

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

ص ۷۹۹-۸۰۷

تأثیر شیارزنی زیستی با استفاده از قارچ‌های *Pysisporinus* *Xylaria longipes* و *vitreus* بر نفوذپذیری گازی و ضریب انتشار بخار آب چوب نوئل (*Picea abies*)

❖ رضا قمری؛ کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ اصغر تارمیان*؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

در این تحقیق، تأثیر شیارزنی زیستی بر نفوذپذیری گازی و ضریب انتشار بخار آب چوب نوئل (*Picea abies*) در جهت شعاعی با استفاده از قارچ‌های پوسیدگی سفید (*Pysisporinus vitreus*) و پوسیدگی نرم (*Xylaria longipes*) بررسی شد. کشت قارچ‌ها تحت شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد در انکوباتور و در مدت زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان کشت در هر دو قارچ، ضریب نفوذپذیری گازی و ضریب انتشار بخار آب و مقدار کاهش جرم افزایش یافت، درحالی که مقاومت فشار موازی الیاف کاهش پیدا کرد. بیشترین کاهش جرم در تیمارهای ۳۰ و ۴۵ روزه قارچ *Pysisporinus vitreus* مشاهده شد. از علل افزایش نفوذپذیری و انتشار بخار آب می‌توان به تخریب انتخابی منافذ هاله‌دار دیواره تراکنیدها توسط قارچ *Pysisporinus vitreus* و ایجاد سوراخ‌های متعدد روی دیواره تراکنیدها توسط قارچ *Xylaria longipes* اشاره کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای ۳۰ روزه هر دو قارچ به‌علت نداشتن اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۴۵ روزه بهترین زمان برای شیارزنی زیستی چوب نوئل است.

واژگان کلیدی: شیارزنی زیستی، ضریب انتشار، نفوذپذیری، *Xylaria longipes*، *Pysisporinus vitreus*

مقدمه

به روش شیارزنی زیستی چوب، تخریب منافذ هاله‌ای و نیمه‌هاله‌ای و باز کردن دریچه منافذ بسته شده است. از میکروارگانسیم‌هایی که در علم زیست‌فناوری به منظور افزایش نفوذپذیری و اشباع‌پذیری چوب استفاده شده است، می‌توان به قارچ‌های *Physisporinus vitreus* [۶]، *Antrodia vaillantii* و *Hypoxylon fragiforme* [۱۰]، قارچ باختگی آبی *Sclerophoma pithyophila* [۶] و باکتری‌های *Bacillus subtilis* و *Bacillus licheniformis* [۱۱] اشاره کرد. به تازگی و به ویژه از سال ۲۰۱۰، تحقیقات متعددی در جهان درباره امکان استفاده از قارچ *Physisporinus vitreus* برای بهبود خواص چوب‌های سوزنی‌برگ سخت‌اشباع مانند نفوذپذیری و اشباع‌پذیری و نیز خواص صوتی و آکوستیکی آنها در حال اجراست، ولی تحقیقات اندکی در مورد اثرهای قارچ *Xylaria longipes* صورت گرفته است. این قارچ موجب پوسیدگی نرم نوع دو در چوب‌آلات می‌شود. در زمینه خواص انتقال سیال، بیشتر تحقیقات گذشته نیز بر نفوذپذیری چوب متمرکز بوده و درباره اثرهای این قارچ‌ها بر ضریب انتشار بخار آب در چوب تا کنون پژوهشی انجام نگرفته است؛ بنابراین هدف این تحقیق، بهبود انتقال سیال (نفوذپذیری گازی و انتشار بخار آب) در چوب نوئل با استفاده از قارچ‌های *Physisporinus vitreus* و *Xylaria longipes* و نیز مقایسه عملکرد این دو نوع قارچ است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و کشت قارچ

از تخته‌های تازه‌برش خورده چوب برون نوئل (*Picea abies*) استفاده شد. پس از خشک کردن تخته‌ها در هوای آزاد، براساس استاندارد (EN 113 (2004) [۱۲]

نوئل یکی از گونه‌های سوزنی‌برگ مهم در کاربردهای ساختمانی است و چوب این گونه به وفور در کشور از طریق واردات استفاده می‌شود؛ اما یکی از معایب این چوب در کاربردهای بیرونی، بحث دوام طبیعی به نسبت کم آن است [۱]. به دلیل وجود پدیده مکش منفذی طی خشک شدن و خروج آب آزاد، چوب نوئل در برابر اشباع با مواد حفاظتی مقاوم است و دستیابی به نفوذ عمیق مواد حفاظتی را در آن مشکل می‌سازد. از این رو، این چوب جزو چوب‌های سخت‌اشباع طبقه‌بندی می‌شود [۲].

نفوذپذیری ویژگی مهمی است که خشک کردن چوب و تیمارپذیری آن را با انواع مختلف مواد حفاظتی تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳]. نفوذپذیری چوب، یک عامل بسیار متغیر و وابسته به ساختمان آناتومی آن است [۴]. با توجه به اهمیت ضریب نفوذپذیری چوب در کاربردهای مختلف مانند اشباع با مواد حفاظتی، برای بهبود نفوذپذیری چوب‌های سخت‌اشباع، روش‌های مکانیکی، شیمیایی و زیستی مختلف ارائه شده است [۵-۷]. به تازگی با توسعه علم زیست‌فناوری و اهمیت آن از نظر مسائل زیست‌محیطی، از تکنیک شیارزنی زیستی^۱ برای افزایش نفوذپذیری چوب استفاده می‌شود [۸، ۹]. شیارزنی زیستی روش جدیدی است که توسط آن می‌توان نفوذپذیری و اشباع‌پذیری چوب‌های سخت‌اشباع مانند خانواده Pinacea را در یک دوره زمانی کنترل شده و کوتاه با استفاده از قارچ *Physisporinus vitreus* افزایش داد، به طوری که مقاومت‌های مکانیکی چوب کاهش چشمگیری نداشته باشد [۹]. منظور از افزایش نفوذپذیری

1. Bioincising

اندازه‌گیری نفوذپذیری شعاعی

نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۸ میلی‌متر و طول ۱۵ میلی‌متر در جهت شعاعی با ده تکرار برای بررسی ضریب نفوذپذیری شعاعی تهیه شدند. سطوح جانبی نمونه‌های استوانه‌ای با رزین اپوکسی اندود شد تا عبور سیال تنها در جهت شعاعی رخ دهد. ضریب نفوذپذیری با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری گازی به روش حجم آب جابه‌جاشده از آب در حال سقوط اندازه‌گیری شد [۱۵]. جزئیات روش اندازه‌گیری در تحقیقات گذشته ارائه شده است [۱۵، ۱۶].

اندازه‌گیری مقدار انتشار بخار آب

پس از اندازه‌گیری نفوذپذیری، از همان نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقدار انتشار بخار آب نیز استفاده شد. اندازه‌گیری ضریب انتشار براساس قانون اول فیک و به روش فنجان انجام گرفت. از محلول اشباع نمک کلرید سدیم برای تنظیم رطوبت نسبی داخل فنجان استفاده شد. پس از قرار گرفتن نمونه‌های چوبی در فنجان‌ها، وزن اولیه فنجان‌ها اندازه‌گیری شد و فنجان‌ها داخل اتاق کلیما با شرایط رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. کاهش وزن فنجان‌ها هر ۲۴ ساعت یک‌بار تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد. پس از ۱۴ روز، تغییر وزن ثابتی به دست آمد. در نهایت، از رابطه ۱ برای اندازه‌گیری ضریب انتشار رطوبت نمونه‌ها استفاده شد [۱۶]:

$$f_{\text{exp}} = \frac{Q}{D_v A} \times \frac{E}{(RH_1 - RH_2) \times P_{vs}(T)} \times \frac{RT}{M_v} \quad (1)$$

در این رابطه، A سطح نمونه چوبی (متر مربع)، P_{vs} فشار بخار اشباع در دمای T (پاسکال)، E ضخامت نمونه چوبی (متر)، RH_1 رطوبت نسبی داخل اتاق

نمونه‌های آزمایشگاهی به ابعاد $15 \times 25 \times 50$ (شعاعی، مماسی، طولی) میلی‌متر برای کشت قارچ تهیه شده و همچنین براساس استاندارد ایزو (1976) 3787 نمونه‌های آزمایشگاهی به ابعاد $20 \times 20 \times 60$ (شعاعی، مماسی، طولی) برای اندازه‌گیری آزمون مقاومت فشار موازی الیاف استفاده شد [۱۳]. از مالت اکسترکت آگار به‌عنوان محیط کشت قارچی استفاده شد. نمونه‌ها به ظروف پتری‌دیش حاوی ریسسه‌های قارچی (قارچ‌های *Xylaria longipes* و *Physisporinus vitreus*) انتقال داده شدند و به‌مدت ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز در داخل انکوباتور (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد) قرار گرفتند. در پایان دوره کشت، مقدار کاهش جرم آنها اندازه‌گیری شد. برای هر تیمار نفوذپذیری و انتشار بخار آب از پنج تکرار و برای هر تیمار مقاومت فشار موازی الیاف از ده تکرار استفاده شد.

بررسی‌های میکروسکوپی

برای بررسی‌های آناتومی با میکروسکوپ نوری، از نمونه‌های ۴۵ روزه تیمار شده هر دو قارچ به‌وسیله میکروتوم مقاطع شعاعی و عرضی به ضخامت تقریبی ۱۰ میکرومتر تهیه شد و پس از رنگ‌آمیزی مقاطع با محلول سافرانین براساس روش پارسا پزوه و همکاران (۱۹۹۳) مطالعات انجام گرفت [۱۴]. برای بررسی‌های آناتومی با میکروسکوپ الکترونی نیز از قسمت بیرونی نمونه‌های ۴۵ روزه برش‌هایی به ابعاد 0.5 سانتی‌متر مکعب تهیه شد و سطوح عرضی و شعاعی آنها با تیغه تیز میکروتوم لغزشی برش داده شد و به‌مدت ۱۸ ساعت در دمای ملایم ۵۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون خشک شدند. سپس تصاویر میکروسکوپ الکترونی از مقاطع عرضی و شعاعی نمونه‌ها تهیه شد.

لیگنین دیواره سلولی را شامل می‌شود [۱۰]. در مورد قارچ *X. longipes* نیز سوراخ‌های ریز و متعدد روی دیواره تراکئیدها دیده شد (شکل ۱ ه). نیلسون و دنیل (۱۹۸۹) نیز در مورد تخریب گونه‌های قارچی پوسیدگی نرم گزارش کردند که تخریب دیواره سلولی به صورت ایجاد حفره و سوراخ‌هایی روی آن است [۱۷]. میسیلیوم‌های قارچ *P.vitreus* به‌طور انتخابی، کنار تخریب محسوس در دیواره تراکئید به سمت منافذ هاله‌ای دیواره تراکئید حرکت کرده و موجب تخریب منافذ هاله‌ای دیواره تراکئید شده‌اند (شکل ۱ د). لهرینگر و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که قارچ *P.vitreus* در مراحل ابتدایی، شروع به تخریب منافذ هاله‌دار تراکئیدها می‌کند [۱۰]. همچنین قارچ *X. longipes* در کنار تخریب کم منافذ هاله‌ای موجب تخریب بیشتر دیواره تراکئیدها شده است (شکل ۱ و).

کلیما، RH2 رطوبت نسبی داخل فنجان، Q مقدار جریان $(kg.s^{-1})$ و M_v جرم مولی بخار آب $(kg/mole)$ است.

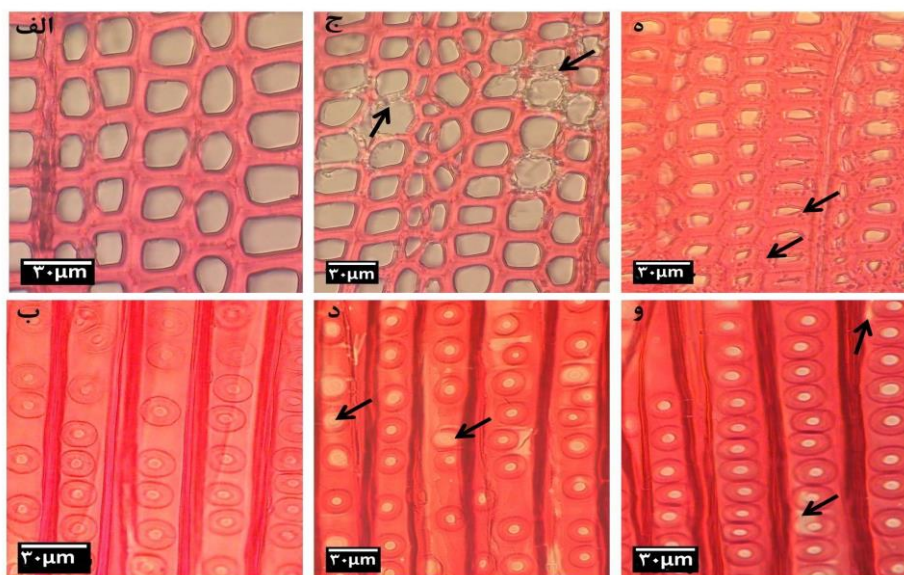
آزمون آماری

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون T مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

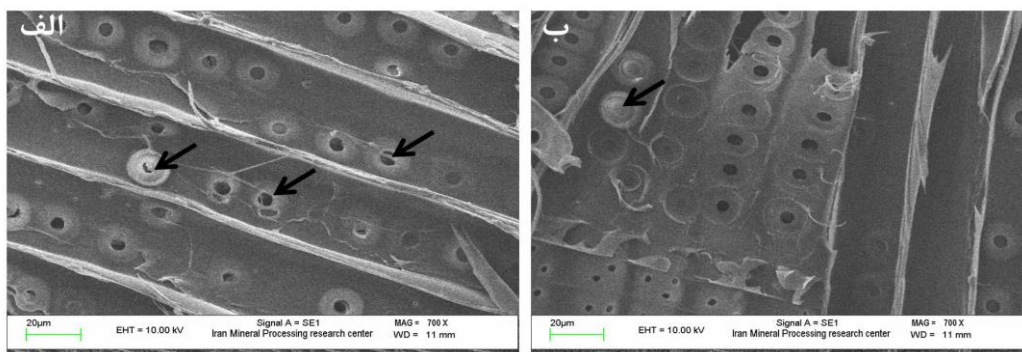
نتایج و بحث

ویژگی‌های میکروسکوپی

شکل ۱ نمایی از برش شعاعی چوب شاهد و تیمار ۴۵ روزه کشت داده‌شده با قارچ‌های *P.vitreus* و *X. longipes* را نشان می‌دهد. تصاویر مقطع عرضی چوب نوئل نشان‌دهنده تخریب دیواره تراکئیدها توسط قارچ *P.vitreus* است (شکل ۱ ج) که بیشتر تخریب انتخابی



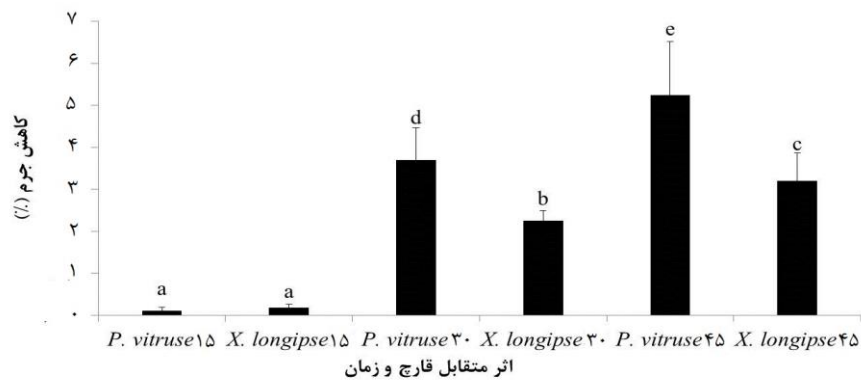
شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های ۴۵ روزه شیازنی شده چوب نوئل. الف) مقطع عرضی چوب شاهد ب) مقطع شعاعی چوب شاهد. ج) تخریب دیواره تراکئیدها (فلش) توسط قارچ *P.vitreus* د) تخریب انتخابی منافذ هاله‌دار دیواره تراکئیدها توسط قارچ *P.vitreus* ه) ایجاد سوراخ‌های متعدد و ریز روی دیواره تراکئیدها توسط قارچ *X.longipes* و) تخریب دیواره سلولی (فلش) و تخریب کم منافذ هاله‌دار توسط قارچ *X.longipes*



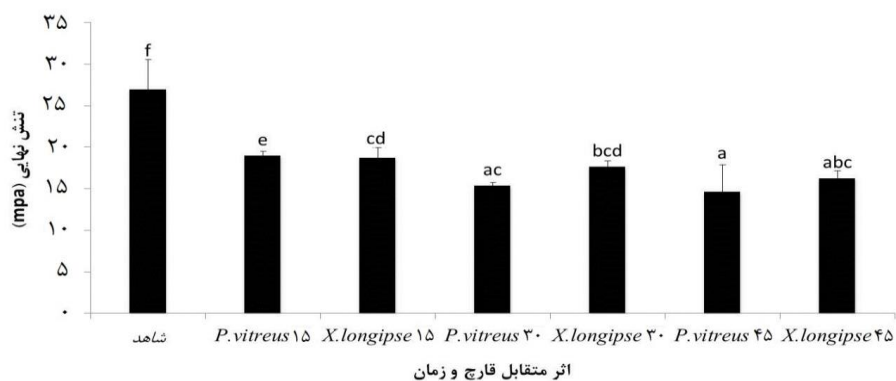
شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مقطع شعاعی چوب نوئل. الف) تخریب انتخابی منافذ هاله‌دار تراکئیدها توسط قارچ *P. vitreus* (فلش) ب) تخریب کم منافذ هاله‌دار توسط قارچ *X. longipes* و وجود منافذ بسته (فلش)

fragiforma به ترتیب ۱/۲، ۳/۳ و ۳/۶ درصد و برای قارچ *Antrodia vaillantii* ۲/۹ و ۳/۳ درصد است [۶]. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در مورد هر دو قارچ، مقاومت مکانیکی در تیمار ۱۵ روزه افت ناگهانی و معنی‌داری پیدا کرده است و در دیگر تیمارها نسبت به تیمارهای ۱۵ روزه اختلاف‌ها جزئی است. با اینکه با افزایش زمان کشت، کاهش جرم توسط قارچ *P. vitreus* بیشتر بود، مقدار کاهش مقاومت مکانیکی توسط این قارچ به اندازه کاهش مقاومت مکانیکی ایجادشده توسط قارچ *X. longipse* بود. امامی‌نسب و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که کاهش ناگهانی مقاومت مکانیکی در تیمارهای ۱۵ روزه چوب دوگلاس فر با قارچ *X. longipse* رخ می‌دهد [۱۸]. همچنین، تحقیقات تالر و همکاران (۲۰۱۲) کاهش ناگهانی مقاومت مکانیکی چوب نوئل را در تیمارهای ۳۰ روزه کشت نمونه‌های چوبی با این قارچ نشان داد [۶]. کاهش ناگهانی مقاومت‌های مکانیکی در تیمارهای ۱۵ روزه شاید ناشی از چوب‌برون بودن نمونه‌های بررسی‌شده در این تحقیق باشد، درحالی که در تحقیق تالر و همکاران (۲۰۱۲)، نمونه‌ها از چوب‌درون گونه نوئل تهیه شده بود [۶].

مقاومت فشار موازی الیاف و کاهش جرم نمونه‌ها بررسی آزمون تجزیه واریانس در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری را بین داده‌های کاهش جرم نوئل و مقاومت فشار موازی الیاف هر دو قارچ نشان داد، به طوری که با افزایش زمان کشت، کاهش جرم افزایش یافت (شکل ۳) و مقاومت فشار موازی الیاف کاهش یافت (شکل ۴). میانگین کاهش جرم تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روزه طی مجاورت با قارچ *P. vitreus* به ترتیب ۰/۱۰، ۳/۷۰ و ۵/۲۴ درصد و برای قارچ *X. longipse* به ترتیب ۰/۱۷، ۲/۲۵ و ۳/۲۷ درصد اندازه‌گیری شد. در مجموع، کاهش جرم نمونه‌هایی که در معرض قارچ *P. vitreus* قرار گرفتند به‌طور معنی‌داری در تیمارهای ۳۰ و ۴۵ روزه بیشتر از نمونه‌هایی بود که در معرض قارچ *X. longipse* قرار گرفتند. این مشاهدات با یافته‌های تالر و همکاران (۲۰۱۲)، لهرینگر و همکاران (۲۰۱۱) و امامی‌نسب و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد [۶، ۱۰، ۱۸]، اما با یافته‌های شوارز و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت ندارد [۹]. نتایج بررسی‌های تالر و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که کاهش جرم نمونه‌های چوب‌درون نوئل طی مجاورت ۱۴، ۳۰ و ۴۵ روزه با قارچ *Hypoxylon*



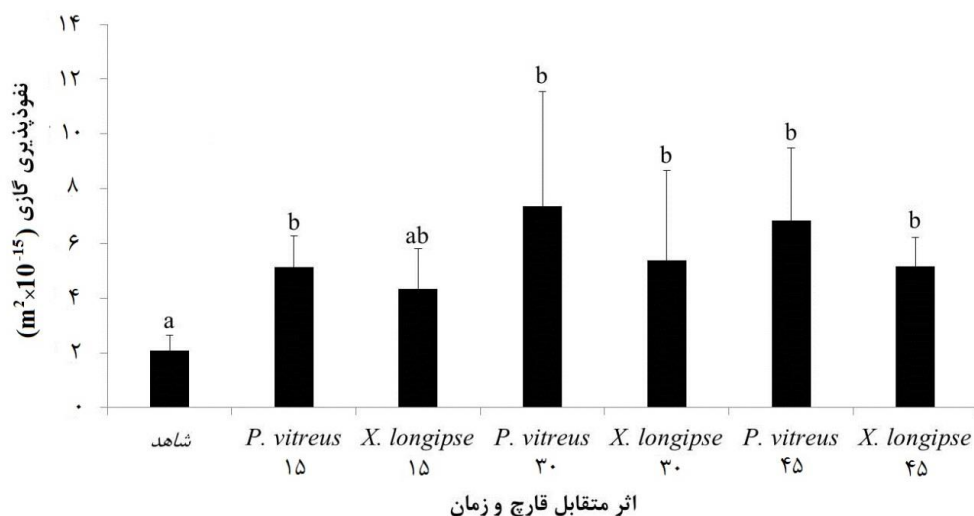
شکل ۳. کاهش جرم نمونه‌های کشت داده شده با قارچ‌های *Xylaria longipes* و *Phytophthora vitreus*



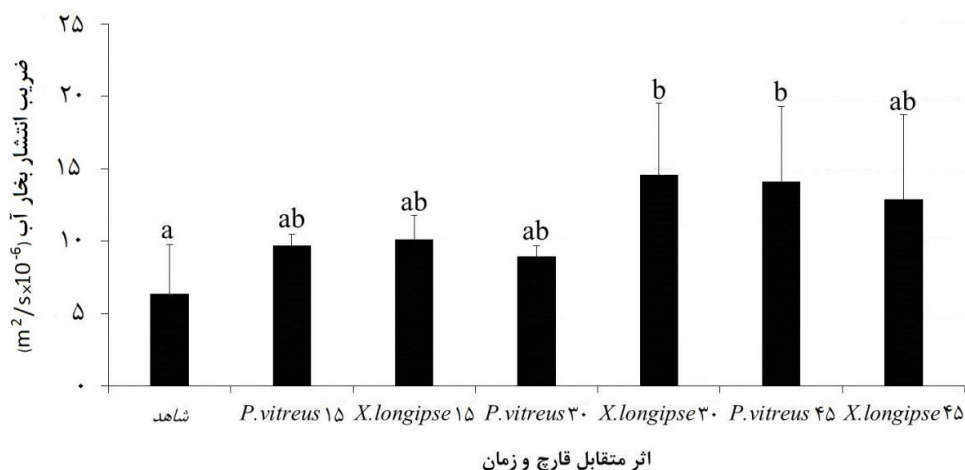
شکل ۴. مقاومت فشار موازی الیاف نمونه‌های کشت داده شده با قارچ‌های *Xylaria longipes* و *Phytophthora vitreus*

معناداری با قارچ *P. vitreus* نداشت. دیگر محققان نیز به یافته‌های مشابهی دست یافتند [۱۹، ۱۰]. گرین و کلوزن (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند که قارچ‌های پوسیدگی سفید و قهوه‌ای با ظرفیت آنزیمی خود موجب هیدرولیز پکتین غشای منافذ هاله‌ای چوب کاج شده و در نتیجه سبب افزایش نفوذپذیری گازی در جهت طولی می‌شوند [۲۰]. بررسی اثر متقابل قارچ و زمان نشان داد که بیشترین افزایش ضریب انتشار بخار در تیمارهای ۳۰ روزه قارچ *X. longipse* و تیمارهای ۴۵ روزه قارچ *P. vitreus* مشاهده شد. افزایش ضریب انتشار نمونه‌ها در اثر مجاورت با این دو قارچ می‌تواند ناشی از تخریب منافذ هاله‌دار توسط قارچ و باز شدن دریچه منافذ باشد.

نفوذپذیری گازی و ضریب انتشار بخار آب نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان کشت، نفوذپذیری و ضریب انتشار نمونه‌ها افزایش یافت. در هر دو قارچ، تفاوت معنی‌داری بین نفوذپذیری نمونه‌های کشت شده برای مدت زمان‌های ۳۰ و ۴۵ روز مشاهده نشد (شکل‌های ۵ و ۶). این نتایج با یافته‌های تالر و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [۶]. با توجه به عکس‌های میکروسکوپی گرفته شده، از دلایل افزایش نفوذپذیری می‌توان به تخریب انتخابی منافذ هاله‌دار تراکئیدها و نیز سوراخ‌های ریز و متعدد ایجاد شده در دیواره سلول‌های تراکئیدی اشاره کرد. با اینکه قارچ *X. longipse* تأثیر چندانی بر تخریب منافذ هاله‌دار تراکئیدها نداشت، مقدار بهبود نفوذپذیری آن اختلاف



شکل ۵. نفوذپذیری نمونه‌های کشت داده‌شده با قارچ‌های *Xylaria longipes* و *Physisporinus vitreus*



شکل ۶. ضریب انتشار بخار آب نمونه‌های کشت داده‌شده با قارچ‌های *Xylaria longipes* و *Physisporinus vitreus*

دیواره تراکتیدها توسط قارچ *P. vitreus* و ایجاد سوراخ‌های ریز و متعدد روی دیواره تراکتیدها توسط قارچ *X. longipes* از علل افزایش نفوذپذیری و ضریب انتشار بخار آب است. نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ *X. longipes* پتانسیل مناسبی برای شیارزنی زیستی چوب دارد. به نظر می‌رسد موفقیت‌آمیز بودن این روش نوین زیست‌فناوری در بهبود نفوذپذیری چوب‌های سخت‌اشباع، بسیار به شرایط محیط کشت و نوع گونه وابسته باشد. از طرفی، با توجه به اینکه تخریب انتخابی

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از شیارزنی زیستی با قارچ‌های *P. vitreus* و *X. longipes* می‌توان نفوذپذیری گازی و انتشار بخار آب چوب نوئل را در جهت شعاعی بهبود داد و بهترین زمان تیمار، کشت ۳۰ روز بود. تأثیر هر دو قارچ بر بهبود نفوذپذیری گازی و انتشار بخار آب چوب نوئل در جهت شعاعی به یک اندازه بود و از نظر آماری تفاوتی با هم نداشتند. تخریب انتخابی منافذ هاله‌دار

می‌توان به تأثیر منفی کشت قارچ بر مقاومت‌های مکانیکی چوب اشاره کرد. بنابراین تحقیقات بیشتر برای یافتن شرایط بهینه کشت با هدف افزایش نفوذپذیری چوب همراه با کاهش جزئی مقاومت‌های مکانیکی آن نیز پیشنهاد می‌شود.

توروس منافذ هاله‌دار چوب‌های سوزنی‌برگ به‌علت مصرف پکتین از دلایل اصلی بهبود نفوذپذیری چوب با قارچ *P.vitreus* است، بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی اثر این قارچ بر مصرف پکتین و نیز دیگر ترکیبات شیمیایی چوب در دیواره‌های سلولی طی مدت کشت بررسی شود. همچنین از معایب این روش

References

- [1]. Brischke, C., Welzbacher, C.R., and Huckfeldt, T. (2008). Influence of fungal decay by different basidiomycetes on the structural integrity of Norway spruce wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66(6): 433-438.
- [2]. Usta, I., and Hale, M.D. (2006). Comparison of the bordered pits of two species of spruce (*Pinaceae*) in a green and kiln-dried condition and their effects on fluid flow in the stem wood in relation to wood preservation. *Forestry*, 79(4): 467-475.
- [3]. Bradic, S., and Avramidis, S. (2007). Longitudinal air permeability of pinewood with beetle transmitted blue-stain. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65(3): 183-185.
- [4]. Siau, J.F. (1984). Transport processes in wood, Translated by Ebrahimi, Gh., University of Tehran press, Tehran.
- [5]. Ramzanpour, M., Tarmian, A., and Taghiyari, H.R. (2014). Effect of fir Wood steaming on absorption and penetration of acid copper chromate preservative. *Journal of Forest and Wood Product (Iranian Journal of Natural Resources)*, 67(1): 85-92.
- [6]. Thaler, N., Lesar, B., Kariz, M., and Humar, M. (2012). Bioincising of Norway spruce wood using wood inhabiting fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 68: 51-55.
- [7]. Dashti, H., Tarmian, A., Faezipour, M., and Shahverdi, M. (2012). effect of microwave radiation and pre-steaming treatments on the conventional drying characteristics of Fir wood (*Abies alba* l.). *Lignocellulose*, 1(3): 166-173.
- [8]. Schubert, M., Volkmer, T., Lehringer, C., and Schwarze, F.W.M.R. (2011). Resistance of bioincised wood treated with wood preservatives to blue-stain and wood-decay fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(1): 108-115.
- [9]. Schwarze, F.W.M.R., Landmesser, H., Zraggen, B., and Heeb, M. (2006). Permeability changes in heartwood of *Picea abies* and *Abies alba* induced by incubation with *Physisporinus vitreus*. *Holzforchung*, 60(4): 450-454.
- [10]. Lehringer, Ch., Hillebrand, K., Richter, K., Arnold, M., Schwarze, F.W.M.R., and Militz, H. (2010). Anatomy of bioincised Norway spruce wood. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64(5): 346-355.
- [11]. Yildiz, S., Canakci, S., Yildiz, U.C., Ozgenc, O., and Tomak, E.D. (2012). Improving of the impregnability of refractory spruce wood by *bacillus licheniformis* pretreatment. *BioResources*, 7(1): 565-577.



- [12]. European Committee for standardization. (1989) Wood Preservatives; Determination of the Toxic Values against Wood Destroying Basidiomycetes Cultured on Agar Medium, EN 113, Brussels.
- [13]. Wood-Tests methods-Determination of ultimate stress in compression parallel to grain, ISO 3787, 1976.
- [14]. Parsa Pajouh, D., and Schweingruber, F.H. (1993). Atlas of the Woods of North of Iran, University of Tehran Press, Tehran.
- [15]. Taghiyari, H.R., Karimi, A.N., Parsapajouh, D., and Pourtahmasi, K. (2010). Study on the longitudinal gas permeability of juvenile wood and mature wood. Special Topics and Reviews in Porous Media: An International Journal, 1(1): 345-351.
- [16]. Dashti, H., Tarmian, A., Faezipour, M., Hedjazi, S., and Shahverdi, M. (2013). Mass Transfer Through Microwave-Treated Fir Wood (*Abies alba* L.): A Gymnosperm Species with Torus Margo Pit Membrane. Drying Technology, 31(3): 359-364.
- [17]. Nilsson, T., and Daniel, G. (1989). Chemistry and microscopy of wood decay by some higher ascomycetes. *Holzforschung*, 43(1), 11-18.
- [18]. Emaminasab, M., Tarmian, A., and Pourtahmasi, K. (2015). Permeability of poplar normal wood and tension wood bioincised by *Physisporinus vitreus* and *Xylaria longipes*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 105: 178-184.
- [19]. Reinprecht, L., Pánek, M. (2008). Bio-treatment of spruce wood for improving of its permeability and soaking. Part 2: Direct treatment with the fungus *Trichoderma viride*. *Wood Research*, 53(3): 1-8.
- [20]. Green, F., and Clausen, C.A. (1999). Production of polygalacturonase and increase of longitudinal gas permeability in southern pine by brown-rot and white-rot fungi. *Holzforschung*, 53(6): 563-568.