بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی‌ارشد (M.Sc.) در رشته مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ
(گرایش حفاظت و اصلاح چوب)

مقاومت به پوسیدگی چوب صنوبر اشباع شده با نانواکسید روی

پژوهش و نگارش:

آمنه رضازاده

استاد راهنما:

محمدرضا ماستری فراهانی

اساتید مشاور:

اصغر امیدوار

علی‌اکبر دهنو خلجی

۱۳۹۱

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **آمنه رضازاده** دانشجوی رشته **مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ (گرایش حفاظت و اصلاح چوب)** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

تقدیر و تشکر

خدایا تو را سپاس می گویم به شکرانه لطف بی دریغت که وجودت مایه امیدواریم در تمام مراحل زندگی‌ام بوده و هست.

قبل از هر چیز قدردان و سپاسگزار زحمات بی دریغ و صادقانه پدر و مادر عزیزم هستم که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم. امیدوارم مجالی دست یابد تا اندکی از زحمات بی حد و حصرشان را جبران نمایم.

بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر محمدرضا ماستری فراهانی به واسطه راهنمایی‌های سازنده‌شان در گردآوری، تدوین و تنظیم پایان نامه‌ام تشکر کرده و هم چنین از اساتید محترم که مشاوره‌های سودمندشان راهگشای مسیرم بود، جناب آقای دکتر اصغر امیدوار و جناب آقای دکتر علی اکبر دهنو خلجی، کمال تشکر را دارم.

از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر سید محمود کاظمی و جناب آقای دکتر محمدرضا کاوسی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نموده و هم چنین از مساعدت و همکاری نماینده محترم تحصیلات تکمیلی، سرکار خانم دکتر وحیده پیام نور نهایت قدردانی را دارم.

از دوستانی که در انجام مراحل مختلف پایان نامه همراهی‌ام کردند، خانم ترابی، آقایان موسوی، چهره، محمدنیا و احمدی نژاد کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با تشکر آمنه رضازاده

بهار ۱۳۹۱

چکیده

در این تحقیق مقاومت به پوسیدگی چوب صنوبر دلتوئیدس اشباع شده با نانواکسید روی در برابر قارچ پوسیدگی سفید *Trametes versicolor* و قارچ پوسیدگی قهوه‌ای *Coniophora puteana* مورد بررسی قرار گرفت. جهت تهیه سوسپانسیون نانواکسید روی از دو معلق‌کننده متفاوت (پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ و رزین اکریلیک) استفاده شد. نمونه‌های آزمایشی با ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر از برون‌چوب صنوبر بدون هر گونه عیب ظاهری تهیه و در سه سطح غلظت (۰/۵، ۱، ۱/۵٪) با نانواکسید روی اشباع شدند. سپس مقاومت به پوسیدگی کلیه نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM 1413 اصلاح شده در برابر قارچ‌های *Trametes versicolor* و *Coniophora puteana* مورد بررسی قرار گرفت. به‌طورکلی، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کاهش وزن در اثر پوسیدگی نمونه‌های اشباع شده با نانواکسید روی و نمونه‌های شاهد وجود داشت ولی بین کاهش وزن نمونه‌های اشباع شده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تاثیر دو قارچ پوسیدگی سفید و قهوه‌ای بر کاهش وزن نمونه‌های شاهد در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده به‌طوری که نمونه‌هایی که در معرض قارچ پوسیدگی سفید قرار گرفتند، دچار کاهش وزن بیشتری شدند. استفاده از دو نوع معلق‌کننده متفاوت تاثیر معنی‌دار بر کاهش وزن نمونه‌ها نداشت.

واژه‌های کلیدی: صنوبر دلتوئیدس، قارچ پوسیدگی سفید *Trametes versicolor*، قارچ پوسیدگی قهوه‌ای *Coniophora puteana*، معلق‌کننده، نانواکسید روی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱- کلیات ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- خواص نانواکسید روی ۵
۱-۲-۱- تاثیر نانواکسید روی در مقاومت به هوازدگی ۶
۱-۲-۲- فعالیت ضدمیکروبی نانواکسید روی ۷
۱-۲-۳- اثرات زیست‌محیطی نانواکسید روی ۹
۱-۳- ضرورت استفاده از معلق‌کننده جهت آماده‌سازی سوسپانسیون نانومواد ۱۱
۱-۳-۱- کاربرد معلق‌کننده در سوسپانسیون نانواکسید روی ۱۳
۱-۳-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ ..... ۱۳
۱-۳-۳- عملکرد پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ به‌عنوان معلق‌کننده ۱۴
۱-۳-۴- ویژگی‌های معلق‌کننده رزین اکریلیک ۱۴
۱-۴- بررسی ویژگی‌های صنوبر دلتوئیدس ۱۵
۱-۴-۱- مشخصات گیاه‌شناسی صنوبر ۱۵
۱-۴-۲- موطن گونه صنوبر ۱۶
۱-۴-۳- خواص چوب صنوبر ۱۷
۱-۴-۴- مشخصات ماکروسکوپی ۱۷
۱-۴-۵- مشخصات میکروسکوپی ۱۷
۱-۴-۶- ضرورت بررسی و شناخت صنوبر ۱۸
۱-۴-۷- موارد کاربرد چوب صنوبر ۱۸
۱-۵- عوامل مخرب چوب ۱۸
۱-۵-۱- تغذیه قارچ‌ها ۱۹
۱-۵-۲- رطوبت مورد نیاز برای رشد قارچ‌ها ۱۹
۱-۵-۳- دمای مورد نیاز قارچ‌ها ۲۰
۱-۵-۴- ارتباط قارچ‌ها با نور ۲۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۶- انواع پوسیدگی قارچی ۲۰
۱-۶-۱- پوسیدگی نرم ۲۱
۱-۶-۲- پوسیدگی قهوه‌ای ۲۱
۱-۶-۲-۱- پوسیدگی خشک ۲۲
۱-۶-۲-۲- پوسیدگی مرطوب ۲۲
۱-۶-۳- پوسیدگی سفید ۲۲
۱-۶-۴- خصوصیات چوب‌های پوسیده ۲۴
۱-۶-۵- مراحل پوسیدگی ۲۵
۱-۷- فرضیات و اهداف ۲۵
۱-۷-۱- فرضیه‌ها ۲۵
۱-۷-۲- اهداف ۲۵

فصل دوم: سابقه تحقیق

۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۲۸
۲-۱- تحقیقات انجام شده در داخل کشور ۲۸
۲-۲- تحقیقات انجام شده در خارج از کشور ۲۹
۲-۲-۱- اصلاح سطح نانواکسید روی ۲۹
۲-۲-۲- مقاومت به پوسیدگی و مقاومت به حشره ۳۱
۲-۲-۳- مقاومت به هوازدگی ۳۳
۲-۲-۴- خواص ضدباکتری و ضدقارچی نانواکسید روی ۳۴
۲-۲-۵- کاربرد نانو مس و آهن در بهبود مقاومت به پوسیدگی چوب ۳۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳- مواد و روش‌ها ۳۸
۳-۱- تهیه نمونه‌های چوب صنوبر دلتوئیدس ۳۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲- تهیه مواد شیمیایی ۳۹
۳-۳- اشباع نمونه‌ها ۳۹
۳-۳-۱- آماده‌سازی محلول اشباع ۳۹
۳-۳-۲- اشباع نمونه‌ها با نانواکسید روی ۴۰
۳-۴- آزمون مقاومت به پوسیدگی ۴۱
۳-۴-۱- تهیه قارچ ۴۲
۳-۴-۲- تکثیر نمونه‌های قارچی ۴۲
۳-۴-۳- آماده‌سازی خاک و ماده غذایی قارچ ۴۴
۳-۴-۴- استریل کردن بطری‌های شیشه‌ای ۴۶
۳-۴-۵- کشت قارچ‌های خالص‌سازی شده در بطری‌های شیشه‌ای ۴۶
۳-۴-۶- انتقال نمونه‌های چوبی به محیط کشت قارچ ۴۸
۳-۴-۷- انتقال بطری‌های شیشه‌ای حاوی نمونه‌های چوبی و قارچ رشد کرده روی خاک به اتاق کشت ۴۸
۳-۴-۸- مرحله پایانی آزمون مقاومت به پوسیدگی، زدودن میسلیوم قارچ از روی نمونه‌ها ۴۸
۳-۴-۹- انتقال نمونه‌های چوبی به بطری‌های شیشه‌ای محیط استریل ۴۹
۳-۴-۱۰- محاسبه درصد کاهش وزن و درصد رطوبت ۴۹
۳-۵- محاسبات آماری ۵۰

فصل چهارم: نتایج

۴- نتایج ۵۲
۴-۱- ماندگاری نانواکسید روی ۵۲
۴-۲- کاهش وزن نمونه‌ها در اثر پوسیدگی ۵۲
۴-۳- اثر متقابل نوع قارچ و ماندگاری نانواکسید روی بر کاهش وزن نمونه‌ها ۵۵
۴-۴- آستانه مصونیت از پوسیدگی ۵۶
۴-۵- درصد رطوبت نمونه‌ها در پایان آزمون پوسیدگی ۵۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵- بحث و نتیجه‌گیری ۶۴

۵-۱- بحث ۶۴

۵-۲- نتیجه‌گیری کلی ۶۷

۵-۳- پیشنهادات ۶۷

منابع ۶۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- میزان ماندگاری نانواکسید روی در سه غلظت مختلف در حضور معلق‌کننده رزین اکریلیک و پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ ..... ۵۲
جدول ۴-۲- میانگین کاهش وزن نمونه‌های اشباع شده و شاهد با ۶ تکرار پس از ۱۲ هفته مجاورت با قارچ‌های *T.versicolor* و *C.puteana* ۵۳
جدول ۴-۳- تجزیه واریانس میزان کاهش وزن نمونه‌ها در اثر پوسیدگی ۵۴
جدول ۴-۴- مقایسه میانگین‌های کاهش وزن در اثر پوسیدگی با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵٪ ۵۵
جدول ۴-۵- آستانه مصونیت از پوسیدگی ۵۹
جدول ۴-۶- میانگین درصد رطوبت نمونه‌های اشباع شده و شاهد با ۶ تکرار پس از ۱۲ هفته مجاورت با قارچ‌های *T.versicolor* و *C.puteana* ۵۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- واکنش پلی‌متاکریلیک اسید با نانواکسید روی در محیط آبی ۱۵
شکل ۳-۱- نمونه‌های چوب صنوبر ۳۸
شکل ۳-۲- پودر نانواکسید روی ۳۹
شکل ۳-۳- تهیه سوسپانسیون نانواکسید روی به‌وسیله دستگاه اولتراسونیک ۴۰
شکل ۳-۴- سوسپانسیون نانواکسیدروی تهیه شده ۴۰
شکل ۳-۵- محیط کشت مالت آگار ۴۲
شکل ۳-۶- اتوکلاو ۴۳
شکل ۳-۷- قارچ پوسیدگی سفید رشد یافته در محیط کشت مالت آگار ۴۴
شکل ۳-۸- قارچ پوسیدگی قهوه‌ای رشد یافته در محیط کشت مالت آگار ۴۴
شکل ۳-۹- بطری‌های شیشه‌ای حاوی خاک و برون‌چوب صنوبر به‌عنوان ماده غذایی قارچ ۴۶
شکل ۳-۱۰- بطری‌های شیشه‌ای استریل شده در زیر هود لامینار ۴۷
شکل ۳-۱۱- انتقال قارچ پوسیدگی سفید به بطری‌های حاوی خاک و ماده غذایی قارچ ۴۷
شکل ۳-۱۲- قارچ پوسیدگی سفید رشد یافته بر روی نمونه شاهد پس از گذشت ۳ ماه ۴۹
شکل ۴-۱- اثر متقابل بین نوع قارچ و ماندگاری نانواکسید روی بر کاهش وزن در اثر پوسیدگی ۵۶
شکل ۴-۲- کاهش وزن در اثر پوسیدگی توسط قارچ *T.versicolor* در برابر ماندگاری نانواکسید روی در حضور معلق‌کننده رزین اکریلیک ۵۷
شکل ۴-۳- کاهش وزن در اثر پوسیدگی توسط قارچ *C.puteana* در برابر ماندگاری نانواکسید روی در حضور معلق‌کننده رزین اکریلیک ۵۷
شکل ۴-۴- کاهش وزن در اثر پوسیدگی توسط قارچ *T.versicolor* در برابر ماندگاری نانواکسید روی در حضور معلق‌کننده پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ ..... ۵۸
شکل ۴-۵- کاهش وزن در اثر پوسیدگی توسط قارچ *C.puteana* در برابر ماندگاری نانواکسید روی در حضور معلق‌کننده پلی‌اتیلن‌گلیکول ۴۰۰ ..... ۵۸
شکل ۴-۶- رابطه درصد رطوبت پایانی و کاهش وزن نمونه‌ها در برابر قارچ *T.versicolor* ۶۰
شکل ۴-۷- رابطه درصد رطوبت پایانی و کاهش وزن نمونه‌ها در برابر قارچ *C.puteana* ۶۰

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

چوب ماده‌ای است آلی که از تقسیم سلول‌های کامبیومی درخت حاصل شده و از ارزش بالایی نسبت به مواد طبیعی دیگر برخوردار است، ولی به‌آسانی تحت تاثیر عوامل مخرب زنده و غیرزنده قرار می‌گیرد (حسینی هاشمی، ۱۳۸۵). با توجه به رشد شتابان جمعیت جهان و به تبع آن افزایش تقاضا برای مصرف چوب از یک سو و محدودیت منابع جنگلی از سوی دیگر، لزوم استفاده بهینه از این ماده گران‌بها بیشتر شده است (محبی، ۱۳۸۲). حفاظت از چوب‌آلات یکی از مهم‌ترین عملیات حفاظتی در ارتباط با توسعه پایدار جنگل است و صنعت حفاظت چوب با هدف افزایش عمر مفید محصولات چوبی، از اصلی‌ترین راه‌های حمایت از محیط زیست خصوصا نگهداری جنگل‌های بومی می‌باشد (حسینی هاشمی، ۱۳۸۵). با افزایش دوام چوب می‌توانیم نیاز به جنگل‌های جهان را کاهش داده و نقش مهمی در مراقبت از جنگل‌ها بازی کنیم (پارساپژوه و همکاران، ۱۳۷۵).

در این راستا تیمار چوب با مواد شیمیایی کارآمد همواره مورد توجه بوده است. با توجه به آگاهی روزافزون از خطرات استفاده از مواد سمی در حفاظت چوب، محدودیت‌هایی در زمینه تولید، تجارت و استفاده از مواد حفاظتی نظیر CCA[1] (نمک مس، کروم و آرسنیک) در کشورهای اروپایی و ایالت متحده اعمال شده است (لندی[2] و همکاران، ۲۰۰۴) و کاهش یا حذف استفاده از دو آفت‌کش معمول یعنی آرسنیک و کروم به‌منظور جایگزین کردن مواد زیست‌سازگارتر به‌جای آن‌ها در حفاظت چوب مدنظر قرار گرفته است (کارتال[3] و همکاران، ۲۰۰۹). سابقاً بیشتر مواد حفاظتی چوب به‌صورت فرمول‌بندی فلزات محلول در آب بودند اما اخیراً فلزات به اندازه‌های کوچکتر از میکرون تبدیل شده و پس از معلق شدن در آب، ترکیباتی شامل ذرات بسیار ریز تشکیل می‌دهند که اهمیت بیشتری نسبت به مواد قدیمی مورد استفاده دارند (کلاسن[4] و همکاران، ۲۰۱۱).

1 - Chromated Copper Arsenate
2 - Lande
3 - Kartal
4- Clausen

کاربرد نانوتکنولوژی در صنایع مختلف امیدها را در توسعه روش‌های جدید و مواد با خصوصیات ویژه، بیشتر می‌گرداند. نانوتکنولوژی روشی در مقیاس۱۰۰-۱ نانومتر است که سبب تغییر شکل در ساختار اتمی می‌گردد (سیگل[۱] و همکاران، ۱۹۹۹؛ کافارسکی[۲]، ۲۰۰۷).

علم نانو به‌طور پویا در رشته‌های مختلف علمی گسترش یافته و کلید تحقیق و توسعه (R&D[۳]) در اروپا و آمریکای شمالی است (فرناندز[۴] و هلمن[۵]، ۲۰۰۷؛ زوییک[۶]، ۲۰۰۸). نانوتکنولوژی اغلب به‌عنوان یک تکنولوژی توانمند قلمداد می‌شود. نانو از یک کلمه یونانی (nanos) به‌معنی کوتوله مشتق شده است (مان[۷]، ۲۰۰۶). در اختراع ابزارهای اولیه برای دستکاری ساختار اتم‌ها، اختراع میکروسکوپ STM[۸] مرحله برجسته و بسیار مهمی در توسعه نانوتکنولوژی بود. از سال ۱۹۹۰ نانوتکنولوژی با سرعت زیادی روی کار آمد. تخمین زده شده است که تا سال ۲۰۱۴ در فرآیندهای تولیدی بیشتر از ۱۵ درصد محصولات در بازارهای جهانی از علم نانو استفاده شود (داوسن[۹]، ۲۰۰۸). اساس این علم بر پایه افزایش واکنش‌پذیری در سطح ذرات با اندازه نانومتر است (چاپل[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۱). نانومواد اندازه ذرات کوچک، مساحت سطح ویژه بالا، انرژی سطح زیاد و نسبت بالایی از اتم‌های سطحی را دارا می‌باشند (وانگ[۱۱] و هانگ[۱۲]، ۲۰۱۰)، هم‌چنین فعالیت کاتالیزوری بیشتری در مقایسه با ذرات بزرگتر دارند که به‌علت نسبت بالای سطح به حجم آن‌هاست (ویلسن[۱۳] و همکاران، ۲۰۰۶؛ هرزینگ[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۸).

1 - Siegel
2 - Kafarski
3 - Research & Development
4 - Fernandez
5 - Hullmunn
6 - Zweek
7 - Mann
8 - Scanning Tunneling Microscope
9 - Dawson
10 - Chappell
11 - Wang
12 - Hong
13 - Wilson
14 - Herzing

موسسه جنگلداری و کاغذ آمریکا (AF & PA[1]) و آزمایشگاه فرآورده‌های جنگلی (USDA[2]) دیدگاه‌های خود را در زمینه نانوتکنولوژی در صنعت حفاظت چوب به این صورت بیان کردند: بهره‌گیری از نانوتکنولوژی در جهت ایجاد تغییرات اساسی در محصول است، کلید این استراتژی تطبیق و افزایش ارزش افزوده، افزایش کارایی محصولات موجود و هم‌چنین ایجاد و گسترش فناوری نانو در تولید محصولات جدید است تا از نظر اقتصادی بهینه باشند. یکی از برتری‌های این روش، استفاده از نانومواد برای بهبود بخشیدن به خواص مواد خام است. از اهداف دیگر در بهره‌گیری از نانوتکنولوژی، افزایش دوام و مقاومت در برابر پوسیدگی و رطوبت در چوب است (کلاسن، ۲۰۰۷).

در اوایل قرن بیست‌ویکم پژوهش روی توسعه نانوآفت‌کش‌ها و امکان به‌کارگیری آن‌ها در حفاظت چوب آغاز شد. علی‌رغم مشکلات فرآیندی جدی در رابطه با دستگاه‌ها و تکنولوژی به‌کاررفته در تعدادی از مواد حفاظت‌کننده نانو، این فرآیندها گسترش یافتند. انتظار می‌رود نانوآفت‌کش‌ها تغییرات اساسی در خصوصیات فیزیکی ایجاد کرده و سبب تسهیل نفوذ مواد در چوب شوند و هم‌چنین اثرات بیوتیک (زیستی) برای طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های مخرب چوب در محیط‌های مختلف داشته باشند. زمانی که مکانیسم نفوذ ذرات آغاز شود، توزیع و محل قرارگیری اجزای سازنده نانوذرات در ساختار بافت چوب مشاهده می‌شود. نانوتکنولوژی بهبود مقاومت چوب را در برابر تخریب و فساد زیستی سبب می‌شود که فقط به‌صورت مستقیم از طریق وارد کردن نانوفلزات به چوب نیست، بلکه به‌صورت غیرمستقیم نیز به‌عنوان حامل در آفت‌کش‌های آلی استفاده می‌شوند (وازنی[3] و کاندزویکز[4]، ۲۰۰۸).

نانوفلزات دارای پتانسیل اثرگذاری در مواد حفاظتی چوب به‌صورت آفت‌کش با ویژگی‌های منحصربه‌فرد هستند (کلاسن و همکاران، ۲۰۰۹). نانوآفت‌کش‌ها می‌توانند هم به‌عنوان یک آفت‌کش موثر واقع شوند و هم در خصوصیات تیماری چوب نظیر نفوذ و توزیع نانومواد تغییرات و اصلاحاتی ایجاد کنند (کلاسن، ۲۰۰۷). نانوفلزات با اندازه کنترل‌شده تولید می‌شوند. اندازه ذرات کنترل‌شده بین ۱۰۰-۱ نانومتر قابلیت نفوذ ماده شیمیایی را در چوب به‌واسطه داشتن فرمول‌بندی با ذرات ریز، بهبود

1 - American Foresty & Paper Association
2 - U.S Department of Agriculture
3 - Wazny
4 - Kundzewicz

می‌بخشد. هم‌چنین افزایش سطح ویژه امکان توزیع یکنواخت مواد را در لایه‌ها فراهم می‌کند. اگر اندازه ذرات کوچکتر از قطر روزنه‌ها یا دریچه روزنه‌های هاله‌ای باشد، نفوذ کامل و توزیع یکنواخت مورد انتظار است (فریمن[۱] و مکلن تایر[۲]، ۲۰۰۸). ثانیاً این مواد قابلیت توزیع و پراکندگی بالایی دارند. اضافه کردن سورفکتانت[۳] (معلق کننده) سبب افزایش پراکنش مواد می‌شود که به‌علت توانایی آن در معلق ساختن مایعات در غلظت‌های بالای نانوفلزات است. به‌علاوه، محلول‌های نانوفلزات ویسکوزیته پایین دارند. ترکیب کردن این خصوصیات زمینه‌ساز نفوذ بیشتر و حفاظت بهتر به همراه توزیع یکنواخت ذرات در چوب می‌گردد (کارتال و همکاران، ۲۰۰۹).

۱-۲- خواص نانواکسید روی

یکی از نانومواد شناخته شده، نانواکسید روی است. نانواکسید روی پودری سفیدرنگ، نامحلول در آب، محلول در اسیدهای ضعیف و قوی معدنی، محلول‌های آمونیاک، اسید استیک و اسید فرمیک است. توجه به نانوذرات اکسید روی به‌خاطر خاصیت کاتالیزوری، الکتریکی، الکترونیکی، خصوصیات نوری و ضدمیکروبی آن است و به‌واسطه قیمت کم در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد (ساتو[۴] و همکاران، ۲۰۰۳؛ یانگ[۵] و همکاران، ۲۰۰۴). نانواکسید روی به‌علت داشتن چنین ویژگی‌هایی در فرآورده‌های مختلف نظیر کرم‌های ضدآفتاب، وسایل آرایشی، روکش‌ها، وسایل نوری و الکترونیکی به‌کار می‌رود (وانگ، ۲۰۰۴؛ دنج[۶] و همکاران، ۲۰۰۷). در نانوساختار اکسید روی مقیاس طولی کوچک و نسبت بزرگ مساحت سطح به حجم مهم‌ترین نقش را در کنترل ویژگی‌های ذکر شده در بالا بازی می‌کند (مندی[۷] و دریسکل[۸]، ۲۰۰۷).

1 - Freeman
2 - McIntyre
3 - Surfactant
4 - Sato
5 - Yang
6 - Dange
7 - Mende
8 - Driscoll

۱-۲-۱- تاثیر نانواکسید روی در مقاومت به هوازدگی

چوب و محصولات چوبی از دیرباز در ساختار مواد و مهندسی مواد استفاده می‌شوند و در شرایط سرویس (محیط بیرونی) در معرض فرآیندهای تخریبی پیچیده‌ای قرار می‌گیرند که هوازدگی نامیده می‌شود. فاکتورهای زیادی در هوازدگی دخیل هستند، تشعشع UV نور خورشید عمده‌ترین عامل تخریب است. لیگنین به‌میزان زیادی UV را جذب می‌کند که منجر به تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌گردد و واکنش‌های زنجیره‌ای شیمیایی بین پلیمرهای دیواره سلولی و اکسیژن، آب یا ترکیبات دیگر در هوا یا چوب رخ می‌دهد (پاندی[1]، ۲۰۰۵). بسیاری از محصولات حاصل از واکنش، محلول در آب هستند و متعاقباً به‌وسیله باران از سطح چوب شسته می‌شوند. در نتیجه چوب خصوصیات ظاهری خود را از دست می‌دهد. رویکردهای زیادی در جهت به حداقل رساندن این اثرات پیشنهاد شده است. تیمارهای شیمیایی معمول به‌علت اثرات منفی زیست محیطی و تاثیر ناخوشایند بر عملکرد نهایی محصولات، نامطلوب هستند (یو[2] و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات نشان داد که جاذب‌های UV غیرآلی در کاربردهای بیرونی کارآیی بیشتری در حفاظت در برابر UV نسبت به جاذب‌های آلی در طولانی‌مدت دارند، زیرا تجزیه نمی‌شوند و در طول هوازدگی در پوشش‌ها جابجا نمی‌شوند (کلاسن و همکاران، ۲۰۰۷). اکسید روی در جذب نور UV خورشید در محصولات ضدآفتاب بسیار کارآمد است و نانواکسیدروی نیز عملکرد مشابهی در حفاظت چوب در برابر حملات میکروبی و هوازدگی دارد و می‌تواند به‌عنوان محافظ در برابر UV استفاده شود زیرا دارای قدرت جذب قوی اشعه UV خورشید است (یو و همکاران، ۲۰۱۰) . اشباع چوب با نانواکسید روی مزایایی در نانوپوشش‌ها دارد که از آن جمله می‌توان به حفاظت طولانی‌مدت در برابر تخریب به‌وسیله نور خورشید و فساد بیولوژیکی اشاره کرد، مخصوصاً اگر تیمار با نانوذرات مقاومت به آبشویی نیز ایجاد کند (کلاسن و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد نانوذرات ZnO و TiO_2 در پوشش‌ها به‌عنوان جاذب نور UV گزارش شده است (ناسبائومر[3]، ۲۰۰۲؛ هی[4] و همکاران، ۲۰۰۲؛ زئو[5] و همکاران، ۲۰۰۴؛ میازاکی[6]، ۲۰۰۶). ZnO

1 - Pandey
2 - Yu
3 - Nussbaumer
4 - He
5 - Zhou
6 - Miyazaki