بهبود دوام طبیعی چوب نخل خرما در برابر موریانه (*Microcerotermes diversus*) با تزریق لیکور سیاه کرافت

علی حسنی[۱]
محمدعلی سعادت نیا[۲*]
محمدهادی مرادیان[۲]
داوود افهامی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران

[۳] استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
msaadatnia92@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳

چکیده

نخل‌های خرمای جنوب ایران در معرض یکی از خطرناک‌ترین موریانه‌های حاضر در جهان Microcerotermes diversus Silvestre (Isoptera: Termitidae) قرار دارند. لذا برای ارزیابی، کنترل و محدود کردن فعالیت این موریانه، مقاومت چوب نخل خرمای تیمار شده با غلظت‌های مختلف لیکور سیاه حاصل از فرایند خمیر سازی کرافت (۱۰،۲۰،۳۰ و ۴۰ درصد) نسبت به حمله موریانه‌ها در شرایط آزمایشگاهی (آزمون انتخابی و غیرانتخابی) و صحرایی ارزیابی شد. با توجه به ساختار ویژه آناتومی نخل، نتایج نشان داد که تیمار نمونه‌ها با محلول لیکور سیاه روشی مؤثر درکند کردن فعالیت موریانه‌ها بوده است. مشاهدات همچنین حاکی از آن بود که با افزایش غلظت محلول اشباع، میزان مطلوبیت چوب برای موریانه کاهش‌یافته اگرچه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۳۰ و ۴۰ درصدی مشاهده نشد. در انتها طیف‌نگاری محلول اشباع حاکی از حضور و تأثیر گروه‌های فنلی و سولفات بر کاهش میزان مطلوبیت غذایی بود.

واژگان کلیدی: لیکور سیاه، موریانه، نخل خرما.

مقدمه

وجود بیش از ۲۰ میلیون نخل خرما (*Phoenix dactylifera L*) در مناطق جنوبی ایران باعث شده تا ایران در بین کشورهای منطقه، رتبه اول و دوم را ازنظر سطح زیر کشت و تولید خرما در جهان به دست آورد [۱]. دسترسی به چنین ماده لیگنوسلولزی فراوان می‌تواند باعث ایجاد فرصتی شود تا صاحبان صنعت به کاربردهای صنعتی آن توجه بیشتری کنند؛ اما استفاده از این ماده فراوان نیاز به شناخت کامل و بررسی دقیق ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن دارد. با توجه به ساختار آناتومی نخل خرما، خواص آن نسبت به چوب‌های سوزنی-برگ و پهن‌برگ ضعیف‌تر بوده به طوریکه با میانگین دانسیته ۰/۳۲ gr/cm^3 دارای مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی استاتیک به ترتیب ۱۰۲۸ و ۱۰ MPa می‌باشد [۲]. لذا برای استفاده صنعتی از این ماده فراوان، استفاده از تیمارهای شیمیایی جهت اصلاح چوب و تلاش برای بهبود دوام طبیعی آن ضروری به نظر می‌رسد، زیرا چوب نخل پایداری ابعاد کم داشته، ماشین‌کاری آن بسیار سخت است و مقاومت‌های بسیار ضعیفی دارد. آنچه در وهله اول به ذهن می‌رسد، سوزاندن آن و تولید انرژی بوده که خود مشکلات زیست‌محیطی ایجاد می‌کند [۳]. راه دیگر افزایش دوام طبیعی نخل‌ها، استفاده از مواد حفاظتی صنعتی و سمی حاوی مس، آرسنیک و کروم بوده که به دلیل مشکلات زیست‌محیطی، استفاده از آن‌ها محدود و

در بعضی از کشورها ممنوع شده است. به‌طور مثال تزریق فنل فرمالدیید در ساختار نخل روغنی طی دوره زمانی ۳۰ دقیقه با فشار ۶،۴ و ۸ بار نشان داده که دوام طبیعی این ماده در برابر موریانه ۵۵ تا ۸۸ درصد بهبودیافته است [۴]؛ اما امروزه محققین به دنبال مواد حفاظتی سبز[1] هستند. موادی که به دلیل وجود گروه‌های آروماتیکی در ساختار خود برای عوامل مخرب خوشایند نیستند. یکی از این مواد که دوستدار محیط‌زیست نیز بوده، لیگنین است. لیگنین پلیمری متشکل از واحدهای فنیل پروپان و رایج‌ترین ترکیب در ساختار گیاهان چوبی و غیرچوبی بعد از سلولز است. این ماده به دلیل داشتن گروه‌های فنلی برای عوامل مخرب یک ماده سمی تلقی شده و خواص دفع‌کنندگی دارد [۵]. نفوذ ذرات بسیار ریز لیگنین در منافذ بسیار کوچک دیواره سلولی باعث ایجاد پلاگ شده و از انتشار آنزیم‌های قارچی به دیواره سلولی جلوگیری می‌کند [۶]. از طرفی یکی از مخرب‌ترین حشراتی که از چوب و فراورده‌های آن به‌عنوان ماده غذایی استفاده می کند، موریانه است. این حشرات معمولاً در مناطق گرمسیری یافت می‌شوند و دارای تنوع زیادی می‌باشند. از خطرناک‌ترین موریانه‌های زیرزمینی، *microcerotermes diversus* است که به‌وفور در منطقه خوزستان یافت می شود. میزان مواد استخراجی و لیگنین بالا، چگالی زیاد، کم بودن محتوای سلول‌های پارانشیمی، بو و مزه بد در یک‌گونه از فاکتورهای محدودکننده فعالیت موریانه‌ها هستند [۷، ۸]؛ اما نکته مشترکی که در بسیاری از تحقیقات به آن اشاره‌شده اینکه حشراتی مانند موریانه ظرفیت بالایی برای هضم لیگنین و مواد استخراجی نداشته، لذا ممکن است از این دو ماده به‌عنوان عامل منفی بر فعالیت موریانه یاد شود [۹]. Popa و همکاران (۲۰۱۱) از لیگنین گیاهان یک‌ساله برای حفاظت روکش‌های تهیه‌شده از درخت غان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که غوطه‌وری ۲ ساعته نمونه‌های آزمونی روکش در یک محلول ۵ درصد متشکل از ذرات مس، لیگنین اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده به همراه آمونیم، باعث افزایش دوام طبیعی آن‌ها شده است [۱۰]. Schmidt و همکاران (۲۰۱۶) با اشاره به دوام طبیعی پایین نخل روغنی، دریافتند که لیگنین موجود در دیوار سلولی، سلول‌های پارانشیمی، آوندها و فیبرهای موجود در دسته‌های آوندی دچار تخریب قارچی می‌شوند. آن‌ها تخریب زنجیره‌های لیگنین در دیواره سلولی را به‌وضوح مشاهده کردند [۱۱]. در مطالعه دیگری توسط Shanbhag و Sundararaj (۲۰۱۲) گزارش‌شده که گونه‌هایی که دارای سلولز بیشتر بوده برای موریانه مطلوب هستند درحالی‌که گروه‌های فنلی موجود در لیگنین بر فعالیت موریانه اثر منفی گذاشته و از تخریب آن می‌کاهد [۶]. Judd و Corbin (۲۰۰۹) طی مطالعاتی به این نتیجه رسیدند که غلظت سلولز فاکتور دیگری است که بر ترجیح غذایی موریانه (*Reticulitermes speratus*) تأثیر می‌گذارد. آن‌ها از منابع غذایی مصنوعی با غلظت¬های مختلف سلولز را در یک آزمایش که فقط شامل سلولز بود و در آزمایش دوم از مواد غذایی که حاوی نسبت‌های مختلف از سلولز و لیگنین بود استفاده کردند. هر دو آزمایش ترجیح موریانه‌ها به تغذیه از غذاهای با غلظت بالای سلولز را نشان داد [۱۲]. تحقیقات نشان داده که سالانه بیش از ۷۰ میلیون تن لیگنین صنعتی از کارخانه‌های چوب و کاغذ در دنیا به دست می‌آید [۱۳]؛ اما از چنین حجم گسترده‌ای از لیگنین، فقط ۲ درصد جهت افزایش ارزش‌افزوده فراوری‌شده و بقیه آن جهت تأمین انرژی موردنیاز کارخانه تولید خمیر سوزانده می‌شود [۱۴]. احتمالاً چنین وضعیت مشابه در مقیاس کوچک‌تر در کشور ما نیز حاکم است. درحالی‌که این ماده بسیار ارزشمند بوده و به دلیل گروه‌های عاملی فعال مانند گروه‌های فنولی، هیدورکسیلی، کربوکسیلی، کربونیلی و نهایتاً متوکسیلی قابلیت استفاده در زمینه‌های مختلف صنعتی و غیر صنعتی را دارد [۱۶،۱۵]. در فرایند خمیر سازی کرافت، محصول جانبی بنام لیکور سیاه تولید می‌شود. این ماده بیشتر شامل عناصر معدنی پخت و همچنین مواد آلی عمدتاً ترکیبات لیگنین که تجزیه و محلول شده است می‌باشد. مواد آلی لیکور سیاه شامل اسید استیک، اسید فرمیک، اسیدهای ساکارینیک، انواع اسیدهای کربوکسیلیک (همه به‌صورت نمک سدیم)، همی سلولزهای محلول (بخصوص زایلان)، متانول و صدها ماده دیگر است. به‌طورکلی این مخلوط بسیار پیچیده است و به ازاء تولید هر تن خمیرکاغذ حدود ۷ تن لیکور سیاه با ۱۵٪ مواد جامد حدود ۱۰٪ مواد شیمیایی آلی و ۵٪ مواد شیمیایی معدنی با گرمای کل ۱/۵-۱۴/۱۳ MJ/kg تولید می‌شود. معمولاً لیکور سیاه را پس از غلیظ کردن تا حدود ۷۰ درصد برای

[1] Green biocide

تولید انرژی می‌سوزانند اما تحقیقات برای استفاده بهتر از این ماده ارزشمند در جریان است [۱۷]. با توجه به اینکه بخش اعظم ماده آلی لیکور را لیگنین تشکیل می‌دهد و با توجه به گروه‌های عاملی موجود در این ماده، استفاده از لیکور سیاه به‌عنوان عامل دفع‌کنندگی موریانه بجای سوزاندن آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. باید با این نکته اشاره شود که استفاده از لیکور سیاه به‌عنوان یک ماده حفاظتی موردتوجه محققین قرارگرفته است [۱۹،۱۸]. ازآنجاکه مطلوبیت یک منبع لیگنوسلولزی برای عوامل مخرب به فاکتورهای متنوعی بستگی دارد، لذا این تحقیق در نظر دارد تا در گام اول میزان تمایل موریانه *microcerotermes diversus* به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین موریانه‌های زیرزمینی خوزستان را نسبت به چوب نخل بررسی کرده و سپس در گام بعدی با استفاده از روش‌های رایج در حفاظت چوب، لیکور سیاه کارخانه خمیرکاغذ چوکای تالش را که حاوی حجم عظیمی از لیگنین است، با غلظت‌های متفاوت در چوب نخل تزریق کند. پس از تیمار نمونه‌های آزمونی، دامنه تغییرات فعالیت موریانه رصد خواهد شد. به عبارتی با این کار مشخص می‌شود که تا چه میزان تیمار چوب نخل با غلظت‌های متفاوت لیکور سیاه میزان سمیت طعمه را برای موریانه افزایش می‌دهد. از طرفی تلاش برای بهبود دوام طبیعی چوب نخل خرما با استفاده از یک ماده حفاظتی فراوان و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی با استفاده از یک ماده دوست دار محیط‌زیست از اهداف موردمطالعه این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

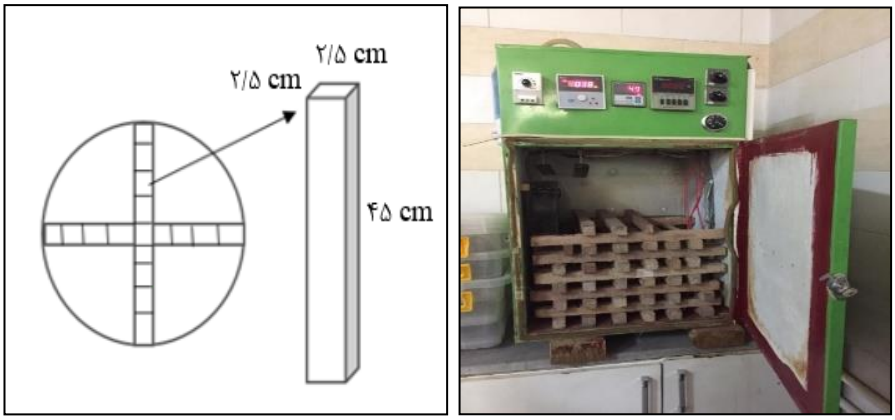
برای تهیه‌ی نمونه‌های آزمونی، ابتدا تعداد ۲ نفر نخل خرمای خاصی (*Phoenix dactylifera*) با میانگین قطر ۴۵ سانتی‌متر از نخلستان‌های منطقه دودانگه واقع در حومه شهر بهبهان انتخاب و از ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین، بینه‌هایی به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تهیه شد. به‌منظور جلوگیری از کاهش رطوبت و ایجاد ترک انتهایی در مقطع بینه‌ها، کلیه مقاطع رنگ‌آمیزی و سپس برای برش ثانویه آماده شدند (شکل ۱).

الف ب ج

شکل ۱- مراحل قطع درخت (الف)، برش بینه (ب) و ابعاد موردنیاز (ج)

تهیه نمونه‌های آزمونی مکعبی

در هر یک از بینه‌های ۵۰ سانتی‌متری، ابتدا از فاصله بین پوست تا مغز در دو جهت عمود بر هم مطابق آنچه در شکل ۲- (سمت چپ) نشان داده‌شده است، نمونه‌هایی با ابعاد $۲/۵\times۲/۵\times۴۵cm^3$ برش داده شدند. ابعاد نمونه‌ها با توجه به طول دیگ اشباع آزمایشگاهی انتخاب شد. برای جلوگیری از کاهش رطوبت، مقطع تمام نمونه‌های مکعبی با چسب اپوکسی پوشانده و بلافاصله در نایلون قرار داده شدند. نمونه‌های مکعبی با یک برنامه چوب‌خشک‌کنی ملایم (دمای ۵۰ درجه و رطوبت نسبی ٪۵۰) به مدت ۲۰ روزبه رطوبت تعادل رسانده شدند (شکل ۲ –سمت راست). پس‌ازآن به مدت ۱۴ روز در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ٪۶۵ متعادل‌سازی و جهت تیمار با لیکور سیاه برای تزریق آماده شدند.



ب الف

شکل ۲- تهیه نمونه‌های مکعبی (سمت چپ) و اعمال برنامه چوب خشک‌کنی (سمت راست).

تزریق لیکور سیاه به داخل نمونه‌های مکعبی

محلول حفاظتی موردنیاز در این تحقیق از لیکور سیاه کارخانه کاغذسازی چوکای تالش تهیه شد. بدین منظور لیکور سیاه با استفاده از اسیدسولفوریک در pH ۲ رسوب‌دهی و تغلیظ، سپس تا مرحله رقیق‌سازی در غلظت‌های موردمطالعه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای انجام تیمار از یک دیگ اشباع آزمایشگاهی به طول ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. ابتدا به روش نسبت، غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد از محلول اشباع تهیه شد. سپس با توجه به قطر دهانه دیگ، هر چهار نمونه با مفتول به هم‌بسته و در داخل دیگ اشباع قرار داده شدند. سپس دیگ اشباع با محلول موردنظر با غلظت مشخص پر و روی نمونه‌های آزمونی با توری فلزی پوشانده شد. در انتها به روش خلأ و فشار طی چهار مرحله تیمار صورت گرفت: ۱- اعمال خلأ با فشار ۰/۸- بار طی مدت نیم ساعت به‌منظور خروج هوا و امکان نفوذ حداکثری لیکور سیاه، ۲- اعمال فشار حداکثری ۵ بار به مدت یک ساعت، (زمان‌های طولانی‌تر نیز ارزیابی شد اما با توجه به ساختار باز و ضعیف نخل این مقدار فشار طی یک دوره زمانی ۱ ساعته به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب شد). ۳- انجام دوره غوطه‌وری ۲ ساعته بدون اعمال خلأ، ۴- مرحله هوا خشک که در آن نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٪۶۵ محیطی خشک شدند. با استفاده از فرمول ۱، درصد لیکور جذب‌شده نسبت به وزن خشک نمونه در هر یک از تیمارهای انجام‌شده محاسبه گردید.

$$A = \frac{N2 - N1}{M} \times c \times 100 \quad (۱)$$

A: درصد لیکور جذب‌شده نسبت به وزن خشک نمونه (٪).
N2: وزن محلول پس از تیمار (gr).
N1: وزن محلول قبل از تیمار (gr).
M: وزن خشک نمونه قبل از تیمار (gr).
C: غلظت محلول (gr/lit).

جمع‌آوری موریانه

موریانه مورداستفاده در این تحقیق *Silvestri Microcerotermes diversus* بود که جزو موریانه‌های زیرزمینی و از مخرب‌ترین موریانه‌های فراوان موجود در منطقه خوزستان می‌باشد. جمع‌آوری موریانه در یک منطقه تحقیقاتی در حاشیه بهبهان که فراوانی این نوع موریانه از قبل به اثبات رسیده بود و در فصل تابستان با طعمه قرار دادن نمونه‌هایی از چوب راش به ابعاد cm3

۲۰×۴×۲/۵ طی دو هفته در خاک انجام شد. بدین منظور نمونه‌ها به‌صورت عمودی و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از هم در خاک قرار گرفتند. انتهای ۲ سانتی‌متری نمونه‌ها با فویل آلمینیومی پوشانده شد. با خارج کردن نمونه‌ها از خاک در مدت مذکور، ابتدا موریانه‌ها با قلم‌مو جدا و در پتری دیش‌های حاوی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند. قبل از شروع آزمایش‌ها و به‌منظور ایجاد شرایط پایدار و بدون استرس برای موریانه‌ها، از انکوباتور تاریک در دمای ۲۸±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰±۵ درصد استفاده شد.

آزمون انتخابی و غیرانتخابی

این دو آزمون در شرایط آزمایشگاهی و کاملاً کنترل‌شده، طبق استاندارد AWPA-El:06 2008 انجام شد. بدین منظور برای آزمون انتخابی از نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف لیکور سیاه، ابتدا نمونه‌هایی با ابعاد ۶×۲۵×۲۵ میلی‌متر تهیه و پس از تعیین وزن خشک، بر روی یک بستر مرطوب حاوی یک‌لایه خاک مزرعه و خاک ورمیکولیت[1] به نسبت ۲ به ۱ و به میزان ۲۰۰ گرم قرار داده شدند. برای شروع آزمایش، بستر با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب و بر روی هرکدام تعداد ۱۲۰۰ موریانه درون لوله استوانه‌ای مطابق آنچه در شکل ۳ نشان داده‌شده رهاسازی شد. بستر فراهم‌شده به مدت ۲۱ روز در درون یک انکوباتور آزمایشگاهی در دمای ۲۸±۲ درجه و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد و در شرایط کاملاً تاریک نگهداری شدند. در پایان آزمایش، نمونه‌ها از خاک خارج و پس از تمیز کردن با قلم‌مو، در دمای ۱۰۰±۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، خشک و وزن آن‌ها محاسبه گردید. برای انجام آزمایش‌های غیرانتخابی، نمونه‌های آزمونی تیمار شده با محلول حفاظتی در درصدهای مختلف و با ابعاد مشابه آنچه در آزمون انتخابی توضیح داده شد، تهیه و هر یک از نمونه‌ها بر روی بستر مرطوب (متشکل از خاک مزرعه و ورمیکولیت به نسبت ۲ به ۱) قرار داده شدند. برای هر نمونه تعداد ۳۰۰ موریانه اضافه و در شرایط دمایی ۲۸±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ تا ۸۰ درصد به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. مراحل خشک‌کردن، توزین و محاسبه کاهش وزن مانند آزمون انتخابی انجام شد (شکل ۳).

شکل ۳- آزمون انتخابی (سمت چپ) و غیرانتخابی (سمت راست) تیمارهای مختلف چوب نخل.

[1] Vermiculite

آزمون صحرایی

هدف از انجام این آزمایش، ارزیابی نمونه‌های آزمونی تیمار شده با غلظت‌های مختلف محلول لیکور سیاه در شرایط میدانی بود. بدین منظور نمونه‌هایی با ابعاد ۴۰۰×۲۵×۲۵ میلی‌متر و با غلظت‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، تعداد ۱۲ نمونه انتخاب شد. ۳ نمونه خام (بدون تیمار) نیز به‌عنوان شاهد مورداستفاده قرار گرفت. برای انجام آزمون صحرایی ابتدا وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و سپس ۵ سانتی‌متر اول تمام نمونه‌ها با فویل آلومینیوم پوشانده و کدبندی شد. نمونه‌ها با یک الگوی دایره‌ای در فواصل ۱۰۰ سانتی‌متری در سه مکان متفاوت به مدت یک ماه در خاک قرار داده شدند (به علت تخریب شدید نمونه‌ها در دوره‌های زمانی ۲ و ۳ ماهه، زمان بهینه یک ماه انتخاب شد). نمونه‌ها پس از مدت‌زمان موردنظر از خاک خارج و با برس موئی تمیز و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه خشک و وزن نهایی آن محاسبه گردید. کاهش وزن نهایی برای تمام آزمون‌ها طبق فرمول ۲ محاسبه گردید.

$$WL = \frac{Wp - Wa}{Wp} \times 100 \quad (۲)$$

WL: کاهش وزن (٪)

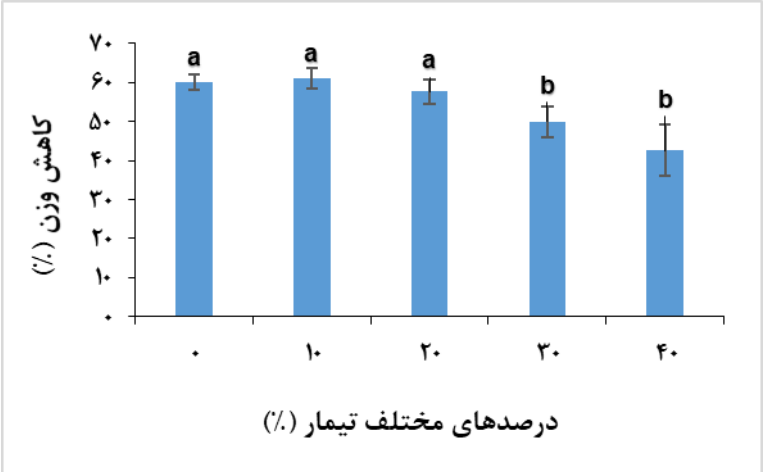
Wp: وزن نمونه‌های خشک قبل از آزمون (gr)

Wa: وزن نمونه‌های خشک بعد از آزمون (gr)

نتایج و بحث

مقایسه میزان درصد کاهش وزن چوب نخل توسط موریانه تحت تیمارهای مختلف لیکور سیاه در آزمون صحرایی

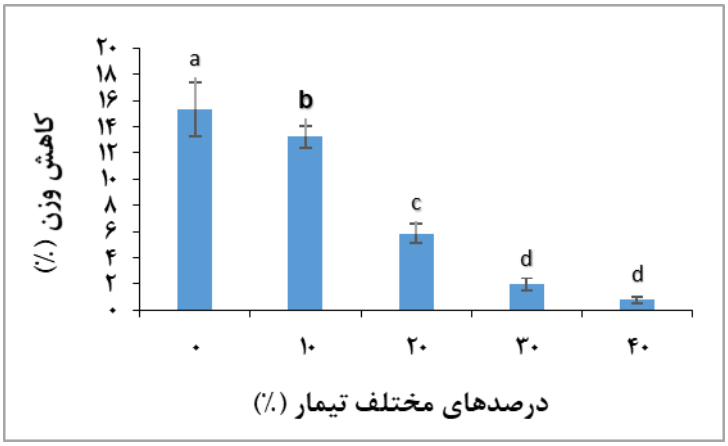
در نمودار شکل ۴ نتایج مربوط به تاثیرتزریق غلظت-های مختلف لیکور سیاه روی کاهش وزن چوب توسط موریانه در آزمون صحرایی آورده شده است. نتایج نشان داد که طی یک دوره زمانی مشخص، بیشترین درصد کاهش وزن در نمونه‌های شاهد (صفر٪) و یا نمونه‌هایی که در سطوح پایین ۱۰ تا ۲۰٪ تیمار شده بودند، رخداده است. به عبارتی موریانه‌ها از این نمونه‌ها بیشتر تغذیه کرده و لذا تخریب بیشتری در آن‌ها تفاق افتاده و درنهایت منجر به کاهش وزن بیشتری در تیمارهای ۰، ۱۰ و ۲۰٪ شده است؛ اما با افزایش غلظت محلول تیمار به ۳۰٪، نرخ کاهش وزن کاهش‌یافته و کاهش وزن در سطوح پایین‌تری ثبت‌شده است. اگرچه در ادامه با افزایش غلظت محلول به ۴۰٪، کاهش وزن ازنظر آماری تفاوتی با نمونه‌های ٪ ۳۰ نداشت و ازنظر گروه‌بندی دانکن در یک گروه قرار گرفتند. لذا در این بخش اثربخشی تیمار با لیکور سیاه در غلظت‌های بالا، در کاهش نرخ تخریب و حفاظت از نمونه‌ها در برابر موریانه مشهود بود.



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف لیکور سیاه روی کاهش وزن چوب نخل خرما توسط موریانه در آزمون صحرایی

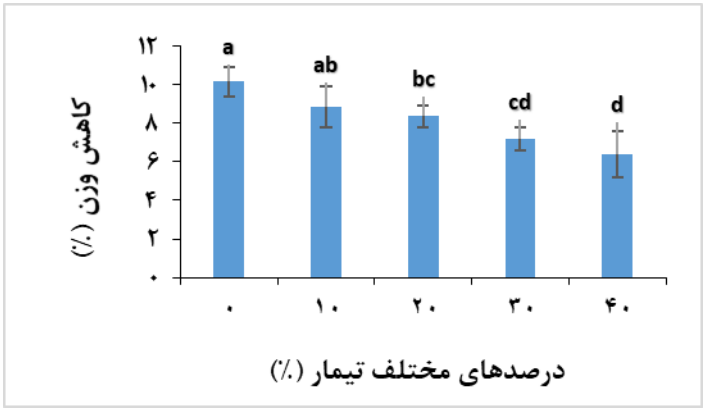
مقایسه میزان درصد کاهش وزن چوب نخل توسط موریانه با تیمارهای مختلف لیکور سیاه در آزمون انتخابی و غیرانتخابی

بر اساس آنچه در نمودار ۵ نشان داده‌شده است، بیشترین کاهش وزن در آزمون انتخابی، برای نمونه‌های بدون تیمار مشاهده شد و با اعمال تیمار و افزایش غلظت محلول، کاهش وزن کند و در سطح ۳۰٪ به کمترین مقدار خود رسید. البته نمونه‌های آزمونی تیمار شده با محلول لیکور ۴۰٪ نسبت به تیمارهای ۳۰٪ تفاوت معنی‌داری را در کاهش وزن نشان ندادند. آزمون انتخابی نشان داد که میزان تغذیه موریانه‌ها با افزایش غلظت لیکور به‌طور معنی‌داری کاهش‌یافته است. به عبارتی موریانه‌ها بر اساس میزان مطلوبیت طعمه‌های غذایی، نمونه‌هایی را ترجیح دادند که درصد کمتری از مواد جامد موجود در لیکور سیاه را در خود جا داده‌اند.



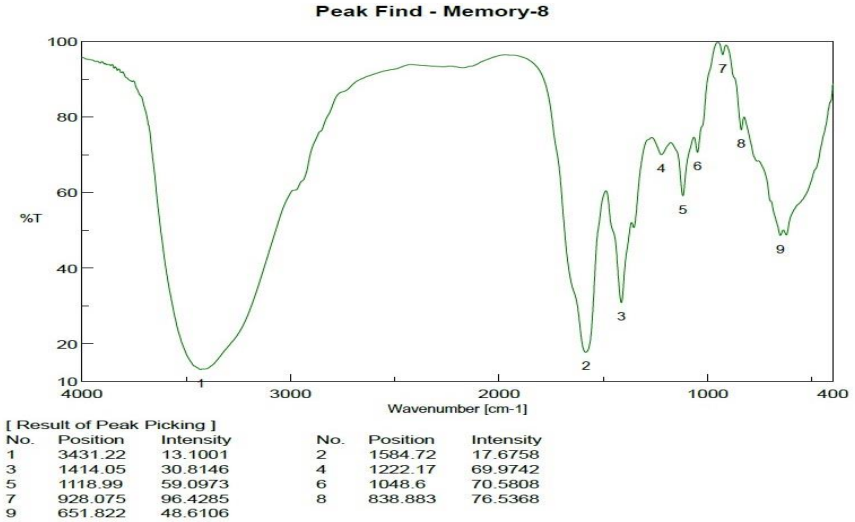
شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف لیکور سیاه روی کاهش وزن چوب نخل توسط موریانه در آزمون انتخابی

و اما در نمودار ۶ در آزمون غیرانتخابی، بار دیگر کمترین کاهش وزن نمونه‌های چوب مربوط به تیمارهای ۳۰ و ۴۰٪ و بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های آزمونی کنترل و یا نمونه‌هایی که در آن‌ها لیکور مورداستفاده دارای غلظت‌های ۱۰ و ۲۰٪ را داشته‌اند، رخداده که خود گواه اثربخشی لیکور سیاه در دفع موریانه و کاهش میزان مطلوبیت طعمه غذایی بوده است. اگرچه این بار هم بین تیمارهای ۳۰ و ۴۰٪ ازنظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اثر مثبت لیکور سیاه در برابر عوامل مخرب و جلوگیری از کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده در مطالعات محققین گزارش‌شده و با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همخوانی دارد. [۱۹،۱۸].



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف لیکور سیاه روی کاهش وزن چوب نخل توسط موریانه در آزمون غیرانتخابی

در تمام آزمون‌های ارزیابی فعالیت موریانه مشاهده شد که تزریق لیکور سیاه با غلظت‌های مختلف، روشی مؤثر درکند کردن فعالیت موریانه‌ها بوده است. نمونه‌های شاهد که هیچ ماده‌ای به آن‌ها تزریق نشده بود، دارای بیشترین کاهش وزن و نمونه‌های تیمار شده با محلول‌های ۳۰ و ۴۰ درصد کمترین کاهش وزن را داشته‌اند. این بدان معنی است که لیگنین موجود در محلول همراه با سایر ترکیبات موجود توانسته است با پوشاندن سطوح الیاف در دسته‌های آوندی، آن‌ها را از گزند موریانه حفظ کند. برای تعیین ساختار شیمیایی لیکور سیاه مورداستفاده در این تحقیق از طیف‌سنجی FT-IR استفاده شد. شکل ۷ طیف‌های لیکور و جدول ۱ طول‌موج پیک‌های گروه‌های عاملی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل پیک بزرگ مشخص‌شده با شماره ۱ در طول‌موج 3435 cm-1 نشان‌دهنده گروه فنلی است در حالیکه پیک اطراف 1114 cm-1 وجود گروه سولفات را اثبات می‌کند که با توجه به روش تهیه خمیر از پخت کرافت در کارخانه چوکا این نتیجه محتمل بود. سمیت گروه‌های فنلی و سولفات برای بعضی از موریانه‌ها یکی از عوامل کاهش حمله آن‌ها به چوب‌های اشباع‌شده با لیکور سیاه بوده است.



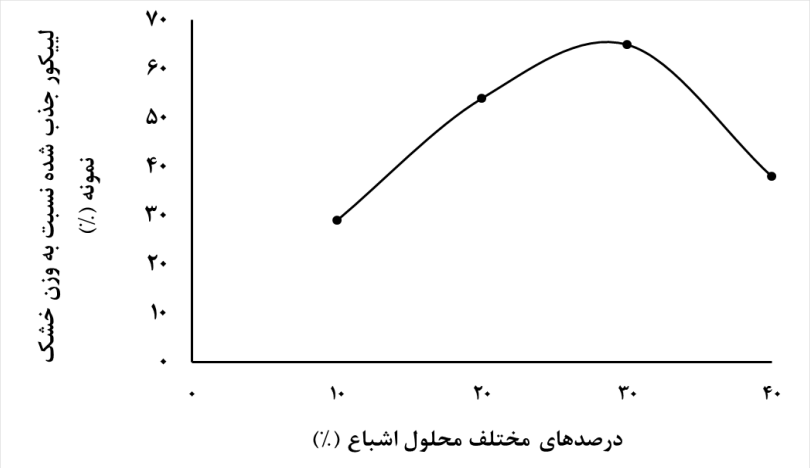
شکل ۷- طیف FTIR لیکور سیاه.

جدول ۱- فرکانس باند جذب IR برای لیکور سیاه.

گروه ساختاری	فرکانس موج (cm-1)
OH فنلی	۳۴۳۵
ارتعاش اسکلت آروماتیک	۱۵۸۴
تغییر فرم ارتعاش پیوند C-H	۱۴۱۴
گروه سولفات	۱۱۱۸

درواقع این‌طور به نظر می‌رسد که گروه‌های فنلی موجود در ساختار لیگنین و ترکیبات سولفوردار موجود در لیکور سیاه، قابلیت دفع‌کنندگی موریانه را داشته و هر چه تعداد این عوامل با توجه به افزایش غلظت لیکور بیشتر شده، سمیت آن نیز افزایش‌یافته است [۵]. لذا مشاهده شد که غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد در مقایسه با محلول-های غلیظتر (۳۰ و ۴۰ درصد) کاهش وزن بیشتری داشته‌اند. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده که ذرات ریز لیگنین با خاصیت ضد میکروبی و حفاظتی بر روی الیاف تشکیل پلاگ کرده و از انتشار عوامل مخرب بر روی آن‌ها جلوگیری می‌کند [۲۲،۲۱،۲۰]؛ اما نکته مهم دیگر روند تغییرات کاهش وزن نمونه‌های آزمونی بوده است. همان‌طور که نتایج نیز نشان داد نمونه‌های ۳۰ و ۴۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشتند. این موضوع مربوط به

عدم انجام یک تیمار موفق در غلظت‌های بسیار بالا است. محلول ۴۰ درصد یک محلول بسیار سنگین بوده به طوری که حتی با فشارهای زیاد قابلیت نفوذ به داخل ساختار چوب نخل را نداشته و به عبارتی عمق نفوذ محدود داشته است. این مسئله باعث شده است تا لیکور نتواند تمام سطوح الیاف را بپوشاند و درنتیجه اثر آن مانند تیمار ۳۰ درصد شده است. شکل ۸ میزان لیکور جذب‌شده نسبت به وزن خشک نمونه را نشان می‌دهد. مطابق شکل هرچه غلظت لیکور بیشتر شده، درصد جذب آن بالا رفته اما در محلول با غلظت ۴۰ درصد، جذب به‌شدت کاهش‌یافته، به طوری که به مقدار ۳۸ درصد رسیده که نشان از نفوذ ناموفق محلول به درون ساختار چوب نخل به دلیل غلظت بالای آن بوده است.



شکل ۸- رابطه بین میزان لیکور جذب‌شده در درصدهای مختلف محلول اشباع.

نتیجه‌گیری

موریانه‌های *microcerotermes diversus* یکی از ۱۲۰ عامل خطرناک و تهدید کننده نخل‌ها در جهان می‌باشند. لذا یافتن راهکارهای مؤثر برای حفاظت آن‌ها در برابر عوامل مخرب ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی کمبود مواد اولیه لیگنوسلوزی موردنیاز بخش صنعت، توجه صاحبان صنایع را به منابع جدید معطوف کرده است. لذا استفاده بهینه از چوب نخل به‌عنوان مواد اولیه، یعنی تلاش برای بهبود دوام طبیعی و یا تغییرات مثبت در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن. بدین منظور این تحقیق در راستای بهبود دوام طبیعی نخل، استفاده از لیکور سیاه کارخانه چوکای تالش را موردمطالعه قرارداد. نتایج نشان داد که تزریق لیکور سیاه در ساختار چوب نخل خرما روند تخریب آن در برابر موریانه را کند کرده و با افزایش غلظت محلول تیمار تا آستانه ۳۰ درصدی میزان مطلوبیت آن را به‌شدت کاهش می‌دهد؛ اما نکته‌ای که در حفاظت چوب و مواد لیگنوسلولزی اهمیت بسزایی دارد، تثبیت ماده حفاظتی درون‌چوب است لذا با توجه به ساختار آناتومی ویژه چوب نخل، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، روش‌های تثبیت مواد جامد اصلاح‌شده در ساختار چوب نخل مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

[1] Tarmian, A., Foroozan, Z., Sepehr, A., Gholamiyan, H., and Oladi, R., 2013. Physical and anatomical features and drying behavior of the boards produced from old date palm trees (*Phoenix dactylifera L.*) in Bam city, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research 28(3): 498-508.

[2] Saadatnia, M.A., Sattari, N., Roohnia, M., and Bahmani, M., 2018. Comparison of stiffness parameters of two types of date palmwood using nondestructive test, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research 33(1): 133-141

[3] Yamada, H., Tanaka, R., Sulaiman, O., Hashim, R., Hamid, Z.A.A., Yahya, M.K.A., Kosugi, A., Arai, T., Murata, Y., Nirasawa, S., Yamamoto, K., Ohara, S., Yusof, M.N.M., Ibrahim, W.A., and Mori, Y., 2010. Oil palm trunk: a promising source of sugars for bioethanol production. Biomass Bioenergy, 34: 1608-1613.

[4] Abdullah, C.K., Jawaid, M., Shawkataly, A.K., and Rawi, N.F., 2013.Termite and borer resistance oil palm wood treated with phenol formaldehyde resin, Journal of Industrial Research & Technology, 3(1):41-46

[5] Chirkova, J., Andersone, I., Irbe, I., Spince, B., and Andersons, B., 2011. Lignins as agents for bio-protection of wood, Holzforschung, 65: 497–502.

[6] Shanbhag, R.R., and Sundararaj, R., 2012. Physical and chemical properties of some imported woods and their degradations by termites, Journal of Insect Science, 13(63):1-8.

[7] Ganapaty, S., Steve Thomas, P., Fotso, S., and Laatsch, H., 2004. Antitermitic quinones from Diospyros sylvatica. Phytochemistry, 65: 1265–1271.

[8] Ohmura, W., Doi, S. and Aoyama, M., 2000. Antifeedant activity of flavonoids and related compounds against the subterranean termite coptotermes formosanus Shiraki. Japan wood research society, 46: 149-153.

[9] Gelb, S.M., Filley, T.R., Hatcher, P.G., Hoover, K., Carlson, J.E, Jimenez-Gasco, M., Nakagawa-Izumi, A., Sleighter, R.L., and Tien, M., 2008. Lignin degradation in wood-feeding insects, PNAS, 105(35):12932-12937.

[10] Popa, V.I., Capraru, A.M., Grama, S and Malutan, T., 2011. Agents for wood bio protection on natural aromatic compounds and their complexes with cooper and zinc, Cellulose Chemistry and Technology, 45 (3): 227-231.

[11] Schmidt, O., Bahmani, M., Koch, G., Potsch, T. and Brandt, K., 2016. Study of the fungal decay of oil palm wood using TEM and UV techniques, International Biodeterioration & Biodegradation, 111:37-44.

[12] Judd, T.M., and Corbin, C.C., 2009. Effect of cellulose concentration on the feeding preferences of the termite Reticulitermes flavipes (*Isoptera: Rhinotermitidae*), Sociobiology, 53:775-784.

[13] Mansouri, N.-E. E., and Salvadó, J., 2006. Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins," Ind. Crops Prod. 24(1): 8-16.

[14] Lora, J. H., 2008. Industrial commercial lignins: Sources, properties and applications, in: Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources, Belgacem, M., Gandini, A. (eds.), Elsevier, Oxford, UK, pp. 225-241.

[15] Laurichesse, S., and Averous, L., 2014. Chemical modification of lignins: Towards bio based polymers. Prog. Polym. Sci, 39(7): 1266-1290.

[16] Adler, E., 1977. Lignin chemistry, Past, present and future, Wood Sci. Technol, 11(3), 169-218.

[17] Bajpai, P., 2018. Biermann's handbook of pulp and paper: raw material and pulp making, 3rd Edition, Elsevier, 668 p.

[18] Nayeri, H.R., Tarmian, A., Abdulkhani, A ,. and Ebrahimi, G., 2017. Decay resistance of wood impregnated with monoethanolamine and sodium bisulfite pulping black liquors. Maderas. Ciencia y tecnología, 19(4): 507-516.

[19] Durmaza, S.; Erisirb, E.; Yildiza, U.C.; Kurtulusab, O.C., 2015. Using Kraft Black Liquor as A Wood Preservative. Procedia - Social and Behavioral Sciences195: 2177-2180.

[20] Yu, J., Wang, J., Wang, C., Liu, Y., Xu, Y., Tang, C., Chu, F., 2015. UV-Absorbent Lignin-Based Multi-Arm Star Thermoplastic Elastomers, Macromolecular Rapid Communications, 36:398-404.

[21] Wang, Q., Mu, H., Zhang, L.,Dong, D., Zhang, W., and Duan, J., 2015. Characterization of two water-soluble lignin metabolites with antiproliferative activities from Inonotus obliquus, International journal of biological macromolecules, 74: 507-514.

[22] Dong, X., Dong, m., Lu, Y., Turley, A., Jin, T., and Wu, C., 2011. Antimicrobial and antioxidant activities of lignin from residue of corn stover to ethanol production, Industrial Crops and Products, 34: 1629-1634.

Improvement of natural durability of date palm against termites (*Microcerotermes diversus*) by black liquor of kraft impregnation

Abstract

The date palms of southern Iran are exposed to one of the most dangerous termites in the world, *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae). Therefore, in order to evaluate, control and limit the activity of this termite, the resistance of palm wood impregnated with different concentrations of Kraft black liquor (30, 20, 10 and 40%) against termites attack was evaluated in laboratory (selective and non-selective test) and field conditions. Due to the special structure of palm wood anatomy, the results showed that the treatment of specimens with black liquor solution was an effective method in slowing down termite activity. Observations also showed that as the concentration of lignin in the impregnating solution increased, the desirability of wood for termites decreased, although no significant difference was observed between the 30 and 40% concentrations. Finally, FT-IR spectroscopy of black liquor showed the presence and effect of sulfate groups on reducing food desirability.

Keywords: black liquor, termites, date palm.

A. Hassani[1]
M.A. Saadatnia[2*]
M.H. Moradian[2]
D. Efhami[3]

[1] MSc student, Dept. of Cellulose Technology Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

[2] Assistant Prof., Dept. of Cellulose Technology Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

[3] Assistant Prof., Dept. of wood and paper Engineering, Faculty of Natural Resources, university of Tehran, Iran

Corresponding author:
msaadatnia92@gmail.com

Received: 2020/06/11
Accepted: 2020/09/13