

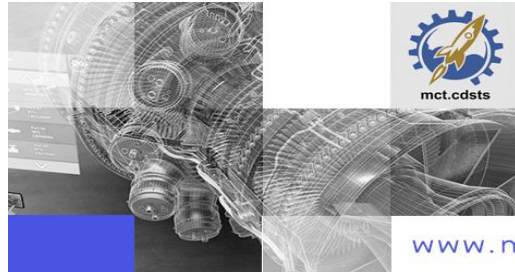
ساخت پوشش آبریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا مقاوم در برابر خوردگی

امین موید کاظمی

(مدیر عامل شرکت *iTech، info@itech-industry.com)

خلاصه:

در این پژوهش، پوشش آبریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا با استفاده از روش دیپ کوتینگ تهیه شده است. این روش به دلیل سادگی و کارایی بالا، به عنوان یکی از تکنیک‌های مؤثر در تولید پوشش‌های نانو ساختاری شناخته می‌شود. پوشش‌های آبریز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود، در صنایع مختلف کاربرد دارند و می‌توانند عمر مفید تجهیزات و سازه‌ها را افزایش دهند. این پوشش به دلیل فعال‌سازی سطح، دارای دوام بسیار بالایی در محیط‌های خورنده است و در صنایعی که با مواد شیمیایی سر و کار دارند، اهمیت زیادی دارد. به عنوان مثال، در خطوط انتقال سیال که تحت تأثیر عوامل خورنده قرار می‌گیرند، استفاده از این پوشش می‌تواند هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را کاهش دهد و بهره‌وری را افزایش دهد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این پوشش مطابق با استاندارد ASTM B117، دوام فوق‌العاده‌ای از خود نشان داده و دارای پایداری بالایی در زاویه تماس و غلتش است. این ویژگی‌ها به معنای مقاومت پوشش در برابر آب و مایعات و جلوگیری از ایجاد لکه و آلودگی است. همچنین، با توجه به استفاده از فولاد به عنوان زیرلایه، که در صنایع غذایی، نفت و سایر صنایع کاربرد دارد، این پوشش می‌تواند به طور گسترده‌ای در صنعت مورد بهره‌برداری قرار گیرد. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش‌های آبریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا می‌توانند به عنوان راهکاری مؤثر برای مقابله با چالش‌های محیطی و خوردگی در صنایع مختلف و بهبود کیفیت و کارایی محصولات صنعتی عمل کنند.

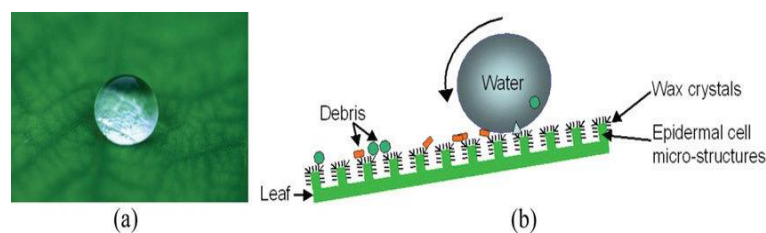


کلمات کلیدی: آبگریز، پوشش آبگریز، پوشش آبگریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا

۱. مقدمه

سطوح فراآبگریز (Superhydrophobic surfaces)، که به عنوان یکی از شاهکارهای فناوری و طبیعت شناخته می‌شوند، به سطوحی اطلاق می‌شود که توانایی دفع آب را به صورت فوق‌العاده‌ای دارند. این سطوح به دلیل زاویه تماس بالای ۱۵۰ درجه با قطرات آب، باعث می‌شوند که آب به راحتی از سطح سر بخورد و به شکل قطرات گرد و مقاوم به جذب باقی بماند. [۱] این ویژگی نه تنها به خشک ماندن سطوح کمک می‌کند، بلکه آلودگی‌ها و ذرات معلق را نیز به طور مؤثر از سطح دفع می‌کند. [۲] ساخت سطوح فراآبگریز معمولاً از طریق دو رویکرد اصلی صورت می‌گیرد: روش‌های فیزیکی و شیمیایی [۳]. در روش‌های فیزیکی، تمرکز بر تغییر ساختار سطحی است تا با ایجاد ناهمواری‌ها و زبری در سطح، امکان افزایش زاویه تماس آب و در نتیجه، دفع بیشتر آب فراهم شود. [۴] تکنیک‌هایی مانند استفاده از نانوذرات، لیزر، یا روش‌های الکتروشیمیایی برای ایجاد این ساختارهای میکرو و نانو بر روی سطح به کار می‌روند [۵]. در مقابل، در روش‌های شیمیایی، سطوح از طریق اعمال پوشش‌های شیمیایی خاصی بهبود می‌یابند. این پوشش‌ها با استفاده از موادی با انرژی سطحی پایین مانند سیلیکون [۶]، فلورین [۷، ۸] و واکس‌ها [۹] خاصیت آب‌گریزی را به سطح می‌بخشند. این مواد به روش‌هایی مانند پاشش، غوطه‌وری یا اسپری بر روی سطوح اعمال می‌شوند. طبیعت، منبع الهام مهمی برای محققان در طراحی سطوح فراآبگریز بوده است. یکی از مثال‌های برجسته در این زمینه، برگ گیاه نیلوفر آبی است که به دلیل سطح زبر و ناهمواری‌های ریز خود، آب و آلودگی‌ها را به طور کامل دفع می‌کند. این خاصیت به گیاه کمک می‌کند تا همواره خشک و تمیز بماند و از مشکلاتی مانند رشد باکتری‌ها در امان باشد. پره‌های برخی پرندگان مانند مرغابی‌ها نیز به دلیل ساختار خاص خود، از نفوذ آب جلوگیری می‌کنند و به پرندگان این امکان را می‌دهند که در محیط‌های آبی بدون آنکه

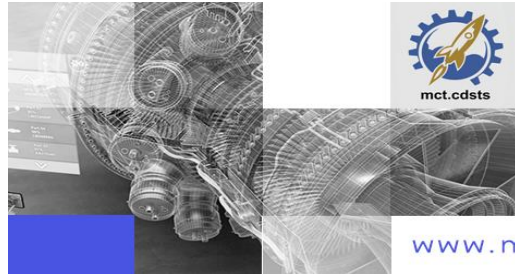
خیس شوند بتوانند فعالیت کنند. پوست حشراتی مانند زنبور عسل و سوسک‌ها نیز دارای سطوح فراآبگریز است که به آن‌ها کمک می‌کند در محیط‌های مرطوب به راحتی زنده بمانند.



شکل ۱- اثر لوتوس و خودتمیزشوندگی بر روی برگ گیاه نیلوفر آبی [۱۰]

از طرفی دیگر، در صنایع مختلف، سطوح فراآبگریز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردشان، کاربردهای وسیعی پیدا کرده‌اند. در صنعت نساجی، این سطوح در تولید پارچه‌هایی که در برابر نفوذ آب و رطوبت مقاوم هستند، به کار می‌روند. این پارچه‌ها برای تولید لباس‌های ضدآب، کفش‌ها، چادرها و پرده‌ها استفاده می‌شوند. در صنعت ساختمان‌سازی، پوشش‌های فراآبگریز بر روی دیوارها، پنجره‌ها و سقف‌ها اعمال می‌شوند تا از نفوذ رطوبت و آب به سازه‌ها جلوگیری کنند و طول عمر ساختمان‌ها را افزایش دهند.





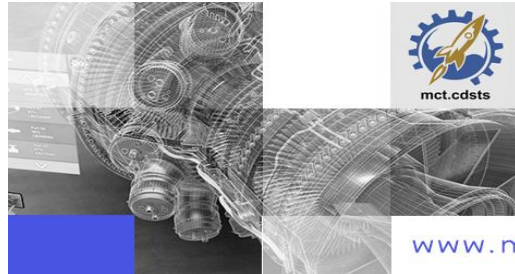
شکل ۲ - استفاده از پوشش فراآبگریز بر روی سیمان سقف یک ساختمان [۱۰]

یکی دیگر از کاربردهای مهم سطوح فراآبگریز، تولید پوشش‌های خودتمیزشونده است. این پوشش‌ها با بهره‌گیری از خاصیت آبگریزی، گرد و غبار و آلودگی‌ها را به راحتی با بارش باران یا بخار آب از سطح پاک می‌کنند و به کاهش هزینه‌های نظافت و نگهداری کمک می‌کنند.



شکل ۳ - زدودن ذرات گرد و غبار از روی سطح به وسیله پوشش فراآبگریز [۱۰]

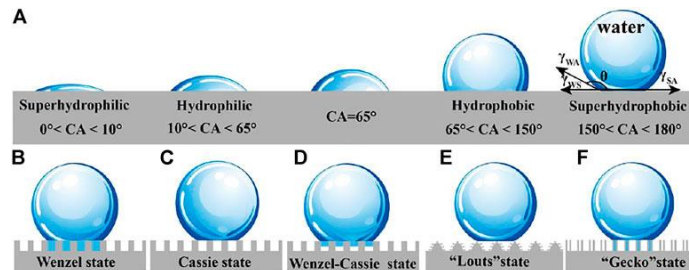
به طور کلی، سطوح فراآبگریز با ایجاد تحول در صنایع مختلف و ارائه راه‌حل‌های نوآورانه، به یکی از دستاوردهای مهم فناوری نانو تبدیل شده‌اند. این سطوح با قابلیت‌های منحصر به فرد خود، از جمله خودتمیزشوندگی، مقاومت به آب و دفع آلودگی‌ها، توانسته‌اند کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف پیدا کنند. سطوح فراآبگریز در صنعت الکترونیک نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. با توجه به حساسیت بالای قطعات الکترونیکی به رطوبت، استفاده از این پوشش‌ها می‌تواند به کاهش خطر آسیب به اجزای داخلی دستگاه‌ها کمک کند. این امر به‌ویژه در دستگاه‌های الکترونیکی قابل حمل مانند تلفن‌های همراه و لپ‌تاپ‌ها که اغلب در معرض شرایط محیطی نامساعد قرار می‌گیرند، اهمیت دارد.



در صنعت خودروسازی نیز، سطوح فراآبگریز می‌توانند به عنوان پوششی محافظ برای جلوگیری از زنگ‌زدگی و آسیب ناشی از آب در خودروها به کار گرفته شوند. این پوشش‌ها با محافظت از بدنه و قطعات فلزی خودروها، می‌توانند به افزایش طول عمر آنها کمک کنند.

علاوه بر این، در حوزه پزشکی نیز سطوح فراآبگریز کاربردهای قابل توجهی پیدا کرده‌اند. این سطوح می‌توانند بر روی ابزارهای پزشکی و سطوح بیمارستانی اعمال شوند تا از آلودگی و انتقال بیماری جلوگیری کنند. در محیط‌های بهداشتی، این خاصیت آب‌گریزی می‌تواند به کاهش انتشار میکروب‌ها و ویروس‌ها کمک کند و محیطی ایمن‌تر برای بیماران و کادر پزشکی فراهم آورد. به‌طور کلی، سطوح فراآبگریز با کاربردهای گسترده و متنوع خود توانسته‌اند تحولی بزرگ در صنایع مختلف ایجاد کنند و راه‌حل‌های نوآورانه‌ای برای مشکلات متعددی ارائه دهند. این فناوری همچنان در حال پیشرفت است و انتظار می‌رود در آینده‌ای نزدیک، شاهد استفاده‌های گسترده‌تر و کاربردهای جدیدتری از این سطوح در بخش‌های مختلف باشیم.

پژوهش در زمینه‌ی ترشوندگی (Wettability) در سال‌های اخیر به دلیل کاربردهای بالقوه‌ی فراوان سطوح فراآبگریز، که مستقیماً با زندگی روزمره‌ی ما مرتبط هستند، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. به طور مثال پدیده الهام‌گرفته شده از طبیعت، موسوم به اثر لوتوس، ناشی از ترکیب مرفولوژی سطح و ترکیب شیمیایی آن است. ساخت سطوح ابرآب‌گریز به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شود: اصلاح سطوح زبر با مواد دارای انرژی سطحی پایین و آماده‌سازی ساختارهای زبر بر روی چنین موادی. در این میان، طراحی مناسب سطح نقش حیاتی در دستیابی به خاصیت ابرآب‌گریزی ایفا می‌کند [۱۱].



شکل ۴- تقسیم‌بندی انواع سطوح بر حسب زاویه تماس آنان [۱۲]

تاکنون روش‌های متعددی برای ساخت این سطوح به کار گرفته شده است، از جمله روش‌های اچ پلاسما، قالب‌گیری، سل-ژل، آندیزاسیون، غوطه‌وری در محلول، و الکتروپوزیشن [۹]. در میان این روش‌ها، سل-ژل و غوطه‌وری در محلول به دلیل سادگی، هزینه پایین و قابلیت پوشش‌دهی سطوح بزرگ، گزینه‌های مناسبی محسوب می‌شوند. در حوزه تولید صنعتی، فولاد خطوط لوله یکی از مواد اساسی است. با این حال، چسبندگی مخلوط‌های آبی به دیواره لوله‌ها می‌تواند منجر به پدیده رسوب‌گذاری شده و در نهایت باعث آسیب به تجهیزات و هدررفت انرژی شود. بنابراین، ایجاد پوشش ابرآب‌گریز بر روی سطح فولاد خطوط لوله ضروری به نظر می‌رسد.

در سال‌های اخیر، سطوح ابرآب‌گریز با خاصیت خودتمیزشوندگی به منظور حفظ پاکیزگی سطح طراحی شده‌اند. همچنین، این سطوح به عنوان یکی از راه‌های مؤثر برای بهبود مقاومت به خوردگی مواد زیرلایه مورد استفاده قرار می‌گیرند، چرا که تماس آب با سطح زیرلایه به‌سختی صورت می‌گیرد. علاوه بر این، پوشش‌های فلزی یا آلیاژی به روش سل-ژل عمدتاً برای حفاظت از مواد زیرلایه به کار می‌روند. پوشش‌های مبتنی بر نانوذرات سیلیکا به دلیل خاصیت ضد رسوب‌گذاری، به سرعت

توسعه یافته و مورد



شکل ۵- مقایسه رسوب مواد ناخالصی آب در داخل لوله با پوشش و بدون پوشش آب گریز [۱۳].

استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین، آماده‌سازی پوشش ابرآب‌گریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا با ویژگی‌های خودتمیزشوندگی، ضد خوردگی، و ضد رسوب‌گذاری بر روی زیرلایه‌ی فولاد خطوط لوله عملی و قابل انجام است.

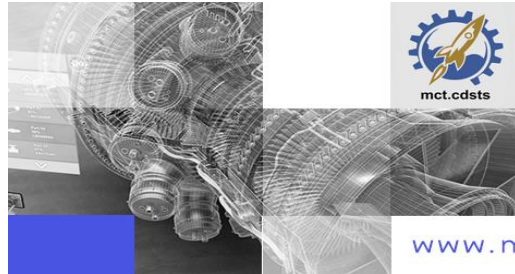
در این مقاله، فرآیند ساخت پوشش ابرآب‌گریز با ساختارهای سلسله‌مراتبی بر روی سطح فولاد خطوط لوله توضیح داده می‌شود. این فرآیند با یک روش ساده شامل استفاده از سل-ژل، غوطه‌وری در محلول برای رشد درجا، ساختارهای سلسله‌مراتبی سیلیکا و اصلاح سطح با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید انجام شده است.

۲. مواد مورد استفاده:

هگزا دی متیل سیلوکسان، اتانول، آب مقطر، هیدروکلریک اسید، فسفریک اسید و سدیم هیدروکسید همگی از مرک آلمان تهیه شدند.

۳. نحوه آماده سازی محلول اب گریز و اعمال بر روی زیرلایه:

سطح فولاد ابتدا با محلول فسفریک اسید به‌طور کامل تمیز شده تا هرگونه آلودگی، چربی و زنگ‌زدگی از بین برود و سپس با آب مقطر شستشو داده و با قرار گیری در محلول سدیم هیدروکسید به مدت نیم ساعت فعال‌سازی شده تا چسبندگی پوشش سل-ژل بهبود یابد. پس از شستشو و خشک کردن سطح، سل سیلیکا تهیه شده است. در این فرآیند، محلول A



شامل اتانول و هگزا دی متیل سیلوکسان (HDMS) و محلول B شامل آب مقطر، هیدروکلریک اسید و اتانول ترکیب شده و در دمای اتاق به هم زده شده تا نانوذرات سیلیکا تشکیل شوند. سپس سل آماده شده به وسیله اسپری، به طور یکنواخت روی سطح فولاد اعمال شده و پس از غوطه‌ور شدن برای مدت کوتاهی، سطح از محلول بیرون آورده و در دمای اتاق خشک شده است. در ادامه، سطح پوشش داده شده در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد پخت شده تا شبکه سیلیکا تثبیت شود. در نهایت، برای ایجاد خاصیت آبگریزی، سطح با HDMS اصلاح و مجدداً خشک و حرارت داده شده است تا واکنش کامل شود و پوشش آبگریز به دست آید.

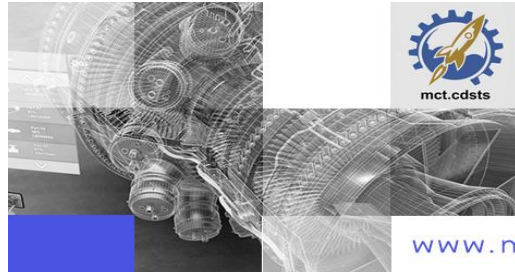
۴. آزمون‌ها:

برای ارزیابی عملکرد و ویژگی‌های پوشش آبگریز مبتنی بر نانوذرات سیلیکا که به روش سل-ژل بر روی سطح فولاد اعمال شده بود، مجموعه‌ای از تست‌های مختلف انجام شد. این تست‌ها به منظور بررسی کارایی و دوام پوشش در شرایط مختلف صورت گرفت.

۴.۱. تست زاویه تماس (Contact Angle Measurement):

در طی این تست، هدف بدست آوردن زاویه تماس قطرات آب بر روی سطح است. مطابق آنچه ذکر شد، اگر زاویه تماس آب بالای ۱۵۰ درجه اندازه‌گیری شود، میتوان فهمید که سطح دارای خاصیت فراآبگریزی است. در طی این تست به مقدار ۱۰ میکرولیتر آب بر روی سطح نمونه قرار گرفت که زاویه تماس آن توسط دستگاه JIKAN-CAG 20 اندازه‌گیری شد.

۴.۲. تست زاویه غلتش (Sliding Angle Measurement):



در طی این تست هدف آن بوده است که میزان زاویه‌ای که در طی آن آب بر روی سطح بر اثر وزن خود شروع به لغزش میکند را بدست آورد. در طی این تست، که توسط دستگاه آزمون قبل انجام شده است، میزان ده میکرولیتر آب بر روی نمونه قرار گرفت و میزان زاویه آن نسبت به افق تا حدی زیاد شد که قطره آب شروع به لغزیدن کند. در این تست و تست قبل جهت جلوگیری از تراکم خطا، مقدار اندازه گیری پس از سه بار اندازه‌گیری به صورت میانگین گزارش خواهد شد.

۴/۳. تست مقاومت به خوردگی توسط آب نمک (Corrosion Resistance Test):

در این تست که بر اساس استاندارد ASTM B117 انجام شده است، در این تست که بر اساس استاندارد ASTM B117 انجام شده است، فولاد پوشش‌دار تحت شرایط خاصی از جمله رطوبت و دما قرار می‌گیرد تا مقاومت آن در برابر خوردگی ارزیابی شود. این استاندارد به طور خاص به آزمایش‌های مهندسی و صنعتی مربوط می‌شود و هدف آن شبیه‌سازی شرایط محیطی است که ممکن است فولاد در آن قرار گیرد. در این آزمایش، نمونه‌ها در یک اتاقک مه‌زنی قرار می‌گیرند که در آن بخار آب به طور مداوم تولید می‌شود و دما و رطوبت به دقت کنترل می‌شوند. نتایج این تست به تعیین کیفیت و دوام پوشش‌های محافظتی کمک می‌کند و می‌تواند به انتخاب مواد مناسب برای کاربردهای مختلف منجر شود.

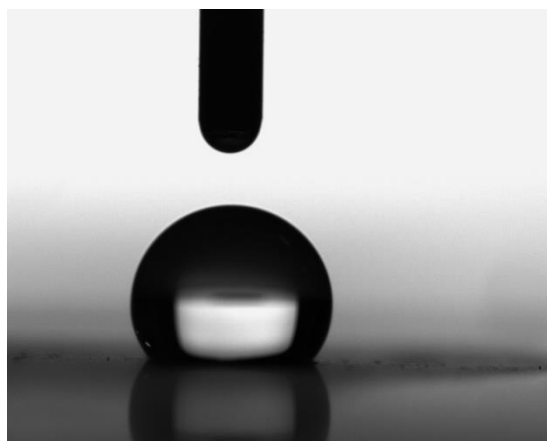
۵. نتایج:

۵.۱. نتایج حاصل از آزمون زاویه تماس:

این تست که توسط دستگاه Jikan CAG- 20 انجام شده است، مبین میزان توانایی پوشش برای راندن قطرات آب از روی خود خواهد بود. نتایج این آزمون حاکی از آن است که پوشش ساخته شده در ابتدا دارای زاویه تماس ۱۵۱ درجه بود که پس از ۱۰۰۰ ساعت غوطه‌وری در داخل آب میزان زاویه تماس آن به ۱۳۵ درجه رسید. این مقدار نشان دهنده

مقاومت بالای پوشش در برابر انحلال در آب و از بین رفتن هوای محبوس در داخل حفره‌های آن است. این موضوع در

حالی است که زاویه تماس سطح بدون پوشش برابر با ۶۵ درجه اندازه‌گیری شد.



شکل ۶ - زاویه تماس پوشش ساخته شده پس از ۱۰۰۰ ساعت قرار گیری در آب.

۵.۲. نتایج حاصل از آزمون غلتش:

این آزمون نشان دهنده میزان توانایی سیال در جاری شدن در داخل لوله دارای این پوشش است. برای فهم بهتر

عملکرد پوشش در این راستا، تست برای نمونه فولاد دارای پوشش و بدون پوشش انجام شد. نتایج این آزمون حاکی از

آن بود که نمونه دارای پوشش دارای زاویه غلتشی برابر با ۷ درجه بوده است و این موضوع زمانی مهم میشود که

بدانیم تست مذکور نشان دهنده زاویه غلتش ۶۴ درجه‌ای برای سطح فولاد بدون پوشش بوده است.

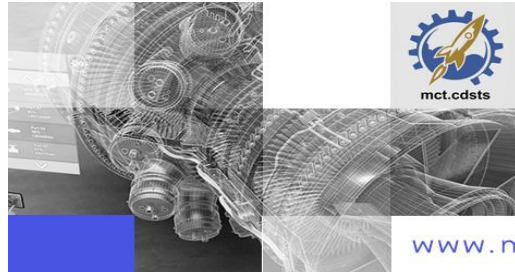
۵/۳. نتایج حاصل از تست خوردگی توسط آب نمک:

بر اساس این تست، از آنجا که نمونه پوششهای در تماس با محلولهای دارای نمک توسط این محلول خورده میشوند و

خاصیت خود را از دست میدهند و یا دچار تغییر شکل سطحی میشوند، میتوان از استاندارد ASTM B117 جهت

مقاومت آنان در محلولهای شور استفاده کرد. در طی این تست که در رطوبت ۹۵٪ و دمای اتاق برابر با ۳۵ درجه

سانتیگراد انجام شده است، نمونه پس از هر پانزده دقیقه مورد تست قرار میگرفت. در مرحله اول تا سوم تنها به از



زاویه تماس ۳ درجه کاسته شد و به مقدار زاویه غلتش آن نیز تنها ۲ درجه افزوده شد. پس از سیکل پنجم زاویه

تماس آن به مقدار ۱۰۰ درجه رسید و در نهایت پس از ۸ سیکل زاویه تماس آن به مقدار ۸۹ درجه رسید که دیگر

در دسته سطوح آبگریز قرار نمیگرفت.

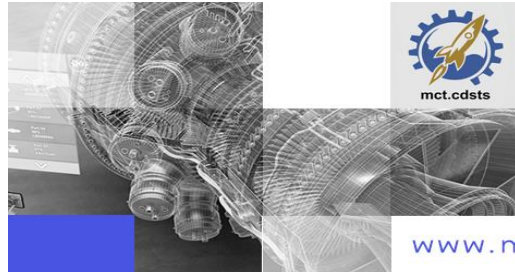
• تقدیر و تشکر:

در پایان لازم دانسته میشود که از آقایان علی مقدم و رستا هوشیار و همچنین سایر دست‌اندرکاران شرکت

iTech مراتب تشکر و قدردانی را داشته باشیم که این پژوهش با کمک این دوستان میسر شده است.

۶. منابع و مراجع

- [1] A. Hooda, M.S. Goyat, J.K. Pandey, A. Kumar, R. Gupta, A review on fundamentals, constraints and fabrication techniques of superhydrophobic coatings, Prog Org Coat 142 (2020) 105557. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2020.105557>.
- [2] S.S. Latthe, R.S. Sutar, V.S. Kodag, A.K. Bhosale, A.M. Kumar, K. Kumar Sadasivuni, R. Xing, S. Liu, Self – cleaning superhydrophobic coatings: Potential industrial applications, Prog Org Coat 128 (2019) 52–58. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2018.12.008>.
- [3] S. Pan, N. Wang, D. Xiong, Y. Deng, Y. Shi, Fabrication of superhydrophobic coating via spraying method and its applications in anti-icing and anti-corrosion, Appl Surf Sci 389 (2016) 547–553. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2016.07.138>.
- [4] H.S. Salapare, G.Q. Blantocas, V.R. Noguera, H.J. Ramos, Low-energy hydrogen ion shower (LEHIS) treatment of polytetrafluoroethylene (PTFE) materials, Appl Surf Sci 255 (2008) 2951–2957. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2008.08.079>.
- [5] J.H. Zhi, L.Z. Zhang, Y. Yan, J. Zhu, Mechanical durability of superhydrophobic surfaces: The role of surface modification technologies, Appl Surf Sci 392 (2017) 286–296. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2016.09.049>.
- [6] L. Xu, J. He, Fabrication of highly transparent superhydrophobic coatings from hollow silica nanoparticles, Langmuir 28 (2012) 7512–7518. <https://doi.org/10.1021/la301420p>.
- [7] S.G. Liter, M. Kaviany, Pool-boiling CHF enhancement by modulated porous-layer coating: theory and experiment, n.d. www.elsevier.com/locate/ijhmt.
- [8] C.T. Yang, C.C. Yu, Pool boiling of micro-/nanoparticles modified aluminum surface, Advances in Materials Science and Engineering 2013 (2013). <https://doi.org/10.1155/2013/258241>.



- [9] A. Milionis, E. Loth, I.S. Bayer, Recent advances in the mechanical durability of superhydrophobic materials, *Adv Colloid Interface Sci* 229 (2016) 57–79. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2015.12.007>.
- [10] wikipedia.org, (n.d.).
- [11] M. Zhang, S. Feng, L. Wang, Y. Zheng, Lotus effect in wetting and self-cleaning, *Biotribology* 5 (2016) 31–43. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTRI.2015.08.002>.
- [12] Q. Luo, J. Peng, X. Chen, H. Zhang, X. Deng, S. Jin, H. Zhu, Recent Advances in Multifunctional Mechanical–Chemical Superhydrophobic Materials, *Front Bioeng Biotechnol* 10 (2022). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.947327>.
- [13] <https://www.navieninc.com/series/peakflow>, (n.d.).