تاثیر محلول نانو سیلیس بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoids* L.)

سعید اسمعیلی‌مقدم[۱*]، بهروز ملکیان[۲]، سجاد اکبری[۳] و شمس‌الله سپهوند[۴]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: saeed.am17358@gmail.com
۲) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران.
۳) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴) دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۱۷

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر محلول نانو سیلیس بر روی ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی گونه صنوبر دلتوئیدس انجام گردید. نمونه‌های آزمونی برای خواص فیزیکی و مکانیکی با استفاده از روش غوطه‌وری در محلول نانو سیلیس در دمای آزمایشگاه اشباع شدند. سپس آزمون‌های فیزیکی شامل دانسیته بحرانی، هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی و جذب آب بر اساس استاندارد ASTM و همچنین خواص مکانیکی شامل مقاومت به ضربه، مقاومت به فشار موازی الیاف، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و سختی به‌ترتیب مطابق با استانداردهای ISO، ASTM، B.S و DIN بر روی نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار انجام گردید. نتایج نشان داد که تیمار کردن گونه صنوبر دلتوئیدس با محلول نانو سیلیس باعث افزایش دانسیته بحرانی، جذب آب، سختی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت به فشار موازی با الیاف نمونه‌ها نسبت به نمونه بدون تیمار شده است. در صورتی که هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی و مقاومت به ضربه نمونه‌های تیمار شده کمتر از نمونه‌های بدون تیمار بود. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بین نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار برای آزمون‌های مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، سختی، مقاومت به ضربه، دانسیته و هم‌کشیدگی و واکشیدگی اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد، اما برای آزمون‌های مقاومت به فشار موازی با الیاف و جذب آب اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: محلول نانو سیلیس، ثبات ابعاد، خواص فیزیکی و مکانیکی، میکروسکوپ الکترونی پویشی.

مقدمه

چوب ماده‌ای است مرکب از پلیمرهای سلولز، همی‌سلولز و لیگنین که ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی چوب را تحت تأثیر قرار می‌دهند و از آن یک ماده مهندسی و ساختمانی مفید می‌سازند. این ماده ارزشمند، دارای معایب متعددی نیز می‌باشد که کاربرد آن را محدود می‌نماید. چوب به‌علت متخلخل بودن و جذب رطوبت ترکیبات آب‌دوست تشکیل‌دهنده آن به ویژه همی‌سلولز و سلولز دچار واکشیدگی می‌شود. علاوه بر این، رطوبت چوب آن را به محیط مناسبی برای فعالیت برخی از عوامل مخرب قارچی تبدیل می‌کند (Sjostrom, 1993). از این رو امروزه اشباع چوب با استفاده از نانو ذرات مورد توجه پژوهشگران، محققین و صنایع قرار گرفته است. یکی از کمک‌های شایان این

فناوری در زمینه چوب، حفاظت سطح چوب در برابر بسیاری از عامل‌های محیطی از جمله مقاومت در برابر اشعه ماورای بنفش، آتش، رطوبت، قارچ‌ها و آفات می‌باشد (Rassam *et al.*, 2011).

نانو سیلیس متشکل از ذراتی است که دارای شکل گلوله‌ای بوده و با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر به صورت ذرات پودر و یا معلق در محلول قابل انتشار می‌باشد. نانو سیلیس در کاربردهایی مانند ضد سایش، ضد لغزش و ضد حریق استفاده شده است. از طرف دیگر صنوبر، گونه‌ای با پراکنش وسیع در بسیاری از کشورها، سریع‌الرشد و نفوذپذیری خوب، اما دارای دوام طبیعی پایینی می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، یافتن راهی ساده و ماده‌ای با توانایی بالا جهت نفوذ به داخل چوب و تثبیت آن، امری است که در مورد آن تحقیقات کاربردی صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

برخی از پژوهشگران اثر نانو ذرات کلوئیدی سیلیس تولید شده از سبوس برنج بر ثبات ابعاد و جذب آب چوب صنوبر (*Populus deltoides*) را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که میزان دانسیته و جذب آب نمونه‌های تیمار شده بیشتر از نمونه‌های بدون تیمار بود، اما واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده کمتر از نمونه شاهد (بدون تیمار) بود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). پژوهشگران اثر تیمار ترکیبی نانو نقره کلوئیدی- گرمابی بر تغییرات وزن و ساختار شیمیایی چوب راش ایرانی را مورد مطالعه قرار دادند.

دمای تیمار در دو سطح ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان تیمار نیز در دو سطح ۳۰ و ۴۵ دقیقه بود. میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز جهت تایید حضور نانو ذرات مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان و همچنین افزودن نانو ذرات نقره، کاهش وزن چوب راش ایرانی افزایش می‌یابد. میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز حضور نانو ذرات نقره را در دیواره سلولی چوب تایید نمود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۴). محققان تاثیر پیش ماده سنتز نانو اکسید روی به روش هیدروترمال بر ساختار و خواص فیزیکی گونه صنوبر را بررسی کردند. آنها از دو نوع پیش تیمار شامل پیش تیمار کلرید روی/ آمونیاک و پیش تیمار کلرید روی/ سود برای پیش تیمار نانو ذرات اکسید روی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین دانسیته مربوط به پیش تیمار کلرید روی/ آمونیاک و کمترین میزان دانسیته مربوط به نمونه شاهد بود. همچنین بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه شاهد و کمترین میزان جذب آب مربوط به پیش تیمار کلرید روی/ آمونیاک بود (حاتم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

عده دیگری از محققین طی مطالعات توزیع ذرات نانو در چوب دریافتند که تثبیت نانو ذرات از طریق رسوب در حفرهای سلولی و لایه سوم دیواره ثانویه سلول چوب رخ می‌دهد. نفوذ نانو ذرات در داخل حفرات سلولی و پنکتواسیون‌ها مانع کمانش زود هنگام چوب در زیر بارهای مکانیکی می‌شود و در این حالت مقاومت‌های استاتیکی چوب افزایش می‌یابد (Matsunaga, 2009). پژوهشگران دیگری خواص فیزیکی و مکانیکی گونه صنوبر فشرده شده را با ماده نانو نقره بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تیمار با نانو نقره باعث کاهش برگشت ضخامت و افزایش مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، و مقاومت به ضربه شد (Rassam *et al.*, 2011). در نواحی شمال ایران، به رغم اینکه دارای منابع گسترده صنوبر می‌باشد، از گونه‌های وارداتی نظیر کاج جنگلی (چوب روسی) به‌عنوان سربندی ساختمان‌ها استفاده می‌شود.

دلیل این امر آن است که چوب کاج جنگلی از یک-سو دوام طبیعی بالاتری از گونه صنوبر دارد و از طرف دیگر مشکلات هم‌کشیدگی و واکشیدگی کمتری در مقایسه با این گونه دارد. اما استفاده از تیمار نانو سیلیس بسیاری از این مشکلات برای مصرف چوب صنوبر را

کاهش خواهد داد و زمینه استفاده از این گونه برای سربندی ساختمان‌ها به جای چوب‌های وارداتی را فراهم خواهد کرد. نوآوری که در این تحقیق انجام شده، آن است که چوب بدون استفاده از حرارت و سیلندر اشباع مورد تیمار قرار گرفته است که این امر می‌تواند در کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تولید کمک زیادی کند.

بنابراین به‌عنوان یک اصل کلی می‌توان گفت که امروزه با توجه به کمبود منابع چوبی در بسیاری از کشورهای جهان و فقیر بودن کیفیت چوب در مقابل عوامل جوی و نظر به اینکه تیمار چوب با نانو ذرات مختلف به خصوص نانو سیلیس علاوه بر بهبود خصوصیات کاربردی چوب باعث حفظ منابع جنگلی کشور می‌شود، توجه به حفاظت چوب در برابر بسیاری از عوامل و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی آن ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از انجام این پروژه تحقیقاتی افزایش مدت زمان استفاده از چوب صنوبر از طریق بهبود خواص کاربردی و مهندسی آن نظیر خواص فیزیکی و مکانیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش یک اصله درخت صنوبر دلتوئیدس واقع در جنگل‌های دست کاشت نوشهر به‌طور تصادفی انتخاب گردید. این درخت از بین درختان سالم و بی‌عیب با قطر ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد و پس از علامت‌گذاری جهت جغرافیایی قطع گردید. پس از ۳۰ روز که رطوبت گرده‌بینه تا حدودی کاهش یافته بود، تبدیل به الوار و پس از آن نمونه‌های آزمونی تهیه گردید. لازم به توضیح است که رطوبت نمونه‌های آزمونی قبل از تیمار حدود ۱۰ درصد بود که به روش توزین اندازه‌گیری شدند. همچنین محلول نانو سیلیس از شرکت وندشیمی ساختمان (ایران- تهران) تهیه گردید که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات نانو ذرات سیلیس

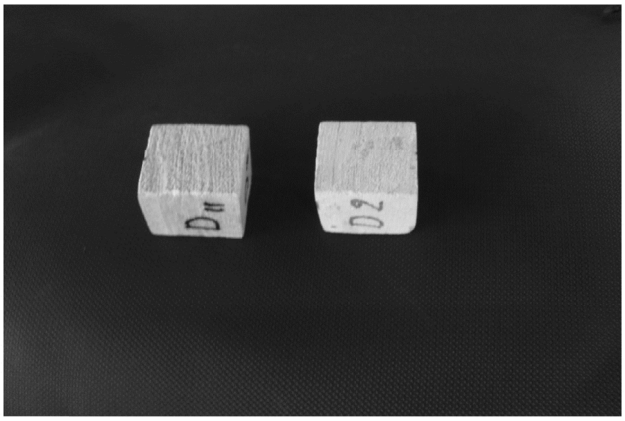
اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه (m^2/g)	ویسکوزیته (Cp)	اسیدیته	درصد خلوص (٪)	دانسیته (g/cm^3)
۱۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۱۵	۹/۱	۵۰	۲/۴

آماده سازی نمونه‌ها و فرآیند اشباع

نمونه‌های ۲×۲×۲ سانتی‌متر جهت اندازه‌گیری خواص فیزیکی شامل هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی، دانسیته بحرانی و جذب آب مطابق استاندارد ASTM-D0143-94 تهیه شدند. همچنین جهت اندازه‌گیری خواص مکانیکی شامل مقاومت به ضربه، نمونه‌ها با ابعاد ۱۰×۱×۱ سانتی‌متر مطابق با استاندارد ISO، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته ۴۱×۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر مطابق با استاندارد ASTM- D0143-94 مقاومت به فشار در جهت الیاف ۶×۲×۲ سانتی‌متر مطابق استاندارد B.S.338:1961 و برای اندازه‌گیری سختی، نمونه‌هایی با ابعاد ۵×۱/۵×۲/۵ سانتی‌متر مطابق استاندارد DIN 52176 تهیه شدند. در نهایت از هر تیمار ۵ عدد تکرار در نظر گرفته شد و نمونه‌ها به روش غوطه‌وری در محلول نانو سیلیس به مدت ۴۸ ساعت در دمای آزمایشگاه اشباع گردیدند.

پس از فرآیند اشباع، نمونه‌ها به مدت ۳۰ روز در هوای آزاد قرار داده شدند تا به رطوبت تعادل محیط برسند. سپس آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی نمونه‌ها مطابق استانداردهای فوق صورت گرفت. قابل ذکر است که چون نمونه‌های آزمونی دارای ابعاد کوچکی بودند جذب محلول طی مدت کوتاهی انجام

شد. شکل ۱، تصاویر مربوط به صنوبر دلتوئیدس را در دو حالت قبل و بعد از تیمار نشان می‌دهد.



شکل ۱. گونه صنوبر قبل از تیمار (سمت چپ) و بعد از تیمار (سمت راست)

اندازه‌گیری خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی

آزمون‌های فشار موازی با الیاف، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و آزمون سختی توسط دستگاه HOUNSFILD مدل H25 KS با ظرفیت سلول N25000 واقع در دانشگاه زابل انجام گردید. رایانه متصل به دستگاه پس از انجام آزمون مربوط به هر تیمار اطلاعاتی نظیر تنش حد تناسب، نیروی حداکثر و تغییر طول نسبی را ارایه نمود.

برای انجام آزمون ضربه از دستگاه Zwick مدل ۵۱۰۲ استفاده گردید. آزمون‌های فیزیکی شامل: دانسیته بحرانی، جذب آب و هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی نیز بر روی نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار انجام شدند و مطابق با روابط مربوطه محاسبه گردیدند. جهت مطالعه ریخت‌شناسی از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل Genesis XM2 USA استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و طرح آماری t-test به صورت جفتی انجام گرفت. رسم نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، بین نمونه‌های تیمار شده با نانو سیلیس و نمونه‌های بدون تیمار برای آزمون‌های مقاومت به فشار موازی با الیاف و جذب آب در زمان‌های ۲، ۲۴ و ۱۶۸ ساعت اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود ندارد. اما بین نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار برای آزمون‌های مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت به ضربه، واکشیدگی حجمی و دانسیته بحرانی اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد و بین نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار برای آزمون‌های هم‌کشیدگی حجمی و سختی اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. شکل ۲، تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی مقاومت خمشی، مقاومت به فشار موازی با الیاف و سختی گونه صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، مقاومت خمشی و سختی به طور معنی‌دار و مقاومت به فشار موازی با الیاف به‌طور غیرمعنی‌دار در اثر تیمار با نانو سیلیس افزایش یافتند.

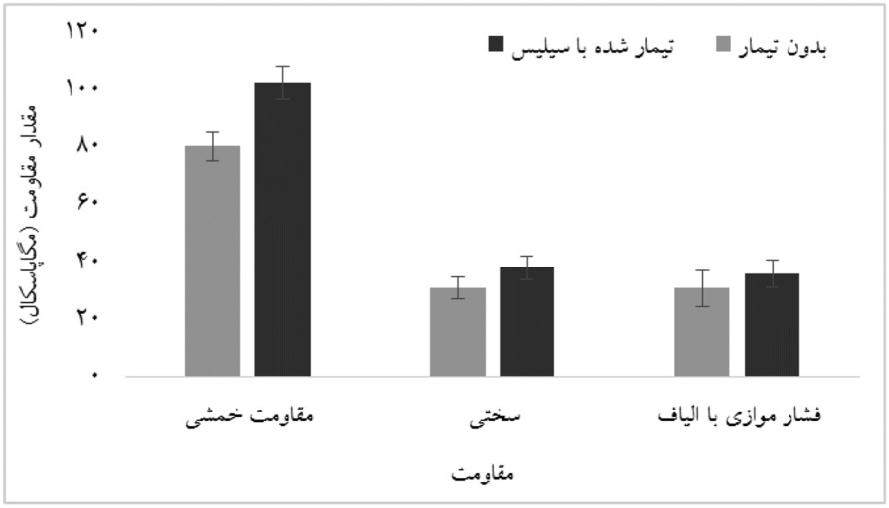
جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری

آزمون	t	درجه آزادی	معنی‌داری
مقاومت به فشار موازی با الیاف	۱/۳۴۲	۴	۰/۲۵۱$^{n.s}$
سختی	۳/۶۱۴	۴	۰/۰۲۲*
مقاومت خمشی	۱۵/۰۸۶	۴	۰/۰۰۰**
مدول الاستیسیته	۱۹/۶۴۴	۴	۰/۰۰۰**
مقاومت به ضربه	-۱۱/۶۵۱	۴	۰/۰۰۰**
هم‌کشیدگی حجمی	-۲/۶۳۷	۴	۰/۰۵۰*
واکشیدگی حجمی	-۱۰/۹۸۱	۴	۰/۰۰۰**
جذب آب ۲ ساعتی	-۱/۷۵۶	۴	۰/۱۵۴$^{n.s}$
جذب آب ۲۴ ساعتی	-۱/۳۳۱	۴	۰/۲۵۴$^{n.s}$
جذب آب ۱۶۸ ساعتی	۱/۹۱۷	۴	۰/۱۲۸$^{n.s}$
دانسیته بحرانی	۱۶/۴۷۴	۴	۰/۰۰۰**

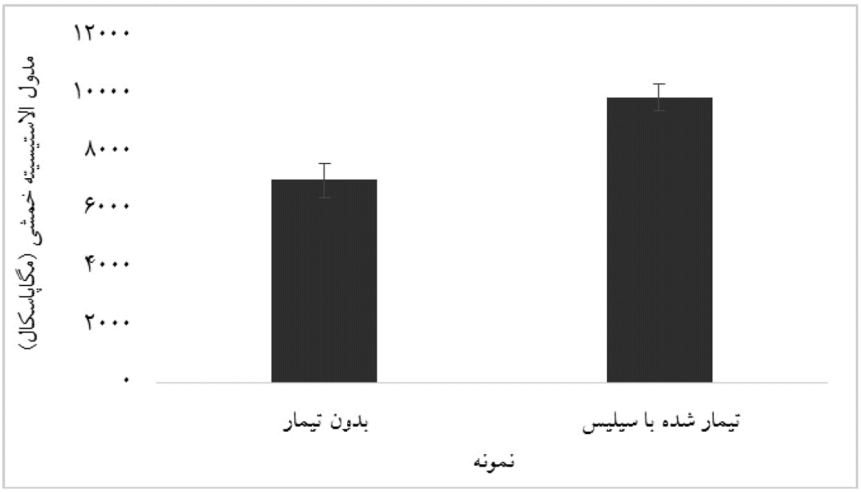
معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد (**)، معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد (*)، غیر معنی‌دار ($^{n.s}$)

شکل ۳ نیز تاثیر تیمار نانو سیلیس بر مدول الاستیسیته خمشی چوب صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، تیمار با نانو ذرات سیلیس باعث افزایش قابل ملاحظه‌ایی (معنی‌دار) در مدول الاستیسیته گونه صنوبر گردید.

.



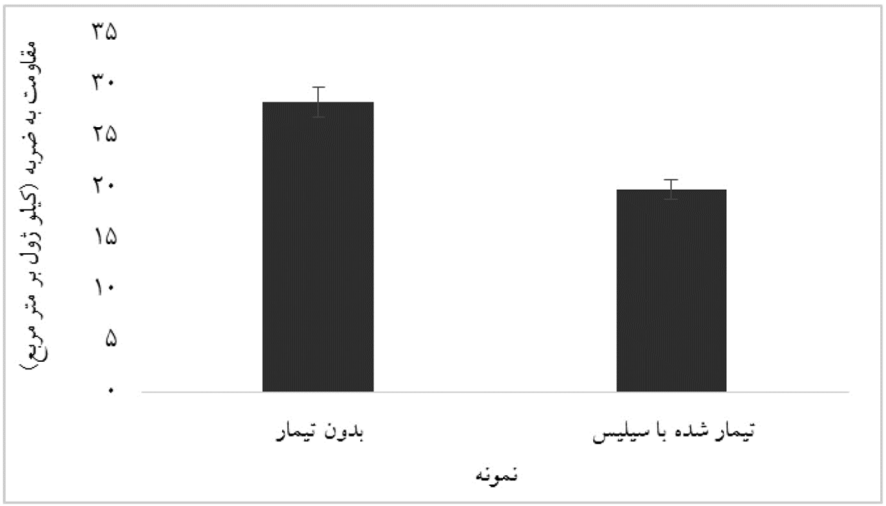
شکل ۲. تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی مقاومت خمشی، مقاومت به فشار موازی با الیاف و سختی گونه صنوبر دلتوئیدس



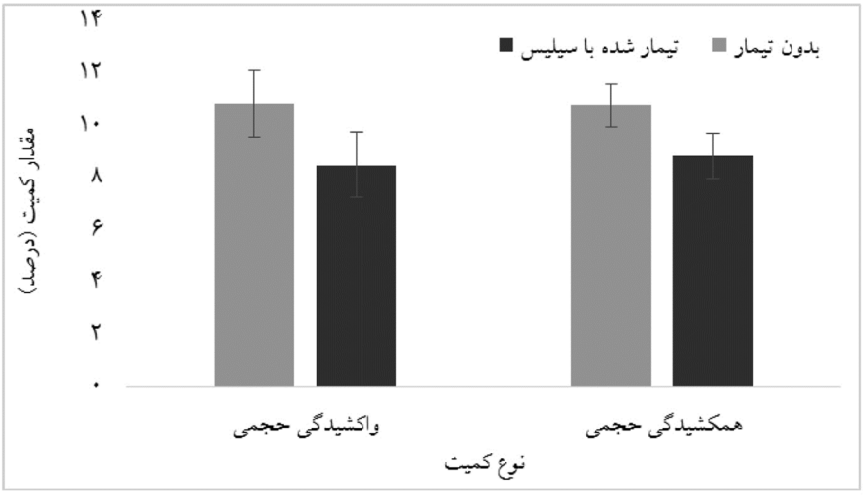
شکل ۳ . تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی مدول الاستیسیته خمشی گونه صنوبر دلتوئیدس

شکل ۴، تاثیر تیمار با نانو ذرات سیلیس بر روی مقاومت به ضربه گونه صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، مقاومت به ضربه این گونه در اثر تیمار با نانو سیلیس به شدت و به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. مقاومت به ضربه گونه صنوبر بعد از تیمار ۳۰/۲۸ درصد کاهش یافته است.

شکل ۵ نیز تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی گونه صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های تیمار شده هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی کمتری نسبت به نمونه‌های بدون تیمار داشتند و این اختلاف نیز از نظر آماری معنی‌دار بود.

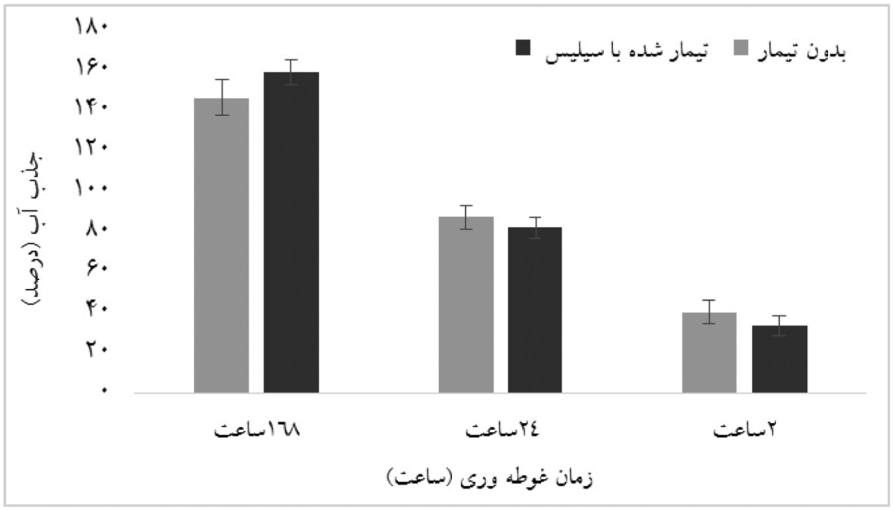


شکل ۴. تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی مقاومت به ضربه گونه صنوبر دلتوئیدس



شکل ۵ . تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی همکشیدگی و واکشیدگی حجمی گونه صنوبر دلتوئیدس

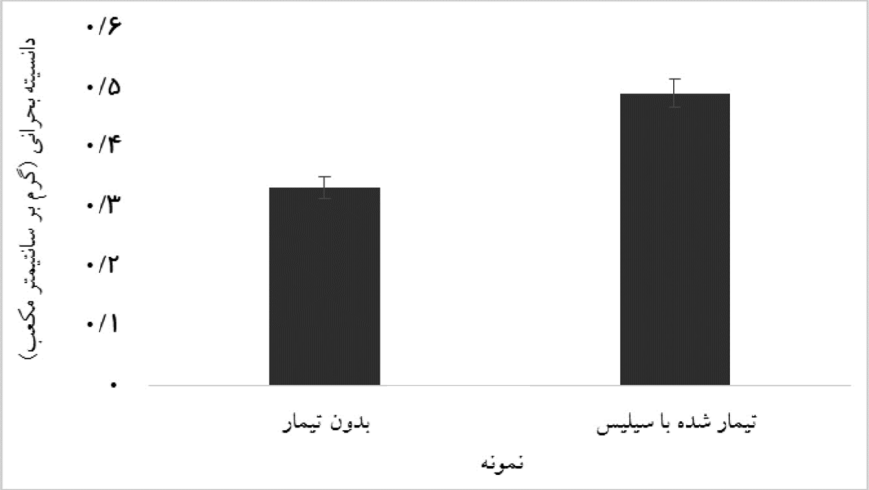
شکل ۶، تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی جذب آب گونه صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کوتاه‌مدت، جذب آب گونه صنوبر دلتوئیدس در اثر تیمار یا نانو سیلیس کاهش یافته است، اما پس از گذشت یک هفته از زمان غوطه‌وری نمونه‌ها مشاهده می‌شود که جذب آب گونه صنوبر در اثر تیمار با نانو سیلیس افزایش یافته است. اختلاف جذب آب نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار از نظر آماری در تمامی ساعات معنی‌دار نبود. شکل ۷ نیز، تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی دانسیته بحرانی گونه صنوبر دلتوئیدس را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، دانسیته گونه صنوبر در اثر تیمار با نانو سیلیس ۳۲/۶۵ درصد و به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است.



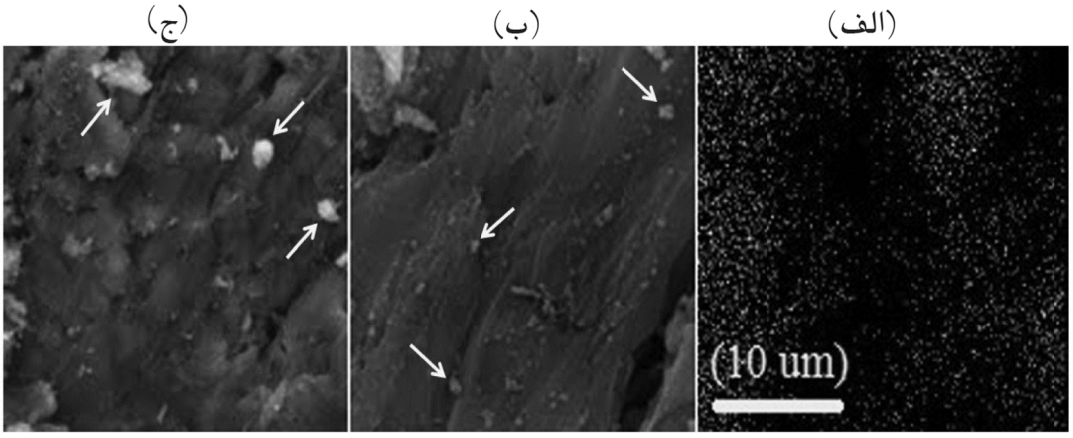
شکل ۶ . تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی جذب آب گونه صنوبر دلتوئیدس

شکل ۸ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی مربوط به حضور نانو ذرات سیلیس را بر روی دیواره سلولی چوب صنوبر دلتوئیدس نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اندازه این ذرات در مقیاس نانومتر

می‌باشد و کاملاً بر روی دیواره سلولی چوب متصل شده است. تصویر سمت راست (الف)، نحوه پراکنش ذرات نانو سیلیس بر دیواره سلولی چوب صنوبر را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده پراکنش مناسب ذرات نانو و عدم ایجاد پدیده کلوخینگی نانو ذرات می‌باشد. تصویر وسط (ب)، از قسمت‌های با پراکنش بیشتر نانو ذرات تصویربرداری شده است که نمایانگنده توزیع بسیار مناسب ذرات نانو سیلیس است. در نهایت تصویر سمت چپ (ج) از نواحی با پراکنش کمتر نانو سیلیس تصویربرداری شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود به مقدار اندکی پدیده انبوهش ذرات سیلیس بر دیواره سلولی چوب مشاهده می‌شود. جدول ۳ نیز مقادیر میانگین، انحراف‌معیار و ضریب تغییرات (CV) آزمون‌های مورد مطالعه را برای نمونه‌های تیمار شده با نانو سیلیس و بدون تیمار نشان می‌دهد.



شکل ۷. تاثیر تیمار نانو سیلیس بر روی دانسیته بحرانی گونه صنوبر دلتوئیدس



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) نانو ذرات سیلیس بر روی دیواره سلولی چوب صنوبر

جدول ۳. مقادیر میانگین، انحراف‌معیار و ضریب‌تغییرات آزمون‌های مورد مطالعه

آزمون	میانگین تیمار شده	میانگین بدون تیمار	انحراف‌معیار تیمار شده	انحراف‌معیار بدون تیمار	ضریب‌تغییرات تیمار شده (٪)	ضریب‌تغییرات بدون تیمار (٪)
مقاومت به فشار موازی الیاف	۳۶/۰۸	۳۱	۴/۸۱	۶/۳۹	۱۳/۳۳	۲۰/۶۱
سختی	۳۸/۲۶	۳۱/۱۴	۴/۰۷	۳/۷۶	۱۰/۶۳	۱۲/۰۷
مقاومت خمشی	۱۰۲/۶۷	۸۰/۴۶	۵/۶۹	۴/۹۴	۵/۵۴	۶/۱۳
مدول الاستیسیته	۹۸۶۸/۵	۶۹۸۲/۸	۴۵۸/۱۹	۶۱۰	۴/۶۴	۸/۷۳
مقاومت به ضربه	۱۹/۸	۲۸/۴	۰/۸۹	۱/۴۴	۴/۴۹	۵/۰۷
هم‌کشیدگی حجمی	۸/۸۶	۱۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۸۲	۹/۹۳	۷/۵۹
واکشیدگی حجمی	۸/۵۱	۱۰/۸۷	۱/۲۶	۱/۲۸	۱۴/۸۰	۱۱/۷۷
جذب آب ۲ ساعتی	۳۲/۹۱	۳۹/۴۸	۴/۷۴	۵/۸۶	۱۴/۴۰	۱۴/۸۴
جذب آب ۲۴ ساعتی	۸۱/۵۹	۸۶/۸	۴/۹۹	۵/۶۵	۶/۱۱	۶/۵۰
جذب آب ۱۶۸ ساعتی	۱۵۸/۶۲	۱۴۵/۷۶	۵/۹۹	۹/۱	۳/۷۷	۶/۲۴
دانسیته بحرانی	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸	۴/۶۹	۵/۴۵

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مقاومت به فشار موازی با الیاف نمونه‌های تیمار شده به‌طور غیرمعنی‌دار و مقاومت خمشی نمونه‌های تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های بدون تیمار بود. استفاده از نانو سیلیس باعث افزایش پایداری مکانیکی به‌دلیل نفوذ این ذرات به داخل حفرات سلولی و همچنین پونکتواسیون‌ها شده، به‌طوری‌که نفوذ این ذرات به داخل حفرات سلولی و نشستن لایه نازک بر روی سطح عناصر تشکیل‌دهنده چوب، باعث سختی خاص دیواره سلول شده و از کمانش زود هنگام دیواره سلولی در زیر بارهای مکانیکی به خصوص فشار موازی الیاف جلوگیری می‌کند و در نتیجه باعث افزایش مقاومت به فشار موازی با الیاف و مقاومت خمشی می‌گردد (Taghiyari, 2010). یکی دیگر از دلایل افزایش مقاومت‌های مکانیکی چوب تیمار شده نسبت به چوب بدون تیمار مربوط به افزایش دانسیته می‌باشد. ذکر این نکته حایز اهمیت است که در این پژوهش، عدم استفاده از حرارت برای اشباع چوب با نانو ذرات سیلیس یکی دیگر از دلایل افزایش مقاومت‌های مکانیکی می‌باشد، درصورتی‌که انتظار می‌رود استفاده از گرما باعث تخریب برخی از ترکیبات شیمیایی موجود در چوب به خصوص همی‌سلولزها و نواحی آمورف سلولز خواهد شد و در این حالت خواص مکانیکی اندکی کاهش می‌یابند (Rassam *et al.,* 2011). Taghiyari و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که در اثر تیمار چوب صنوبر با نانو ذرات نقره مقاومت به فشار موازی با الیاف این گونه ۵ درصد افزایش یافته است، البته این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است؛ درحالی‌که مقاومت خمشی در اثر تیمار با نانو نقره حدود ۸ درصد کاهش یافته است. همچنین Taghiyari (۲۰۱۰) در بررسی تیمار (*Populus nigra*) با نانو نقره افزایش غیرمعنی‌داری در مقاومت فشاری موازی با الیاف و کاهش در مقاومت خمشی این گونه را گزارش نمود. لازم به توضیح است که در هر دو پژوهش از گرما برای اشباع چوب با نانو ذرات نقره استفاده شده است. پژوهشگران دلیل کاهش مقاومت خمشی در هر دو پژوهش را اثر مخرب گرما ذکر کرده‌اند.

سختی نمونه‌های تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های بدون تیمار بود. نانو سیلیس به‌دلیل دارا بودن خاصیت ضد خورندگی و همچنین به دلیل افزایش دانسیته چوب صنوبر، باعث افزایش سختی این گونه گردید. از طرف دیگر پژوهشگران دریافتند که نانو ذرات سیلیس می‌تواند مقدار استحکام، سختی، مدول، بلورینگی و مقاومت در برابر خزش را در پلیمرها و

بسیاری از مواد افزایش دهند (خطیب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹، Parvinzadeh *et al.,* 2010; Guyard *et al.,* 2006).

در اثر تیمار چوب صنوبر دلتوئیدس با نانو سیلیس مدول الاستیسیته این گونه نسبت به نمونه بدون تیمار افزایش معنی‌داری داشت. مدول الاستیسیته چوب، تا حد زیادی به تغییر طول نسبی (کرنش) نمونه آزمونی در زیر بارهای مکانیکی بستگی دارد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که هر عاملی که باعث کاهش تغییر طول نسبی به شرط کاسته نشدن از مقادیر تنش شود، می‌تواند باعث افزایش مدول الاستیسیته شود. تیمار با نانو ذرات سیلیس به‌دلیل آنکه باعث افزایش صلبیت چوب می‌شود باعث کاهش مقدار تغییر طول نسبی شده و از آنجایی که تغییر طول نسبی در مخرج کسر رابطه مدول الاستیسیته قرار دارد، می‌توان انتظار داشت که مدول الاستیسیته در این حالت افزایش پیدا کند (اسمعیلی‌مقدم و شمسیان، ۱۳۹۳). در رابطه با خواص مکانیکی چوب‌های اشباع شده با نانو ذرات مختلف تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ایی صورت نگرفته است. اما برخی از آنها که از حرارت به‌عنوان تسریع‌کننده عملیات اشباع استفاده شده است، تیمار با نانو ذرات باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی به خصوص مدول الاستیسیته شده است. گزارش‌های Taghiyari (۲۰۱۰)، Rassam و همکاران (۲۰۱۱) و Taghiyari و همکاران (۲۰۱۲) از جمله این گزارش‌هاست.

مقاومت به ضربه چوب صنوبر دلتوئیدس پس از تیمار با نانو سیلیس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد تجمع نانو ذرات و تشکیل پدیده انبوهش از جمله دلایل کاهش مقاومت به ضربه صنوبر دلتوئیدس باشد. با ریزتر شدن اجزاء موجود در چوب از یک طرف انرژی جذب شده نرمال در آزمون ضربه افزایش خواهد یافت و از طرف دیگر نواحی شروع ترک بیشتر خواهد شد (Taghiyari *et al.,* 2012). Taghiyari و همکاران (۲۰۱۲) نیز در بررسی تاثیر نانو ذرات نقره بر خواص مکانیکی چوب صنوبر دلتوئیدس گزارش نمودند که تیمار با نانو نقره باعث کاهش مقاومت به ضربه خواهد شد.

هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با نانو سیلیس پس از تیمار با نانو سیلیس به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. حضور نانو ذرات سیلیس بر روی دیواره سلولی چوب، بخشی از فضاهای خالی موجود در چوب را اشغال می‌کند، قرارگیری این نانو ذرات بر روی منافذ باعث کاهش شدید ابعاد آنها شده و تحرک الیاف چوب را در اثر تغییرات رطوبت با مشکل مواجه می‌کند (Boshehrian & Hosseini, 2011; Hosseini *et al.,* 2010). ریز بودن ذرات نانو و نفوذ مؤثر آنها به درون دیواره سلولی نیز می‌تواند از دلایل کاهش هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی باشد (Matsunaga, 2009).

در اوایل دوره غوطه‌وری، جذب آب گونه صنوبر دلتوئیدس در اثر تیمار با نانو سیلیس کاهش یافت، اما پس از گذشت یک هفته جذب آب گونه صنوبر در اثر تیمار با نانو سیلیس افزایش یافت. البته اختلافات از نظر آماری معنی‌دار نبودند، اما در هر صورت برای همین اختلاف جزیی باید اذعان نمود که سطح نانو ذرات سیلیس دارای سه گروه شیمیایی هیدروکسی، هیدروژن متصل به گروه‌های هیدروکسی و گروه‌های سیلوکسان است. بنابراین ذرات مزبور آب دوست هستند، اگرچه گروه‌های سیلوکسان به تنهایی آب گریزند (Xanthos, 2005). اما اینکه چرا نانو سیلیس با دارا بودن خاصیت قطبی، در ساعات اولیه غوطه‌وری باعث کاهش جذب آب گونه صنوبر شده است، دلیل را می‌توان این گونه تحلیل کرد که گروه‌های هیدروکسیل نانو سیلیس با گروه‌های هیدروکسیل چوب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند و به تبع آن از مقدار گروه‌های هیدروکسیل قابل دسترس برای پیوند با مولکول‌های آب کاسته می‌شود. در

واقع یک نوع رقابت برای تشکیل پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب، گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب و گروه‌های هیدروکسیل نانو سیلیس اتفاق می‌افتد و نانو سیلیس از شانس مولکول‌های آب در این رقابت می‌کاهد (روحانی و همکاران، ۱۳۹۳). اما با افزایش زمان غوطه-وری آبشویی نانو ذرات سیلیس باعث شد تا جذب آب در نمونه‌های تیمار شده بیشتر از نمونه بدون تیمار گردد (Svegl, 2008).

دانسیته بحرانی نمونه‌های تیمار شده با نانو سیلیس به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه بدون تیمار افزایش یافت. دلیل افزایش دانسیته نمونه تیمار شده، دانسیته بالاتر نانو سیلیس (۲/۴ g/cm^3) در مقایسه با دانسیته گونه صنوبر دلتوئیدس (۰/۴ g/cm^3) می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در این خصوص پژوهشگرانی چون Taghiyari و همکاران (۲۰۱۲) و Rassam و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابهی دست یافتند.

منابع

اسمعیلی‌مقدم، س. و شمسیان، م. (۱۳۹۳) تاثیر اندازه و درصد ماده SiO_2 بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های هیبریدی پلی-پروپیلن-آرد چوب. دومین همایش ملی فن‌آوری‌های نوین در صنایع چوب و کاغذ، چالوس، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۳، ۱۵۷ صفحه.

حاتم‌زاده، ا.، قربانی، م. و بی‌پروا، پ. (۱۳۹۴) اثر پیش ماده سنتز نانوذرات اکسید روی به روش هیدروترمال بر ساختار و خواص فیزیکی چوب صنوبر. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۳۰(۳): ۴۶۶-۴۷۴.

حسین‌زاده، س.، قربانی، م. و بی‌پروا، پ. (۱۳۹۲) اثر نانو ذرات کلوئیدی سیلیس تولید شده از سبوس برنج بر ثبات ابعاد و جذب آب چوب صنوبر (*Populus deltoides*). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۸(۴): ۷۶۳-۷۷۳.

خطیب‌زاده، م.، محسنی، م. و مرادیان، س. (۱۳۸۹) بررسی رنگرزی پلی‌اتیلن ترفتالات مورد مصرف در الیاف با ماده رنگزای دیسپرس زرد ۱۱۴ در حضور یک افزودنی پلیمر شاخه‌ایی. نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۴(۳): ۲۵-۳۲.

روحانی، م.، کرد، ب.، مطیع، ن. و شرری، م. (۱۳۹۳) مطالعه رفتار زیست تخریب‌پذیری نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل الکل- نانو کریستال سلولز. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۵(۲): ۱-۱۳.

قربانی، م.، آقایی، ر. و بی‌پروا، پ. (۱۳۹۴) اثر تیمار ترکیبی نانو نقره کلوئیدی- گرمابی بر تغییرات وزن و ساختار شیمیایی چوب راش ایرانی. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، ۶(۱): ۱۰۹-۱۱۸.

ASTM. (1997). Standard methods for testing small clear specimens of timber. ASTM D0143.94 West Conshohocken PA: American Society for Testing and Materials.

Boshehrian, A. and Hosseini, P. (2011) Effect of nano-SiO_2 particles on properties of cement mortar applicable for ferrocement elements. CRL Letters, 2(1): 167-180.

British Standard 838, 5761, 1961, methods of test for toxicity of wood preservative to fungi.

Guyard, A., Persello, J., Boisvert, J.P. and Cabane, B. (2006) Relationship between the polymer/silica interaction and properties of silica composite materials. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 4(44): 1134–1146.

Hosseini, P., Booshehrian, A. and Farshchi, S. (2010) Influence of nano-SiO_2 addition on microstructure and mechanical properties of cement mortars for ferrocement. Journal of Transportation Research Record, 21(41): 15-20.

Matsunaga, H. (2009) Kiguchi and Philip. Microdistribution of copper-carbonate and iron oxide, nanoparticles in treated wood. Journal of Nanopart Research, 1(11): 1087–1098.

Parvinzadeh, M., Moradian, S., Rashidi, A. and Yazdanshenas, M.E. (2010) Surface characterization of polyethylene terephthalate/ silica nanocomposites. Applied Surface Science, 2(256): 2792-2802.

Rassam, Gh., Ghofrani, M., Taghiyari, H.R., Jamnani, B. and Khajeh, M.A. (2011) Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood. European Journal of Wood and Wood Products, doi: 10.1007/s00107-011-0590-7/

Sjostrom, E. (1993) Wood chemistry fundamentals and applications. Academic Press, San Diego, 293p.

Standard DIN 52176, September 1972.

Svegl, F. (2008) Suput-Strupi and Skrlep and Kalcher. The influence of aminosilanes on macroscopic properties of cement paste. Cement and Concrete Research, 1(38): 945-954.

Taghiyari, H.R. (2010) Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated Populus nigra. Wood Science and Technology, doi: 10.1007/s00226-010-0343-5/

Taghiyari, H.R., Enayati, A. and Gholamiyan, H. (2012) Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. Wood Science and Technology, doi: 10.1007/s00226-012-0506-7/

Xanthos, M. (2005) Functional fillers for plastics. Wiley, Weinheim.

Effect of Nano Sio_2 Solation on Physical, Mechanical and Morphological Properties of Popular *(Populus deltoids* L.*)*

Saeed Ismaeili Moghadam[1*], Behrouz Malekian[2], Sajad Akbari[3] and Shamsollah Sepahvand[4]

1) Graduated of M.Sc. Degree of Wood and Paper Industry, Zabol University, Zabol, Iran.
[*]Corresponding author Email Address: saeed.am17358@gmail.com.
2) Graduated of M.Sc. Degree of Wood and Paper Industry, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.
3) Graduated of M.Sc. Degree of Wood Product, Zabol University, Zabol, Iran.
4) M.Sc. Student, Wood Product, Zabol University, Zabol, Iran.

Date of Submission: 2014/07/08 Date of Acceptance: 2015/11/08

Abstract

This study was carried out in order to evaluate the effect of nano SiO_2 solation on physical, mechanical and morphological properties of popular *(Populus deltoids*). Test samples for physical and mechanical properties by using Immersion method in nano SiO_2 solation in laboratory temperature were saturated. Then, physical tests including basic density, volumetric shrinkage and swelling and water absorption according to ASTM standard and mechanical properties including impact strength, compression strength parallel to the grain, bending strength, modulus of elasticity and hardness were done on the treated and untreated samples respectively according to ISO, ASTM, B.S and DIN. The result showed that Treatment of the *Populus deltoids* with nano SiO_2 increased the basic density, water absorption, hardness, bending strength, modulus of elasticity and compression strength parallel to the grain. So that volumetric shrinkage and swelling and impact strength of treated samples was less than untreated samples. The results of statistical analyzes showed that between treated samples and without treatment for bending resistance, modulus of elasticity, hardness, impact strength, density and shrinkage and swelling tests there are significant differences at 95% confidence level but for compression strength parallel to the grain and water absorption tests there is not a significant difference.

Keywords: Nano SiO_2 solation, Dimensional stability, Physical and mechanical properties, Scanning electron microscopy.