌اند کمترین مقاومت به قارچ نسبت به نمونه شاهد (۱۰۰ الیاف صنعتی کارخانه) دارند و از نظر چسبندگی داخلی تقریباً مشابه با نمونه‌های شاهد می‌باشند.

نتیجه‌گیری: چسب اصلاح شده با هر دو نوع افزودنی‌های دوست‌دار محیط زیست کارآمدی مناسبی داشتند و باعث تولید تخته فیبرهای دانسیته متوسط با چسبندگی داخلی استاندارد و مقاوم به قارچ گردیدند. استفاده از پسماندهای

لیگنوسلولزی مانند الیاف ریشه شیرین‌بیان، علاوه بر جبران کمبود منابع چوبی، می‌توان تخته فیبر دانسیته متوسط تولید کرد که حداقل شرایط استاندارد را داشته و در مقابل انواع قارچ‌های عامل کپک‌زدگی مقاوم باشد.

واژه های کلیدی: تخته فیبر دانسیته متوسط، پسمانده ریشه شیرین‌بیان، چسبندگی داخلی، قارچ عامل کپک‌زدگی.

مقدمه

تخته فیبر با دانسیته متوسط به دلیل ترکیب مواد لیگنوسلولزی، در معرض تخریب بیولوژیکی ناشی از قارچ‌ها و حشرات چوب‌خوار قرار دارد. این مسأله به‌ویژه در مناطق با رطوبت بالا تشدید می‌شود و کاهش دوام این محصول را به دنبال دارد. در نتیجه برای جلوگیری از تخریب بیولوژیکی تخته فیبر و به ویژه در مناطق مرطوب و مستعد و یا انبار کارخانه، این امر ضروری است که تخته فیبر را با مواد ضد حشره و قارچ‌کش آغشته نمود. نمونه‌های چوبی و پوشش‌های عاری از آفت‌کش‌ها به تنهایی قادر نیستند در برابر رویش کپک مقاومت کنند ولی افزودن آفت‌کش‌های طبیعی (عصاره آویشن) و سنتزی موجب بهبود مقاومت آنها در برابر رشد کپک می‌شود [۱]. از آنجایی‌که چسب مورد استفاده فرمالدهید پایه بوده، انتشار فرمالدهید از این چندسازه‌ها به‌صورت معضل دیگری محیط زیست و سلامتی انسان را تهدید می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که انتشار فرمالدهید در تخته فیبر با دانسیته متوسط با بکاربردن موادی مانند تثبیت کننده‌های سنتی فرمالدهید (عصاره میوه بلوط و برگ گردو، سولفات مس (II) و آلوم، صمغ بادام کوهی و صمغ کتیرا) کاهش می‌یابد [۲]. همچنین، این مواد تثبیت کننده سنتی به عنوان گندزدا نیز می‌باشند. در دهه‌های اخیر، توجه گسترده به مسائل زیستی سبب کاهش استفاده از ترکیبات شیمیایی شده که برای سلامتی انسان‌ها و محیط‌زیست مضر است، به‌طوریکه مواد و روش‌های دوست‌دار محیط زیست به‌تدریج در حال جایگزینی با آنهاست [۳]. وجود ترکیبات مختلفی در پوست و برگ گیاه گردو نظیر: تانن‌ها، ترکیبات نفتاکینونی همانند جاگلون^۱ و مشتقات اکسیژنه نفتالن، فالوونوئیدها به‌ویژه کوئرستین^۲، فنولیک اسیدها، روغن‌ها

و اسیدهای چرب، سبب کاربرد گسترده اجزای مختلف این گیاه، در صنایع مختلف به‌ویژه به عنوان ضد قارچ شده است. از آنجا که درخت گردو بومی کشور ایران است و برگ و پوسته سبز گردو از محصولات جانبی می‌باشند، بنابراین می‌توان از این منابع ارزان قیمت در جهت تولید نگهدارنده‌های طبیعی بهره برد (یا می‌توان از آن بر روی قارچ‌های گندزای عامل کپک‌زدگی چوب هم استفاده کرد) [۴]. از آنجا که مواد مرکب چوبی زمانی که در شرایط فضای باز و در تماس با زمین هستند، در معرض تجزیه بیولوژیکی هستند، حفاظت مناسب مهم است [۵]. تخته فیبر دانسیته متوسط به دلیل خواص مطلوب خود مانند سطح صاف، قابلیت ماشین‌کاری عالی و هزینه نسبتاً پایین، به طور گسترده‌ای در صنایع مبلمان، دکوراسیون داخلی و ساخت‌وساز استفاده می‌شود. با این حال، یکی از نقاط ضعف اصلی آن، حساسیت بالا به رطوبت و در نتیجه، آسیب‌پذیری شدید در برابر حملات قارچ‌های تجزیه‌کننده چوب است. قارچ‌های پوسیدگی، به ویژه قارچ‌های قهوه‌ای، سفید و نرم، می‌توانند به سرعت فیبرهای سلولزی و لیگنینی موجود در تخته فیبر دانسیته متوسط را تخریب کنند. این تخریب منجر به کاهش قابل توجه استحکام مکانیکی، تغییر رنگ، تورم، و در نهایت، از بین رفتن کامل محصول می‌شود. این مشکل به خصوص در محیط‌های با رطوبت بالا مانند آشپزخانه، حمام و مناطق گرمسیری، عمر مفید تخته فیبر دانسیته متوسط را به شدت کاهش داده و هزینه‌های نگهداری و جایگزینی را افزایش می‌دهد. آلوم می‌تواند به عنوان یک عامل محافظ در برابر قارچ‌ها و حشرات عمل کند، اگرچه این کاربرد به اندازه کات کبود رایج نیست. آلوم با نفوذ در فیبرهای چوب، به کاهش جذب رطوبت کمک می‌کند [۶]. تولید تخته فیبر دانسیته متوسط در سراسر جهان به علت توسعه فن‌آوری‌های جدید، به طور فزاینده‌ای برای کاربردهای متنوع استفاده می‌شود و در این صورت نیاز به مقاومت در مقابل قارچ‌ها را دارد. برای جلوگیری از

¹Juglone

²Quercetin

فراوان، علاوه بر هدررفت منابع، به معضلات زیست‌محیطی نیز می‌افزاید. بنابراین، یافتن کاربردهای جدید و با ارزش برای این نوع بقایای لیگنوسلولزی، یک ضرورت پژوهشی و صنعتی محسوب می‌شود. بقایای ریشه شیرین بیان، به عنوان یک منبع طبیعی غنی از ترکیبات فعال زیستی با خواص ضد میکروبی و ضد قارچی اثبات شده دارد. ترکیبات اصلی مانند گلیسریریزین و فلاونوئیدها، از جمله گلابریدین و لیکوکالکون و سایر پلی‌فنل‌های موجود در شیرین بیان، فعالیت‌های ضد قارچی قدرتمندی را از خود نشان داده‌اند که می‌توانند رشد و تکثیر قارچ‌ها را مهار کرده و به عنوان یک عامل محافظ طبیعی عمل کنند [۱۴، ۱۵]. استفاده از این بقایا نه تنها یک راهکار پایدار برای مدیریت پسماندهای کشاورزی و صنعتی است، بلکه می‌تواند منجر به تولید تخته فیبر دانسیته متوسط با خواص مقاومتی بهبود یافته و سازگارتر با محیط زیست شود [۱۶].

این پژوهش با هدف بررسی امکان استفاده از بقایای ریشه شیرین بیان به عنوان ماده اولیه جایگزین یا مکمل در ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط و استفاده از عصاره‌های گیاهی برای ضدقارچ کردن پانل‌ها و ارزیابی مقاومت این تخته‌ها در برابر قارچ انجام گردید. در این مطالعه، عصاره‌های گیاهی (عصاره جفت بلوط و برگ گردو) و صمغ‌های گیاهی به دلایل داشتن ترکیبات فنلی، و گروه‌های فراوان فلاونوئید، دوست دار محیط زیست، سمی نبودن، تجدید پذیر بودن و در دسترس بودن به عنوان عامل ضد قارچ ارزیابی شد. مواد حفاظتی دوست دار محیط زیست در ساخت آن استفاده می‌شود تا نیاز به مواد شیمیایی مصنوعی ضد قارچ نباشد. بنابراین ارزش افزوده بقایای گیاه دارویی شیرین بیان کارخانه‌ها مانند کارخانه‌های اطراف شیراز افزایش یافته و کمبود منابع لیگنوسلولزی صنعت تخته فیبر تقریباً رفع خواهد شد و استفاده از مواد طبیعی می‌تواند مشکلات زیست محیطی را کاهش دهد و عمر مفید تخته فیبر دانسیته متوسط را به شدت افزایش دهد. از این رو نوآوری این تحقیق استفاده از پسمانده گیاه دارویی و مواد حفاظتی فراوانی است که بطور سنتی و علمی به عنوان گندزدای طبیعی بدون خسارت است.

تخریب قارچ تحقیقات زیادی وجود دارد که از موادی مانند اسید سیتریک و یا مواد شیمیایی دیگر استفاده کرده‌اند، حتی مواد دوست دار محیط زیست نیز استفاده شده است مانند عصاره‌های گیاهی [۷، ۸]. عصاره‌های گیاهی و اسانس‌ها در بسیاری از صنایع کاربردهای فراوانی داشته و تأثیر زیادی در مهار رشد قارچ‌ها و باکتری‌ها دارند و می‌توان آن‌ها را بصورتی بکار برد که به‌عنوان راه‌حلی برای حفاظت در نظر گرفته شوند [۹]. مقاومت به قارچ تخته فیبر نیمه سنگین ساخته شده از گونه‌های مختلف نشان می‌دهد که تخته‌های ساخته شده از بلوط مقاومت بیشتری در مقابل قارچ‌ها دارند [۱۰]. تلاش‌های زیادی برای توسعه بهره‌برداری از گیاهان دارویی محلی انجام می‌شود و هدف آن کنترل آفات‌ها می‌باشد [۱۱]. ترکیبی از چوب و دانه کاج برای ساخت تخته فیبر نیمه سنگین جهت افزایش مقاومت در برابر قارچ در شرایط آزمایشگاهی استفاده شد که مانع رشد کپک، باختگی، قارچ و پوسیدگی شدند [۱۲]. اسید سیتریک، اسید فوریک، اسید استیک، اسید پروپیونیک و اسید سوربیک، مانع رشد کپک و قارچ در چوب می‌شود [۸].

از طرف دیگر، ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و صادرکنندگان ریشه و عصاره شیرین‌بیان در جهان است. تولید سالانه ریشه شیرین‌بیان در ایران بین ۲۰,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود که بخش عمده آن به تولید عصاره، پودر و سایر فرآورده‌ها اختصاص دارد. از هر تن ریشه شیرین‌بیان، حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد آن به صورت عصاره استخراج می‌شود و مابقی به عنوان پسماند (ضایعات) باقی می‌ماند. بر اساس این تخمین‌ها، میزان تولید بقایای ریشه شیرین‌بیان در ایران سالانه بین ۱۵,۰۰۰ تا ۲۲,۵۰۰ تن است. این بقایا معمولاً در اطراف کارخانه‌های عصاره‌گیری شیرین‌بیان، به ویژه در استان‌های فارس، کرمان و خوزستان، انباشته می‌شوند [۱۳]. ریشه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) یکی از گیاهان دارویی و صنعتی مهم در بسیاری از نقاط جهان، از جمله ایران، است. پس از استخراج مواد موثره از ریشه این گیاه، حجم قابل توجهی از بقایای لیگنوسلولزی آن باقی می‌ماند که عمدتاً شامل لیگنین، سلولز و همی‌سلولز است. این بقایا با وجود پتانسیل ساختاری و شیمیایی بالا، به دلیل عدم کاربرد صنعتی مناسب، به عنوان بقایا دفع می‌شوند. عدم استفاده از این بقایای

مواد و روش‌ها

آماده سازی مواد اولیه

الیاف صنعتی مورد استفاده برای ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط از یکی از کارخانه شمال کشور با میانگین طول الیاف ۱/۴۶ میلی‌متر، قطر الیاف ۲۷ میکرون، مقدار لیگنین ۱۰/۲۲ درصد و مقدار دانسیته ۰/۷ گرم بر سانتی مترمکعب از چوب های جنگلی شمال کشور تهیه شد. ریشه‌های شیرین‌بیان از زمین‌ها و مزارع رشد طبیعی استان فارس، کرمان و دیگر استان‌ها جهت استفاده چندین کارخانه عصاره‌گیری برداشت می‌شوند. این منابع خودرو عاری از هرگونه مواد سمی و شیمیایی می‌باشند. بعد از ورود به محوطه کارخانه، شاخ و برگ اضافی از ریشه جدا و شستشو و تمیز می‌شوند و بعد از عصاره‌گیری سپس در طی مراحل مختلف خشک می‌شوند و در نهایت بصورت خردشده آماده می‌گردد. ویژگی مورفولوژیکی و شیمیایی پسمانده ریشه شیرین‌بیان بطور میانگین دارای

طول ۲/۰۱ میلی‌متر و قطر الیاف ۴۰ میکرون، مقدار لیگنین ۱۸/۲۰ درصد و مقدار دانسیته ۰/۶۵ گرم بر سانتی مترمکعب اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است پسمانده ریشه شیرین‌بیان بدون هیچگونه تیمار و فرآوری شیمیایی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند و جهت ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط، الیاف صنعتی با الیاف بقایای ریشه شیرین‌بیان که از کارخانه عصاره‌گیری شیرین‌بیان شیراز تهیه شد، مخلوط شدند. کلرید آمونیوم، به عنوان هاردنر رزین اوره فرمالدهید از شرکت مرک آلمان و چسب اوره فرمالدهید از کارخانه سامد مشهد، سولفات مس (زاج یا کات کبود) و سولفات آلومینیم پتاسیم (زاج سفید یا آلوم) از کارخانه ندا شیمی نمایندگی شرکت مرک آلمان در تهران و صمغ گیاهی کتیرا و بادام کوهی از عطاری در کرمان تهیه شد. مشخصات چسب اوره فرمالدهید در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات فنی رزین UF مصرفی

ویژگی	ویسکوزیته (مترمربع بر ثانیه)	زمان ژله‌ای شدن (ثانیه)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	pH
UF	۳۵۰	۶۰	۱/۲۶	۷

آماده‌سازی و استخراج عصاره

در این مطالعه از برگ گردو و میوه بلوط عصاره استخراج شد. برگ‌های گردو از ارتفاعات شهرستان کرمان و میوه‌های بلوط از جنگل‌های بلوط استان فارس جمع آوری و تهیه شد. نمونه‌های جمع آوری شده در هوای آزاد به مدت ۱۴ روز خشک و سپس به وسیله دستگاه خرد کن برای افزایش سطح تماس و بهبود استخراج، آسیاب شدند. پودر تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در آب دمای محیط قرار داده شد و سپس به روش بن‌ماری

عصاره‌گیری انجام شد. مایع عصاره در سینی‌های بزرگ قرار داده شدند تا در هوای آزاد آب اضافی تبخیر شده و عصاره بر جای ماند. فرایند استخراج عصاره برگ گردو و میوه بلوط طبق شرایط جدول شماره ۲ انجام شد [۲]. در این مطالعه هرکدام از عصاره‌های استخراج شده به مقدار ۵ درصد چسب در فرایند تولید تخته فیبرهای دانسیته متوسط به چسب اوره فرمالدهید اضافه شد تا با فرمالدهید آزاد موجود در رزین اوره فرمالدهید واکنش دهد.

جدول ۲. شرایط عصاره‌گیری در فرایند استخراج به روش بن‌ماری

گونه	دما (°C)	نسبت (جامد/آب)	زمان (h)	رطوبت ذرات (%)
برگ گردو	۸۵	۱/۴	۲	۱۸/۲۳
میوه بلوط	۹۵	۱/۶	۲	۱۶/۶۹

نسبت‌های عصاره‌گیری وزن گیاه به حجم حلال (مانند ۱:۴) اغلب به عنوان یک اصل کلی در پروتکل‌های دارویی و متون تخصصی داروشناسی گیاهی ذکر می‌شوند. در عصاره‌گیری، به‌ویژه با روش بن‌ماری، معمولاً از

نسبت‌هایی برای گیاه به حلال استفاده می‌شود که متناسب با خواص شیمیایی گیاه و حلال است [۱۷].

ساخت و آماده سازی تخته فیبرهای دانسیته

متوسط

الیاف صنعتی، الیاف ریشه شیرین بیان، چسب و تثبیت کننده های شیمیایی به صورتی که در قبل ذکر شد، آماده سازی و به شرح تیمارهای ذکر شده در جدول ۳ باهمدیگر مخلوط شدند. کیک الیاف در یک قالب چوبی در ابعاد ۳۵ در ۳۵ سانتی متر به نسبت وزنی مشخص توزین و پس از تشکیل کیک الیاف، با استفاده از یک پرس آزمایشگاهی و با شرایط فشار پرس برابر ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و دمای پرس ۱۷۵ درجه سانتی گراد در زمان پرس ۵ دقیقه تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شد. در این تحقیق جرم مخصوص تخته فیبر با دانسیته متوسط در حدود ۰/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب، رطوبت کیک الیاف در حدود ۱۲ درصد، مقدار چسب اوره فرمالدهید ۱۰ درصد و ضخامت تخته در حدود ۱۶ میلی متر برای تمام تیمارها ثابت در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است چسب اوره فرمالدهید به صورت مایع و با استفاده از نازل های اسپری، به طور یکنواخت روی سطح الیاف پاشیده شد. بعد از پایان مرحله پرس، به

منظور مشروط سازی و یکنواخت سازی رطوبت تخته ها و همچنین متعادل سازی تنش های داخلی، تخته های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در شرایط آزمایشگاهی (رطوبت نسبی ۶۵ درصد و درجه حرارت 20 ± 3 درجه سانتی گراد) نگهداری شدند. چسب مصرفی برای ساخت تخته فیبر با دانسیته متوسط اوره فرمالدهید می باشد که هم به صورت چسب خالص و هم با تثبیت کننده های سنتی مصرف شد.

عوامل متغیر مورد مطالعه در این تحقیق شامل مواد افزودنی به چسب و نوع الیاف استفاده شده می باشد. مشخصات تیمارهای ساخته شده در جدول ۳ می باشد. هرکدام از تثبیت کننده ها شامل؛ تانن ها، سولفات ها و صمغ ها جداگانه به نسبت ۵ درصد وزنی چسب تهیه و سپس به رزین اضافه گردید. تعداد تکرار نمونه های آزمایشگاهی برای مقاومت به قارچ، سه قطعه به ابعاد برش استاندارد $5 \times 2.5 \times 1.6$ سانتی متر از هر پنج تیمار بود. نمونه ها به مدت ۷ روز در رطوبت نسبی تقریباً ۶۵ درصد و دمای نسبی ۲۲ درجه سانتی گراد برای رسیدن به شرایط ثابت نگهداری شدند (INSO 18463).

جدول ۳. ترکیب نمونه های ساخته شده در این تحقیق

نام تیمار	مواد افزودنی به چسب	الیاف
A تیمار یک	اوره فرمالدهید	الیاف صنعتی کارخانه از چوب هیزمی صنعتی
B تیمار دو	اوره فرمالدهید	الیاف پسمانده شیرین بیان
C تیمار سه	اوره فرمالدهید	الیاف صنعتی کارخانه (۷۰ درصد) و الیاف پسمانده شیرین بیان (۳۰ درصد)
D تیمار چهار	اوره فرمالدهید اصلاح شده با تثبیت کننده سنتی نوع اول (تانن نوع اول از میوه بلوط، کات کبود (سولفات مس II)، صمغ گیاهی نوع اول مانند بادام وحشی).	الیاف صنعتی کارخانه (۷۰ درصد) و الیاف پسمانده شیرین بیان (۳۰ درصد)
E تیمار پنج	اوره فرمالدهید اصلاح شده با تثبیت کننده سنتی نوع دوم (تانن نوع دوم از برگ گردو، زاج سفید یا آلوم (سولفات آلومینیوم پتاسیم)، صمغ گیاهی نوع دوم مانند کتیرا)	الیاف صنعتی کارخانه (۷۰ درصد) و الیاف پسمانده شیرین بیان (۳۰ درصد)

آزمون چسبندگی داخلی

آزمایش مقاومت در مقابل کشش عمود بر سطح تخته یا چسبندگی داخلی به عنوان شاخصی از اتصال بین خرده ها می باشد. نمونه های چسبندگی داخلی به اندازه های 49×49 میلی متر (اندازه بری شده و مطابق استاندارد ملی ایران به شماره INSO 14546 و با استفاده

از دستگاه تست مکانیکی H25KS Hounsfield، مقاومت چسبندگی داخلی تخته ها اندازه گیری شد. آزمون ها تا رسیدن به جرم ثابت در شرایط محیطی با رطوبت نسبی (65 ± 5) درصد و دمای (20 ± 2) درجه سلسیوس قرار گرفتند. روش آماری به صورت تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه برای یافتن تفاوت های آماری ویژگی های

مکانیکی (چسبندگی داخلی) تخته فیبرهای تولید شده و مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی داری و مقایسه میانگین آماری دانکن استفاده شد.

نمونه برداری از تخته فیبر های آلوده به قارچ

تخته فیبرهای دانسیته متوسط آلوده به قارچ در این تحقیق از انبار کارخانه تخته فیبر واقع در شمال کشور نمونه برداری و در شرایط استریل با استفاده از بسته بندی استریل و پوشش محافظ که در آن از رشد و حضور هرگونه میکروارگانیسم (مانند باکتری، قارچ و ویروس) جلوگیری شد، به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس از این نمونه‌های آلوده، جدایه های خالص قارچ، رشد و استخراج شد.

جداسازی جدایه های قارچی

تخته فیبرهای دانسیته متوسط در مرحله قبل به قطعات یک سانتیمتری تقسیم شده و در زیر هودلامینار بر روی محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار (PDA) قرار داده شدند (در هر پلیت سه قطعه با فاصله مناسب از هم قرار داده شد) و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ روز نگهداری شدند. بعد از گذشت ۵ روز، جدایه‌های رشد کرده به محیط جدید PDA منتقل شدند و با استفاده از روش کشت نوک ریشه، جدایه‌ها خالص شدند [۱۸].

شناسایی ریختی و مولکولی جدایه‌ها

به منظور بررسی ویژگیهای مربوط به پراگنده جدایه های قارچی، ابتدا تمامی جدایه ها به مدت هفت روز روی محیط کشت PDA در شرایط تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس رشد داده شدند. پس از طی مدت زمان معین،

شکل ظاهری پراگنده و رنگ آن، ویژگی‌های رشدی، ویژگی‌های مربوط به اسپورها، کنیدیوفر و غیره به منظور بهره گیری در شناسایی جدایه ها ارزیابی شدند. ایزوله قارچی در محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز کشت داده شد و مقدار کمی از میسلیوم پودری در ۱۰ میلی‌لیتر محلول CTAB (۵۰ میلی‌مولار بافر Tris با pH ۸، ۱۰۰ میلی‌مولار EDTA، ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) معلق شد و به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. محصول PCR جهت تعیین ترادف به شرکت پیشگام ارسال شد و نتایج تعیین ترادف از طریق هم‌ردیفی توالی در بانک ژنی مورد ارزیابی قرار گرفت. درخت تبارزایی با استفاده از نرم‌افزار MEGA6 بر پایه روش Neighbor-Joining با ۱۰۰۰ تکرار Bootstarp ترسیم شد [۱۹].

آزمون مقاومت به قارچ (براساس کاهش جرم نمونه‌های در معرض گذاری شده)

مقاومت تخته فیبر در برابر قارچ براساس استاندارد ملی ایران به شماره 18463 INSO به ابعاد ۵×۲/۵×۱/۶ سانتی‌متر تعیین شد (شکل ۱ و ۲) (INSO 18463) و نوع قارچ که باعث کپک‌زدگی تخته فیبرها می‌شود، شناسایی شد. برای کشت و رشد دادن نمونه‌های قارچ دستگاه انکوباتور مورد استفاده قرار گرفت. این وسیله با کنترل رطوبت، دما، میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن شرایطی مناسب برای رشد ارگانیسم‌های زنده فراهم می‌کند. این دستگاه دمای کنترل شده و ثابت را در اختیار قرار می‌دهد. پس از دو هفته انکوباسیون در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد، نمونه‌ها با میسلیوم قارچ در محیط مناسب برای ادامه رشد قرار داده شد.



شکل ۱- در معرض گذاری نمونه‌ها



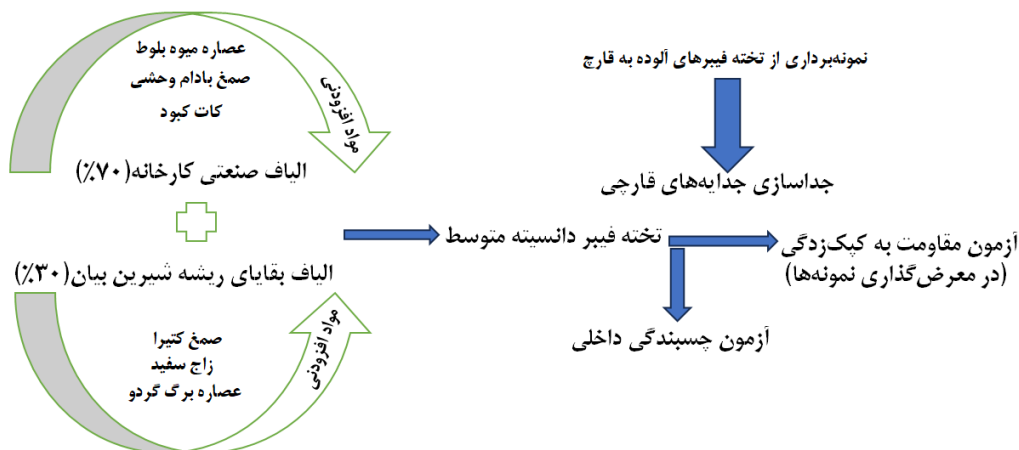
آزمون مقاومت به قارچ بر اساس مقدار
یوشش‌دهی سطح نمونه

ارزیابی مقاومت به کپک‌زدگی نمونه‌های تخته فیبر با دانسیته متوسط طبق استاندارد ASTM D 5590 انجام شد. نمونه‌ها در ابعاد $1.6 \times 2.5 \times 5$ سانتی‌متر برش داده شده و به مدت ۴ هفته (۲۸ روز) در محفظه آزمون با دمای 28 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 95 ± 3 درصد نگهداری شدند. ارزیابی شاخص مقاومت به کپک‌زدگی به صورت بصری و کیفی (جدول ۴) و بر اساس مقدار سطح پوشش داده شده با میسیلوم کپک در پایان مدت کشت با مقیاسی از صفر (بدون رشد کپک) تا چهار (با سطح پوشش بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد) تعیین شد [۱].

چکیده تصویری روش تحقیق به شرح شکل ۳ می‌باشد.

پس از رشد کپک بر روی نمونه‌ها و بعد از ۸ هفته، ریشه‌های قارچ از روی نمونه‌ها حذف و نمونه‌ها وزن شدند، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از وزن کردن نمونه‌ها میزان کاهش وزن نمونه‌ها محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری همانند روش آماری آزمون چسبندگی داخلی انجام شد. درصد کاهش جرم نمونه‌ها ثبت، همچنین آنالیز رشد کپک‌ها بصورت بصری نیز انجام شد. طبق استاندارد ملی میزان گسترش رشد قارچ بصورت کاملاً پوشیده از قارچ، احاطه شدن آزمون با قارچ و رشد اندک در بخش فوقانی آزمون در پایان آزمون بررسی شد.

درجه	وضعیت رشد	شرح وضعیت نمونه‌ها
۰	بدون رشد	هیچ کلنی قابل مشاهده‌ای روی سطح پوشش نیست
۱	رشد محدود	رشد بسیار جزئی و پراکنده
۲	رشد جزئی	کلنی‌های مشخص اما محدود
۳	رشد متوسط	پوشش سطحی قابل توجه
۴	رشد شدید	پوشش متراکم و یکپارچه چاچ



شکل ۳. چکیده گرافیکی روش تحقیق

نتایج و بحث

در مرحله مقدماتی تحقیق قارچ‌های عامل کپک‌زدگی تخته فیبرهای با دانسیته متوسط کارخانه براساس سویه‌های خالص قارچ استخراج شده با تکنیک پاساژ سلولی، شناسایی شد. در نهایت ۵ نمونه قارچ جداسازی شد و ماهیت سویه‌ها به شرح ذیل می‌باشد: *Fusarium sp.*:MD1، *Chaetomium sp.*:MD3، *Tricoderma sp.*:MD2، *Aspergillus Sp.*:MD4 و *Neurospora sp.*:MD5

طبق استاندارد ASTM D 5590 پس از ۴ هفته، بازرسی بصری نشان داد که اگرچه تمامی تخته‌فیبرها در همه تکرارها دچار رشد کپک شدند، اما شدت پوشش دهی یکسان نبود؛ به گونه‌ای که تیمارهای D و E حدود ۱۰ درصد، تیمار A برابر ۶۰ درصد، تیمار B برابر ۶۰ درصد و تیمار C برابر ۷۰ درصد پوشش سطحی داشتند.

جدول ۵ نتایج مقدار پوشش‌دهی گونه‌های قارچ کپک‌زدگی بر روی تیمارهای تخته فیبر دانسیته متوسط را بعد از ۴ هفته نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقدار فراوانی درجه‌بندی پوشش رشد گونه‌های کپک بر روی نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط

نام تیمار	کوتیموم	تری‌کودرما	فوزاریم	آسپرژیلوس	نروسیپورا	تمام قارچ‌ها
A	۴	۳	۳	۳	۲	۴
B	۲	۴	۳	۳	۳	۳
C	۳	۳	۴	۲	۳	۲
D	۱	۱	۱	۱	۱	۱
E	۱	۱	۱	۰	۰	۱

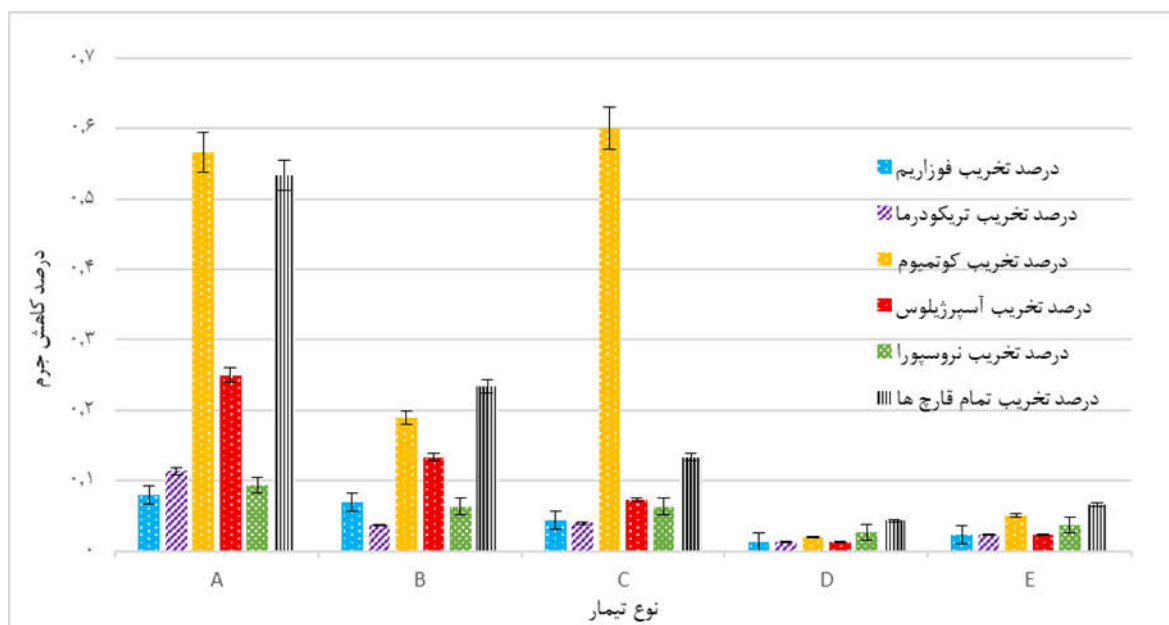
تحلیل توصیفی پوشش دهی در بین فرمولاسیون‌های مختلف تخته، تفاوت‌های آشکاری را در مناسب بودن بستر برای کلونی‌زایی قارچ نشان داد. سطح تیمارهای A، B و C مقادیر میانگین پوشش میسلیوم کپک یکسانی را نشان دادند (جدول ۵)، که بیانگر آن است که هر سه فرمولاسیون با وجود تفاوت در ترکیب مواد اولیه، شرایط مشابه و مساعدی را برای رشد قارچ فراهم کرده‌اند. این یافته حاکی از آن است که جایگزینی الیاف بقایای فرآوری شیرین بیان با الیاف صنعتی، تأثیر منفی بر استقرار قارچ نداشته است. احتمالاً در محدوده بهینه‌ای باقی مانده که از گسترش میسلیوم پشتیبانی کرده است. بنابراین، صرفاً نوع منبع لیگنوسلولزی عامل محدودکننده‌ای برای کلونی‌زایی نبوده است. در مقابل، تیمار D پاسخ یکنواخت و به‌طور مشخص کاهش یافته‌ای نشان داد، که عملکرد ضعیف و پایدار را در بین همه گونه‌های قارچی نشان می‌دهد. این مهار یکنواخت ممکن است به دلیل افزودن مواد مکملی باشد که ساختار فیزیکی یا محیط شیمیایی بستر را تغییر داده، به‌طور بالقوه باعث کاهش تهویه، افزایش تراکم، یا ورود ترکیبات محدودکننده رشد شده است. چنین شرایطی می‌تواند انتشار اکسیژن و دسترسی به مواد مغذی را محدود کرده و در نتیجه، بدون توجه به تحمل گونه‌های خاص، رشد میسلیوم را مختل کند [۲۰].

تیمار E کمترین میزان رشد کلی قارچ را نشان داد. به طور کلی، میانگین‌های بالاتر و تغییرپذیری متوسط مشاهده شده در تیمارهای A تا C نشان می‌دهد که این بسترها در مقایسه با تیمارهای D و E، به طور مؤثرتری از کلونی‌زایی قارچ پشتیبانی کرده‌اند. نتایج بر این نکته تأکید می‌کند که فرمولاسیون بستر، به ویژه وجود یا عدم وجود افزودنی‌ها، نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد قارچ نسبت به جایگزینی مواد خام لیگنوسلولزی ایفا می‌کند. این یافته‌ها از امکان‌سنجی استفاده از بقایای کشاورزی به عنوان منابع جایگزین در تولید تخته‌های زیستی حمایت می‌کند، مطالعات جدید نشان داده‌اند که حضور الیاف طبیعی در کامپوزیت‌ها می‌تواند رفتار رشد قارچ را تغییر دهد، که نشان‌دهنده تعامل پویا بین میسلیوم و ترکیب بستر است.

بازرسی کاهش جرم بخاطر کپک‌زدگی پس از ۸ هفته نشان می‌دهد که تمامی کپک‌ها بروی انواع تخته فیبرها و در همه تکرارها، اما نه با شرایط تخریب یکسان، مشاهده شد. کپک‌ها بروی تخته فیبرهای اصلاح شده تیمارهای D و E پوشاندگی تقریباً ۱۰٪ داشتند ولی در سایر تیمارهای A، B و C تقریباً ۶۰ تا ۱۰۰٪ توسعه یافته و باعث کپک‌زدگی شده‌اند. بیشترین و کمترین فراوانی رشد کپک به ترتیب مربوط به گونه *Chaetomium sp.* و

sp. با استاندارد شماره ۱۸۴۶۳ آیین نامه INSO در جداول شماره (۶) و (۷) بصورت آماره‌های توصیفی ارائه شده است. براساس فاصله اطمینان و مقادیر حاصل نیز می‌توان نتیجه گرفت مقدار کپک‌زدگی گروه ۴ و ۵ (D و E) متفاوت از سایر گروه‌هاست. کمترین و بیشترین مقدار کپک‌زدگی در برابر تمام گروه‌های قارچی (*Chaetomium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Fusarium sp.*) به ترتیب مربوط به *Neurospora sp.* و *Aspergillus sp.* است. ولی با توجه به نمونه تصادفی گرفته شده نتایج آزمون آماری به شرح شکل ۴ می‌باشد. در این تحقیق پنج گونه مختلف قارچ: *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Chaetomium sp.*, *Trichoderma sp.* و *Neurospora sp.* در معرض تخته فیبرهای دانسیته متوسط اصلاح شده با جاذب‌های مختلف طبیعی کشت داده شدند. میزان رشد کپک‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و موثرترین مهارکننده بیولوژیکی و نوع قارچی که باعث کپک‌زدگی تخته فیبرها می‌شود، شناسایی شد.

Trichoderma sp. می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که تیمار D (۷۰٪ الیاف صنعتی کارخانه، ۳۰٪ الیاف شیرین بیان به همراه عصاره بلوط، صمغ بادام وحشی و سولفات مس) و تیمار E (۷۰٪ الیاف صنعتی کارخانه، ۳۰٪ الیاف شیرین بیان تیمار عصاره برگ گردو، صمغ کتیرا و سولفات آلومینیم) در مقابل حملات تمام گروه‌های قارچی (*Trichoderma sp.*, *Fusarium sp.*, *Chaetomium sp.*, *Aspergillus sp.* و *Neurospora sp.*) دارای کمترین میزان کپک‌زدگی بودند و براساس آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی داری، تفاوت معنی داری با نمونه شاهد از الیاف صنعتی کارخانه گروه A و شاهد از الیاف شیرین بیان گروه B نشان می‌دهند. مقایسه میانگین دانکن نیز نشان می‌دهد که گروه A با گروه‌های C، D و E و گروه‌های B با D و E تفاوت معنی داری دارند و بقیه گروه‌ها تفاوت معنی داری باهمدیگر ندارند. اندازه‌گیری میزان مقاومت به قارچ در هر نمونه تخته فیبر دانسیته متوسط در مقابل قارچ *Neurospora*



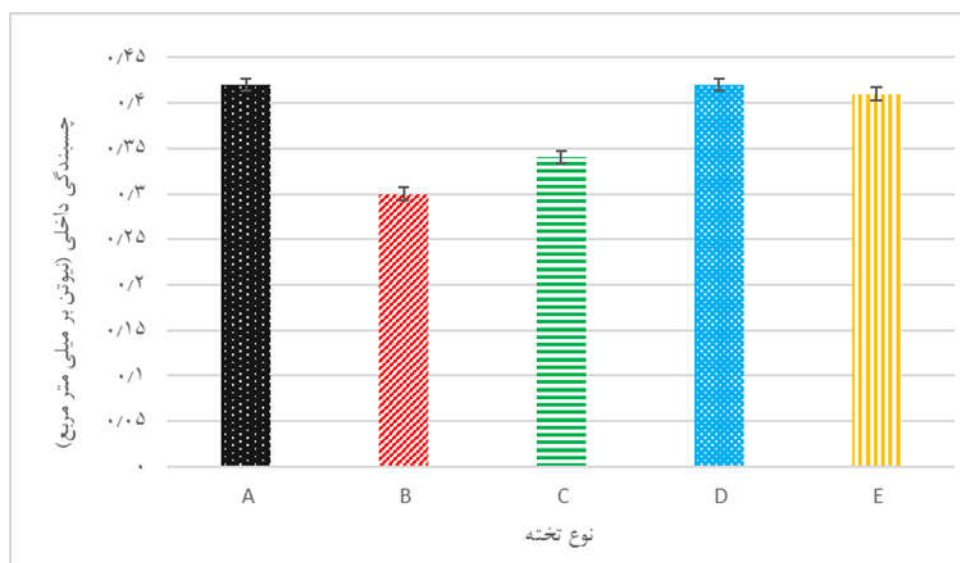
شکل ۴. مقدار مقاومت به قارچ در تخته فیبرهای دانسیته متوسط تیمارهای A تا E

دانسیته متوسط را می‌توان با این واقعیت توضیح داد: کاهش وزن نمونه شاهد از الیاف صنعتی کارخانه احتمالاً می‌تواند ناشی از افزایش تخلخل نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط به دلیل نفوذ هیف و در نتیجه افزایش تخریب به دلیل برهمکنش با رزین اوره فرمالدئید و

براساس نتایج جدول تجزیه و تحلیل واریانس بین گروه شاهد و تیمارها تفاوت معنی داری در مقادیر مقاومت به قارچ وجود دارد. مشخص شد که مقادیر کپک‌زدگی نمونه‌های حاوی عصاره و صمغ گیاهی کاهش می‌یابد. تأثیر عصاره بر کاهش کپک‌زدگی در تخته فیبرهای

شیرین‌بیان بصورت تقریبی ۲۸٪ حاوی لیگنین است [۲۳]. لیگنین بر خلاف ماکروملکول‌های خطی مانند سلولز، یک ماکروملکول غیرخطی تشکیل شده از واحدهای فنیل پروپان است. لیگنین مقاومت در برابر کپک‌زدگی چوب را افزایش می‌دهد [۲۴].

مقادیر چسبندگی داخلی تخته فیبرهای دانسیته متوسط در شکل ۵ ارائه شده است. مقادیر چسبندگی داخلی تخته فیبرهای دانسیته متوسط بین (N/mm²) ۰.۳۰-۰.۴۲ تعیین شد و از نظر مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی داری نمونه‌های دارای چسب اصلاح شده با نمونه شاهد دارای الیاف صنعتی کارخانه تفاوت معنی داری ندارد. نتایج مقایسه میانگین دانکن نیز نشان می‌دهد که فقط نمونه‌های گروه D و E باهمدیگر مشابه هستند و بقیه تیمارها باهمدیگر تفاوت معنی داری دارند.



شکل ۵. مقدار چسبندگی داخلی تیمارهای مختلف تخته فیبرهای دانسیته متوسط

ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط به دلیل چسبندگی داخلی پایین استفاده کرد. از این الیاف فقط به عنوان جزئی از ترکیب الیاف ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط می‌توان استفاده کرد.

نتیجه گیری

بیشترین و کمترین فراوانی رشد کپک بویژه در تخته فیبرهای بدون چسب اصلاح شده به ترتیب مربوط به گونه

فیبرهای چوب باشد. از آنجایی که رزین‌های اوره فرمالدئید در برابر آب مقاوم نیستند، تورم نمونه دسترسی بیشتری به فیبر چوب را فراهم می‌کند. به عبارت دیگر، قارچ‌های تجزیه‌کننده چوب نمی‌توانند به آسانی به نمونه‌های متصل به رزین اوره فرمالدئید نفوذ کنند مگر اینکه متورم شده و دسترسی را آسان کنند. عصاره میوه بلوط به دلیل داشتن تانن بالا به محافظت از فرآورده‌های چوبی کمک می‌کند و در برابر قارچ‌های تخریب‌کننده چوب مقاوم یا نسبتاً مقاوم است [۲۱]. اسید اولئیک (C18:1) فراوان‌ترین اسید چرب در صمغ بادام وحشی است. به طور موثر آلودگی قارچی محصول را در طول نگهداری به دلیل خواص ضد قارچی و آنتی‌اکسیدانی صمغ بادام کاهش می‌دهد [۲۲]. گلیسریریزین و استولون ریشه شیرین‌بیان به دلیل ماهیت لیگنوسولزی می‌تواند به طور بالقوه در بیوکامپوزیت‌ها استفاده شود، ریشه‌ی

میزان حداقل چسبندگی داخلی براساس استاندارد ملی ایران به شماره INSO 14546 برابر با ۰/۳۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع مشخص شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اکثر تخته‌های ساخته شده گروه‌های تیمار تقریباً ۸ درصد از حداقل استاندارد چسبندگی داخلی استاندارد بیشتر می‌باشد، کمترین مقدار مربوط به گروه B (شاهد پسمانده شیرین‌بیان) می‌باشد که از مقدار استاندارد کمتر است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از پسمانده ریشه شیرین‌بیان به تنهایی نمی‌توان در

Chaetomium sp. و *Trichoderma sp.* از بین پنج گونه شناسایی شده می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ترکیب الیاف پسمانده شیرین‌بیان با الیاف صنعتی کارخانه ای و مصرف چسب اصلاح شده بر مقاومت در برابر قارچ و چسبندگی داخلی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و بهترین دوام در برابر کپک‌زدگی و مقاومت در برابر چسبندگی داخلی دارند. ولی نمی‌توان این ماده لیگنوسولولزی را به صورت خالص، یک ماده اولیه مناسب برای تولید تخته فیبر دانسیته متوسط محسوب نمود. عمده فعالیت ضد میکروبی و ضد قارچی گردو به ترکیبات، فنولیک و پلی فنولیک مشتق از این گیاه نسبت داده شده است. ژوگلون بارزترین ماده موجود در اندام‌های مختلف گیاه گردو می‌باشد. این ماده یک کینون، با فرمول شیمیایی C₁₀H₆O₃ با وزن مولکولی ۹۴/۹۷۱ می‌باشد که پیش ماده ترکیب آن ۵- هیدروکسی ۹ و ۱۰ تری نفتالین گلوکوزید است و به‌صورت پیوند شده در اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ‌ها وجود داشته و در اثر آبشویی تحت عمل هیدرولیز و اکسیداسیون قرار گرفته به ژوگلون تبدیل می‌شود [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸]. ترکیبات فنولی در بسیاری از گیاهان دیگر نیز وجود دارند و اثر ضد میکروبی آن‌ها بستگی به محل و تعداد گروه‌های هیدروکسیل روی حلقه فنلی دارد و ادعا شده که ارتباط مستقیمی بین تعداد گروه‌های هیدروکسیل و سمیت آن‌ها روی میکروارگانیسم‌ها وجود دارد [۲۹]. برگ گردو محتوای استر، ترپن، هیدرو کربن و ترکیبات آنتی اکسیدانی قوی از جمله ترکیبات فنولیک است. ترکیبات فنولیک (تانن، فلاونول و فلاونوئید) اثرات سمی زیادی برای بسیاری از حشرات، باکتری‌ها و قارچ‌ها دارند [۳۰]. نتایج نشان داد که تمامی تخته فیبرهای دانسیته متوسط شاهد از الیاف صنعتی کارخانه و شاهد از الیاف شیرین‌بیان نسبت به میکروارگانیسم‌ها حساس هستند و پس از هشت هفته زیست‌سنجی کپک قارچ، بیشترین کاهش وزن را نشان دادند. همچنین مشخص شد که قارچ‌های می‌توانند تخته فیبرهای دانسیته متوسط مبتنی بر چوب را حتی به صورت جزئی، تخریب کنند. در این مطالعه، کپک‌ها باعث کاهش وزن کمتر از ۰.۵ درصد در تیمارهای اصلاح شده پس از مدت زمان مشابه با سایر تیمارها شدند. مقاومت تخته فیبر دانسیته متوسط در برابر حمله قارچی عمدتاً به

ویژگی‌های آناتومیکی گونه‌های چوب مورد استفاده هم بستگی دارد [۳۱]. هرچند اکثر مطالعات در مورد خواص ضد قارچی شیرین‌بیان بر روی قارچ‌های پاتوژن انسانی یا گیاهی متمرکز بوده‌اند، اما اصول ضد میکروبی آن در برابر قارچ‌های تجزیه‌کننده چوب نیز قابل تعمیم است. در تحقیقات محدودی خواص ضد میکروبی گسترده عصاره‌ها و ترکیبات خالص شیرین‌بیان را در برابر طیف وسیعی از باکتری‌ها و قارچ‌ها (مانند کاندیدا آلبیکنس، آسپرژیلوس نایجر و سایر مخمرها و کپک‌ها) تأیید کرده‌اند. این نشان می‌دهد که مواد فعال موجود در شیرین‌بیان می‌توانند به طور مؤثر رشد قارچ‌های مخرب چوب را نیز مهار کنند. این مطالعه به طور خاص بر فعالیت ضد قارچی گلابریدین، یکی از اجزای اصلی شیرین‌بیان، تمرکز دارد و نشان می‌دهد که این ترکیب در برابر قارچ‌های مختلف از جمله مخمرها و قارچ‌های رشته‌ای مؤثر است [۳۲]. در واقع نتایج این تحقیق نشان داد که ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط با الیاف ضایعات شیرین‌بیان امکان‌پذیر است. استفاده از پسماندهای لیگنوسولولزی مانند الیاف ریشه شیرین‌بیان در تولید محصول کاربردی جدید می‌تواند یکی از راهکارهای کاهش پسماندها و در نتیجه حفظ بیشتر سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست باشد. در واقع با استفاده از الیاف پسمانده شیرین‌بیان به میزان ۳۰٪ به‌همراه صمغ‌ها و عصاره‌های گیاهی (صمغ کتیرا و بادام ایرانی و عصاره میوه بلوط و برگ گردو) به عنوان تثبیت‌کننده می‌توان در ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط در برابر کپک‌زدگی بهره برد. تا کنون، مطالعات محدودی بر روی استفاده از بقایای ریشه شیرین‌بیان در تولید تخته فیبر دانسیته متوسط صورت گرفته و به طور خاص، بررسی مقاومت این تخته های نو ترکیب در برابر قارچ‌های چوب‌خوار، مغفول مانده است. در سال‌های اخیر، علاقه فزاینده‌ای به استفاده از عصاره‌های گیاهی و محصولات طبیعی به عنوان جایگزینی برای مواد شیمیایی سمی در محافظت از چوب در برابر کپک‌زدگی و حملات حشرات به وجود آمده است. شیرین‌بیان با توجه به ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی خود، کاندیدای مناسبی برای این منظور است.

- [11] Nakayama, F.S. and Osbrink, W.L. 2010. Evaluation of kukui oil (*Aleurites moluccana*) for controlling termites. *Industrial Crops and Products*, 31, pp. 312-315.
- [12] Kose, C., Terzi, E., Buyuksari, U., Avci, E., Ayrlmis, N., Kartal, S.N. and Imamura, Y. 2011. Particlboard and MDF panels made from a mixture of wood and pinecones: resistance to decay fungi and termites under laboratory condition. *BioResources*, 6(2), pp. 2045-2054.
- [13] Bolouri Moghaddam E., Hemmati, Kh., Bashiri Sadr, Z. and Mashayekhi, K. 2009. Effect of harvest time and root diameter on Glycyrrhizin content in *Glycyrrhiza glabra*. *Journal of Plant Production*, 16(2), pp. 29-45.
- [14] Irani, M., Sarmadi, M., Bernard, F. and Bazarnov, H.S. 2010. Leaves antimicrobial activity of *Glycyrrhiza glabra* L. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 9(4), pp. 425. (In Persian).
- [15] Schirp, A. and Wolcott, M. P. 2005. A review of the use of wood extracts and their role in wood protection. *Wood Science and Technology*, 39(6), pp. 467-482.
- [16] Li, A., Zhao, Z., Zhang, S., Zhang, Z. and Shi, Y. 2021. Fungicidal activity and mechanism of action of glabridin from *Glycyrrhiza glabra* L. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(20), pp. 10966
- [17] Yewale, S., Farash, Z., Kulkarni, S., Palghadmal, S., Athawale, N., Sawant, L. and Padmanabhan, S. 2022. Effect of solvent polarity on extraction yield of total flavonoids with special emphasis to glabridin from *Glycyrrhiza glabra* roots. *Fabad Eczacılık Bilimler Dergisi*, 1(47), pp. 1-12
- [18] Narimani, S., Ebadi, M., Pajang, M. and Molai, S. 2022. Isolation and identification of endophytic fungi producing L-asparaginase from garden sage (*Salvia nemorosa* L.). *Applied Biology*. 34(4), pp. 180-194
- [19] Mollaei, S., Khanehbarndaz, O., Gerami-Khashal, Z. and Ebadi, M. 2019. Molecular identification and phytochemical screening of endophytic fungi isolated from *Lithospermum officinale* L. roots: A new source of shikinin. *Phytochemistry*, 168, pp. 112116.
- [20] Panjalipoursangari, N., Ou, Y. and Schmidt, B. 2025. Impact of *Fomes fomentarius* growth on the mechanical properties of material extrusion additively manufactured PLA and PLA/Hemp biopolymers. *Fungal Biol Biotechnol*, 12(14), doi.org/10.1186/s40694-025-00205-9.
- [21] Panshin, A.J. and Zeeuw, C. 1980. *Text Book of Wood Technology*. McGraw-Hill Book Company, New York, ISBN 0-07-048441-4, pp. 720.
- [22] Hashemi, S.M.B. and Raeisi, S. 2018. Evaluation of antifungal and antioxidant properties of edible coating based on apricot (*Prunus armeniaca*) gum containing *Satureja intermedia* extract in fresh wild almond (*Amygdalus scoparia*) kernels. *Journal of*
- [1] Miri Tari, S.M., Tarmian, A., Azadfallah, M., Abdolkhani, A. and Efhami Sissi, D. 2019. Effects of ordinary and microencapsulated biocides on characteristics of wood coatings and their mold growth resistance. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 34(1), pp. 39-49. (in Persian)
- [2] Kameshki, B., Bayatkashkouli, A., Dahmardeh Ghalenou, M., Dahmardeh Behrouz, R. and Shahriari Moghadam, M. 2023. Evaluation of formaldehyde emission of medium density fiberboard made from with eco-friendly stabilizers and residue fibers of licorice root. *Journal of Forest and Wood Products*, 76(3), pp. 269-282. (in Persian)
- [3] Kocaefe, D., Younsi, R., Poncsak, S. and Kocaefe, Y. 2007. Comparison of different models for the high-temperature heat-treatment of wood. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(7), pp. 707-716.
- [4] Eghbal, H., Mozenzadeh Khayavi, A., Ebrahimi, A., Amirzadeh, Th. and Notaraj Aluji, R. 2017. Identification of phenolic compounds of walnut leaf extract (*Juglans Regia* L.) contained in juglon spray using high performance liquid chromatography (HPLC) and measuring its antioxidant, antifungal and antimicrobial power. *Application of chemistry in the environment*, 35, pp. 1-19. (in Persian)
- [5] Gardner, D. J., Tascioglu, C. and Walinder, M.E.B. 2003. "Wood composite production," In: *Wood Deterioration and Preservatives: Advances in our Changing World*, Goodell, B., Nicholas, D., and Schultz, T. P. (eds.), American Chemical Society, Washington, D. C., pp. 399-419.
- [6] Rowell, R. M. 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press
- [7] Salem, M.Z.M., Zidan, Y.E., Mansour, M.M.A., Hadidi, N.M.N.E. and Elgat, W.A.A.A. 2016. Antifungal activities of two essential oils used in the treatment of three commercial woods deteriorated by five common mold fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 106, pp. 88-96.
- [8] Bahmani, M., Schmidt, O., Fathi, L. and Fruhwald, A. 2016. Environment-friendly short-term protection of palm wood against mould and rot fungi. *Wood Material Science & Engineering*, 11(4), pp. 239-247.
- [9] Behiry, S. I., Okla, M. K., Alamri, S. A., El-Hefny, M., Salem, M. Z., Alaraidh, I. A. and Salem, A. Z. 2019. Antifungal and antibacterial activities of *Musa paradisiaca* L. peel extract: HPLC analysis of phenolic and flavonoid contents. *Processes*, 7(4), pp. 215.
- [10] Kartal, S.N. and Green Iii, F. 2003. Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF) made from different wood species. *International biodeteriorationand & biodegradation*, 51(1), pp. 29-35.

- in 32 selected herbs. Food chemistry, 105(3), pp. 940-949.
- [29] Geissman, TA. 1962. Flavonoid compounds, tannins, lignins and related compounds. In: Florkin M, Stotz EH, eds. Pyrrole pigments, isoprenoid compounds and phenolic plant constituents. New York: Elsevier press, pp. 265.
- [30] Fathi, H., MuTawali Haqi, S.F., Ebrahimzadeh, M.A., philanthropist, S.H., Karmi, M. and Parsi, b. 2015. Evaluation of the insect repellent activity of walnut tree leaf extract on *Culex pipiens* mosquito in laboratory conditions. Complementary Medicine, 64 (21), pp. 1747-1737. (In Persian).
- [31] Lubis, M. A. R., Park, B. D., Kim, Y. S., Yun, J. and Shin, H. C. 2023. Visual inspection of surface mold growth on medium-density fiberboard bonded with oxidized starch adhesives. Wood Material Science & Engineering, 18(3), pp. 819-826.
- [32] Fatima, A., Gupta, V. K., Luqman, S., Negi, A. S., Kumar, J. K., Shanker, K. and Khanuja, S.P.S. 2009. Antifungal activity of *Glycyrrhiza glabra* extracts and its active constituent glabridin. Phytotherapy Research, 23(8), pp. 1190-1193.
- Food Measurement and Characterization, 12, pp. 362-369.
- [23] Santulli, C., Rallini, M., Puglia, D., Gabrielli, S., Torre, L. and Marcantoni, E. 2020. Characterization of licorice root waste for prospective use as filler in more eco-friendly composite materials. Processes, 8(6), pp. 733.
- [24] Fengel, D. and Wegener, G. 1989. WOOD: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter and Co., Berlin, Germany, pp. 613-629.
- [25] Thakur, A. 2011. Juglone: A therapeutic phytochemical from *Juglans regia* L. Jurnal Med Plant Res, 5(22), pp. 5324-30.
- [26] Tim Cushnie, TP. and Lamb, AJ. 2005. Antimicrobial activity of flavonoids. Int J Antimicrob, 26, pp. 343-56.
- [27] Wei, Q., Ma, X. and Dong, J. 2010. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyroligneous acids from walnut tree branches. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 87(1), pp. 24-28.
- [28] Wojdyło, A., Oszmiański, J. and Czemerys, R. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds