

## اثر نانو ذرات سیلیس و ضخامت فیلم رنگ بر خواص فیزیکی پوشش‌های شفاف چوب

### چکیده

در این پژوهش تاثیر سطوح مختلف نانوذرات سیلیس و ضخامت فیلم رنگ بر خواص فیزیکی شفاف‌پوشه‌های نیم پلی استر و کیلر اعمال شده بر گونه‌های چوبی راش و نوئل بررسی شد. نانوذرات سیلیس با هدف افزایش خواص چسبندگی و بهبود رفتار ترشوندگی پوشش‌ها، به آن اضافه گردید. به این منظور نمونه‌های چوبی به ابعاد  $20 \times 8 \times 22$  mm تهیه شد. نانوذرات سیلیس با غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد آماده و به پوشش‌های نیم پلی استر و کیلر اضافه شد. به منظور بررسی تاثیر فیلم‌های با ضخامت مختلف بر خواص چسبندگی نانوپوشش‌ها، نمونه‌های چوبی توسط فیلم‌کش در دو سطح ضخامت  $160 \mu\text{m}$  و  $1120 \mu\text{m}$  پوشش‌دهی شد. آزمون مقاومت چسبندگی کششی مطابق با استاندارد ASTM D 4541 و آزمون مقاومت به خراش مطابق با استاندارد ASTM D 3359 انجام شد. زاویه تماس بر اساس استاندارد ASTM D 5946 اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار چسبندگی کششی مربوط به گونه راش پوشش داده شده با نیم پلی استر حاوی ۱٪ نانوذرات سیلیس و با ضخامت فیلم  $160 \mu\text{m}$  بود. افزایش نانوذرات تا ۲٪، تاثیر منفی بر خواص چسبندگی داشت. افزایش ضخامت فیلم رنگ، اثر معنی‌داری بر کاهش خواص چسبندگی داشت. در بررسی زاویه تماس نتایج نشان داد افزایش نانوذرات سیلیس تا سطح ۲٪ باعث افزایش قابل توجه زاویه تماس سطح نمونه‌ها شد. بدین ترتیب استفاده از نانوذرات سیلیس تا سطح ۱٪ موجب بهبود خواص چسبندگی پوشش و تا سطح ۲٪ موجب بهبود رفتار ترشوندگی آن گردید. همچنین اعمال فیلم‌های با ضخامت کمتر سبب افزایش خواص چسبندگی گردید.

**واژگان کلیدی:** نانوذرات سیلیس، ضخامت فیلم، خواص چسبندگی، زاویه تماس.

جواد عاشوری<sup>۱</sup>

محمد غفرانی<sup>۲</sup>

انوشه فاضلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکترا، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

[anushehfazeli3731@gmail.com](mailto:anushehfazeli3731@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹

### مقدمه

یکی از شاخص‌ترین فناوری‌های سده اخیر نانوفناوری است؛ زیرا با اتکا بر آن می‌توان از نظر اقتصادی محصولات جدید یا بهینه شده را با حداقل مسائل زیست محیطی و مصرف منابع تهیه کرد. در سال‌های اخیر پوشش‌های

پلیمری تقویت شده با نانومواد، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. استفاده از ذرات غیرآلی در مقیاس نانو جذابیت ویژه‌ای دارد؛ چرا که سبب می‌شود خواص پلیمر از طریق کنترل میزان برهم‌کنش بین پلیمر و نانوپرکننده‌ها بهبود یابد [۱]. در صورت کنترل مشکل

انباشت، دلیل اصلی استفاده از نانومواد مساحت سطح بالای آنها است که در صورت عدم انباشت می‌تواند در ماتریس پلیمری مواد باعث انتقال تنش‌ها و بهبود خواص مکانیکی پوشش شود [۲]. نانوذرات، این امتیاز را دارند که می‌توانند به طور موثرتری در بستر پوشش تثبیت شوند و خطر نشت به محیط اطراف کمتر شده و در نتیجه به خطرات زیست محیطی کمتری منجر می‌شوند. پوشش‌های بر پایه پلیمر مانند اورتان، پلی وینیل کلراید، آکریلیک، اپوکسی، سیلیکون و نیتروسولوز کاربرد گسترده‌ای داشته و اتصال بسیار خوبی فراهم می‌آورد و از سطوح در مقابل تخریب شیمیایی و مکانیکی محافظت می‌کند [۳]. مشکل اساسی مصرف نانوذرات غیرآلی، پراکنش ناهمگن آنها در بسترهای آلی و انباشت نانوذرات است و می‌بایست از جدایش فاز آنها جلوگیری به عمل آید. گذشته از آن، غلظت زیاد نانوذرات ممکن است منجر به افزایش ویسکوزیته شود و در کارایی پوشش اشکال ایجاد کند [۱]. در این راستا تحقیقات Othman و همکاران (۲۰۱۲) روی پراکنش و تثبیت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به کار رفته در پوشش‌ها، حاکی از آن بود که با استفاده از همگن‌ساز اولتراسونیک، می‌توان نانوذرات را به طور مناسب پراکنده کرده و از انباشت آنها در سوسپانسیون‌ها جلوگیری به عمل آورد [۴]. افزودن نانوذرات غیرآلی مانند دی اکسید تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ )، دی اکسید زیرکونیوم ( $\text{ZrO}_2$ )، اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) و دی اکسید سیلیسیم ( $\text{SiO}_2$ ) به عنوان تقویت‌کننده به ماتریس‌های آلی سبب بهبود عملکرد مکانیکی و بهبود خواص جذب آب پوشش‌ها شده است. یکی از نانوذرات بسیار متداول در صنعت پوشش، نانوذرات دی اکسید سیلیسیم ( $\text{SiO}_2$ ) یا به طور تجاری سیلیکا است [۲]. نانوذرات سیلیکا به دلیل تخلخل زیاد و سطح ویژه بالا، می‌تواند به عنوان عامل تقویت‌کننده و پرکننده به کار رود [۵] و [۶]. استفاده از نانوذرات سیلیس به دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا و در نتیجه افزایش برهم‌کنش بین نانوذره و بستر پلیمری، خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نانوذرات سیلیس به منظور بهبود خواصی همچون چسبندگی، سفتی، چقرمگی و سختی پوشش‌ها استفاده می‌شود. مطالعات Hsieh و همکاران

(۲۰۱۱) حاکی از آن بود که افزودن نانوذرات سیلیس به رزین اپوکسی موجب افزایش چقرمگی آن گردید [۷]. Bauer و Mehnert (۲۰۰۵) اعلام کردند که فرمولاسیون پوشش‌های تقویت شده با نانوذرات سیلیکا، خواص رئولوژیک مطلوبی داشته و روی زیرآیندهایی همچون فیلم‌های پلیمری، کاغذ، فلزات، چوب و محصولات مهندسی شده چوب استفاده می‌شوند [۸]. چوب در طول زمان مواد استخراجی فرار آزاد کرده و می‌تواند تغییرات ابعادی برگشت‌ناپذیر داشته باشد. در شرایط دمایی، رطوبتی و نوری خاص، پوشش‌های محافظ-تزیینی چوب، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. پوشش‌های شفاف رنگ و بافت طبیعی چوب را جلوه می‌دهد، اما مقاومتی در برابر اشعه فرابنفش نور خورشید نداشته و باعث تخریب زیر لایه چوبی و تباه کردن پوشش می‌شود. پوشش‌های چوبی باید در برابر نور، تغییرات اقلیمی و تخریب مکانیکی مانند خراش، سایش، ضربه و همچنین عوامل شیمیایی مقاومت کند [۹]. با پوشش‌دهی چوب با انواع اندودها، می‌توان از نفوذ آب به درون چوب جلوگیری کرد؛ که این امر طول عمر چوب و محصولات چوبی را افزایش می‌دهد. Mastouri و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر نانوذرات دی اکسید سریم و نانوسیلیس را بر خواص فیزیکی پوشش پلی اورتان اعمال شده بر گونه چوبی نوئل بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از دی اکسید سریم باعث افزایش مقاومت به چسبندگی و خواص سطحی پوشش پلی اورتان بر روی چوب اصلاح حرارتی شده می‌شود [۱۰]. Khojasteh Khosro و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه تاثیر نانوذرات اکسید روی بر تغییر رنگ و مقاومت چسبندگی پوشش پلی اورتان به سطح چوب ملج به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین پراکنش نانوذرات در پوشش حاوی ۱ درصد وزنی نانو به دست می‌آید [۱۱]. Cristea و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات رنگ، براقیت و ضخامت پوشش آکریلیک تقویت شده با نانودی اکسید تیتانیوم و اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند. کمترین تغییرات رنگ و براقیت در پوشش‌های حاوی نانوذرات اکسید روی مشاهده شد. در مورد تغییرات ضخامت پوشش بعد از هوازگی، کمترین میزان ضخامت از دست رفته در پوشش حاوی ۶ درصد نانواکسید روی مشاهده

ضخامت‌های مختلف نانوپوشش‌ها بر کارایی چسبندگی پوشش‌های شفاف چوبی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد

نمونه‌های چوبی از الوارهای راش (*Fagus orientalis*) با چگالی ظاهری  $0.60 \text{ g/cm}^3$  از منطقه شمال کشور و الوارهای نوتل (*Picea abies*) با چگالی ظاهری  $\text{g/cm}^3$  ۰/۳۷ از چوب‌های وارداتی کشور روسیه تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده از الوار راش، بدون دل‌قرمزی بود. خشک شدن اولیه نمونه‌ها در هوای آزاد به مدت ۶ هفته انجام شد. پس از آن، نمونه‌ها با دستگاه‌های اهر نواری و کفرند برش داده شد. سپس دستگاه گندگی برای رسیدن ضخامت نمونه‌ها تا  $20 \text{ mm}$  استفاده شد. ابعاد نمونه‌ها  $220 \times 80 \times 20 \text{ mm}$  ( $L \times R \times T$ ) تعیین شد. رطوبت تعادل نمونه‌ها ۸٪ لحاظ گردید که برای رسیدن به این درصد رطوبت، نمونه‌ها در اتاق کلیما با دمای  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  و رطوبت نسبی  $42 \pm 5\%$  قرار داده شد [۱۸]. سپس جرم مخصوص نمونه‌ها در رطوبت ۸٪ اندازه‌گیری گردید. سطوح همه نمونه‌ها در دو مرحله توسط دستگاه سنباده لرزان دستی - برقی کارگاهی با وزن ۲۵۰۰ گرم و با تعداد نوسان ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و در جهت الیاف چوب، سنباده شد. در مرحله اول از کاغذ سنباده ۱۰۰ برای از بین بردن داغی دستگاه گندگی و در مرحله بعدی کاغذ سنباده ۲۷۰ برای دستیابی به سطحی هموار و یکنواخت مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از نانوذرات سیلیس به صورت پودر سفید رنگ محصول شرکت US Research Nanomaterials و پوشش‌های سیلر، کیلر بر پایه رزین آلکید و نیترات سلولز و نیم پلی استر بر پایه رزین آلکید استفاده شد. همه پوشش‌های مورد استفاده در این تحقیق ساخت شرکت پارس اشن بود. در جدول ۱ مشخصات نانوذرات سیلیس ارائه شده است.

گردید. اما به طور کلی پوشش‌های تقویت شده با نانو، افت ضخامت کمتری نشان داد [۱۲]. Malaki و همکاران (۲۰۱۸) مقاومت به سایش و خراش شفاف‌پوشه پلی اورتان آکرلیک پایه تقویت شده با دو نوع نانوسیلیکای فیوم و رسوبی را مطالعه کردند. بر طبق نتایج آنها، افزودن نانوسیلیکا به بستر پلیمری، سبب افزایش اتصال بین شفاف‌پوشه و زیرآبند شده و مقاومت به سایش و خراش افزایش یافت [۱۳]. مطالعات Pagnola و همکاران (۲۰۱۸) حاکی از آن بود که نانوذرات آلومینا و سیلیکا، دمای تبدیل شیشه‌ای پوشش پلی اورتان اعمال شده بر چوب را تغییر داده و سبب کاهش تحرک زنجیره‌های پلیمری در سطح مشترک نانوذرات گردیدند [۱۴]. Bomba و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر پوشش‌دهی سطوح سوزنی‌برگان و پهن‌برگان با پلی اورتان به این نتیجه رسیدند که ضخامت فیلم پلی اورتان اثر قابل توجهی بر کیفیت پوشش نداشت [۱۵]. محققان در سراسر دنیا تلاش کرده‌اند سطوحی تولید کنند که انرژی سطحی آنها بسیار کم باشد. انرژی سطحی در چوب از عوامل موثر بر ترشوندگی سطح است و کاهش آن، کاهش ترشوندگی را در پی دارد [۱۶]. با استفاده از نانوذرات مختلف می‌توان سطوحی با آب‌گریزی بالا تولید کرد. در این راستا نتایج تحقیقات Pandit و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ایجاد پوشش‌های خودتمیزشونده و ابرآب‌گریز روی چوب، بیانگر آن بود که با استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می‌توان پوشش‌های ابرآب‌گریز با زاویه تماس بالا ایجاد کرد [۱۷]. هدف از پژوهش حاضر استفاده از نانوذرات سیلیس با غلظت‌های مختلف و تعیین میزان بهینه نانوذرات در پوشش‌های شفاف چوبی و اثر آنها بر خواص چسبندگی و رفتار ترشوندگی پوشش‌ها بود. از آنجایی که استفاده از فیلم‌های با ضخامت کمتر برای پوشش‌دهی سطوح چوبی موجب کاهش هزینه‌های تولید شده و از دیدگاه اقتصادی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود، در این پژوهش تاثیر

جدول ۱- مشخصات فنی نانوسیلیس

کد محصول	(نانوسیلیس آمایش شده آب‌گریز) Aerosil R 972
میانگین اندازه ذره	16 nm
میزان کربن	0/6-1/2/.
سطح ویژه	110±20 m <sup>2</sup> /g
دانسیته	g/l ۰/۵
رطوبت	≤ %0/5
pH	3/6-4/4
میزان SiO <sub>2</sub>	≥ %99/8

## آماده‌سازی نانو پوشش‌ها

برای تولید نانو پوشش‌ها، ابتدا درصد ماده خشک پوشش‌ها مطابق با استاندارد ASTM D 2832 در آون با دمای ۱۰۵ °C و به مدت ۳ ساعت محاسبه شد [۱۹]. نانوذرات سیلیس در چهار غلظت ۰ (نمونه شاهد)، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد نسبت به ماده جامد شفاف‌پوشه‌ها توزین و به حلال (تینر ۱۰۰۰۰ فوری) اضافه شد. همه نمونه‌ها، پوشش‌دهی شد و منظور از نمونه شاهد، نمونه پوشش خورده بدون افزودن نانوذرات بود. شفاف‌پوشه نیم پلی استر دو جزئی بوده و به میزان ۱۰٪ سخت‌کننده به آن اضافه گردید. سیلر و کیلر هواخشک بوده و نیازی به استفاده از سخت‌کننده نداشت. میزان مصرف تینر در شفاف‌پوشه سیلر ۲

برابر و در نیم پلی استر ۰/۵ برابر و در کیلر ۱/۵ برابر جرم پوشش بود. پوشش‌ها پس از آماده‌سازی در ظرف‌های دربسته از جنس آلومینیوم نگاه‌داری شد تا از خروج تینر جلوگیری به عمل آید. به منظور اختلاط بهتر نانوذرات و پراکنده شدن موثرتر آنها، با استفاده از دستگاه همگن‌ساز اولتراسونیک Hielscher مدل UP 200s با فرکانس ۵۰Hz و توان ۲۰۰ W به مدت ۳۰ دقیقه (در دو بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای) و همزن مکانیکی Ika-werke مدل RW16basic با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۴ ساعت، پراکنده‌سازی انجام شد. جدول ۲ مربوط به مشخصات پوشش‌ها قبل از افزودن نانوذرات بود.

جدول ۲- مشخصات پوشش‌ها

پوشش	pH	ماده جامد (درصد)	گرانروی (cP)	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	میزان حلال (درصد)
سیلر	۲/۹	۲۶/۵۸	۱۴۰	۰/۹۵	۲ برابر
نیم پلی‌استر	۳/۸	۳۷/۶۸	۱۳۲	۰/۹۶	۰/۵ برابر
کیلر	۳/۴	۲۷/۵۹	۲۰۰	۰/۹۹	۱/۵ برابر

پوشش داده شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی نگاه‌داری شد.

آزمون چسبندگی کششی: آزمون مقاومت چسبندگی کششی<sup>۱</sup> طبق استاندارد ASTM D 4541 انجام شد. ابتدا با استفاده از چسب دو جزئی اپوکسی، دالی‌های آلومینیومی با قطر ۲۰ mm روی سطح نمونه‌های رنگ شده چسبانده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، دالی‌ها با اعمال نیرو به صورت یکنواخت توسط دستگاه چسبندگی اتوماتیک Posi Test AT جدا شده و مقادیر مقاومت

## پوشش‌دهی نمونه‌ها

به دلیل یکنواخت نبودن ضخامت فیلم رنگ در روش‌های رنگ‌کاری با پیستوله و قلم‌مو، پوشش‌دهی نمونه‌ها به وسیله دستگاه فیلم‌کش رنگ مدل BGD 206 محصول شرکت Biuged ساخت کشور چین صورت گرفت. پوشش‌های سیلر- نیم پلی استر و سیلر- کیلر بر روی نمونه‌ها اعمال شد. زمان مورد نیاز برای خشک شدن پوشش‌ها در شرایط آزمایشگاهی ۱۵ تا ۲۰ دقیقه بود؛ اما برای تثبیت بهتر آن بر روی سطوح چوبی، نمونه‌های

<sup>۱</sup> - Pull off

محل آزمایش به کمک ذره‌بین خوانده و با مقایسه با جدول استاندارد (جدول ۳)، میزان از دست دادن چسبندگی گزارش گردید. تکرار مشاهدات، ۶ مرتبه در نظر گرفته شد. درصد از دست دادن چسبندگی به صورت رابطه زیر گزارش شد (رابطه ۱).


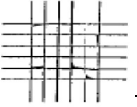



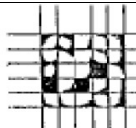

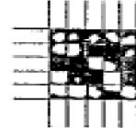
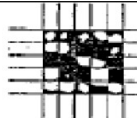
$$X/25 \times 100 = \text{درصد از دست دادن چسبندگی (۱)}$$

که  $X$ ، متوسط تعداد مربع‌هایی که پوشش آن جدا شده است، می‌باشد.

گزارش گردید. تکرار مشاهدات، ۶ مرتبه در نظر گرفته شد.

آزمون مقاومت به خراش: آزمون Cross cut طبق استاندارد ASTM D 3359 انجام شد. در این روش، خطوط موازی با فاصله یک میلی‌متر روی سطوح رنگ شده رسم شده و شش خط عمود بر خطوط اصلی ترسیم شد. در نتیجه شبکه‌ای متشکل از ۲۵ مربع ایجاد شد. سپس چسب نواری مخصوص آزمون روی این مربع‌ها چسبانیده و با یک پاک‌کن مخصوص فشرده شد. سپس نوار با یک حرکت محکم پیوسته جدا گردید. وضعیت

جدول ۳ - میزان از دست دادن چسبندگی

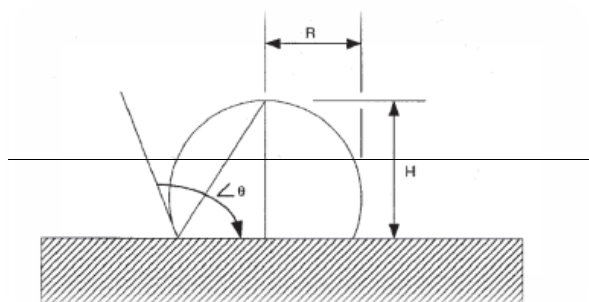
طبقه‌بندی نتایج آزمون چسبندگی cross cut		
سطح ناحیه جدا شده که نشانگر میزان کنده شدن پوشش در شش خراش متقاطع است	درصد مساحت جدا شده	طبقه‌بندی
	۰٪	۵B
	کمتر از ۵٪	۴B
 	۵-۱۵٪	۳B
 	۱۵-۳۵٪	۲B
 	۳۵-۶۵٪	۱B
	بیش از ۶۵٪	۰B

D5946 با رابطه زیر اندازه‌گیری شد. زاویه تماس در لحظه رها سازی قطره روی سطح (صفر ثانیه) اندازه‌گیری و گزارش گردید. تکرار مشاهدات، ۵ مرتبه در نظر گرفته شد. شکل ۱ نحوه محاسبه زاویه تماس رانشان می‌دهد.

آزمون زاویه تماس قطره آب: زاویه تماس در سطح نمونه‌ها با روش قطره گذاری محلول آب مقطر با حجم قطره ۵ میکرولیتر و به صورت دستی و با دستگاه Kruss G 10 ساخت کشور آلمان و بر اساس استاندارد ASTM

$$\theta = 2 \arctan (H/R) \quad (۲)$$

( $\theta$  = زاویه تماس،  $H$  = ارتفاع قطره،  $R$  = نصف عرض قطره)



شکل ۱- نحوه محاسبه زاویه تماس

### اندازه‌گیری زبری سطح:

زبری سطح با استفاده از دستگاه زبری‌سنج Surface Roughness Tester ساخت کشور چین مدل SR9210 طبق استاندارد ISO4287 در جهت عمود بر الیاف به روش پروفیلومتری اندازه‌گیری شد. از پروفیلومتر برای اندازه‌گیری مقادیر زبری سطح متوسط ( $R_a$ ) و میانگین ۱۰ نقطه شامل ۵ قله و ۵ دره ( $R_z$ ) استفاده شد. تکرار مشاهدات، ۶ مرتبه در نظر گرفته شد.

(۳): زبری سطح متوسط

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

(۴): میانگین ارتفاع ناهمواری‌های ۱۰ نقطه پروفیل

( $n=5$ )

$$R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z(n) \max \quad z(n) \min$$

طرح آماری: نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از آزمون مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)<sup>۱</sup> در نرم‌افزار مینی تب ۱۷ با سطح اعتماد ۹۵٪ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین داده‌ها با گروه‌بندی توکی مقایسه شد.

### نتایج و بحث

تحلیل واریانس نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد، اثر مستقل گونه چوبی با سطح اعتماد ۹۵٪ بر چسبندگی کششی معنی‌دار بود. گونه چوبی راش در

مقایسه با نوئل، چسبندگی کششی بالاتری داشت. همچنین در گروه‌بندی توکی، گونه‌های راش و نوئل به ترتیب در گروه‌های جداگانه قرار گرفت. جدول ۴، میانگین کل نتایج حاصل از بررسی چسبندگی کششی و میزان از دست دادن چسبندگی نمونه‌ها می‌باشد. عامل گونه چوبی اثر قابل ملاحظه‌ای نیز بر درصد از دست دادن چسبندگی نمونه‌ها نشان داد. درصد از دست دادن چسبندگی در گونه چوبی نوئل در مقایسه با راش، بیشتر بود. مقاومت اتصال طبیعی نانوفیلم‌های اعمال شده بر یک زیرآیند زبر، وابستگی زیادی به پارامترهای هندسی آن دارد [۲۰]. کیفیت نهایی پوشش اعمال شده بر چوب متأثر از چندین عامل از جمله گونه چوبی، زبری، دانسیته و برهم‌کنش بین چوب و زیرآیند است [۲۱]. از جمله عواملی که سبب تفاوت بین گونه‌های مختلف می‌شوند، می‌توان به ساختمان سلولی، ترکیبات چوب، بافت و مواد استخراجی آن اشاره کرد [۲۲]. طبق یافته‌های Budaki (۲۰۰۳) مقاومت اتصال در پهن‌برگان زیاد و در سوزنی‌برگان کمتر است [۲۳]. سوزنی‌برگان در مقایسه با پهن‌برگان، با داشتن دانسیته کمتر و سطوح با زبری کمتر، چسبندگی کششی کمتری دارند [۲۴]. گونه چوبی راش با دانسیته بیشتر نسبت به گونه نوئل، مقاومت چسبندگی کششی بالاتری نشان داد. نفوذ رنگ ارتباط مستقیمی با نفوذپذیری زیرآیند چوبی دارد. ضریب نفوذپذیری چوب به ساختمان آناتومی و به ویژه ارتباط موثر منافذ در آن بستگی دارد [۲۵]. اندازه حفرات سلول‌های چوبی، درجه نفوذپذیری آن را تعیین می‌کند. نفوذپذیری تابع تخلخل و

<sup>1</sup> - General Linear Model

[۲۷]. گونه راش با داشتن نفوذپذیری بیشتر در مقایسه با نوئل، مقاومت چسبندگی بالاتری نشان داد. این پدیده را می‌توان به نوع مواد استخراجی سوزنی‌برگان و نیز نفوذپذیری کم آنان نسبت داد [۲۸].

گونه چوبی می‌باشد و در پهن‌برگان و سوزنی‌برگان و در جهات مختلف چوب متغیر است [۲۶]. طبق یافته‌های Ghofrani و همکاران (۲۰۱۶)، نفوذ پوشش در گونه چوبی گردو به دلیل داشتن حفرات آوندی بزرگ در مقایسه با گونه کاج بیشتر و مقاومت چسبندگی بالاتر بود

جدول ۴- نتایج مقایسه گونه چوبی، نانوسیلیس، ضخامت فیلم و نوع پوشش

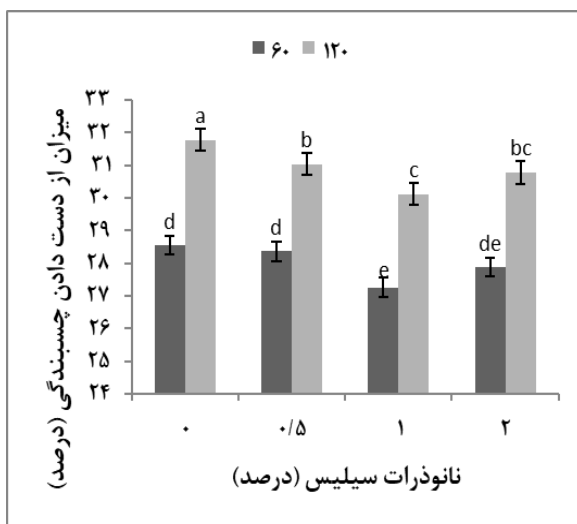
منابع تغییرات	سطوح متغیر	مقاومت چسبندگی کششی (مگاپاسکال) از دست دادن چسبندگی (درصد)	
		میانگین	گروه توکی
گونه چوبی	راش	۴/۲۹	a
	نوئل	۲/۹۲	b
	۰	۳/۴۶	a
نانوسیلیس	٪۰/۵	۳/۵۱	a
	٪۱	۳/۸۰	a
	٪۲	۳/۶۵	a
ضخامت فیلم	۶۰۰ μm	۳/۸۲	a
	۱۲۰ μm	۳/۳۹	b
	نیم پلی‌استر	۳/۷۵	a
نوع پوشش	کیلر	۳/۴۶	b
		۳۲/۵۹	a

همکاران (۲۰۱۴)، sow و همکاران (۲۰۱۰) و یافته‌های Ershad Langroudi و Azadi (۲۰۱۷) نیز موید این مطلب بود [۳۰] و [۳۱] و [۳۲]. افزایش زبری سطح، سبب افزایش زاویه تماس شده و در اثر این پدیده، ترشوندگی کاهش یافته و نهایتاً کاهش مقاومت چسبندگی کششی نمونه‌ها را در پی داشت. در غلظت‌های ۰ و ٪۰/۵ اختلاف معنی‌داری در مقادیر زبری سطح (Ra و RZ) مشاهده نشد. همانطور که نتایج نشان داد، در نانوپوشش ٪۱، زاویه تماس کمتر از نانوپوشش ٪۲ بود و در بررسی مقاومت چسبندگی کششی نیز نانوپوشش ٪۱ در مقایسه با نانوپوشش ٪۲ مقاومت بالاتری داشت؛ زیرا در تیمار نانو ٪۱ زاویه تماس کمتری مشاهده شد و در نتیجه چسبندگی کششی بالاتر بود. افزودن نانوپرکننده‌ها، دانسیته شبکه زنجیره‌های پلیمری در ماتریس را افزایش می‌دهد. مقاومت چسبندگی با افزایش دانسیته شبکه شفاف‌پوشه افزایش می‌یابد [۳۳]. تشکیل اینترفاز عمدتاً متأثر از عدم تحرک زنجیره‌های پلیمری در قسمت سطح مواد پرکننده است [۳۴] و [۳۵]. سفتی کامپوزیت در

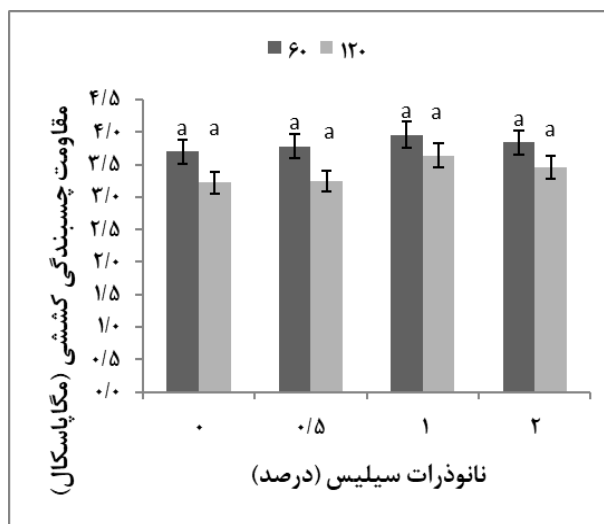
در بررسی تاثیر مستقل نانوذرات سیلیس بر مقاومت چسبندگی کششی، بیشترین میزان این مقاومت هنگام افزودن ٪۱ نانوذره مشاهده شده و با افزایش تا ٪۲ از چسبندگی کششی کاسته شد. کمترین چسبندگی کششی در نمونه‌های شاهد به دست آمد. نانوذرات سیلیس اثر معنی‌داری بر درصد از دست دادن چسبندگی داشت. با افزایش درصد نانوسیلیس تا ٪۱، درصد از دست دادن چسبندگی نمونه‌ها کاهش یافته است؛ اما در غلظت ٪۲ میزان از دست دادن چسبندگی، افزایش یافت. Rahman و Padavettan (۲۰۱۲) اظهار داشتند که پراکنش خوب و توزیع مناسب تقویت‌کننده‌ها در بستر پلیمری در فصل مشترک پلیمر- تقویت‌کننده، انتقال تنش را بهبود داده و نهایتاً سبب افزایش مقاومت نانوکامپوزیت می‌شود [۲۹]. در پژوهش حاضر با بررسی نتایج مربوط به زبری سطح پوشش‌های اعمال شده، بیشترین زبری سطح در نانوپوشش ٪۲ مشاهده شد (جدول ۵). استفاده از نانوذرات سیلیس سبب افزایش معنی‌داری در زبری سطح نمونه‌ها گردید. در این خصوص تحقیقات Labbani Motlagh و

فیلم، کاهش در چسبندگی کششی و مقاومت به خراش را در پی داشت. در حالت کلی، کمترین میزان چسبندگی کششی و مقاومت به خراش در گونه نوئل با ضخامت فیلم ۱۲۰ میکرومتر مشاهده شد. همانطور که در شکل ۲-الف مشخص شده است، در پوشش‌های با ضخامت ۶۰ و ۱۲۰ میکرومتر، افزایش غلظت نانوذرات سیلیس تا ۱٪، سبب افزایش مقاومت چسبندگی پوشش گردیده است. در خصوص میزان از دست دادن چسبندگی نیز، در پوشش‌های با ضخامت ۶۰ و ۱۲۰ میکرومتر، با افزایش غلظت نانوذرات سیلیس تا ۱٪، کاهش در مقادیر از دست دادن چسبندگی مشاهده شد؛ به عبارتی بیشترین مقاومت به خراش در نانوپوشش‌های با ضخامت ۶۰ میکرومتر و حاوی ۱٪ نانوسیلیس به دست آمد (شکل ۲-ب).

فصل مشترک پلیمر- نانوسیلیکا که منطقه اینترفاز نام دارد، از فاز پلیمری بیشتر است. اینترفاز، هنگامی توسعه می‌یابد که فصل مشترک بسیار خوبی بین پلیمر و نانوسیلیکا ایجاد شده باشد [۳۵]. انتظار می‌رود عدم تحرک زنجیره‌های پلیمری زیرآیند در منطقه اینترفاز، مقاومت چسبندگی و اتصال بین شفاف‌پوشه و زیرآیند را به علت مهار شدن زنجیره‌ها در سطح افزایش دهد [۲۹]. نتایج بیانگر اثر معنی‌دار ضخامت فیلم رنگ بر مقاومت چسبندگی کششی و درصد از دست دادن چسبندگی نمونه‌ها بود. با افزایش ضخامت فیلم رنگ، چسبندگی کششی و درصد از دست دادن چسبندگی پوشش‌ها، کاهش یافت. پوشش‌های با ضخامت ۶۰ میکرومتر در مقایسه با ۱۲۰ میکرومتر اختلاف قابل توجهی نشان دادند. در هر دو گونه چوبی راش و نوئل، افزایش ضخامت



ب



الف

شکل ۲- اثر نانوذرات سیلیس و ضخامت فیلم بر (الف) چسبندگی کششی و (ب) درصد از دست دادن چسبندگی

شکل می‌گیرد که برهم‌کنش بین مولکول‌های پلیمر- زیرآیند وجود داشته باشد. صورت‌بندی<sup>۳</sup> زنجیره‌های مولکول‌های پیوند دهنده در سطح زیرآیند با صورت‌بندی مولکول‌های بطن<sup>۴</sup> فیلم متفاوت است. تحرک زنجیره‌های اتصال داده شده در سطح محدودتر از زنجیره‌های بطن

فیلم‌های با ضخامت بیشتر به طور معکوس بر اتصال زیرآیند و فیلم اثر گذارند. زنجیره‌های پیوند دهنده در سطح، دو نوع برهم‌کنش دارند: (۱) چسبیدن به سطح زیرآیند با نیروهای اتصال<sup>۱</sup> و (۲) متصل شدن به زنجیره-های درون فیلم با نیروهای چسبندگی<sup>۲</sup>. اتصال، هنگامی

<sup>3</sup>- Conformation

<sup>4</sup>- Bulk

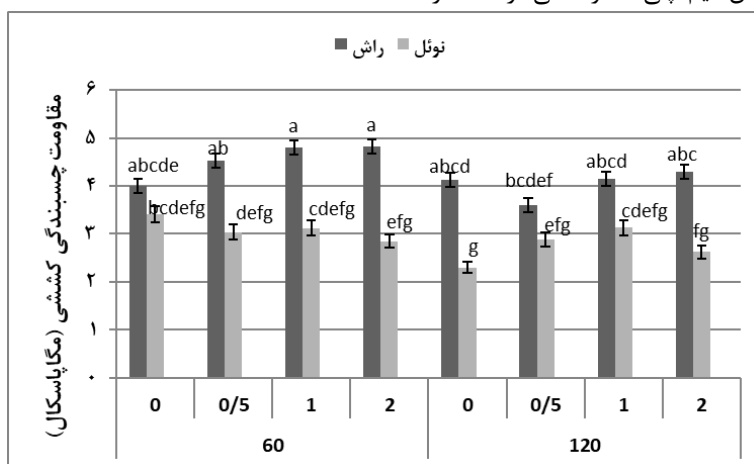
<sup>1</sup>- Adhesion forces

<sup>2</sup>- Cohesion forces

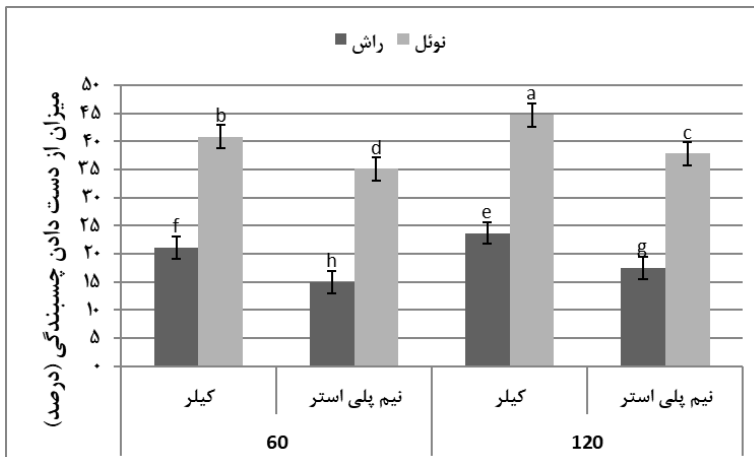


شیمیایی آن است. به دلیل استفاده از سخت‌کننده در پوشش نیم پلی استر، واکنش‌های پلیمریزاسیون این پوشش روی سطح چوب تشکیل شده و کامل می‌شود. در نتیجه پیوند قوی‌تری با چوب ایجاد می‌کند [۳۷]. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، اثر متقابل گونه چوبی، ضخامت فیلم و درصد نانوسیلیس بر چسبندگی کششی نمونه‌ها معنی‌دار بود؛ به طوری که مقاومت چسبندگی، وابسته به ترکیبی از گونه چوبی، ضخامت فیلم و درصد نانوسیلیس بود. اثر متقابل گونه چوبی، ضخامت فیلم و نوع پوشش بر درصد از دست دادن چسبندگی معنی‌دار بود؛ به این معنا که درصد از دست دادن چسبندگی پوشش‌ها، وابسته به سه عامل گونه چوبی، ضخامت فیلم و نوع پوشش می‌باشد (شکل ۴).

فیلم بوده و نیز دمای تبدیل شیشه‌ای در فصل مشترک بیشتر از بطن فیلم است. با کاهش ضخامت فیلم، سهم زنجیره‌ها در فصل مشترک زیاد می‌شود. در فیلم‌های نازک‌تر، زنجیره‌های پلیمر عمدتاً در اتصال نقش دارند. با افزایش ضخامت، زنجیره‌هایی که در اتصال نقش دارند، کشیده شده و این امر موجب کاهش انرژی برهم‌کنش شده و به طور طبیعی اتصال فیلم در زیرآیند کاهش می‌یابد [۳۶]. اثر مستقل نوع پوشش بر چسبندگی کششی و درصد از دست دادن چسبندگی معنی‌دار بود؛ به طوری که نمونه‌های پوشش داده شده با نیم پلی استر، سبب افزایش معنی‌داری در چسبندگی کششی و مقاومت به خراش گردیدند. گروه‌بندی توکی نیز موید این مطلب بود. طبق مشاهدات Talaei و همکاران (۲۰۱۸)، مقاومت چسبندگی بالای پوشش نیم پلی استر ناشی از ساختار



شکل ۳- اثر متقابل گونه چوبی، ضخامت فیلم و نانوسیلیس بر مقاومت چسبندگی کششی



شکل ۴- اثر متقابل گونه چوبی، ضخامت فیلم و نوع پوشش بر درصد از دست دادن چسبندگی

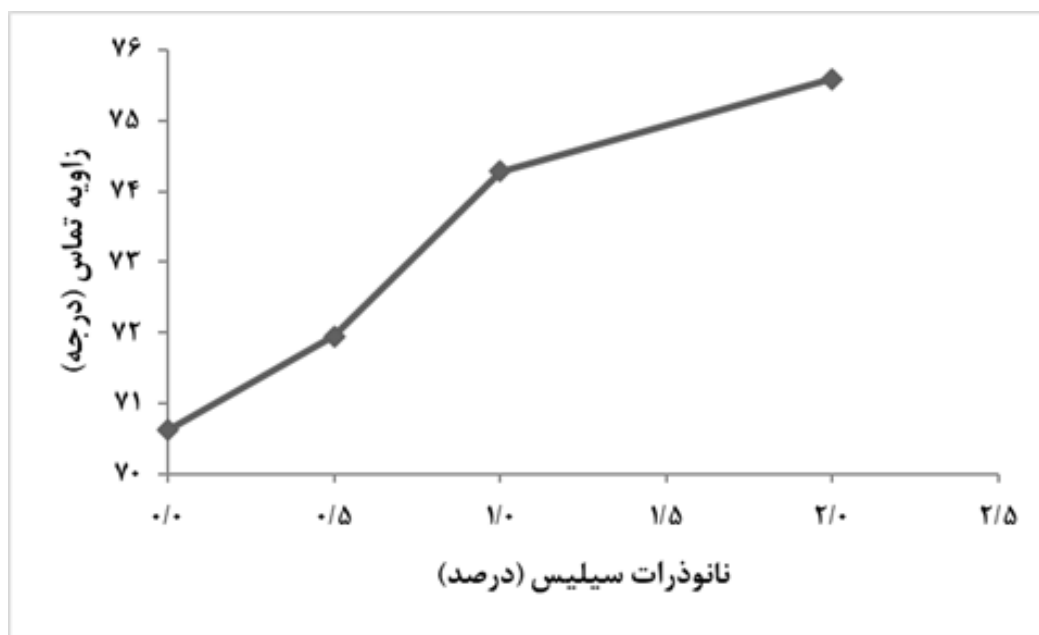
جدول ۵- اثر گونه چوب، نانوسیلیس و نوع پوشش بر روی زاویه تماس قطره آب و پارامترهای زبری

منابع تغییرات	سطوح متغیر	زاویه تماس (درجه)		شاخص زبری Ra (میکرومتر)		شاخص زبری Rz (میکرومتر)	
		میانگین	گروه توکی	میانگین	گروه توکی	میانگین	گروه توکی
گونه چوبی	راش	۷۳/۳۸	a	۴/۲۴	a	۱۹/۳۱	a
	نوئل	۷۲/۸۴	a	۳/۱۱	b	۸/۸۰	b
	*	۷۰/۶۲	d	۳	c	۱۲/۸۷	c
نانوسیلیس	۰/۵٪	۷۱/۹۵	c	۳/۱۲	c	۱۳/۲۰	c
	۱٪	۷۴/۲۸	b	۴/۰۵	b	۱۴/۳۱	b
	۲٪	۷۵/۵۹	a	۴/۵۵	a	۱۵/۸۳	a
پوشش	نیم پلی استر	۷۳/۲۳	a	۳/۷۲	a	۱۴/۱۵	a
	کیلر	۷۲/۹۸	a	۳/۶۴	a	۱۳/۹۷	a
	راش×نانو ۰٪	۷۰/۸۱	de	۳/۵۴	b	۱۸	c
گونه چوبی×نانوسیلیس	راش×نانو ۰/۵٪	۷۲/۴۸	cd	۳/۵۶	b	۱۸/۲۵	c
	راش×نانو ۱٪	۷۴/۱۵	bc	۴/۷۱	a	۱۹/۴۲	b
	راش×نانو ۲٪	۷۶/۰۶	a	۵/۱۷	a	۲۱/۵۷	a
	نوئل×نانو ۰٪	۷۰/۴۱	e	۲/۴۶	c	۷/۷۵	f
	نوئل×نانو ۰/۵٪	۷۱/۴۱	de	۲/۶۸	c	۸/۱۶	f
	نوئل×نانو ۱٪	۷۴/۴۰	ab	۳/۴۰	b	۹/۲۱	e
	نوئل×نانو ۲٪	۷۵/۱۲	ab	۳/۹۲	b	۱۰/۱۰	d
گونه چوبی×پوشش	راش×نیم پلی استر	۷۳/۷۶	a	۴/۲۸	a	۱۹/۳۸	a
	راش×کیلر	۷۲/۹۹	ab	۴/۲۱	a	۱۹/۲۴	a
	نوئل×نیم پلی استر	۷۲/۷۰	b	۳/۱۶	b	۸/۹۱	b
	نوئل×کیلر	۷۲/۹۸	ab	۳/۰۶	b	۸/۷۰	b
	نانو ۰٪×نیم پلی استر	۷۰/۸۴	bc	۳/۰۴	c	۱۳/۰۵	c
نانوسیلیس×پوشش	نانو ۰/۵٪×نیم پلی استر	۷۲/۲۱	b	۳/۱۶	c	۱۳/۲۵	c
	نانو ۱٪×نیم پلی استر	۷۴/۳۱	a	۴/۰۹	ab	۱۴/۳۷	b
	نانو ۲٪×نیم پلی استر	۷۵/۵۵	a	۴/۶۰	a	۱۵/۹۲	a
	نانو ۰٪×کیلر	۷۰/۳۸	c	۲/۹۶	c	۱۲/۷۰	c
	نانو ۰/۵٪×کیلر	۷۱/۶۸	bc	۳/۰۸	c	۱۳/۱۶	c
	نانو ۱٪×کیلر	۷۴/۲۴	a	۴/۰۱	b	۱۴/۲۶	b
	نانو ۲٪×کیلر	۷۵/۶۳	a	۴/۵۰	ab	۱۵/۷۵	a
	راش×نانو ۰٪×نیم پلی استر	۷۱/۶۸	defg	۳/۵۸	de	۱۸/۱۰	d
	راش×نانو ۰/۵٪×نیم پلی استر	۷۲/۸۶	bcdef	۳/۶۱	d	۱۸/۳۰	cd
گونه چوبی×نانوسیلیس×پوشش	راش×نانو ۱٪×نیم پلی استر	۷۴/۴۰	abcd	۴/۷۴	ab	۱۹/۵۰	b
	راش×نانو ۲٪×نیم پلی استر	۷۶/۱۱	a	۵/۲۰	a	۲۱/۶۵	a
	راش×نانو ۰٪×کیلر	۶۹/۹۵	g	۳/۵۰	def	۱۷/۹۱	d
	راش×نانو ۰/۵٪×کیلر	۷۲/۱۰	cdefg	۳/۵۱	def	۱۸/۲۰	d
	راش×نانو ۱٪×کیلر	۷۳/۹۱	abcde	۴/۶۸	abc	۱۹/۳۵	bc
	راش×نانو ۲٪×کیلر	۷۶/۰۰	a	۵/۱۵	a	۲۱/۵۰	a
	نوئل×نانو ۰٪×نیم پلی استر	۷۰	fg	۲/۵۱	gh	۸	h
	نوئل×نانو ۰/۵٪×نیم پلی استر	۷۱/۵۶	defg	۲/۷۱	efgh	۸/۲۰	fgh
	نوئل×نانو ۱٪×نیم پلی استر	۷۴/۲۳	abcd	۳/۴۵	def	۹/۲۵	ef
	نوئل×نانو ۲٪×نیم پلی استر	۷۵/۰۰	ab	۴	bcd	۱۰/۲۰	e

h	۷/۵۰	h	۲/۴۲	fg	۷۰/۸۲	نوئل×نانو ۰/۰×کیلر
gh	۸/۱۳	fgh	۲/۶۵	efg	۷۱/۲۶	نوئل×نانو ۰/۵×کیلر
efg	۹/۱۷	defg	۳/۳۵	abc	۷۴/۵۸	نوئل×نانو ۰/۱×کیلر
e	۱۰	cd	۳/۸۵	ab	۷۵/۲۵	نوئل×نانو ۰/۲×کیلر

ورود رطوبت به آن جلوگیری به عمل می‌آورند [۳۲]. نتایج به دست آمده از آزمون زبری سطح نشان داد اثر درصد نانوذرات سیلیس بر شاخص‌های Ra و Rz زبری سطح معنی‌دار بود؛ بدین معنا که با افزایش درصد نانوسیلیس، زبری نمونه‌ها افزایش چشمگیری نشان داد (جدول ۵). افزایش غلظت نانوذرات سیلیس موجب افزایش زبری و افزایش زاویه تماس گردید. در این خصوص نتایج تحقیقات Sow و همکاران (۲۰۱۰) نیز حاکی از افزایش زبری در اثر افزودن نانوذرات سیلیس به پوشش‌ها بود [۳۱]. بدین ترتیب در پوشش‌های حاوی ۰/۲٪ نانوذرات سیلیس بیشترین زبری سطح و بیشترین زاویه تماس مشاهده شد.

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر اثر معنی‌دار درصد نانوسیلیس بر زاویه تماس نمونه‌ها بود؛ بدین معنی که بین غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیس اختلاف چشمگیری ملاحظه شد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نانوسیلیس، زاویه تماس نمونه‌ها افزایش یافت. بیشترین زاویه تماس در نمونه‌های با ۰/۲٪ نانوسیلیس و کمترین زاویه تماس در نمونه‌های شاهد ملاحظه شد. این پدیده، به خاصیت آب‌گریزی ذرات نانوسیلیس نسبت داده می‌شود که سبب بهبود دفع آب و تماس با زاویه حداکثر شده و بدین ترتیب سبب کاهش ترشوندگی پوشش‌ها گردید. بر طبق یافته‌های Ershad و Langroudi (۲۰۱۷) نانوذرات سیلیکا با افزایش زبری سطح و کاهش انرژی سطحی پوشش، از



شکل ۵- اثر درصد نانوسیلیس بر زاویه تماس

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر نانو ذرات سیلیس و ضخامت فیلم رنگ بر خواص پوشش‌های اعمال شده بر گونه‌های چوبی راش و نوئل بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد ضخامت پوشش، ویژگی‌های زیرآیند چوبی از قبیل دانسیته و نفوذپذیری و نوع پوشش از عوامل اثر گذار در پوشش‌دهی سطوح چوبی بود. استفاده از نانو ذرات سیلیس در پوشش‌ها تا غلظت ۱٪ سبب افزایش مقاومت چسبندگی کششی و مقاومت به خراش گردید. بنابراین غلظت ۱٪ بهینه معرفی شد؛ اما غلظت ۲٪ نانو سیلیس موجب کاهش خواص چسبندگی پوشش گردید. کاهش ضخامت پوشش‌های نانوکامپوزیتی، اثر قابل توجهی بر

چسبندگی پوشش به زیرآیند داشت. از دیدگاه اقتصادی، ساخت نانو پوشش‌هایی با ضخامت کمتر و کارایی چسبندگی بالا مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. نانو ذرات سیلیس سبب افزایش زبری و کاهش ترشوندگی سطوح چوبی گردید. به کارگیری فناوری نانو در صنعت پوشش-های چوبی سبب ایجاد خواص جدید در پوشش و افزایش کیفیت آن خواهد شد. سطوح با آبدوستی کمتر، دوام بیشتری خواهد داشت و سبب کاهش هزینه تولید می‌شود. بر طبق یافته‌های این پژوهش می‌توان به مقاومت اتصال مناسب که تابعی از ویژگی‌های زیرآیند، ضخامت و نوع پوشش است، دست یافت و بدین ترتیب پوشش‌دهی موثر در چرخه عمر کالاهای چوبی، محقق خواهد شد.

### منابع

- [1] Amerio, E., Fabbri, P., Malucelli, G., Messori, M., Sangermano, M., and Taurino, R., 2008. Scratch resistance of nano-silica reinforced acrylic coatings. *Progress in Organic Coatings*. 62: 129–133.
- [2] Nikolic, M., Lawther, J.M., and Sanadi, A.R., 2015. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. *Journal of Coatings Technology and Research*. 12 (3) 445–461.
- [3] Zhang, X., Chen, R., and Hu, J., 2016. Superhydrophobic surface constructed on electrodeposited silica films by two-step method for corrosion protection of mild steel. *Corrosion Science*. 104: 336–343.
- [4] Othman, S.H., Abdul Rashid, S., Ghazi, T.I.M. and Abdullah, N., 2012. Dispersion and stabilization of photocatalytic TiO<sub>2</sub> nanoparticles in aqueous suspension for coatings applications. *Journal of Nanomaterials*. 10 pages.
- [5] Sun, L., and Gong, K., 2001. Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 40: 5861–5877.
- [6] Bergna, H.E., and Roberts, W.O., 2005. Colloidal silica: fundamentals and applications. *Surfactant Science Series*. Vol. 131, New York, CRC Press.
- [7] Hsieh, T. H., Kinloch, A. J., Taylor, A. C., and Sprenger, S., 2011. The effect of silica nanoparticles and carbon nanotubes on the toughness of a thermosetting epoxy polymer. *Applied Polymer Science*. 119 (4): 2135–2142.
- [8] Bauer, F., and Mehnert, R., 2005. UV curable acrylate nanocomposites: properties and applications. *Journal of Polymer Research*. 12(6) : 483–491.
- [9] Bulian, F., and Graystone, J., 2009. Wood coatings. Theory and Practice, Elsevier Science Ltd., Amsterdam.
- [10] Mastouri, A., azadfallah, M., tarmian, A., and efhamisisi, D., 2018. The effect of cerium dioxide nanoparticles on the physical properties of polyurethane clear coating. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 8(4): 645–656.

- [11] KhojastehKhosro, S.,Ghofrani, M., and Ganjaei sari, M.,2016.The effect of adding zinc oxide nanoparticles on color change and adhesion strength of polyurethane coating on wood surface. *Iranian journal of wood and paper science research*. 30(4):690-704.
- [12] Cristea, M.V., Riedl, B., andBlanchet, P., 2010.Enhancing the performance of exterior waterborne coatings for wood by inorganic nanosized UV absorbers .*progress in organic coatings*. 69(4):432-441.
- [13] Malaki, M., Hashemzadeh, Y., and Fadaei Tehrani, A., 2018. Abrasion resistance of acrylic polyurethane coatings reinforced by nanosilica.*Progress in Organic Coatings*. 507–515.
- [14] Pagnola, M.R.,Vivero,J.U., and Marrugo,A.G.,2018.New uses of micro and nanomaterials. Publisher: Intech Open. ISBN: 978-1-78984-173-2: 79-81.
- [15] Bomba,J., Ježek,J., Hýsek,S., Sikora,A., Stolariková,R., Palacká,A.,Berková,M.,andKolbabová.T., 2017. Polyurethane coatings on hardwood and softwood surfaces:their resistance to household liquids as an educational case study. *BioResources*. 12(3): 5867-5877.
- [16] Latibari, A., 2007. Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances, Islamic Azad University publication, Karaj, ISBN No: 9644504194. P348.
- [17] Pandit, S.K., Tudu, B.K., Mishra, I.M., and Kumar, A.,2019. Development of stain resistant, superhydrophobic and self-cleaning coating on wood surface. *Progress in Organic Coatings*.
- [18] TSE -TS 2471. 1976. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests, TSE: Ankara, Turkey.
- [19] ASTM D 2832. Standard Guide for Determining Volatile and Nonvolatile Content of Paint and Related Coatings.
- [20] Peng,Z. L.,and Chen, S.H.,2011. Effects of surface roughness and film thickness on the adhesion of a bioinspired nanofilm. *Physical review E* 83, 051915.
- [21] Cheng, E., and Sun,X., 2006. Effects of wood-surface roughness, adhesive viscosity and processing pressure on adhesion strength of protein adhesive .*Journal of adhesion science and technology*. 20(9): 997–1017.
- [22] Kaygin, B.,and Akgun, E., 2008. Comparison of conventional varnishes with nanolake UV varnish with respect to hardness and adhesion durability.*International Journal of Molecular Sciences*.476-485.
- [23] Budakci, M.,2003. Design and production of a new adhesion testing device and its utilization with testing of wood varnishes, Ph.D. Thesis, Department of Furniture and Decoration, Gazi University, Ankara.
- [24] Ozdemir, T., Temiz, A., and Aydin, I., 2015. Effect of wood preservatives on surface properties of coated wood. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1-6.
- [25] Parhizkari, M.M., Tarmian, A., Taghiyari, H.R., and Karimi, A.N., 2011. The effect of drying intensity and moisture content on longitudinal permeability of poplar tension and normal wood (*populus nigra*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 26(3):477-485.
- [26] Panigrahi, S., Kumar, S., Panda, S., and Borkataki, S., 2018.Effect of permeability on primary processing of wood. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(4): 2593-2598.
- [27] Ghofrani, M., Mohammad Moradi, Z., and KhojastehKhosro, S., 2016. Investigation on the effect of different methods of applying transparent coatings on adhesion strength of coating in wooden surfaces. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 31(2):248-260.

- [28] Manavi, G.H., Ghofrani, M., and Mirshokraei, S.A., 2012. Effects of wood type, moisture content and paint type on adhesion strength of conventional clear paints used in furniture manufacture. *Iranian Journal of Wood and Paper Sciences Research*. 27: 743-753.
- [29] Rahman, I., and Padavettan, V., 2012. Synthesis of silica nanoparticles by sol-gel: size-dependent properties, surface modification, and applications in silica-polymer nanocomposites – a review. *Journal of Nanomaterials*. 1-15
- [30] Labbani Motlagh, A., Bastani, S., and Hashemi, M.M., 2014. Investigation of synergistic effect of nano sized Ag/TiO<sub>2</sub> particles on antibacterial, physical and mechanical properties of UV-curable clearcoatings by experimental design. *Progress in Organic Coatings*. 77: 502– 511.
- [31] Sow, C., Riedl, B., and Blanchet, P., 2010. UV-waterborne polyurethane-acrylate nanocomposite coatings containing alumina and silica nanoparticles for wood: Mechanical, optical, and thermal properties assessment. *Journal of Coatings Technology and Research*. 8 (2): 211–221.
- [32] Ershad Langroudi, A., and Azadi, N., 2017. Hydrophobic coatings based on acrylic copolymers and the effect of adding nano silica. *Advanced materials and novel coatings*. 6 (23): 1655-1668.
- [33] Malaki, M., Hashemzadeh, Y., and Karevan, M., 2017. Effect of nano-silica on the mechanical properties of acrylic polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*. 477–485.
- [34] Karevan, M., and Kalaitzidou, K., 2013. Formation of a complex constrained region at the graphite nanoplatelets-polyamide 12 interface. *Polymer*. 54(14):3691-3698.
- [35] Sargsyan, A., Tonoyan, A., Davtyan, S., and Schick, C., 2007. The amount of immobilized polymer in PMMA SiO<sub>2</sub> nanocomposites determined from calorimetric data. *European Polymer Journal*. 43 (8): 3113–3127.
- [36] Gunduz, G., 2015. Chemistry, materials, and properties of surface coatings: traditional and evolving technologies. DEStech publication. ISBN No. 978-1-60595-066-2. Page: 650- 652.
- [37] Talaei, A., Rezvani, M. H., and Doost Mohammadi, H., 2018. Investigation of adhesion strength of alkyd and nitro cellulose transparent coatings in different heat-treated poplar wood. *Journal of Color Science and Technology*. 171-180.

## The effect of nano-SiO<sub>2</sub> particles and film thickness on physical properties of transparent wood coatings

### Abstract

In this study, the effect of different levels of nano-SiO<sub>2</sub> particles and film thickness on physical properties of acid catalyzed and nitrocellulose transparent coatings applied to beech and spruce wood was investigated. Nano-SiO<sub>2</sub> particles were added to coatings in order to improve adhesion characteristics and wettability behavior. For this purpose, specimens were prepared to dimensions of 220 × 80 × 20 mm. Nano-SiO<sub>2</sub> particles were prepared at concentrations of 0, 0.5, 1 and 2 wt% and added to the acid catalyzed and nitrocellulose transparent coatings. To study the effect of different levels of film thickness on adhesion characteristics of nano coatings, specimens were coated at two levels of thickness of 60 μm and 120 μm using film applicator. According to ASTM D 4541 standard, the adhesion strength of specimens was determined. Scratch resistance was determined according to ASTM D 3359. According to ASTM D 5946 standard, contact angle was measured. Results revealed that the highest adhesion strength was obtained in beech species coated with acid catalyzed containing 1% nano-SiO<sub>2</sub> particles with thickness of 60 μm. Increasing the nano particles up to 2% had negative effect on adhesion characteristics. The increase of the film thickness decreased adhesion characteristics significantly. The increase of nano-SiO<sub>2</sub> particles, up to 2%, increased the contact angle of the surfaces of specimens significantly. Thus, the incorporation of nano-SiO<sub>2</sub> particles into coatings, up to 1%, improved adhesion characteristics and the incorporation of nano-SiO<sub>2</sub> particles into coatings, up to 2%, improved the wettability behavior of coatings. Furthermore, applying films with lesser thickness led to increase of adhesion characteristics.

**Keywords:** Nano-SiO<sub>2</sub> particles, Film thickness, Adhesion characteristics, Contact angle.

**J. Ashouri<sup>1</sup>**  
**M. Ghofrani<sup>2</sup>**  
**A. Fazeli<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> M.Sc. Graduated Student, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Ph.D. Student, Department of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Corresponding author:  
[anushehfazeli3731@gmail.com](mailto:anushehfazeli3731@gmail.com)

Received: 2020/05/09

Accepted: 2020/09/09