

ساخت سطوح با دوام فوق آبگریز روی بسترهای چوبی با نانو ذرات TiO₂ و SiO₂

چکیده: در این تحقیق یک روش جدید و سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه از طریق ترکیب دو نوع از نانو ذرات SiO₂ و TiO₂ و فلورووسیلان های متقابل به همراه اصلاح شیمیایی سطح روی بسترهای چوب و بامبو انجام و مقایسه شده است. فوق آبگریز بودن سطح از نظر سطح شناسی، ثبات مکانیکی، پایداری بلند مدت و قابلیت خود تمیز شونده با اندازه گیری زاویه تماس آب و لغزش بررسی شده است. فوق آبگریزی سطح با تست سایش مکانیکی در برابر سنباده ۱۵۰۰ مش و قرار گرفتن نمونه در محیط جو بیش از ۱۸۰ روز، با زاویه تماس ۱۵۵±۲° و زاویه لغزش ۶±۲° تایید شد، که نشان دهنده پایداری خوب طولانی مدت است. همچنین سطح خاصیت خود تمیز شونده کاملی ارائه کرد. به دلیل انعطاف پذیری و سادگی، روشی آسان و ارزان برای دستیابی به خواص نیلوفر آبی است و برای تهیه سطوح فوق آبگریز در کاربردهای عملی در مقیاس بزرگ ارزش بالایی را از خود نشان می دهد.

واژه های راهنما: پوشش های فوق آبگریز، نانو ذرات SiO₂، نانو ذرات TiO₂، زاویه تماس آب، زاویه لغزشی، فلورووالکیسیلان

ژاله اژدرزاده*
مریی، گروه مهندسی
مکانیک، واحد اسکو،
دانشگاه آزاد اسلامی،
اسکو

مقاله مروری

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

Zhaleh
Azhdarzadeh*
Instructor, Department
of Mechanical
Engineering, Oskou
Branch, Islamic Azad
University, Oskou

Fabrication of durable super hydrophobic surfaces on wood substrates with SiO₂ and TiO₂ nanoparticles

Abstract: In this paper, a comparison was made between super hydrophobic surfaces resulted from SiO₂ and TiO₂ nanoparticles on chemical modification wood and bamboo Substrate. The super hydrophobicity of surface was evaluated based on its morphological properties, mechanical stability, long term stability, and self-cleaning ability by measuring WCA and SA angles.

The super hydrophobicity of the surface was obtained by applying sandpaper mesh size 1500 and exposing the surface to the atmosphere for more than 180 days with a contact angle of 155±2° and a sliding angle of 6±2°, and surface showed a self-cleaning property. Taking into consideration the flexibility and simplicity of the method, it is a feasible and low-cost method to acquire the lotus effect and demonstrated potential for practical applications.

Keywords: Superhydrophobic coatings, SiO₂ nanoparticles, TiO₂ nanoparticles, Water contact angle, Sliding angle, Fluoroalkyl silane

۱- مقدمه

مقاومت و دوام مکانیکی پایین، مقاومت ضعیف شیمیایی و حرارت کم ثبات آنها مانع نتیجه می شوند [۱۸-۲۱]. حل مشکلات فوق، تمرکز اصلی محققان در زمینه ساخت سطوح فوق آبگریز می باشد.

این روزها، مواد فلزی نیز به طور گسترده در هوافضا، انرژی، تجهیزات مکانیکی و سایر زمینه ها استفاده شده است. با این حال، مقاومت مواد فلزی در برابر خوردگی به طور کلی ضعیف است و به راحتی تحت تأثیر محیط مرطوب قرار می گیرد و باعث کاهش قابل توجه عملکرد می شود و عمر مفید آن را کاهش می دهد. در نتیجه، برای حفاظت موثر از فلزات، مواد بر پایه سلولز و سایر مواد، نیاز فوری احساس می شود تا مقاومت آنها در برابر خوردگی، دوام و آب گریزی افزایش یابد و در نتیجه عمر مفید حوزه های کاربردی آنها گسترش یابد.

تاکنون روش های مختلفی برای ساخت سطوح فوق آبگریز توسعه یافته است، از جمله روش پلاسما، مونتاژ لایه به لایه، فرآیندهای سل-ژل، رسوب گذاری بخار شیمیایی (CVD)، روش هیدروترمال. با این حال، این روش ها به دلیل کدورت پوشش در برابر نور با چالش های جدی برای صنعتی شدن روبرو هستند، اگرچه بسیاری از روش ها اجازه ساخت سطوح فوق آبگریز را می دهند، اما اکثر روش ها نیاز به تجهیزات ویژه، روش های چند مرحله ای و آلودگی محیطی دارند (حلال یا اصلاح کننده سمی). مثلاً، روش هیدروترمال و پلاسما فقط برای سطوح کوچک قابل استفاده است و رسوب بخار شیمیایی فقط برای مواد خاص اعمال می شود. ساختن سطوح فوق آبگریز زمانی راحت است که روش های پیچیده پردازش بتواند به رویکردهای یک مرحله ای ساده، تبدیل شوند.

برای آماده سازی سطوح فوق آبگریز ترکیبات نانوذرات/پلیمر به طور گسترده ای استفاده شده است. نانو ذراتی مانند SiO_2 ، CaCO_3 ، TiO_2 و ZnO اغلب برای ساخت سطوح زبر استفاده می شوند تا پوشش های فوق آبگریز بسازند [۲۷-۲۲]. پلی دی متیل سیلوکسان یک ماده الاستومری معمولی با انرژی سطحی پایین است [۲۸]. در مقایسه با آن، فلوروسیلان های متقاطع، انرژی سطحی کمتری دارند زیرا تعداد زیادی CF_3 - وجود دارد که جایگزین CH_3 - شده اند. فلوروسیلان های متقابل عملکرد برتری از نظر مقاومت مایع خورنده و مقاومت در برابر روغن ایجاد می کنند [۲۹].

نانو ذرات TiO_2 به طور گسترده ای در بسیاری از زمینه ها مانند سرامیک، لاستیک ها، پوشش ها، کاتالیزورها و داروهای زیستی استفاده می شوند، زیرا دارای عملکرد عالی، هزینه کم، دسترسی آسان، پایداری بالا و از خاصیت غیر سمی بودن

در چند سال گذشته سطوح فوق آبگریز توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. به دلیل تنوع آنها در کاربردهای عملی، مانند خود تمیز شوندگی [۱،۲]، جداسازی روغن/آب [۳،۴]، مقاومت در برابر خوردگی [۵،۶]، ضد باکتری [۷،۸]، ضد بیخ [۹-۱۱]، ضد مه [۱۲،۱۳]. سطح فوق آبگریز به عنوان سطحی تعریف می شود که دارای زاویه تماس آب (WCA) بالاتر از ۱۵۰ درجه و زاویه لغزش کمتر از ۱۰ درجه باشد. بارتلوت و نینهویس متوجه شدند که زبری سطح و خاصیت شیمی سطح دو عامل عمده ای بودند که بر ترشوندگی سطح تأثیر می گذارند [۱۴].

مواد مبتنی بر سلولز و فلز به راحتی آب و رطوبت را جذب می کنند. بنابراین، عمر مفید آنها به طور چشمگیری کاهش می یابد که این امر منجر به اتلاف جدی منابع می شود. در جامعه مدرن چوب نقش حیاتی ایفا می کند، چوب بامبو بعنوان یک ماده تزئینی مزایای زیادی دارد، زیرا یک منبع بادوام و تجدیدپذیر سریع با خاصیت مکانیکی شبیه الوار می باشد. بامبو بعنوان یک محصول بادوام و کم هزینه و ماده متناوب اکولوژیکی، در ساخت تزئینات ساختمانی در سطح جهان گسترش و رشد زیادی داشته است. مزایای متعدد آن (وزن سبک، استحکام بالا، ماشینکاری آسان) می باشد. و در کاربردهای روزانه متنوع مانند دکوراسیون داخلی و خارجی، پل چوبی، سنگفرش و غیره به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال، به دلیل خاصیت هیدروفیل سلولز و همی سلولز، چوب به تغییرات رطوبت حساس است. به دلیل ساختار متخلخل خاص آن گروه های زیاد هیدروکسیل در سطح چوب مستعد جذب آب و بخار هستند که در شرایط محیط بیرون موجب ترک و پوسیدگی و فرسایش می شود و تأثیرات شدیدی بر استحکام و عمر محصولات می گذارد. از این رو برای بهبود مقاومت راه حل منطقی و ایده آل کاهش دادن جذب رطوبت در سطح چوب می باشد. هر دو ویژگی جذب مایع سطحی و دفع کنندگی در زیرلایه، عامل کلیدی در تعیین و تشخیص محافظت الوار چوب خواهد بود.

با الهام گرفتن از سطوح طبیعی دافع آب مانند برگهای انواع گیاهان، ساختن انواع سطوح آبگریز با تقلید از طبیعت با سطحی زبر و یک پوشش میکرو - نانو ساختار که با مواد انرژی سطح پایین ترکیب می شود انجام می گیرد [۱۵-۱۷]. با وجود اینکه سطوح فوق آبگریز متفاوت روی لایه های چوب بامبو با تکنیک های مختلف ساخته شده اند، اما تهیه سریع، راحت و ارزان سطوح فوق آبگریز هنوز امری چالش برانگیز است. علاوه بر این، کاربردهای عملی سطوح آبگریز مصنوعی معمولاً به دلیل

خود تمیز شوندگی، و خواص جداسازی آب/روغن را نشان دادند. در این حالت ابتدا بستر از جنس (چوب، بامبو) در محلول اصلاح کننده دو جزئی به مدت ۵ دقیقه غوطه ور شد، و سپس به مدت ۱ دقیقه در هوا خشک شد. این رویه برای ۳ بار تکرار شد. در نهایت، بستر اصلاح شده در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت خشک شد.

۲-۲- آماده سازی لایه های TiO_2 روی سطح الوار بامبو

فلورتیانن آمونیوم ($0/2g$) و اسید بریک ($1/85g$) در $100ml$ آب دیونیزه شده تحت همزدن مغناطیسی شدید حل شدند. بعد از همزدن شدید به مدت ۱۵ دقیقه در درجه حرارت اتاق، مخلوط به هم زده شده تیره به حالت روشن تبدیل شد. سپس محلول $0/1\%$ اسید هیدروکلریک به حالت قطره‌ای افزوده شد تا زمانیکه PH به ۲ رسید، ۷۵ میلی‌متر از محلول تنظیم شده به $100ml$ خط تغلونی اتوکلاو انتقال می‌یابد. قطعات بامبو متعاقباً در محلول واکنش جاگذاری می‌شود و در کوره با ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت نگه داشته می‌شود، نهایتاً نمونه‌ها از حلال برداشته و با آب دیونیزه شسته شده و در ۸۰ درجه بمدت بیش از ۲۴ ساعت در اجاق وکیوم خشک می‌شوند. ابعاد قطعات بامبو $50 \times 20 \times 5$ میلی‌متر است که با روکش TiO_2 در محلول ۱۷- FAS به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۳۰ درجه داخل کوره عملیات حرارتی می‌شود، سپس نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شده و با دمیدن هوای گرم خشک می‌شوند.

مراحل تولید شامل دو مرحله می‌باشد: (۱) رسوب حلال شیمیایی لایه های TiO_2 و (۲) عملیات حرارتی در حضور ۱۷- FAS. فلورو الکیل سیلان (FAS) ها اغلب به عنوان موادی که انرژی سطحی پایینی دارند شناخته می‌شوند. قسمت انتهایی گروه مولکول FAS، گروه فلورو الکیل آب گریز است و لایه های یکنواخت FAS بر روی سطوح جامد که محور مولکولی آنها عمود بر سطح می باشد خود آرایی شده اند. معمولاً لایه های FAS به منظور کم کردن انرژی سطحی سطوح جامد زبر، دارای انرژی بالا به کار گرفته می‌شوند.

بطور متوسط میانگینی از ۵ اندازه‌گیری در موقعیت‌های متفاوت در هر نمونه گرفته شده و برای محاسبه مقادیر نهایی بکار برده شده است.

ثبات مکانیکی سطح فوق آبگریز با آزمایش خراش مورد ارزیابی قرار گرفت. کاغذ شنی Sic (1500 مش) بعنوان یک سطح ساینده در نظر گرفته شد و سطوح فوق آبگریز روی آن مورد تست قرار گرفتند.

برخوردارند. علاوه بر این همچنین، TiO_2 دارای خاصیت فوتوکاتالیستی است.

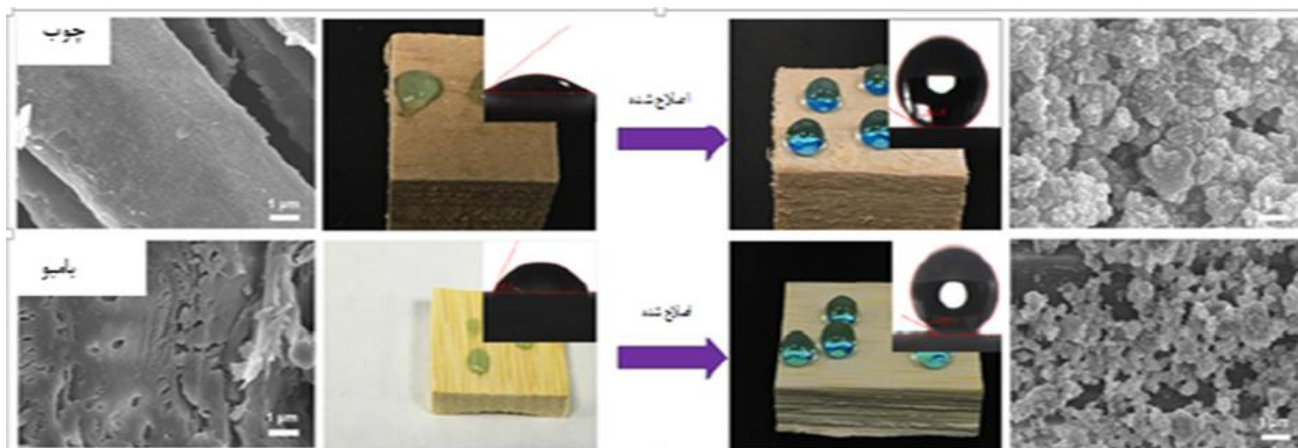
در این تحقیق، یک روش آسان برای ساخت پوشش های فوق آبگریز بسیار پایدار از طریق ترکیب نانوذرات TiO_2 ، SiO_2 و اتصال عرضی فلوروسیلان ها گزارش شده است. استفاده همزمان از نانو TiO_2 و نانو SiO_2 آبگریز، نه تنها با هم افزایشی باعث ساخت سازه های زبر چند مقیاسی بر روی سطوح فوق آبگریز می‌شود، بلکه تا حد زیادی پایداری پوشش های فوق آبگریز را بهبود می‌دهد. پوشش های فوق آبگریز با زاویه تماس آب 166.6 (WCA) درجه و زاویه تماس لغزش 3.4 (CAH) درجه در دمای اتاق ساخته شدند. پوشش‌ها توانایی خود تمیز شوندگی خوب و پایداری حرارتی عالی را نشان دادند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی محلول اصلاح کننده دو جزئی

جزء A از SiO_2 ، PMHS، اتانول و بازدارنده تشکیل شده است. که با مقادیر وزنی زیر بدست آمدند. نانوذرات SiO_2 ($0/5$ گرم) و PMHS (1 گرم) در 39 گرم اتانول با روش اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه همزده شدند. سپس بازدارنده ($0/1$ میلی لیتر) به محلول همزده اتانول فوق اضافه شد تا جزء A را تشکیل دهد. جزء B از SiO_2 ، اتانول و کاتالیزور تشکیل شده است با مقادیر زیر، نانوذرات SiO_2 ($0/5$ گرم) در 40 گرم اتانول با روش اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه همزده شدند. سپس کاتالیزور کاسترد ($0/1$ میلی لیتر) به محلول اتانول فوق اضافه شد تا جزء B را تشکیل دهد. در نهایت اجزای A و B برای تشکیل محلول اصلاح کننده دو جزئی مخلوط شدند.

سطوح فوق آبگریز لازم را می‌توان به سادگی با روش اسپری کردن یا فرو بردن در محلول اصلاح کننده دو جزئی روی مواد متخلخل، غیر متخلخل و همگن تهیه کرد. با فرو بردن یا پاشش محلول اصلاح کننده دو جزئی (مخلوط A و B)، سطوح فوق آبگریز را می‌توان به راحتی بدون نیاز به هیچ گونه فرآیند پیش تصفیه بر روی بسترهای مختلف ایجاد کرد. این روش دارای ویژگی های ویژه زیر است. (۱) PMHS و نانوذرات SiO_2 محصولات به صورت انبوه تولید می‌شوند. بنابراین به راحتی قابل حمل و نقل و ارزان هستند. (۲) هیچ محدودیتی در نوع یا شکل زیرلایه‌ها وجود ندارد. مواد مبتنی بر سلولز، شیشه و فلزات همگی بدون تخریب ظاهر ذاتی آنها قابل استفاده هستند (۳) سطوح فوق آبگریز ساخته شده در این مطالعه پایداری ابعادی،



شکل ۱ مقایسه مورفولوژی سطح اولیه و اصلاح شده چوب و بامبو با نانو ذرات SiO_2 روی زاویه تماس آب (WCA) [۳۰]

۲-۳- تعیین مشخصات

بهبود یافته ایستاده بودند) و زاویه لغزش کمتر از 10° شدند. این مقادیر نشان داد که آبریزی با موفقیت به دست آمده است. بر ۳۰ تحلیل های ذکر شده در بالا، می توان تایید کرد که محلول اصلاح کننده دو جزئی می تواند ساختارهایی با سلسله مراتب مشابهی ایجاد کند که بر روی انواع مختلف بسترها صرف نظر از مورفولوژی یا اندازه آنها دارای زاویه تماس آب بالا باشد. همچنین، سطوح بستر اصلاح شده دارای خاصیت فوق آب گریزی در برابر آب و مایعات معمول، از جمله شیر، قهوه، آب میوه، سس سویا و آجی بودند. شکل ۲ رابطه بین مایعات و مایع دافع پوشش ها روی بسترهای مختلف را نشان می دهد (بسترها شامل چوب، بامبو بودند). زوایای تماس پوشش ها بر روی بسترهای مختلف بزرگتر از 150° برای شیر، قهوه، آب میوه، سس سویا و آجی بود. تمام قطرات مایع شکل کروی داشتند و به خوبی توسط سطح بستر بهبود یافته با محلول اصلاح کننده دو جزئی حمایت شدند. دافعه نسبت به مایعات رایج، حاکی از پتانسیل ضد رسوب عالی این مواد فوق آبریز است.

برای حالت پوشش با نانو ذرات TiO_2 روی الوار بامبو تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی بامبو اصلی و بامبو با روکش TiO_2 و سطوح فوق آبریز ایجاد شده در شکل ۳ نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده می کنید در شکل ۳a ریزساختارهای بامبو اصلی شامل حفره ها است که می توان دید، که بعد از رسوب TiO_2 سطح ناهمواری بوجود آمده است. بعد از اینکه بامبو در سیستم به مدت ۵ ساعت غوطه ور شد، ذراتی با غلظت بالا در سطح بامبو تشکیل شد (شکل ۳b). تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، دیواره های سلولی و حفره های سطح بامبو را که با انبوهی از ذرات

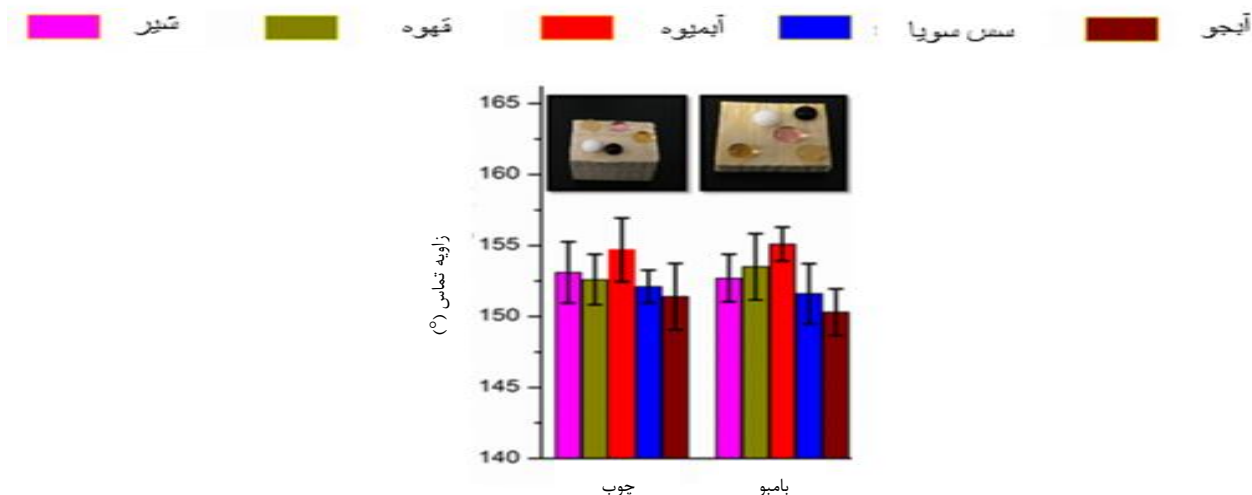
مقادیر WCA، زاویه تماس و لغزش با استفاده رفاکتومتر کمپانی Kruss آلمان مدل DSA100 محاسبه شد (زاویه تماس، از طریق اندازه گیری زاویه ای که یک قطره از مایع با سطح جامد ایجاد می کند، بدست می آید و کمیتی برای بیان ترشوندگی سطح جامد به وسیله مایع است). هر قطره آب ۵ میکرولیتر است که با سرنگ مخصوص روی سطح نمونه گذاشته می شود و توسط دوربین عکس برداری شده و سپس با نرم افزار دستگاه پردازش می شود. زوایای تماس قطره در دمای محیط ۲۵ درجه سانتی گراد به طور میانگین شش بار اندازه گیری شد.

۳- نتایج و بحث ها

۳-۱- ترکیبات شیمیایی، سطح شناسی ها و قابلیت خیس شدن

با میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ مدل Quanta 200 SEM، تصاویر مورفولوژی ریزساختاری بسترها با نانو ذرات SiO_2 قبل و پس از اصلاح سطح مشاهده شد. مورفولوژی سطوح فوق آبریز چوب، وسایر مواد مبتنی بر سلولز در شکل ۱ نشان داده شده است. سطح اولیه اصلی چوب و بامبو صاف و حاوی چند آوند بود. پس از اصلاح توسط محلول اصلاح کننده دو جزئی، تقریباً همه سطوح بسترها دارای ساختار ناهمواری شدند که با توزیع تصادفی ذرات با اندازه ها و اشکال مختلف مشخص می شود. علاوه بر این، پس از پوشش، تمام سطوح بستر بهبود یافته، دارای زاویه تماس آب بیشتر از 150° (قطرات کروی آب روی سطوح زیرلایه

¹ Scanning Electron Microscope

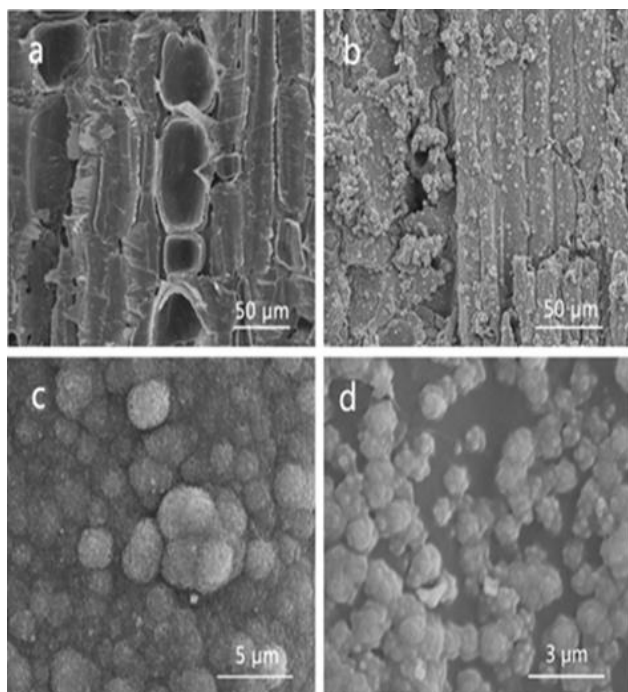


شکل ۲ خاصیت آبریزی سطوح اصلاح شده با نانو ذرات SiO_2 و زاویه تماس آنها در معرض مایعات مختلف (شیر، قهوه، آیمپوه، سوس سویا، آجیو) [۳۰]

ترکیب شیمیایی و ناهمواری سطح هدایت شده است. اندازه گیری ها ثابت می کند که FAS-17 به طور موفقیت آمیزی روی رسوب لایه های TiO_2 با عملیات حرارتی جمع شده است. مکانیسم تشکیل لایه FAS-17 روی لایه زبر TiO_2 ناهموار می تواند به طور کلی توصیف شود همانگونه که در شکل ۵b می بینید. مولکولهای FAS-17 با گروه های -OH لایه های TiO_2 رسوب شده برای تشکیل یک لایه خود تجمعی در سطح

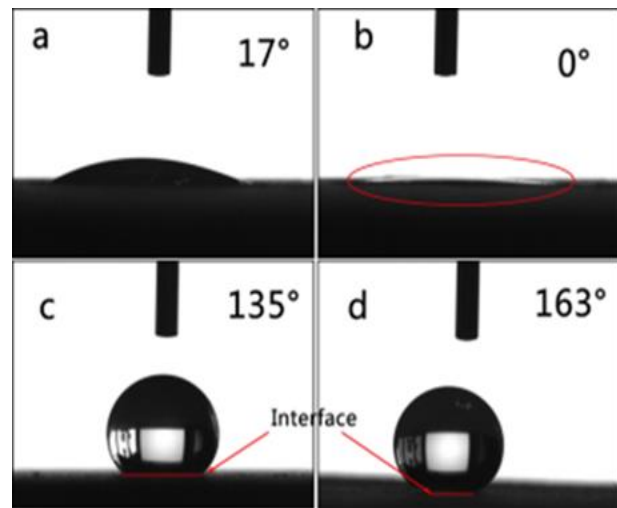
نانو TiO_2 بطور نامنظم پوشیده شده را آشکار کرد. در این حالت ناهمواری سطح به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. تصویر ۳d یک تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح چوب بامبو فوق آبریز را نشان می دهد.

این شکل آشکارا آب دوست بودن چوب بامبو را نشان می دهد (زاویه تماس 17°). قطرات آب فوراً روی بامبو پوشیده با لایه های TiO_2 پخش می شوند و زاویه تماس آب تقریباً 0° درجه است. برعکس، چوب بامبو بهبود یافته با FAS-17 با زاویه تقریبی تماس آب 135° ، خاصیت آبریزی مشخصی نشان داد. از این رو بعد از رسوب لایه های TiO_2 بوسیله تجمع یک لایه FAS-17 سطح الوار بامبو یک خاصیت فوق آبریزی عالی را نشان داد. در طی این مراحل، سطح بامبو از آبدوستی به فوق آبریزی انتقال یافت و زاویه تماس آب به حداکثر 163° و زاویه لغزش به 3° رسید. نتایج نشان داد که ناهمواری زیاد سطح یک عامل مهم در بدست آوردن سطح فوق آبریز می باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از شکل ۴ روشن است که سطح فوق آبریز از میکروساختار خاص آن و ترکیبات شیمیایی نشات گرفته است. ارزیابی مورفولوژی یا ساختار سطح الوار بامبو بعد از رسوب محلول شیمیایی و عملیات حرارتی در شکل ۵a نشان داده شده است. ساختارهای زبر نانو TiO_2 ابتدا در زیر لایه بامبو با فرایند محلول شیمیایی ذخیره می شوند. بعد از عملیات حرارتی در حضور FAS-17 سطح به ساختارهای دوتایی نانو و میکرو مقیاس تغییر می یابند. بنابراین وجود سطح ناهموار ضروری است، اما شرط کافی برای رسیدن به فوق آبریزی این سطح نیست. مشخص شده است که قابلیت تری و خیزی سطح به وسیله دو عامل مهم



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی a- سطح بامبو اصلی b- سطح بامبو با روکش TiO_2 c- بزرگنمایی پنل d, b- سطح فوق آبریز بامبو [۳۱]

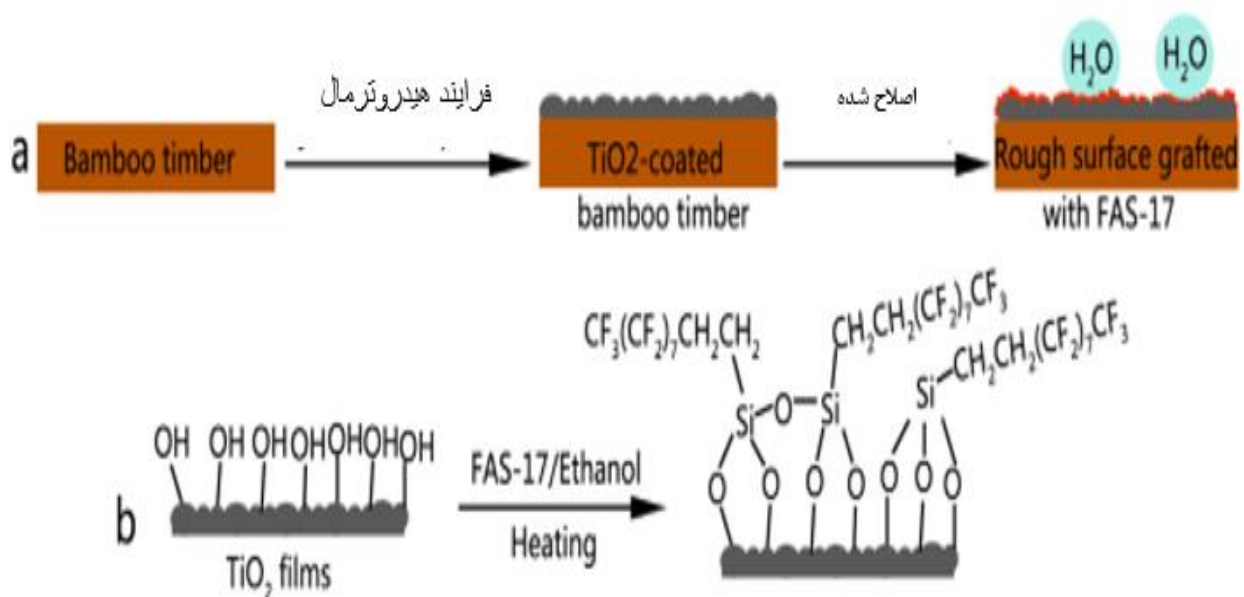
برای ارزیابی پایداری مکانیکی سطوح فوق آبگریز، آزمایش سایش کاغذ سنباده بر روی سطح فوق آبگریز انجام شد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، سطح فوق آبگریز با بارگذاری وزنه های ۱۰ گرمی روی نمونه، با کاغذ سنباده (مش ۱۵۰۰) ساییده می شوند. مقادیر زاویه تماس آب و زاویه لغزش سطوح در هر ۲۰۰ mm طول ساییدگی اندازه گیری شد. شکل ۶ توانایی دفع آب مواد مختلف فوق آبگریز را پس از ۱۰۰۰mm سایش نشان می دهد. نتایج به شرح زیر است: ماده چوب فوق آبگریز پس از سایش شدید، فوق آبگریزی با زاویه تماس آب بیش از ۱۵۰ درجه و زاویه لغزش کمتر از ۱۰ درجه باقی ماند، که نشان دهنده استحکام مکانیکی عالی در برابر کاغذ سنباده است. پایداری مکانیکی خوب سطح چوب فوق آبگریز را می توان به دو عامل ضخامت کافی پوشش فوق آبگریز برای مقاومت در برابر سایش و گروه هیدروکسیل روی سطح چوب نسبت داد، که یک پیوند کووالانسی با Si-H- در زنجیره های PMHS ایجاد می کند. شبیه بسترهای چوبی، پوشش فوق آبگریز روی سطح بامبو نیز ثبات مکانیکی خوبی داشت. برای حالت دوم نیز دوام مکانیکی سطوح فوق آبگریز با آزمون خراش روی سطوح الوار بامبو انجام شد. در این حالت سطح فوق آبگریز با کاغذ سنباده (مش ۱۵۰۰) ساییده می شود. نتایج در شکل ۷ نشان داده شده اند. در شکل دیده می شود که سطح بدست آمده هنوز زاویه تماس 150° را بعد از 800mm خراش حفظ کرده است در حالیکه زاویه لغزش از 3° تا 36° بعد از 800mm سایش افزایش یافته است.



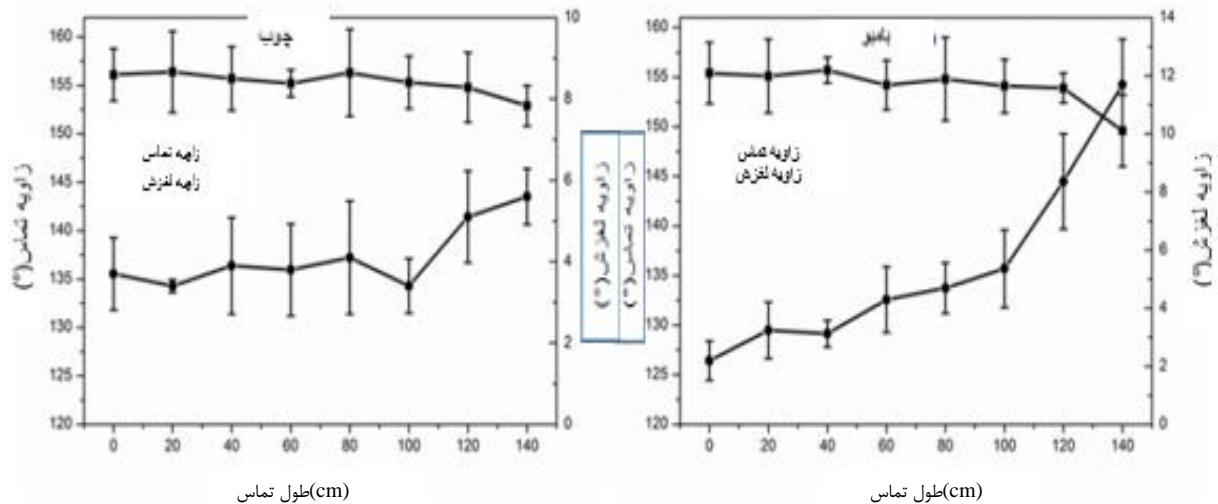
شکل ۴ تصاویر قطره های آب در سطوح متفاوت a- سطح بامبو اصلی b- سطح بامبو پوشیده شده با لایه های TiO_2 c- سطح بامبو اصلاح شده بوسیله یک لایه FAS-17 d- سطح بامبو TiO_2 فوق آبگریز [۳۱]

به کمک گرما عکس العمل نشان می دهند. لایه FAS-17 تشکیل شده می تواند به طور موثری انرژی آزاد سطح ذخیره شده را کاهش دهد. بطور خلاصه می توان نتیجه گیری کرد که فوق آبگریز بودن سطوح از پیش آماده شده از زبری سطح آنها با ساختارهای میکرو-نانو به همراه ترکیبات فلورینات با انرژی سطحی پایین ناشی می شود.

۳-۲- ثبات مکانیکی



شکل ۵ a- ارزیابی ناهمواری سطح الوار بامبو با لایه های TiO_2 پوشیده شده و سپس به مدت ۳ ساعت در دمای 130° در حضور FAS-17 گرم شده b- مکانیسم تشکیل خود تجمعی FAS-17 در لایه های TiO_2 [۳۱]



شکل ۶ تصویری از تست خراش با مقادیر زاویه تماس و زاویه لغزش سطوح فوق آبگریز اصلاح شده با نانو ذرات SiO₂ با استفاده از کاغذ سنباده ۱۵۰۰ مش [۳۰]

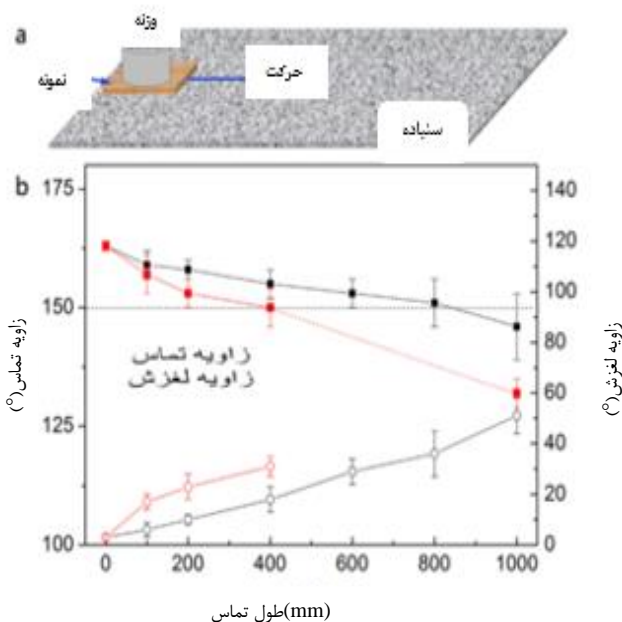
حرکت قطره آب روی بستر فوق آبگریز ذرات کربن را حذف می کند. در ضمن بعلت نیروی چسبندگی پایین، قطره بوسیله سطح فوق آبگریز نمی تواند جذب شود. بعد از حذف و از بین بردن آلودگی، سطح قابلیت خودتمیز کنندگی شبیه برگهای لوتوس را آشکار می کند. شکل ۹ اثر خود تمیز شونده سطح چوب را با و بدون پوشش فوق آبگریز نشان می دهد. همانگونه که در شکل ۹ نشان داده می شود ذرات کربن به آسانی بوسیله غلتیدن و چرخش قطرات آب از بین می روند در نتیجه سطح به طور کامل

۳-۳- ثبات و پایداری بلندمدت

پایداری فوق آبگریزی سطح چوب و بامبو بدست آمده بعد از قرار گرفتن در محیط های داخلی در فاصله های زمانی متفاوت مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که مقادیر زاویه تماس سطح پس از ۱۸۰ روز قرار گرفتن در محیط، فقط مقدار کمی از ۱۶۳° به ۱۵۵° کاهش یافت و زاویه لغزش کمتر از ۱۰ درجه شد، که نشان دهنده پایداری درازمدت سطح بدست آمده است. از این رو مواد فوق آبگریز را در محیط های بیرون در طولانی مدت می توان مورد استفاده قرار داد.

۳-۴- قابلیت خودتمیز کنندگی

با الهام گرفتن از برگ درخت نیلوفر آبی (لوتوس) بستر فوق آبگریز توانایی خود تمیز کنندگی ارائه می دهد که ناشی از حالت دفع کنندگی بالا و نیروی چسبندگی پایین آب است. نمونه ای از پدیده خود تمیز کنندگی در طبیعت بر روی برگ نیلوفر آبی مشاهده شده است. قطره ای که بر روی برگ نیلوفر آبی می ماند، شکل کروی تقریباً کاملی را حفظ می کند و به آسانی به دور از ذرات گردوغبار روی سطح گردش کرده و آنها را می زداید. چنین سطوحی بایستی نیازهای وسیع کاربردهای عملی را برطرف کرده و هم چنین قابلیت اجرای معتبر در محیط های ناملایم و خشن را داشته باشند. برای اثبات توانایی خود تمیز کنندگی سطوح چوب و بامبو، ذرات کربن به عنوان آلاینده مورد استفاده قرار گرفتند. یک قطره آب توسط سوزن روی سطح چوب و بامبو آلوده شده حرکت می کند (شکل ۸).



شکل ۷ تصویری از تست خراش و زاویه تماس و زاویه لغزش سطوح الوار بامبو فوق آبگریز با لایه های TiO₂ بصورت تابعی از طول سائیدگی، آزمایش خراش با استفاده از کاغذ سنباده ۱۵۰۰ مش انجام شده است. [۳۱]

نتایج مناسب تایید شد و تمام سطوح فوق آبگریز بدست آمده با این روش دارای زاویه تماس آب بزرگتر از 150° و زاویه لغزش کمتر از 10° بودند.

فوق آبگریزی سطوح چوبی بامبو اصلاح شده با لایه های TiO_2 و مونتاژ با ترکیبات دارای سطح پایین انرژی حاصل از ساختار دودویی ناهموار متشکل از مقیاس میکرو و نانو می باشد، سطح فوق آبگریز به دست آمده نه فقط پایداری مکانیکی و شیمیایی خوبی دارد بلکه دوام طولانی مدت، اثر ضد خوردگی، و خود تمیز شونده گی دارد و زاویه تماس تقریباً 163° درجه و زاویه لغزش تقریباً 3° درجه دارد. می توان در تحقیقات آتی تاثیر نانوذرات را روی سایر بسترها بررسی کرد و همچنین مقاومت سطح در محیط های خورنده با باران اسیدی و ساخت مواد فوق آبگریز چند منظوره با استفاده از مواد بیونیک را مطالعه کرد. امید است این مقاله راهنمای مفیدی برای تولید سطوح فوق آبگریز روی مواد چوبی در کاربردهای صنعتی با روشی آسان و کم هزینه و استراتژی موثر ارائه کند.

۵- مراجع

[1] Zhi, J., Zhang, L-Z., Durable super hydrophobic surface with highly anti reflective and self-cleaning properties for the glass covers of solar cells, *Appl Surf Sci.*, Vol. 454, pp. 239–248, (2018).

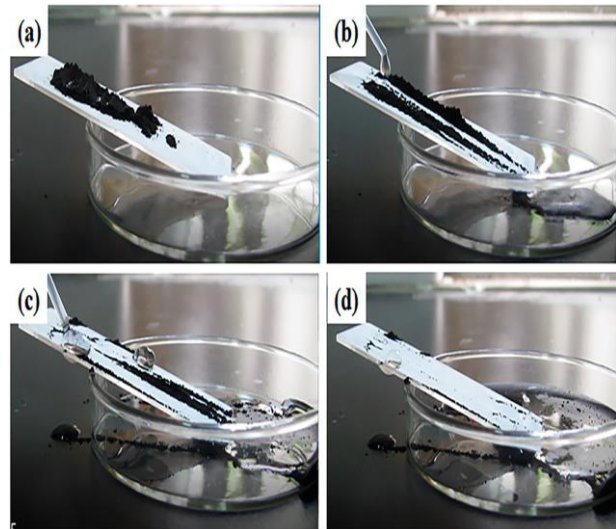
[2] Yu, N., Xiao, X., Ye, Z., and et al., Facile preparation of durable super hydrophobic coating with self-cleaning property, *Surf Coat Technol.*, Vol. 347, pp. 199–208, (2018).

[3] Zhang, Z-H., Wang, H-J., Liang, Y-H., and et al., One-step fabrication of robust super hydrophobic and super oleophilic surfaces with self-cleaning and oil/water separation function, *Sci Rep.*, Vol. 8, pp. 3869, (2018).

[4] Zulfiqar, U., Hussain, S.Z., Subhani, T., and et al., Mechanically robust super hydrophobic coating from sawdust particles and carbon soot for oil/water separation, *Colloids Surf, A.*, Vol. 539, pp. 391–398, (2018).

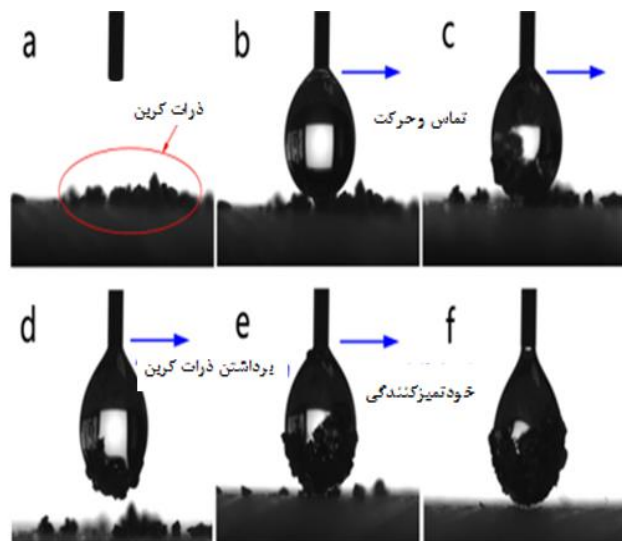
[5] Zhu, Y., Sun, F., Qian, H., and et al., A biomimetic spherical cactus superhydrophobic coating with durable and multiple anti-corrosion effects, *Chem. Eng. J.*, Vol. 338, pp. 670–679, (2018).

[6] Ye, Y., Liu, Z., Liu, W., and et al., Superhydrophobic oligoaniline-containing electroactive silica coating as pre-process coating for corrosion protection of carbon steel, *Chem. Eng. J.*, Vol. 348, pp. 940–951, (2018).



شکل ۸ مراحل ارزیابی عملکرد خود پاک کنندگی الوار a- نمونه با پودر کربن b, c- نمونه در حین تست d- سطح نمونه بعد از تست [۳۲]

پاک می شود. اما ذرات آلوده روی سطح اصلاح نشده به این روش خیلی سخت پاک می شوند. بنابراین نتیجه گیری می شود که سطح فوق آبگریز می تواند زیر لایه های چوب و بامبو را در کاربردهای عملی از الودگی حفظ کند.



شکل ۹ توانایی خودتمیز کنندگی الوار بامبو فوق آبگریز، بخش های a-f نشان می دهد که حرکت قطره به طور موثر می تواند آلودگی سطحی ذرات کربن را از بین ببرد. [۳۱]

۴- نتیجه گیری

به طور خلاصه، سطح فوق آبگریز بادوام و مقاومی از طریق ترکیب دو نوع نانوذره بر پایه فلوروسیلان ها ساخته شد. استفاده از نانوذرات غیرآلی SiO_2 همراه با PMHS برای ساخت سطوح فوق آبگریز بر روی انواع بسترها از جمله چوب، بامبو، پنبه با

- [18] Zhang, D., Li, L., Wu, Y., and et al., One-step method for fabrication of bio inspired hierarchical super hydrophobic surface with robust stability, *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 473, pp. 493–499, (2019).
- [19] Zhou, Y., Ma, Y., Sun, Y., and et al., Robust super hydrophobic surface based on multiple hybrid coatings for application in corrosion protection, *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, Vol. 11, pp. 6512–6526, (2019).
- [20] Lou, C., Zhang, R., Lu, X., and et al., Facile fabrication of epoxy/ polybenzoxazine based super hydrophobic coating with enhanced corrosion resistance and high thermal stability, *Colloids Surf., A.*, Vol. 562, pp. 8–15, (2019).
- [21] Zhang, J., Chen, R., Liu, J., and et al., Construction of ZnO@Co₃O₄-loaded nickel foam with abrasion resistance and chemical stability for oil/water separation, *Surf Coat Technol.*, Vol. 357, pp. 244–251, (2019).
- [22] Zhao, X., Li, Y., Li, B., and et al., Environmentally benign and durable super hydrophobic coatings based on SiO₂ nanoparticles and silanes, *J Colloid Interface Sci.*, Vol. 542, pp. 8–14, (2019).
- [23] Latthe, SS., Sutar, RS., Shinde, TB., and et al., Super hydrophobic leaf mesh decorated with SiO₂ nanoparticle-polystyrene nanocomposite for oil–water separation, *ACS Appl. Nano Mater.*, Vol. 2, pp. 799–805, (2019).
- [24] Yang, M., Liu, W., Jiang, C., and et al., Robust fabrication of superhydrophobic and photocatalytic self-cleaning cotton textile based on TiO₂ and fluoroalkylsilane, *J. Mater. Sci.*, Vol. 54, pp. 2079–2092, (2019).
- [25] Wang, Y., Huang, Z., Gurney, RS., and et al., Super hydrophobic and photocatalytic PDMS/TiO₂ coatings with environmental stability and multi functionality, *Colloids Surf., A.*, Vol. 561, pp. 101–108, (2019).
- [26] Yuan, Z., Bin, J., Wang, X., and et al., Preparation of a polydimethylsiloxane (PDMS)/CaCO₃ based superhydrophobic coating, *Surf. Coat Technol.*, Vol. 254, pp. 97–103, (2014).
- [27] Wang, M., Zhang, M., Pang, L., and et al., Fabrication of highly durable polysiloxane-zinc oxide (ZnO) coated polyethylene terephthalate (PET) fabric with improved ultraviolet resistance, hydrophobicity, and thermal resistance, *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 537, pp. 91–100, (2019).
- [28] Zhao, X., Li, Y., Li, B., and et al. Environmentally benign and durable superhydrophobic coatings based on SiO₂ nanoparticles and silanes, *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 542, pp. 8–14, (2019).
- [7] Zhou, S., Wang, F., Balachandran, S., and et al., Facile fabrication of hybrid PA6-decorated TiO₂ fabrics with excellent photocatalytic, anti-bacterial, UV light-shielding, and super hydrophobic properties. *RSC Adv.*, Vol. 7, pp. 52375–52381, (2017).
- [8] Shaban, M., Mohamed, F., Abdallah, S., Production and characterization of super hydrophobic and antibacterial coated fabrics utilizing ZnO nanocatalyst, *Sci. Rep.*, Vol. 8, pp. 3925, (2018).
- [9] Zuo, Z., Liao, R., Song, X., and et al., Improving the anti-icing/frosting property of a nano structured super hydrophobic surface by the optimum selection of a surface modifier, No. 36, (2018).
- [10] Cheng, Y., Lu, S., Xu, W., and et al., Controllable fabrication of super hydrophobic alloys surface on copper substrate for self-cleaning, anti-icing, anti-corrosion and antiwear performance, *Surf Coat Technol.*, Vol. 333, pp. 61–70, (2018).
- [11] Jafari, R., Momen, G., Eslami, E., Fabrication of icephobic aluminium surfaces by atmospheric plasma jet polymerisation, *Surf. Eng.*, DOI:10.1080/02670844, (2018).
- [12] Zhou, X., Lee, Y-Y., Chong, KSL., and et al., Super hydrophobic and slippery liquid-infused porous surfaces formed by the self-assembly of a hybrid ABC triblock copolymer and their antifouling performance, *J. Mater. Chem. B.*, Vol. 6, pp. 440–448, (2018).
- [13] Wang, Y., He, G., Shao, Y., and et al., Enhanced performance of super hydrophobic polypropylene membrane with modified antifouling surface for high salinity water treatment, *Sep Purif Technol.*, DOI:10.1016/j.seppur.2018.02.011, (2018).
- [14] Zhu, T., Cai, C., Duan, C., and et al., Robust polypropylene fabrics super-repelling various liquids: a simple, rapid and scalable fabrication method by solvent swelling, *ACS Appl Mater Interfaces.*, Vol. 7, pp. 13996–14003, (2015).
- [15] Gao, L., Xiao, S., Gan, W., Zhan, X., Li, J., Durable super amphiphobic wood surfaces from Cu₂O film modified with fluorinated alkylsilane, *RSC Adv.* 55 98203–98208, (2015).
- [16] Gao, L., Lu, Y., Zhan, X., Li, J., Sun, Q., A robust, anti-acid, and high temperature humidity resistant superhydrophobic surface of wood based on a modified TiO₂ film by fluoroalkylsilane, *Surf. Coat. Technol.*, pp. 26233–39, (2015).
- [17] Tu, K., Wang, X., Kong, L., Chang, H., Liu Fabrication of robust, damage -tolerant super hydrophobic coatings on naturally micro-grooved wood surfaces, *RSC Adv.*, (2015).

[31] Li, J., et al., Durable, self-cleaning and superhydrophobic bambootimber surfaces based on TiO₂ films combined with fluoroalkylsilane, *Ceramics International*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.047i>, (2016).

[32] Hu, J., Fang, Z., Huang, Y., and Lu, J., Fabrication of superhydrophobic surfaces based on fluorosilane and TiO₂/SiO₂ nanocomposites, *Surface Engineering*, DOI: 10.1080/02670844.2020.1730059, (2020).

[29] Latthe, S.S., Sutar, R.S., Shinde, T.B., and et al. Superhydrophobic leaf mesh decorated with SiO₂ nanoparticle-polystyrene nanocomposite for oil–water separation, *ACS Appl. Nano Mater.*, Vol. 2, pp. 799–805, (2019).

[30] Lin, W., Cao, M., Olonisakin, K., Li, R., Zhang, Xi., Yang, W., Superhydrophobic materials with good oil/water separation and self-cleaning prepared through an environment-friendly and two-component method, *Cellulose*, Vol. 28, pp. 10425-10439, (2021).