



مواد خود تمیز شونده

ویژگی قابل توجه گیاه «نیلوفر آبی» در دفع آلودگی،
الهام بخش ظهور دسته‌ای از فناوری‌ها و مواد خود تمیز شونده و ضد میکروبی بوده است.

نویسنده: Peter Forbes

مترجم: ابوالقاسم مصیبی جیرهنده،
کارشناس ارشد فیزیک، دانشگاه تهران

ویلیام بارتلات (کاشف و توسعه‌دهنده اثر نیلوفر آبی) از دانشگاه بن آلمان، چشم‌اندازی از یک شهر منهدن خود تمیز شونده را مطرح نموده است که در آن یک باران کوچک، پنجره‌ها و دیوارهای آسمان خراش‌ها را همانند یک نیلوفر آبی کاملاً تمیز می‌کند. در جایی دیگر، وی چادرها و سایبان‌هایی را معرفی می‌کند که با استفاده از بافت‌های جدید و بدون مداخله‌ی انسان، تمیز و بدون لک باقی می‌مانند. البته او تنها شخصی نیست که چنین چشم‌اندازهایی را مبتنی بر به‌کارگیری اشیای خود تمیز شونده (که به ندرت نیاز به شستشو دارند) در آینده مطرح می‌کند؛ در ژاپن فناوری‌هایی برای توسعه سطوح خودگندزدا و ضد عفونی‌کننده برای حمام‌ها و بیمارستان‌ها وجود دارد. میخاییل راینر و رابرت کوهن از مؤسسه‌ی فناوری ماساچوست، فناوری‌های مشابهی را در ذهن خود مجسم می‌کنند که آینه‌های حمام‌ها را تمیز و بدون بخار نگه داشته،

مفاهیم کلیدی

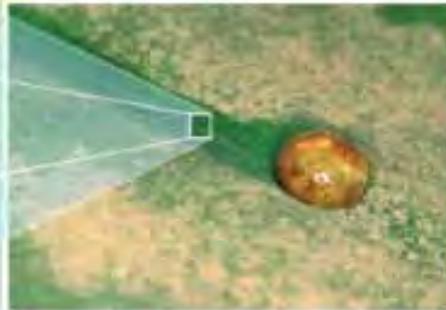
- برآمدگی‌های میکروسکوپی بر روی برگ یک نیلوفر آبی، سطح مومسان آن را به سطحی ابرآب‌گریز تبدیل می‌کند که به شدت دافع آب است. قطرات باران به‌آسانی در سراسر چنین سطحی غلتیده، هرگونه آلودگی را حذف می‌کند.
- محققان مواد مصنوعی خود تمیز شونده‌ای را تولید کرده‌اند که برخی از آنها مبتنی بر «اثر نیلوفر آبی» هستند. این در حالی است که دیگران، از خصوصیت متقابل یعنی ابرآب‌دوستی و واکنش‌های شیمیایی کاتالیستی بهره می‌گیرند.
- محصولات آینده ممکن است دو ویژگی آب‌دوستی و آب‌گریزی را با یکدیگر ترکیب کنند و یا از موادی با قابلیت کلیدزنی استفاده کنند و به این شکل جریان مایعات را در اجزای میکروسیالی کنترل کنند.

اثر نیلوفر آبی

ویژگی قابل توجه برگ نیلوفر آبی برای تمیز ماندن، الگویی برای توسعه‌ی مواد خودتمیزشونده به شمار می‌رفته‌است.



برآمدگی‌های میکروسکوپی (با اندازه‌ی تنها چند میکرون) که سراسر سطح برگ را پوشانده‌اند، کلید پیدایش ویژگی دفع آب این گیاه به شمار می‌روند. وجود یک پوشش ناهموار از بلورهای موم‌شکل نانویی بر روی این برآمدگی‌ها، این اثر را تقویت می‌کند.



آب بدون چسبیدن در سراسر برگ غلتیده، آلودگی را حذف می‌کند.



مفاهیم

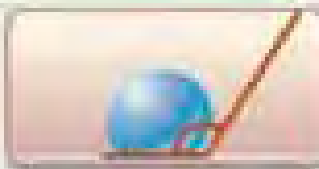
فیزیک نیلوفر آبی

اثر خودتمیزشوندگی نیلوفر آبی از آبگریزی شدید سطح این گیاه نشأت می‌گیرد. آبگریز بودن و یا آبدوست بودن یک ماده به وسیله‌ی زاویه‌ی تماس بین ماده مذکور و سطح آب تعیین می‌گردد.

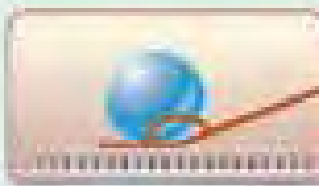
زوایای تماس



سطح آبدوست: کمتر از ۳۰ درجه



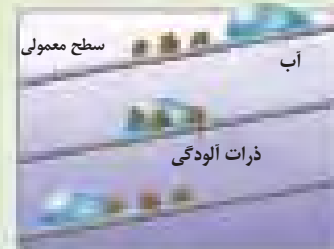
سطح آب‌گریز: بیشتر از ۹۰ درجه



سطح ابرآب‌گریز: بیشتر از ۱۵۰ درجه

زاویه‌ی بزرگتر به دلیل وجود برآمدگی‌هایی که هوا را در بین آب و سطح، گیر می‌اندازند تشکیل می‌شود و میزان تماس با سطح را کمینه می‌کند.

چگونه نیلوفر آبی خود را تمیز می‌کند



بر روی یک سطح نمونه (سطحی که شدیداً آبدوست و یا آبگریز نباشد)، یک قطره از آب، در سرتاسر سطح غلتیده و بیشتر ذرات چرکی که به سطح چسبیده‌اند را بر جای خود باقی می‌گذارد.



بر روی یک سطح ابرآب‌گریز، یک قطره در سرتاسر سطح غلتیده و در این حین، آلودگی را به همراه خود حمل کرده و از سطح دور می‌کند. در چنین سیستمی، چسبندگی بین آب و آلودگی قوی‌تر از چسبندگی این مواد با سطح است.

می‌توانند آزمایشگاه‌های روی یک تراشه میکروسیالی را کنترل کنند. در چنین سیستم‌هایی سیالات از خلال معبرهای میکروسکوپی عبور می‌کنند. هم‌اکنون ما پیراهن‌ها، بلوزها، دامن‌ها و شلوارهایی را در اختیار داریم که سس گوجه‌فرنگی، خردل و قهوه را از خود دور می‌کنند. یک انقلاب در زمینه‌ی سطوح خودتمیزشونده در راه است.

داستان مواد خودتمیزشونده با الهام‌گیری از نیلوفر آبی مقدس یا Nelumbo nucifera در طبیعت آغاز شده‌است؛ این نوع دائمی آبی جذاب پرتالو در مذاهب و فرهنگ‌های هند، میانمار، چین و ژاپن جایگاه ویژه‌ای دارد. نیلوفر آبی به دلیل تمیزی و پاکی استثنایی خود مورد احترام است. این گیاه در آب گل‌آلود می‌روید؛ اما برگ‌های آن، پس از بیرون آمدن چند متر بالاتر از سطح آب قرار می‌گیرد که این امر از کثیفی آن جلوگیری می‌کند. قطرات آبی که بر روی یک برگ نیلوفر آبی قرار می‌گیرند، تالو عجیبی دارند و آب باران آلودگی‌ها را به‌سادگی و راحت‌تر از هر گیاه دیگری از آنها می‌زداید.

ویژگی تمیزشوندگی استثنایی این گیاه، توجه بارتالات را به خود جلب کرده‌است. در دهه‌ی هفتاد قابلیت‌های میکروسکوپ الکترونی روشنی، وی را مجذوب ساخت. این میکروسکوپ به‌صورت تجاری در سال ۱۹۶۵ عرضه گردید و عکس‌های واضحی

راهی برای تمیز ماندن

شرکت‌ها پارچه‌هایی ساخته‌اند که می‌توانند آب و لکه‌های غذا را به دلیل ابرآب‌گریز بودن، همانند یک برگ نیلوفرآبی، از خود دفع کنند (بالا). اصلاحاتی که بر روی فیبرهای کتان مجزای این ماده انجام گرفته، اثر ذکر شده را تولید می‌کند. در یک طرح (پایین)، ذرات، برآمدگی‌هایی با اندازه چندصد نانومتر بر روی فیبرها به وجود می‌آورند. بسیاری از محصولات دیگر، همانند رنگ‌های خارجی و آجرکاشی‌های بام به منظور برخورداری از اثر نیلوفر آبی، دارای یک پرداخت زبر میکروسکوپی یا نانویی هستند.



الیاف کتان معمولی

الیاف کتان فراوری شده

برگ در فضاهای اطراف برآمدگی‌ها، زاویه‌ی تماسی را افزایش می‌دهد. این اثر به‌وسیله‌ی معادله‌ی کاسی - باکستر (ای‌بی‌دی کاسی و اس باکستر در دهه‌ی چهل برای نخستین بار این معادله را ابداع کردند) - توجیه می‌شود.

بارتلات مشاهده کرد که آلودگی و چرک به شکل مشابهی و تنها به‌وسیله‌ی نوک برآمدگی‌های برگ گیاه مذکور در تماس است. قطرات باران به‌آسانی چرک را ترک کرده، آن را از برگ به پایین می‌غلطانند. کشف ارتقای تمیزشوندگی به‌وسیله‌ی برآمدگی‌های میکروسکوپی، به شکل شگفت‌آوری پرتناقض است. او می‌گوید: «من دیده بودم که در برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های پیش‌بند مادرم، آلودگی و چرک جمع می‌شود و برای تمیز نگه داشتن اشیا باید این برآمدگی‌های جذب‌کننده‌ی آلودگی را هموار کرد؛ اما بررسی‌های عمیق بر روی این نوع نیلوفر نشان داد که این مطلب کاملاً درست نیست.»

ایجادیک سطح ابرآب‌گریز بر روی یک شیء با استفاده از اثر نیلوفر آبی آسان نیست. خصوصیت یک ماده‌ی آب‌گریز ذاتاً دافعه است؛ اما باید این سطح را که دافع همه چیز است، بر روی این شیء چسباند و به آن متصل کرد. با این حال، در اوایل دهه‌ی نود، بارتلات «قاشق عسل» را ابداع نموده بود. این قاشق دارای یک سطح سیلیکونی زبر (دارای برآمدگی‌های میکروسکوپی) بود و به عسل اجازه می‌داد تا بدون اینکه چیزی در قاشق بماند، از آن جدا شود. سرانجام این محصول برخی از شرکت‌های شیمیایی بزرگ را متقاعد کرد که این راهکار، ارزشمند به شمار می‌رود و توان تحقیقاتی آنها به‌زودی راه‌های بیشتری را برای به‌کارگیری این اثر خواهد یافت. تاکنون مهم‌ترین کاربرد این محصول، رنگ‌نمای خارجی StoLotusan برای ساختمان‌هاست که شرکت چندملیتی آلمانی استو ای‌جی در سال ۱۹۹۹ آن را معرفی کرد و یک موفقیت بزرگ بود. «اثر نیلوفر آبی» هم‌اکنون در آلمان در عرصه‌ی ابزارهای خانگی شناخته شده‌است. در اکتبر سال گذشته، نشریه‌ی

ماده پخش می‌شود تا سطح تماس، بیشینه شود. برای یک سطح آب‌دوست، زاویه‌ی تماس (زاویه‌ای که از برخورد سطح قطره با ماده ایجاد می‌شود) کوچک‌تر از ۳۰ درجه است؛ در حالی که زاویه‌ی تماس یک سطح آب‌گریز، بزرگ‌تر از ۹۰ درجه است. علاوه‌بر این وی کشف کرد که برآمدگی‌های بی‌شماری این مسئله را تشدید کرده، موجب می‌شوند که سطح این نیلوفر، ابرآب‌گریز باشد (یعنی زاویه‌ی تماس بیش از ۱۵۰ درجه باشد). قطرات آب بر روی چنین سطحی به‌صورت قطرات کوچک تقریباً کروی درمی‌آیند که سطح تماس بسیار کوچکی دارد و به سهولت یک بلبرینگ، بر روی سطح می‌غلطند. آب همانند شخصی که بر روی بستری از میخ دراز کشیده باشد، بر روی نوک برآمدگی‌ها می‌نشیند. هوای گیرافتاده بین آب و سطح

را از محدوده‌ی پایین‌تر از نانومتر ارائه داد. در چنین درجه‌ای از بزرگ‌نمایی، یک لکه از آلودگی‌ها می‌تواند تصویر را خراب کند، لذا تمیز بودن نمونه‌ها ضروری است؛ اما بارتلات متوجه شد که برخی از گیاهان ظاهراً هرگز نیاز به شستشو ندارند که سرده‌ی آنها نیلوفر آبی است.

به عقیده‌ی بارتلات این اثر از ترکیب دو خصوصیت در سطح برگ این گیاه (مومسانی این برگ و برآمدگی‌های میکروسکوپی که سطح آن را پوشانده‌اند و اندازه‌ی آنها چند میکرون است) ایجاد می‌شود. وی از فیزیک پایه دریافت که تنها ویژگی مومسانی این برگ‌ها باعث آب‌گریز بودن آنها می‌گردد. در چنین ماده‌ای قطرات آب به شکلی قرار می‌گیرند که کمترین سطح تماس را با سطح ماده داشته باشند. آب بر روی یک ماده‌ی آب‌دوست‌تر بر روی سطح

تیتانیای خودتمیز شونده

لایه‌های نازک تیتانیا، دارای خصوصیات بسیار متضاد با خصوصیات نیلوفر آبی، (یعنی ابرآبدوستی) هستند، اما با این حال این لایه‌ها نیز آلودگی را دفع کرده و ضد میکروب نیز هستند.

آنچه که آب انجام می‌دهد:

آب بر روی یک ماده ابرآبدوست، صفحه‌ای بر روی کل سطح می‌سازد و به آسانی با شارش خود، چرک و آلودگی را از جای خود کنده و دور می‌کند. علاوه بر این ابرآبدوستی مانع از مه‌گرفتنی یک سطح می‌گردد زیرا آب بر روی چنین سطحی به جای اینکه به صورت تعداد بیشماری از قطرات بسیار کوچک (که به وجود آورنده مه هستند) درآید بر روی سطح، پخش می‌گردد.



شیمی:
پرتوهای نور فرابنفش (همانند آنچه در نور خورشید موجود است) الکترون‌ها و حفره‌ها (مکان‌های خالی‌شده از الکترون که دارای بار مثبت هستند) را در تیتانیا برانگیخته می‌کنند (۱). این الکترون‌ها با مولکول‌های اکسیژن ادغام می‌شوند تا یون‌های منفی رادیکال سوپراکسید را تشکیل دهند (۲). و حفره‌ها با یون‌های منفی هیدروکسید آب ادغام می‌شوند تا رادیکال‌های هیدروکسیل خنثی تشکیل دهند (۳). این گونه‌های بسیار واکنش‌پذیر، میکروب‌ها را کشته و مواد آلی موجود بر روی سطح را تجزیه می‌کنند (۴). نور فرابنفش همچنین ساختار لایه تیتانیا را تغییر داده و آن را ابرآبدوست می‌نماید (۵) که این ویژگی امکان زدودن آلودگی به‌وسیله آب را ممکن می‌سازد (۵).

که بر روی منسوجاتی اعمال می‌گردد که هم‌اکنون به‌وسیله سرمایه‌گذار و کارفرمایی به نام دیوید سوآن در شرکت وی به نام نانوتکس ساخته می‌شود. کرک‌های روی پوست هلو را زیر شیر آب بگیرید تا اثر به کاررفته در Nano-Care را ببینید. «کرک‌های» Nano-Care از موهای بسیار کوچکی ساخته و به ریسمان‌های کتان متصل شده‌اند. این موها آن قدر کوچکند (کوچک‌تر از یک هزارم ارتفاع برآمدگی‌های نیلوفر آبی) که ریسمان‌های کتان در مقابل آنها شبیه تنه‌های بزرگ درخت هستند.

رقیب نانوتکس، یک شرکت سوئیسی به نام چولر تکستیل ای‌جی است که فناوری خود را با نام نانوکره عرضه کرده‌است. این سیستم دارای نانوذراتی از جنس سیلیس یا یک پلیمر است که بر روی الیاف لباس قرار گرفته، باعث ایجاد نوعی زبری و ناهمواری (همانند آنچه در برگ نیلوفر آبی وجود دارد) روی سطح می‌شود.

از آنجا که ادعاهای آزمایش‌نشده فراوانی برای حمایت از محصولات فناوری‌نانو ارائه شده‌اند، مؤسسات استاندارد در پی آنند تا آزمایش‌های دقیقی را برای لباس‌های خودتمیزشونده (که بر پایه‌ی این نوآوری‌ها تولید می‌شوند) تدارک ببینند. در اکتبر ۲۰۰۵ مؤسسه‌ی تحقیقاتی آلمانی هوهنستین (عرضه‌کننده‌ی آزمایش‌ها و تأییدیه‌ها برای بازرگانی و صنعت در سراسر جهان) اعلام کرد که منسوجات نانوکره‌ای، نخستین محصول این دسته از منسوجات هستند که مجموعه‌ی کاملی از آزمایش‌ها را گذرانده‌است. این آزمایش‌ها شامل تعیین میزان دافعه‌ی آب و ارزیابی قابلیت این بافت برای حفظ کارایی خود پس از چرخه‌های شستشوی روزمره و سایر فرسودگی‌های معمولی است. در یکی از آزمایش‌ها، نمونه‌های نانوکره‌ای نشان دادند که قابلیت بالایی برای دفع سس‌های گوجه‌فرنگی چرب، قهوه و نوشیدنی (برخی از بدترین لکه‌های معمولی) دارند.

لباس‌های آسان‌پاک‌شونده به شکل گسترده‌ای در حال ورود به بخش‌های

Wirtschaftswoche آن را به‌عنوان یکی از ۵۰ اختراع برتر سال‌های اخیر در این کشور معرفی کرد.

حذف بیماری‌ها در رستوران‌ها

وقتی که از واژه‌ی خودتمیزشونده استفاده می‌شود، بیشتر مردم به یاد لباس‌های خودتمیزشونده می‌افتند، چون اگرچه غالباً فضای بیرون منازل خود را تمیز نمی‌کنیم؛ اما شستشوی لباس‌ها همواره بر عهده‌ی ماست. پس از شروع آزمایشی، هم‌اکنون منسوجات خودتمیزشونده در همه‌جا ظاهر شده‌اند. این حضور با عرضه‌ی محصول Nano-Care آغاز شد. Nano-Care رنگ و پرداختی است

درباره نویسنده



پیتر فورزی یک نویسنده علمی است که در لندن زندگی می‌کند. کتاب «پاهای مارمولک (The Gecko's Foot)» وی که در سال ۲۰۰۶ منتشر شد دسته‌ی وسیعی از فناوری‌های الگوبرداری‌شده زیستی یا الهام‌گرفته‌شده زیستی را بررسی نموده است. وی همچنین ویرایشگر «رویش قرن: کتاب پنگوئن قرن بیستم در شعر» بوده است

مطالعات مذکور نشان داد که لایه‌های نازک تیتانیا (با ضخامت در محدوده‌ی چند نانومتر تا چند میکرون) کارآمدتر از ذرات بزرگ‌تر هستند. در سال ۱۹۹۰، پس از اینکه فوجی‌شیما همراه با کازوهیتو هاشیموتو (از دانشگاه توکیو و توشیا) واتانیب (از یک شرکت سازنده‌ی تجهیزات بهداشتی به نام توتو) گروهی را تشکیل دادند، موفق به کشف این مسئله شدند که لایه‌های نازک نانومقیاس تیتانیا (که با پرتو نور فرابنفش فعال‌سازی می‌شوند) یک اثر فوتوکاتالیستی دارند و ترکیبات آلی (از جمله ترکیبات موجود در دیواره‌های سلولی باکتری) را به دی‌اکسید کربن و آب تجزیه می‌کنند.

از آنجا که تیتانیا یک فوتوکاتالیست است، می‌توان آن را به‌عنوان نیمه‌رسانا بر شمرده؛ به عبارت دیگر مقدار متوسطی انرژی لازم است تا یک الکترون را از باند ظرفیت ترازهای انرژی پر شده (که تحت عنوان یک باندگپ شناخته می‌شود و از ترازهای انرژی ممنوعه تشکیل می‌شود) به «باند رسانایی» خالی مربوطه (که در آن، الکترون‌ها می‌توانند شارش یابند و جریان حمل کنند) بالا ببرند. در مورد تیتانیا، یک فوتون از پرتو نور فرابنفش با طول موجی در حدود ۳۸۸ نانومتر می‌تواند این کار را انجام دهد؛ در این فرایند دو بار متحرک تولید می‌شود: الکترونی که با کسب انرژی به باند رسانایی وارد می‌شود و حفره‌ای که در باند ظرفیت (در مکان الکترون برانگیخته) ایجاد می‌شود و رفتاری بسیار مشابه با رفتار ذره‌ی بارداری را از خود نشان می‌دهد که دارای بار مثبت است. اگرچه این دو بار، آزاد هستند اما می‌توانند با آب و اکسیژن بر روی سطح تیتانیا واکنش داده، یون‌های منفی رادیکال سوپر اکسید (O_2^-) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) تولید کنند (این دو یون و رادیکال، گونه‌های شیمیایی بسیار واکنشی‌ای هستند که می‌توانند در ادامه، ترکیبات آلی را به دی‌اکسیدکربن و آب تبدیل کنند).

در اواسط دهه‌ی ۱۹۹۰، همزمان با ساخت یک مخلوط معلق آبی از ذرات تیتانیا (که به‌وسیله‌ی فوجی‌شیما، کازوهیتو هاشیموتو

عامل اصلی در ظهور پدیده‌ی ابرآب‌دوستی، دی‌اکسید تیتانیوم معدنی یا تیتانیاست. روند مطرح شدن تیتانیا از بیش از چهار دهه قبل و با این خصوصیت آغاز شد که این ماده چیزی برای ترشدن نداشت. در سال ۱۹۶۷، آکیرا فوجی‌شیما (دانشجوی تحصیلات تکمیلی در دانشگاه توکیو) کشف کرد که تحت تابش پرتوی فرابنفش، تیتانیا می‌تواند آب را به هیدروژن و اکسیژن تجزیه کند. تجزیه‌ی آب به کمک نور یا فوتولیز، برای مدت‌ها یک هدف تحقیقاتی بزرگ محسوب می‌شد؛ زیرا اجرای این فرایند به شکلی پربازده، می‌توانست تولید هیدروژن ارزان را ممکن ساخته، این گاز بدون کربن را جایگزین سوخت‌های فسیلی کند. فوجی‌شیما و دیگر محققان به‌شدت این ایده را دنبال نمودند؛ اما سرانجام دریافته‌اند که دستیابی به یک بهره‌ی تجاری، چشم‌اندازی بسیار دور است.

مختلف هستند؛ اما پیش‌بینی می‌شود که خریداران چادرها، سایبان‌ها و بادبان‌ها، بزرگ‌ترین بازار را (بر مبنای پول خرج‌شده) برای پرداخت‌ها و پوشش‌های اثر نیلوفر آبی ایجاد کنند. هیچ کس دوست ندارد که مجبور به پاک کردن این اجسام حجیم شود.

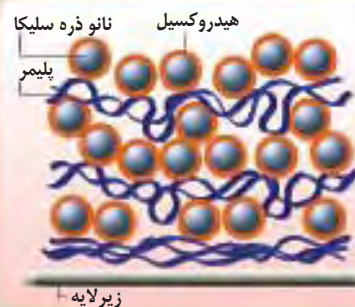
قابلیت ابرتر شدگی

کشف اثر نیلوفر آبی، در ابتدا تلاشی بود که برای فهم توان خودتمیزشوندگی یک نوع سطح (سطوح مومسان با ساختارهای میکروسکوپی و یا حتی نانویی) انجام گرفت. هم‌اکنون این تحقیق، گسترش یافته، به علمی کاملاً جدید در زمینه‌ی ترشدگی، خودتمیزشوندگی و گندزدایی تبدیل شده‌است. محققان دریافته‌اند که ممکن است راه‌های بسیاری برای ساخت سطوح ابرآب‌گریز وجود داشته باشد و ممکن است ابرآب‌دوستی مورد نظر نیز مطلوب باشد.

پوشش‌های ضد مه

محققان MIT پوشش‌های ابرآب‌دوست چندلایه‌ای را ساخته‌اند که ضد مه و ضد بازتابش هستند.

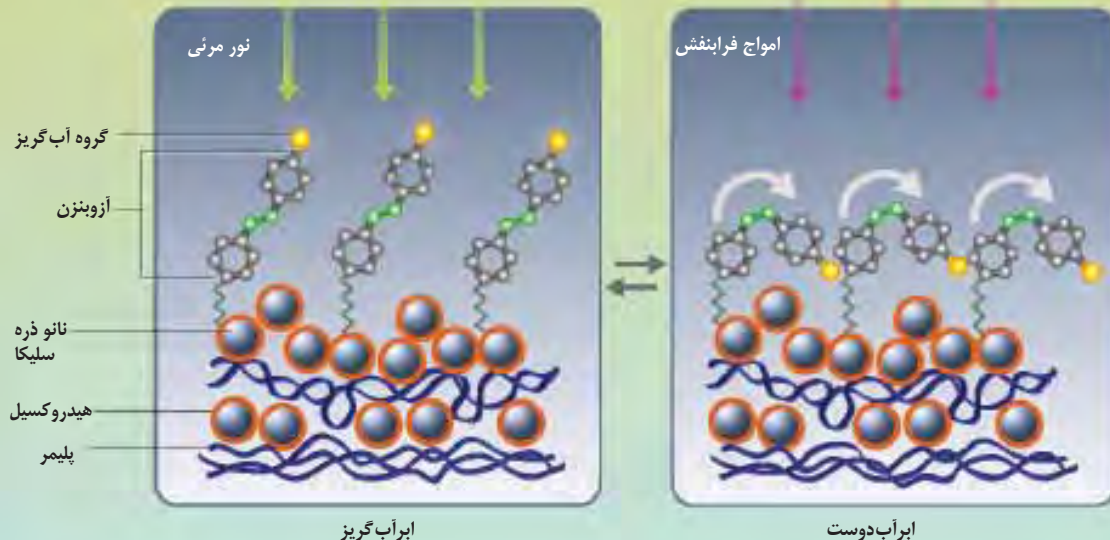
لایه‌های متناوب پلیمر و نانوذرات سیلیس (که گروه‌های هیدروکسیل به سطح آنها متصل شده‌اند) پوشش ابرآب‌دوستی را ایجاد می‌کنند که قابل استفاده بر روی شیشه و دیگر مواد است. این پوشش در مقیاس نانو ناهموار است؛ اما هیدروکسیل شدیداً آب‌دوست بوده، به حفرات نانویی موجود در لایه‌های چندگانه کمک می‌کند تا همانند یک اسفنج، آب را جذب و در همان لحظه، آن را از سطح دور کرده، بیاشامند.



یک اسلاید شیشه‌ای دارای این پوشش چندلایه، اگر در ابتدا درون یک یخچال سرد و پس از آن در هوای گرم و مرطوب قرار داده شود، همچنان واضح و شفاف باقی می‌ماند (چپ) - تار شدن شیشه‌ی معمولی (راست)

سطوح قابل تغییر (قابل کلیدزنی)

دانشمندان امیدوارند، از طریق کلیدزنی ابرآب‌گریزی در مکان‌های دقیقی از یک سطح، بتوانند سیالاتی را کنترل کنند که از خلال شبکه‌های متشکل از کانال‌های میکروسکوپی (روی به اصطلاح تراشه‌های میکروسیالی) عبور می‌کنند.



▲ محققانی از دانشگاه علم و فناوری پوهانگ در کره‌ی جنوبی یک مولکول مبتنی بر آزو بنزن را بر بالای لایه‌های چندگانه‌ی پلیمر - سیلیس متصل نمودند. یک گروه آب‌گریز در انتهای مولکول، همراستا با ناهمواری لایه‌ها، سطح را ابرآب‌گریز می‌نماید (چپ). با تابش نور فرابنفش، مولکول مذکور خم و پس از ناپدید شدن گروه آب‌گریز، سطح، ابرآب‌دوست می‌گردد. نور مرئی بی‌درنگ شرایط را به حالت اولیه برمی‌گرداند.

▶ بر روی یک سطح اصلاح‌شده، آب به آن دست از نواحی می‌چسبد که با تابش نقاط مرئی نور فرابنفش، ابرآب‌دوست شده باشند؛ آبی که بر روی سایر نواحی فرار می‌گیرد شکلی مشابه با قطرات تقریباً کروی اثر نیلوفر آبی دارد.



بیرون این تکه‌ها، دلیل ظهور این جاذبه‌ی بسیار بالا با روغن بودند. این اثر تا چند روز پس از تابش اشعه‌ی فرابنفش باقی ماند؛ در حالی که تیتانیای مورد نظر به آرامی به حالت اصلی و اولیه‌ی خود (پیش از تابش اشعه) برگشت.

به‌رغم تضاد این پدیده با اثر دافعه‌ی آب در برگ نیلوفر آبی، ابرآب‌دوستی تیتانیا نیز دارای مزایایی برای خودتمیزشوندگی بوده‌است؛ به این شکل که آب تمایل دارد تا بر روی کل سطح پخش شود و پس از آن لایه‌ای تشکیل می‌شود که می‌تواند از طریق جاری شدن آب، آلودگی را حذف کند. این لایه مانع از مه‌گرفتگی نیز می‌گردد، زیرا آب متراکم به جای تبدیل شدن به هزاران قطره‌ی بسیار کوچک (که ایجادکننده‌ی مه هستند)، بر روی سطح پخش می‌شود. رفتار فوتوکاتالیستی تیتانیا با تجزیه‌ی مواد آلی و کشتن باکتری‌ها،

و واتانیل ساخته شد) این سه محقق ژاپنی لایه‌ی نازکی را از یک مخلوط معلق آبی از ذرات تیتانیا ساخته، آن را در دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بازپخت کردند، در این مسیر آنها موفق به کشف بزرگ دیگری درباره‌ی تیتانیا شدند. این دانشمندان با قرار دادن پوشش شفاف ایجادشده در معرض نور فرابنفش، مشاهده کردند که این پوشش به طرز شگفت‌آوری، در برابر آب و روغن، کاملاً ترمی‌شود (زاویه‌ی تماس صفر درجه). نور فرابنفش برخی از اتم‌های اکسیژن را از سطح تیتانیا کنده و موجب ایجاد تکه‌های وصله‌شکل نانومقیاسی بر روی سطح شده بود و جذب این گروه‌های هیدروکسیل در این تکه‌ها نیز موجب ظهور این ابرآب‌دوستی شده بود. نواحی موجود در

انتظار می‌رود که ویژگی‌های ضد میکروبی و گندزدایی تیتانیای غنی‌شده، کاربردهای وسیعی در آشپزخانه‌ها و حمام‌ها داشته باشد. علم جدید ابرترشدگی، ظهور کاربردهای روبه‌رشد تمیزنگهداشتن سطح را ممکن می‌سازد

مزایایی است. همچنین می‌توان از نقره برای غنی‌سازی تیتانیا استفاده کرد. با این حال تنها در سال‌های اخیر، این راهکارها به صورت فرایندهای تجاری درآمدی است. پیش‌بینی می‌شود که تیتانیای غنی‌شده به دلیل داشتن خصوصیات ضد میکروبی و گندزدایی، به شکل وسیعی در آشپزخانه‌ها و سرویس‌های بهداشتی مورد استفاده قرار گیرند، همچنین استفاده از آن در منسوجات خودتمیزشونده موجب می‌شود تا این منسوجات، بوها را حذف کنند. برای اتصال این ماده به پارچه‌ها روش‌های مختلفی ابداع شده که پیوندهای شیمیایی مستقیم یکی از آنهاست.

نزدیک شدن متضادها به همدیگر
مواد ملهم از نیلوفر آبی و لایه‌های نازک تیتانیا را می‌توان به عنوان دو قطب متضاد تلقی کرد که ندرتاً در دنیای روزمره‌ی ما یافت می‌شوند. مدت‌ها بود مطالعات اثر ابرآب‌گریزی و ابرآب‌دوستی فوتوکاتالیستی کاملاً مجزا بود. در زمان‌های اخیر و با ظهور محققانی که به تحقیق بر روی ادغام این دو اثر و تولید هر دوی آنها با مواد بسیار مشابهی اشتغال داشتند، هم‌گرایی قابل توجهی در این زمینه ایجاد شد. محققان حتی در جستجوی راه‌هایی هستند که آنها را قادر می‌سازد تا با بهره‌گیری از چنین ساختاری، تغییر حالت از ابرآب‌گریزی به ابرآب‌دوستی و یا بالعکس را ممکن سازند.

در سال ۲۰۰۰ فوجیشیما، واتانابیل و هاشیموتو (محققان پیشگام در زمینه‌ی تیتانیا) برای اولین بار این هم‌گرایی را مطرح کردند. آنها خواستند تا با استفاده از تیتانیا، عمر سطوح اثر نیلوفر آبی را افزایش دهند. در ابتدا به نظر می‌رسید که این راهکار با شکست مواجه می‌شود و پیش‌بینی می‌شد فعالیت فوتوکاتالیستی تیتانیا بر روی پوشش آب‌گریز و مومسان سطوح نیلوفر آبی، اثر منفی گذاشته، این اثر را نابود کند. در حقیقت، این تأثیر منفی در غلظت‌های بالای تیتانیا ظاهر می‌شود و این گروه دریافتند که افزودن مقدار بسیار کمی از تیتانیا می‌تواند بدون ایجاد تغییری زیادی در زاویه‌ی تماس

که با بهره‌گیری از این فناوری به بازار عرضه می‌گشت. در حالت کلی، شیشه در دمای حدود ۱۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر روی بستری از قلع ذوب‌شده ساخته می‌شود. برای ساخت شیشه‌ی اکتیو، بخار تتراکلراید تیتانیوم از روی شیشه‌ی مذکور، طی مرحله‌ی سرد شدن، عبور داده می‌شود. با این فرایند، یک لایه از تیتانیا - که ضخامتش کمتر از ۲۰ نانومتر است - بر روی شیشه می‌نشیند. شیشه‌ی فعال سریعاً در حال تبدیل به شیشه‌ی مورد پسند در انگلستان برای استفاده در کاربردهایی چون سقف مکان‌های هنری و تشریفاتی، همچنین آینه‌های بغل خودرو است. متأسفانه شیشه‌ی پنجره‌ی معمولی، باعث مسدود شدن طول موج‌های فرابنفش (که موجب فعالیت فوتوکاتالیستی تیتانیا می‌شوند) می‌گردد؛ از این رو نانولایه‌های تیتانیا در داخل منزل نسبت به محیط بیرون کاربرد کمتری خواهند داشت. راه حل این مشکل، غنی‌سازی تیتانیا با مواد دیگری چون سیلیکون و یا سایر نیمه‌رساناهایی است که برای غنی‌سازی در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. غنی‌سازی می‌تواند باعث کاهش باند گپ این ماده شود، این امر به معنی توانایی طول موج‌های بلندتر پرتوهای درون منزل برای فعال ساختن فوتوکاتالیست است. در سال ۱۹۸۵ شینری ساتو از دانشگاه هوکایدو در ژاپن، به شکل غیر منتظره‌ای کشف کرد که غنی‌سازی تیتانیا با نیتروژن دارای چه

ویژگی گندزدایی و ضد عفونی‌کنندگی را نیز به قابلیت خودتمیزشوندگی مواد پوشش‌دار مذکور می‌افزاید.

هم‌اکنون صنعت پوشش‌دهی تیتانیا یک صنعت نوپا و در حال رشد است؛ مثلاً هم‌اکنون شرکت توتو دسته‌ای از محصولات خودتمیزشونده‌ی فوتوکاتالیستی را همانند سفال‌های (آجر کاشی‌های) سرامیکی تولید کرده و مجوز استفاده از این فناوری را به نقاط مختلف دنیا واگذار نموده است.

با توجه به شفافیت نانوپوشش تیتانیا، شیشه‌ی پنجره‌ی اصلاح‌شده، یکی از کاربردهای آشکار این مواد به شمار می‌رود. در سال ۲۰۰۱، شیشه‌ی اکتیو (Activ Glass) - که به وسیله‌ی پیلکینگتون (بزرگ‌ترین سازنده‌ی شیشه در انگلستان) ساخته شد - به اولین محصولی تبدیل شد

ارتباطات عشق-تنفر:

برخی سطوح، حدفاصل بین آبدوستی و آبگریزی را از میان برداشته‌اند؛ زوایای تماس تقریبی آنها عبارتند از:

• ابرآبدوست: لایه‌های نازک تیتانیا، ۰ درجه آبدوست:

• شیشه پنجره معمولی، ۳۰ درجه آبگریز:

• تفلون، ۱۰۰ درجه

• ابرآبگریز: برگ‌های نیلوفر آبی، ۱۶۰ درجه

استحصال آب

محققان با الگو گرفتن از یک سوسک بیابانی، در حال توسعه‌ی ابزارهایی هستند که از ترکیبی از اثر نیلوفر آبی و ابرآب‌دوستی برای جمع‌آوری آب از هوا در نواحی دوردست و خشک استفاده خواهند کرد.





مناطق خشک شده است.

طبق معمول ساز و کار این حشره را محقق کشف کرده که در جستجوی چیز دیگری بوده است. در سال ۲۰۰۱ جانورشناسی به نام اندرو آر پارکر (که در آن زمان عضو دانشگاه آکسفورد بود) با عکسی از سوسک‌ها برخورد کرد که مشغول خوردن یک ملخ در صحرای نامیب بودند. این ملخ که با بادهای شدید آن منطقه به آنجا برده شده بود، به محض برخورد با شن‌ها در اثر حرارت زیاد تلف شده بود. با این حال، سوسک‌ها در جشن خود بر روی این نعمت بادآورده، راحت به نظر می‌رسیدند. پارکر حدس زد که این سوسک‌ها باید دارای سطوح پیچیده‌ای برای بازتابش حرارت باشند.

در حقیقت سوسک‌های *Stenocara* حرارت را بازمی‌تابانند؛ اما هنگامی که پارکر پشت آنها را مورد بررسی و آزمایش قرار داد بلافاصله گمان برد که احتمالاً آنها از چیزی مثل اثر نیلوفر آبی در فرایند جمع‌آوری آب صبحگاهی استفاده می‌کنند.

قسمت اعظم پشت این حشره، یک سطح ناهموار، مومسان و ابرآب‌گریز است؛ این در حالی است که نوک‌های این برآمدگی‌ها، مومسان نبوده، به‌صورت آبدوست است.

شروع به جاری شدن می‌کند. با دور شدن از محیط خیس، آب موجود در نانوقتیله‌ها به آرامی بخار و پس از آن پراکنده می‌گردد. از آنجایی که بخش عمده‌ی شیشه، سیلیس است لایه‌های چندگانه‌ی مذکور برای به‌کارگیری در شیشه بسیار مناسب هستند. از جمله ویژگی‌های این پوشش‌های آب‌گریز، به‌جز شفافیت و ضد مه بودن می‌توان به ضد بازتابش بودن آنها نیز اشاره کرد. گروه رابنر برای تجاری کردن این کشف در حال همکاری با شرکای صنعتی هستند. این کشف دارای کاربردهایی در آینه‌های حمام (که هیچ‌گاه دچار مه‌گرفتگی نمی‌شوند) و شیشه‌های جلوی اتومبیل (که در صبحگاه‌های سرد و مرطوب زمستانی به هیچ‌دمنده‌ای نیاز ندارند) است. برخلاف تیتانیا، سطوح رابنر در روشنایی و تاریکی رفتار یکسان و مطلوبی دارند.

سوسک‌های هوشمند

میلیون‌ها سال پیش از آنکه دانشمندان اثر نیلوفر آبی و ابرتر شدگی را برای کاربردهای فناورانه با یکدیگر ادغام کنند، یک سوسک کوچک صحرای نامیب در افریقای جنوبی از این دو اثر در هدف دیگری؛ یعنی جمع‌آوری آب برای حفظ بقای خود استفاده کرد. صحرای نامیب بی‌نهایت خشن و نامهربان است؛ زیرا دمای طول روز در این صحرا می‌تواند به ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد و بارش باران در آنجا بسیار کم است و می‌توان گفت تقریباً تنها منبع رطوبت، مه‌های غلیظ صبحگاهی هستند که آنها نیز معمولاً با یک نسیم بسیار مرطوب رانده می‌شوند.

این سوسک - که نام علمی آن استنوکارا اس پی (*Stenocara sp*) است - راهی برای جمع‌آوری آب از چنین مه‌هایی ابداع کرده است: سوسک به شکلی که سرش رو به پایین و پشتش رو به بالا باشد نشسته و خود را در مقابل باد مرطوب قرار می‌دهد. آب بر روی پشت این سوسک انباشته شده، سپس در درون دهانش می‌چکد. اساس علمی رفتار این سوسک، منجر به پیدایش ایده‌هایی برای فناوری جمع‌آوری آب در

بالا (که برای دفعه‌ی قوی مورد نیاز است)، به شکل چشمگیری دوام فعالیت اثر نیلوفر آبی را بیشتر کند.

در سال ۲۰۰۳ محققان آزمایشگاه رابنر و کوهن در MIT، موفق به کشف این نکته شده است که چگونه یک تغییر کوچک در ساختمان می‌تواند تعیین کند که یک سطح ابرآب‌گریز و یا ابرآب‌دوست تولید شده است. رابنر عنوان کرد که طی دیداری که در آن سال از چین داشت، برخی از ساختارهای ابرآب‌گریز (که در نشستی از آنها یاد شده بود) وی را متعجب ساخت. وی در بازگشت، برخی از اعضای گروه خود را به تلاش برای ساخت چنین ساختارهایی واداشت. آزمایشگاه رابنر با استفاده از دسته‌ای از ترکیبات با نام پلی‌الکترولیت‌ها، روش لایه‌به‌لایه‌ای را برای ساخت لایه‌های نازک، ابداع نمود. الکترولیت‌های معمولی موادی هستند که پس از حل شدن در آب به یون‌های باردار مثبت و منفی تجزیه می‌شوند که نمک معمولی یا اسید سولفوریک نمونه‌هایی از این دست مواد به شمار می‌روند. رابنر و کوهن لایه‌هایی از پلی‌آلیل‌آمین هیدروکلراید باردار مثبت و ذرات سیلیس باردار منفی را به‌صورت متناوب و یک در میان بر روی هم انباشته کردند؛ آنها در تحقیقات پیشین خود به‌منظور الگوبرداری از سطح آب‌گریز ناهموار نیلوفر آبی از پوشش‌هایی با ذرات سیلیس استفاده کرده بودند.

آنها یک پوشش سیلیکونی نهایی (یک ماده‌ی آب‌گریز) به این لایه‌های چندگانه افزودند؛ اما به امر اغواکننده‌ای برخوردند؛ به این شکل که پیش از آنکه این گروه سیلیکون را به لایه‌ها بیفزایند پوشش و روکش لایه حقیقتاً ابرآب‌گریز بود. در آزمایش‌های رابنر و کوهن، لایه‌های سیلیسی، محفظه‌های عظیمی از نانوحفرات را ایجاد کرده بود که با تشکیل یک اسفنج، تمام آب سطح را بلافاصله جذب می‌کردند؛ به این پدیده نانوقتیله‌گذاری گفته می‌شود. چندلایه‌های سیلیس - پلیمری که آنها ساخته بودند دچار مه‌گرفتگی و غبارزدگی نمی‌شد؛ حتی اگر بر روی بخار آب قرار داده می‌شدند. پس از اشباع حفرات، آب از لبه‌ها

اجزای تغییر وضعیت‌دهنده‌ی خود (که آب‌گریزی و یا آب‌دوستی آنها را تعیین می‌کنند)، باز یا بسته شوند.

خشک ماندن در زیر آب

یکی از عجایب قرن ۲۱، نفوذ امواج نیلوفر آبی به دورنماهایی است که پیش از این ناشناخته بوده‌اند؛ مانند وارد شدن به کاربردهای خودتمیزشوندگی.

بارتلات که توان باقوه را در یک قطره آب بر روی یک برگ نیلوفر آبی مشاهده کرده‌است، هم‌اکنون چشم‌انداز تقریباً بی‌حدوحصری را مشاهده می‌کند. اما وی به آنهایی که می‌خواهند از طبیعت برای فناوری الگوبرداری کنند، هشدار می‌دهد که احتمالاً با شک و تردید بسیار بزرگی روبه‌رو خواهند شد؛ همانند آنچه برای وی اتفاق افتاده‌است. وی توصیه می‌کند: «به آنچه که با چشم‌های خود می‌بینید اعتماد کنید نه به آنچه که در کتاب‌های درسی وجود دارد و اگر مشاهدات شما مکرراً تأیید می‌شود آن را منتشر کنید؛ اما یک نفس عمیق بکشید و در انتظار رد شدن مقاله‌ی خود باشید.»

وی همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، یکی از طرفداران سرسخت برای تنوع گونه‌های زیستی به شمار می‌رود، زیرا ممکن است بسیاری از گیاهان و حیوانات دیگر، ویژگی‌های سودمندی داشته باشند. شاید گونه‌های ناشناخته و در معرض خطر انقراض، در این زمره قرار گیرند. تحقیق کنونی وی در خصوص ابرآب‌گریزی در زیر آب است. پس از مطالعه‌ی اینکه چگونه گیاهانی چون کاهوی آبی *Pistia* و سرخس شناور *Salvinia* هوا را روی سطوح برگ خود گیر می‌اندازند، بارتلات منسوجاتی ساخت که به مدت چهار روز در زیر آب، خشک باقی می‌ماندند. ساخت لباس شنایی که تر نمی‌شود، جزئی از دورنماهای این تحقیق است. دستاورد بزرگ این تحقیق، کاهش نیروی رانش تنه‌ی کشتی خواهد بود. نیلوفر آبی کتیف نمی‌شود اما منشأ پیدایش قطاری از پتنت‌هاست.

منبع:

Scientific American, Aug, 2008

فهمیدن اینکه سطوح ساختاردار می‌توانند بر حسب شیمی نوک برآمدگی‌های سطوح، ابرآب‌گریز و یا ابرآب‌دوست باشند می‌توان به هر نوع از راهکارهای ممکن، دست پیدا کرد. «یکی از موارد استفاده‌ی خاص، سطوح قابل تغییر (با قابلیت کلیدزنی بین حالت‌ها) است که ترشدگی آنها می‌تواند در مکان‌های دقیق، معکوس شود.

مسیرهایی که می‌توان با استفاده از آن به چنین قابلیت تنظیمی دست یافت، عبارتند از: نور فرابنفش، الکتروسیسته، دما، حلال و اسیدیته. در سال ۲۰۰۶ یک گروه با هدایت کیلون چو از دانشگاه علم و فناوری پوهانگ در کره‌ی جنوبی، با افزودن ترکیبی مبتنی بر مولکول آزو بنزن، به سطح



سیلیکونه‌شده‌ی (ابرآب‌گریز) چندلایه‌ی سیلیس- پلی‌الکترولیت، موفق شد به قابلیت تغییر (کلیدزنی) کاملی دست پیدا کند. سطح جدید نیز ابرآب‌گریز است، با این تفاوت که با تابش نور فرابنفش، ترکیب آزو بنزن تغییر شکل داده، سطح را به ابرآب‌دوست تبدیل می‌کند. نور مرئی، این تغییر را معکوس می‌کند. این نوع کنترل می‌تواند کاربردهای فراوانی را در زمینه‌ی میکروسیالات داشته باشد، که از آن جمله می‌توان به میکروآرایه‌هایی اشاره کرد که هم‌اکنون برای آزمایش و رهگیری دارو و یا دیگر آزمایش‌های بیوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ به‌عنوان مثال مسیرهای آب‌دوست می‌توانند به‌وسیله‌ی

این نقاط آب‌دوست، آب را از میان مه جذب کرده، قطرات کوچکی را ایجاد می‌کنند. قطرات مذکور سریعاً بزرگ‌تر شده، به حدی می‌رسند که نیروی جاذبه و ناحیه‌ی ابرآب‌گریز اطراف قطره، آنها را از جای خود حرکت می‌دهد. در آزمایشگاه و طی انجام آزمایش با اسلایدهای شیشه‌ای، پارکر دریافت که چنین ترتیبی ناشی از نواحی‌ای است که نسبت به یک سطح هموار و یکنواخت (صرف نظر از آب‌گریزی و یا آب‌دوستی آن) تا دو برابر کارآمدتر باشد. پارکر طرحی را برای الگوبرداری از فرایند این سوسک به ثبت رسانده‌است و پیمانکار دفاعی انگلستان، QinetiQ، در حال توسعه‌ی این طرح به‌منظور جمع‌آوری آب

از مه در نواحی خشک است. دیگران نیز در تلاشند تا از *Stenocara* الگوبرداری کنند. در سال ۲۰۰۶ گروه رابنر و کوهن موفق به تولید نقاط ابرآب‌دوست سیلیسی بر روی لایه‌های چندگانه‌ی ابرآب‌گریز شدند. این طرح یک درجه کارآمدتر از الگوی این سوسک‌هاست، زیرا نقاط پشت سوسک‌ها تنها آب‌دوست بودند. علم جدید ابرتر شدگی که دارای نمونه‌هایی عملی؛ همچون سطوح ساختگی الگوگرفته‌شده از *Stenocara* است، کنترل جریان‌های مایع در میکرومقیاس و نانومقیاس را ممکن می‌سازد. این امکان برای کاربردهای رو به رشد تمیز نگه داشتن سطح، سودمند است. رابنر می‌گوید: «با