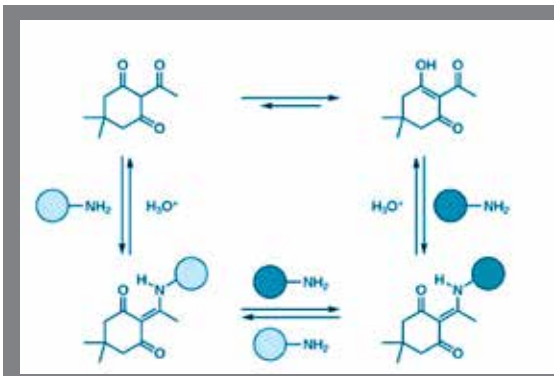
تازه‌های شیمی

مهدیه کوره‌پزان مفتخر، دکترای شیمی آلی

تولید خانواده جدیدی از پلیمرها به روش بازیافت

گروهی پژوهشی در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی[1] در کالیفرنیا، خانواده جدیدی از پلیمرها را توسعه داده است که ما را به رویای پلاستیک بدون زباله نزدیک می‌کند. برای رسیدن به این هدف، آنان از خانواده‌ای از مولکول‌ها به نام پلی‌دی‌کتوامین‌ها[2] استفاده کردند که با پیوندهای کووالانسی پویا کنار هم قرار می‌گیرند. با اینکه این پیوندها بسیار قوی هستند، به‌راحتی می‌توان با استفاده از مقدار کمی اسید، آن‌ها را تجزیه کرد.

تاکنون دی‌کتوامین‌ها در شیمی پلیمر تقریباً ناشناخته بودند. برت هلمز[3] توضیح می‌دهد: «این واحدهای اصلی پلیمر، به‌عنوان گروه محافظ، در شیمی پپتید حالت جامد شناخته شده‌اند اما اغلب از آن‌ها، به‌عنوان گروه‌هایی «بی‌قاعده و درهم‌آمیخته و بی‌هدف» یاد می‌شود، زیرا در خلال سنتز پپتیدها، اطراف گروه‌های آمینی مختلف، به سمت بالا و پایین نوسان می‌کنند. ما تصور می‌کردیم که بی‌هدف بودن دی‌کتوامین‌ها شاهدی بر رفتار کوالانسی پویاست، که می‌تواند برای سنتز پلیمرهای جدید سودمند باشد. به‌طور شگفت‌انگیزی پلی‌دی‌کتوامین‌ها می‌توانند به سادگی با مخلوط کردن کتون‌ها و آمین‌ها تهیه شوند». به گفته هلمز این، یک واکنش کلیک است که در دمای اتاق، بدون نیاز به کاتالیزگر، افزودنی یا حتی حلال انجام می‌شود. انجام این واکنش تنها به چند دقیقه زمان، درون یک آسیاب حاوی ساچمه‌های کروی نیاز دارد.



تشکیل برگشت‌پذیر پیوندهای کوالانسی پویا در پلی‌دی‌کتوامین. پیوندهای پلی‌دی‌کتوامین به‌طور خودبه‌خود، از واکنش تری‌کتون‌ها با آمین‌های آروماتیک یا آلیفاتیک تشکیل می‌شوند. در شرایط اسیدی قوی، آبکافت پیوند پلی‌دی‌کتوامین روی می‌دهد و تری‌کتون همراه با یک نمک آمونیوم تشکیل می‌شود.

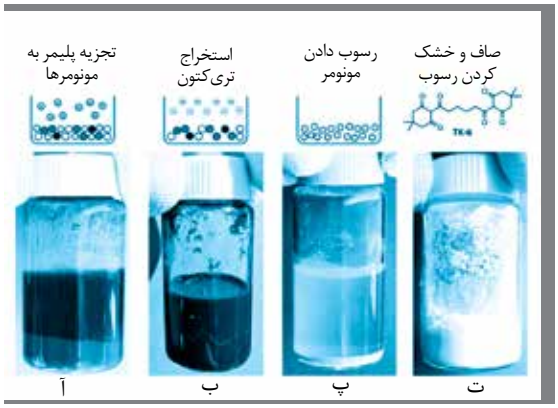
شگفتی‌ها ادامه دارد. هلمز می‌گوید: «در حالی که مشغول تمیز کردن ظرف‌های شیشه‌ای با اسید بودیم، متوجه شدیم که یک واکنش شیمیایی در حال انجام است. ما تصمیم گرفتیم که فراورده‌ها را بررسی کنیم و درحالی‌که شگفت‌زده شده بودیم مونومرهای اصلی خود را شناسایی کردیم. پلی‌دی‌کتوامین‌ها می‌توانند با استفاده از اسید غلیظ به مونومرهای سازنده‌شان تبدیل شوند».

راشل اوریلی[4]، کارشناس شیمی پلیمر در دانشگاه بیرمنگام[5] انگلستان، این روش را ساده، نوآورانه و ظریف می‌داند و می‌افزاید: بازیافت این نوع جدید از پلاستیک امکان‌پذیر است؛ می‌توان آن را به مونومرهای سازنده‌اش تجزیه کرد تا دوباره یک پلیمر با خواص مشابه با پلیمر اولیه بازسازی شود.

به هدف بازیافت پایدار پلاستیک، واکنش‌های پلیمر شدن باید در جهت وارونه انجام گیرند که مراحلی کلیدی و مهم به‌شمار می‌روند؛ راهی برای رسیدن به تجدید تولید از بازیافت که فراورده‌هایی باارزش‌تر از مواد پسماند تولید می‌کند که هلمز

و گروهش به آن نیز دست یافته‌اند. هلمز می‌گوید: ما می‌توانیم مونومرها را از اجزای دیگر، مانند پُرکننده‌ها، رنگ‌ها و موادی که تولیدکنندگان به‌منظور افزایش کارایی و زیبایی به پلاستیک‌هایشان می‌افزایند، جدا کنیم. به گفته اوریلی، جداسازی مونومرها از مخلوط مواد رنگی و افزودنی‌ها، به روشنی پتانسیل این فناوری را نشان می‌دهد.

این طرح کامل است و خواص مکانیکی این پلیمرهای جدید، آن‌ها را به‌عنوان موادی قوی و پایدار معرفی می‌کند. این مفهوم می‌تواند موجب طراحی پلیمرهای دیگر با خواص قابل‌تنظیم متفاوت شود. در شرایطی که هیچ راه منحصربه‌فردی برای حل مشکل انباشتگی پلاستیک‌ها وجود ندارد، این پیشرفت می‌تواند گام بسیار مهمی در جهت استفاده از پلیمرها به‌شیوه‌ای مسئولانه‌تر باشد. گروه هلمز همچنین برای پایدارتر کردن فرایند بازیافت تلاش می‌کنند مصرف آب را کاهش دهند و منابع و انرژی مورد نیاز برای تولید دوباره پلیمرها را به حداقل برسانند.



مراحل بازیافت پلیمر. آ)واکنش نمونه‌های پلی‌دی‌کتوامین در دمای اتاق با سولفوریک‌اسید، مخلوطی جامد از مونومر تری‌کتون و رنگ/افزودنی تولید می‌کند. ب) استخراج مونومر در محیط بازی در دمای اتاق انجام می‌گیرد . پ) با اسیدی کردن محیط بازی، مونومر خالص رسوب می‌دهد. ت) به کمک صاف کردن، مونومر از افزودنی‌ها جدا می‌شود.

1. Lawrence Berkeley National Laboratory
2. polydiketoenamines
3. Helms, B.
4. O'Reilly, R.
5. Birmingham

1. New family of polymers can be easily recycled and even upcycled.
2.www.chemistryworld.com/news/new-family-of-polymers-can-be-easily-recycled-and-even-upcycled/3010439.article P R Christensen, P.R. et al, Nat. Chem., 2019, 11, 442.

تیره شدن بنای تاج‌محل به‌دلیل جذب نور

دانشمندان هندی و آمریکایی دریافته‌اند که عامل کدر و تیره شدن بنای تاج‌محل، رسوب ماده‌ای خاص روی سنگ‌های مرمر این بنای سنتی است.

تاج‌محل هر سال میلیون‌ها بازدید کننده دارد اما در طول دهه‌های اخیر، رنگ نمای مرمری آن به تیرگی گراییده است چنان که هر چند سال، باید با لایه‌ای از خاک رس شسته شود. به‌نظر می‌رسید کیفیت هوای منطقه، باعث این تغییر رنگ شده است بی‌آنکه عامل دقیق آن مشخص باشد.

برای بررسی، گروهی به رهبری مایک برگین[1] در مؤسسه فناوری جورجیا، و ساچیدا تریپاتی[2] در مؤسسه فناوری هندی کانپور[3]، قطعه‌هایی از سنگ مرمر را نزدیک تاج‌محل قرار دادند و ذره‌های رسوب ایجاد شده در سطح آن‌ها را با

دی‌کتوامین‌ها می‌توانند با استفاده از اسیدغلیظ به مونومرهای سازنده‌شان تبدیل شوند

میکروسکوپ‌الکترونی‌پیمایشی بررسی کردند. پژوهشگران همچنین با بررسی هوای جمع‌آوری شده اطراف تاج‌محل آلاینده‌های آن را شناسایی کردند و دریافتند که تشکیل غبار و ذره‌های کربن روی این بنا باعث تیرگی آن شده است. این ذره‌ها که از دود خودروها و سوزاندن زیست‌توده‌هایی همچون زباله و چوب ناشی می‌شوند، با جذب نور در محدوده آبی طیف مرئی، ظاهری تیره به نمای بنا می‌دهند. این آگاهی می‌تواند توسعه روش‌های بهتر برای جلوگیری از آلودگی و پاک‌سازی را سرعت بخشد.

1. Bergin, M.
2. Tripathi, S.
3. Indian Institute of Technology, Kanpur

1. Taj Mahal browning due to light-absorbing particles.
2. https://www.chemistryworld.com/news/taj-mahal-browning-due-to-light-absorbing-particles/8145.article Bergin, M.H. et al, Env. Sci. Technol., 2014, DOI: 10.1021/es504005q.

تبدیل بطری‌های پلاستیک دورریختنی به سوخت جت

فرایندی سه‌مرحله‌ای و ساده، با تولید کمترین مقدار زباله، پلاستیک را از محل دفن زباله باز می‌گرداند.

پسماند پلاستیکی بطری‌های نوشیدنی و ظرف‌های بسته‌بندی مواد غذایی می‌توانند در فرایندی جدید به هیدروکربن‌های حلقه‌ای و آروماتیک تبدیل شود و به‌عنوان اجزایی مهم در تهیه گازوئیل و سوخت جت مورد استفاده قرار گیرد.

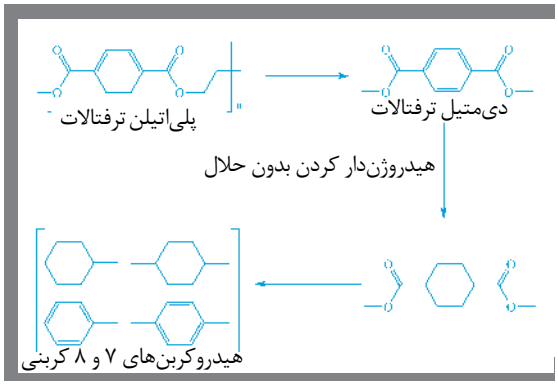
مقدار زیاد پلاستیک- که بعد از استفاده دور انداخته می‌شود- موجب مشکلات زیست‌محیطی بزرگی خواهد شد. این موضوع در سال‌های گذشته توجه روزافزون جهانی را به خود جلب کرده است که برخی آن را تحریم کامل پلاستیک می‌نامند. دیگران فکر می‌کنند راه‌حل در تبدیل این زباله به مواد شیمیایی ارزشمند است.

گروهی به رهبری هاو تانگ[1] و نینگ لی[2] در چین، فرایندی ارائه کرده‌اند که یکی از متداول‌ترین پلاستیک‌ها، پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET)، را به مخلوطی از سیکلوآلکان‌های هفت و هشت کربنی و آروماتیک‌ها تبدیل می‌کند و برای مخلوط شدن با سوخت‌های جت و گازوئیل مناسب است. لی می‌گوید: وقتی بسیاری از مردم نگران زباله‌های پلاستیکی هستند، چرا آن‌ها را به موادی سودمندتر، مانند بنزین و سوخت زیستی جت تبدیل نکنیم؟

این کار مشکل دیگری را نیز حل می‌کند: درزگیرهای پلیمری درون موتور، ترکیب‌های آروماتیک را خیلی راحت‌تر از آلکان‌های راست‌زنجیر در سوخت‌های معمولی جذب می‌کنند. درواقع، وقتی این پلیمرها پف می‌کنند فضای عبور مولکول‌ها از درزگیرها کاهش می‌یابد و از نشت سوخت جلوگیری می‌شود.

PET حاصل از بطری‌های پلاستیکی، نخست با استفاده از متانول به دی‌متیل‌ترفتالات (DMT) تجزیه می‌شود. وقتی راکتور سرد شد، می‌توان DMT ته‌نشین شده را به‌راحتی جدا کرد. به این ترتیب امکان استفاده دوباره از متانول باقی‌مانده فراهم می‌شود. سپس واکنش هیدروژن‌دار کردن DMT انجام می‌گیرد و سرانجام با اکسیژن‌زدایی فراورده این مرحله، هیدروکربن‌های دلخواه تشکیل می‌شوند. اجرای این تبدیل‌ها- که در حضور کاتالیزگر انجام می‌گیرند- به‌راحتی در صنعت امکان‌پذیر است.

در دو مرحله پایانی حلال وجود ندارد، بنابراین می‌توان از کاتالیزگرهای ناهمگن استفاده کرد. جرج هابر[3] کارشناس سوخت زیستی از دانشگاه ویسکانسین- مادیسون[4]، توضیح می‌دهد: این شرایط فرایند را «بسیار سبز» می‌کند زیرا هیچ مرحله جداسازی وجود ندارد و کاتالیزگر می‌تواند سال‌ها در راکتور شما باقی بماند. بنابراین به‌نظر می‌رسد این فناوری راهی امیدوارکننده برای



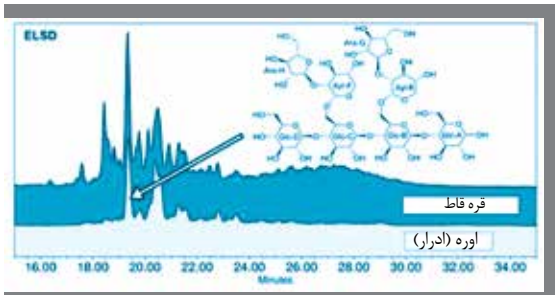
برگرداندن پسماند پلاستیکی از محل دفن زباله باشد. به هرحال این طرح همچنان در حال بررسی در فرایند تجاری است.

1. Tang, H.
2. Li, N.
3. Huber, G.
4. Wisconsin-Madison

1. Converting waste plastic bottles into jet fuel
2.www.chemistryworld.com/news/converting-waste-plastic-bottles-into-jet-fuel-/3010455.article
3.Tang, H. et al, *Green Chem.*, 2019, DOI: 10.1039/c9gc00571d.

وقتی این پلیمرها پف می‌کنند فضای عبور مولکول‌ها از درز گیرها کاهش می‌یابد و از نشت سوخت جلوگیری می‌شود

پژوهشگران با بررسی هوای جمع آوری شده اطراف تاج‌محل آلاینده‌های آن را شناسایی کردند و دریافتند که تشکیل غبار و ذره‌های کربن روی این بنا باعث تیرگی آن شده است



مصرف قره قاط؛ درمانی برای عفونت ادراری

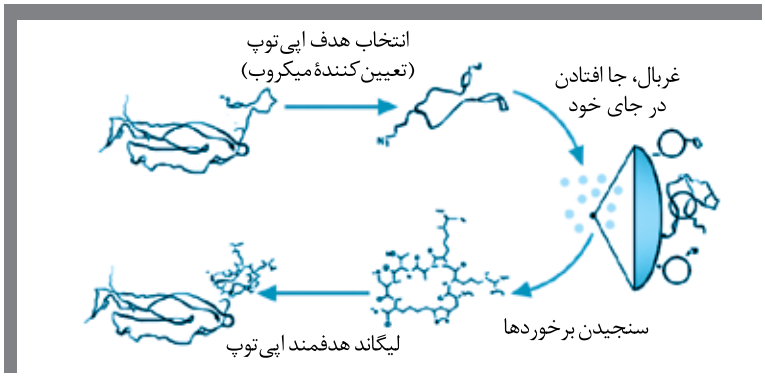
قره قاط میوه‌ای شـــبیه زغال‌اخته اســـت. بســـیاری از مردم شـــنیده‌اند که نوشـــیدن آب قره قاط می‌تواند به جلوگیری از عفونت‌های دستگاه ادراری[1] کمک کند. اگر چه مطالعات بالینی این درمان محبوب مردمی، نتیجه‌های متفاوتی نشـــان داده‌اند، بنا به برخی بررسی‌ها نوشیدن آب قره قاط می‌تواند از چسبیدن باکتری‌های عفونت‌زا به سلول‌های دستگاه ادرار جلوگیری کند. دانشمندان، الیگوســـاکاریدهای قره قاط را در ادرار خوک‌هایی که با قره قاط تغذیه شـــده‌اند شناسایی و گـــزارش کرده‌اند[2] که چنین اثری از خود نشان داده‌اند.

بنا به گزارش وزارت بهداشت و خدمات انسانی ایالات متحده، حدود نیمی از زنان ایالات متحده گاهی در طول زندگی خود، به این عفونت را مبتلاشـــده‌اند. پزشکان معمـــولاً آنتی‌بیوتیک‌هـــا را برای درمان ایـــن بیماری دردناک تجویز می‌کنند که می‌تواند به افزایـــش مقاومت باکتری در برابر آنتی‌بیوتیک بینجامد. به‌منظور ایجاد راهکارهای بهتر پیشگیری این بیماری، کریســـتینا کلمن[3]، دانیل فریرا[4] و همکارانشان از مؤسسه‌های مختلف خواستار شناسایی ترکیب‌های فعال قره قاط بودند که از پیوستن باکتری‌ها به سلول‌های انسانی جلوگیری می‌کنند.

دانشـــمندان ادرار خوک‌هـــای مـــاده‌ای را- که بـــا قره قاط خشک‌شده تغذیه کرده بودند- به روش کروماتوگرافی بررسی، و اجزای مولکولی آن را جداسازی کردند. سپس، نمونه‌ها را برای وجود فعالیت ضدچســـبندگی به باکتری ای.کولای[5] که باعث ایجاد عفونت می‌شود، بررسی کردند. آنچه باعث تعجب‌شان شد این بود که، پروآنتوسیانیدین‌ها، یعنی همان ترکیب‌هایی که قبلاً به نظر می‌رســـید عامل پیشـــگیری از عفونت باشند، در اجزای فعال ادرار وجود نداشتند. به جای آن، الیگوساکاریدهایی به‌نام آرابینوکسیلوگلوکان در این نمونه‌ها شناسایی شد. دانشمندان می‌گویند تشـــخیص و جداسازی این کربوهیدرات‌های پیچیده مرتبط با سلولوز، دشوار است و می‌تواند توضیح دهد که چرا قبلاً به عنوان ترکیب‌های ضدچسبندگی موجود در قره قاط شناخته نشده‌اند.

1. Urinary Tract Infections (UTIs)
2. ACS' Journal of Natural Products
3. Coleman, Ch.
4. Ferreira, D.
5. E. coli bacteria

1. Cranberry oligosaccharides might help prevent UTIs
2. phys.org/news/2019-05-cranberry-oligosaccharides-utis.html
3.Coleman, Ch.M. et al., Journal of Natural Products ,2019. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.8b01043



حسگرهای پوشیدنی؛ زیست‌فناوری تازه در خدمت ارتشیان

دانشمندان درحال توسعه گیرنده‌های تشخیص زیستی هستند که می‌توانند به طور سازگار، در محیط‌های مختلف از سلامت و عملکرد سربازان گزارش دهند.

دکتـــر مت کاپاک[1]، شـــیمی‌دان و رهبر یک گروه پژوهشـــی می‌گوید: ارتش نیاز دارد تا قدرت ســـازگاری بیشتری با محیط داشته باشد.

این گروه از آزمایشـــگاه پژوهشی وابسته به ارتش، با همکاری

دانشمندانی از مؤسسه فناوری کالیفرنیا، یک گیرنده کاتالیز شده بـا پروتئین[2]، PCC، تولید کرده‌اند که باعث بهبود نسـخه‌های قبلی گیرنده‌ها می‌شـود و می‌تواند نظارت بر داده‌های محیطی و شـخصی سـربازان در میدان جنگ را ممکن کند. نتایج این پژوهش به صورت یک مقاله دوره‌ای کامل چاپ شده است.

بـه گفته کاپاک، فناوری PCC پیشـرفت‌هایی را در پایداری گیرنده‌ها، سـازگاری و قابلیت تولید نسـبت بـه گیرنده‌های آنتی‌بادی استاندارد نشان داده است و به‌عنوان فناوری‌ای کارآمد، با نظارت بر عملکرد سربازان به کمک نشانگرهای زیستی قابل جمع‌آوری از حسگرهای پوشیدنی، از سربازان حفاظت می‌کند.

او می‌گوید: گیرنده‌های زیست‌شناختی برای گرفتن گزینشی هدف مورد نظر از مخلوطی پیچیده مانند خون، عرق، بزاق و ...، به یک حسگر زیسـتی متصل شده‌اند تا اثری قابل اندازه‌گیری توسط حسـگر تولید شـود. بدون گیرنده، تشخیص آنچه که می‌خواهید شناسایی کنید غیرممکن است.

آنتی‌بادی‌های جمع‌آوری شده از جانوران- که هدف مورد نظر به آن‌ها تزریق شـده بود- از قدرت اتصال زیاد و گزینش‌پذیری برای هدف برخوردارند و از این رو، به‌عنوان گیرنده در حسگرهای زیست‌شناختی استفاده شده‌اند.

کار این گیرنده‌ها در جذب هدف و گزینش‌پذیری رضایت‌بخش اسـت اما تا حدی به‌دلیل ناپایداری و کوتاه بودن عمر نگهداری آن‌ها، توانایی‌های تشخیصی محدودی دارند.

این گروه روشی متفاوت و نوآورانه‌تر ارائه کرده‌اند. به‌عنوان یک جایگزین، از گیرنده‌ای با پایه پپتیدی استفاده می‌شود که کوچک‌تر، با تولید ساده‌تر، ارزان و در برابر تغییرات محیطی مقاوم‌تر است و در همین حال باز هم خواص اتصال مطلوب آنتی‌بادی را دارد.

گیرنده‌های مورد اسـتفاده این گروه تقریباً می‌توانند پس از گرم شـدن به مدت یک سـاعت در دمای $90^{\circ}C$ فعال بمانند درحالی‌که بسیاری از آنتی‌بادی‌ها پس از چند دقیقه گرم شدن تا دمای بالاتر از $70^{\circ}C$ کاملاً غیرفعال می‌شوند.

به گفته کاپاک اکنون دانشـمندان موفق به تولید کامل یک گیرنده برای مدت دو تا سـه هفته پس از مشخص شدن هدف مورد نظر شده‌اند. چنین روندی در گذشته، حدود پنج تا شش ماه طول می‌کشید.

برنامه فعلی ارتش تعیین نشـانگرهای زیست‌شـناختی مهم مربوط به سلامت و عملکرد سربازان است بنابراین ایجاد توانایی توسعه سریع گیرنده‌ها این امکان را به آن‌ها می‌دهد که به فعالیت قبلی ادامه دهند و کشف و بررسی نشانگر زیستی را پیش ببرند.

هم‌اکنـون فعالیـت در زمینـه طراحـی و فراینـد انتخاب واکنشـگرهای جدید با سـرعت ادامه دارد به‌گونه‌ای که بتوان حسگرها را در هنگام نیاز به‌راحتی تولید کرد. این گروه همچنین در حال هماهنگی تلاش‌ها برای ارزیابی عملکرد انسان و ایمنی غذا و آب است.

به‌عنـوان کاربردهای دیگر ایـن گیرنده‌ها می‌توان به نظارت زیست‌شناختی/ زیست‌محیطی، تشخیص بهداشت و سلامت و درمان‌شناسی اشاره کرد.

1. Coppock, M.
2. protein catalyzed capture

1. Wearable sensors could leverage biotechnology to monitor personal, environmental data phys.org/news/2019-05-wearable-sensors-leverage-biotechnology-personal.html
2. Agnew, H.A. et al, Protein-Catalyzed Capture Agents, Chemical Reviews,2019,DOI: 10.1021/acs.chemrev.8b00660

ذخیره کتابخانه عمومی نیویورک در یک قاشق چای‌خوری پروتئین

کتاب‌ها می‌توانند بسـوزند، رایانه‌ها ممکن است هک شوند، و امکان خراب شـدن DVDها وجود دارد. با اینکه فناوری‌های ذخیره‌سازی اطلاعات، جوهر و کاغذ، لوح های فشرده، DVDها و حتـی DNA، در حال بهبود هسـتند اما باز هم، تهدیدهایی به سـادگی آب و به پیچیدگی حمله‌های سـایبری، می‌تواند مستندات ما را از بین ببرند.

همان‌طور که داده‌ها به‌سـرعت توسعه پیدا می‌کنند، اطلاعات بیشتر و بیشتری در فضاهای کوچک و کوچک‌تر ثبت می‌شوند. حتی ابر[1]، که نام آن بیان‌کننده فضایی مبهم و بی‌پایان اسـت، سرانجام لبریز می‌شود، نمی‌تواند تمام هکرها را خنثی کند و انرژی را به‌سـرعت مصرف می‌کند. هم‌اکنون، راه جدیدی برای ذخیره اطلاعات ارائه شده است که می‌تواند داده‌ها را برای میلیون‌ها سال به‌صورت پایدار محافظت کند؛ بیرون از محیط قابل هک اینترنت و با یک بار نوشـتن، در حالی‌که هیـچ انرژی مصرف نمی‌کند. تمام چیزی که شـما برای آشـنایی با این روش نیاز دارید یک شیمی‌دان، تعدادی مولکول ارزان و اطلاعات ارزشمند شماست.

بریان کفرتی[2]، نویسـنده اول مقاله‌ای کـه درباره این فناوری جدیـد توضیح می‌دهد و به‌عنوان پژوهشـگر پسـادکتری در آزمایشـگاه جرج وایت‌سـایدز[3] فعالیت می‌کند، می‌گوید: «به ذخیره‌سازی محتویات کتابخانه عمومی نیویورک با یک قاشق پروتئین فکر کنید.» وی این کار را با همکاری میلان مرکیچ[4] و گروه او در دانشگاه نورس‌وسترن[5] انجام داده است.

کفرتـی می‌گوید: در این مرحله، ما ایـن روش را قابل رقابت با روش‌هـای موجود ذخیره‌سـازی داده نمی‌بینیم، بلکه آن را کامل‌کننده این فناوری‌ها می‌دانیم که به‌عنوان شـروعی برای ذخیره‌سازی طولانی‌مدت داده‌های بایگانی بسیار مناسب است.

ابزار شـیمیایی کفرتی ممکن اسـت نتواند جایگزین ابر شود اما سـامانه بایگانی، جایگزینی بسـیار جالب بـرای ابزارهای ذخیره‌سـازی زیست‌شـناختی مانند DNA پیشنهاد می‌دهد. به‌تازگی، دانشمندان کشف کرده‌اند که چگونه سرپرست وفادار اطلاعات ژنتیک ما، یعنـی DNA، را برای رمزگذاری اطلاعاتی فراتر از رنگ چشـم به‌کار گیرند. دانشـمندان اکنون می‌توانند رشـته‌های DNA را برای ثبت هرگونه اطلاعاتی، شامل ویدئو، برنامه‌های رژیم غذایی و دستورهای آموزش آشپزی بسازند.

DNA با وجود کوچک بودن در مقایسه با تراشه‌های رایانه‌ای، مولکولی درشـت در جهان مولکولی است و سـنتز آن نیاز به مهارت وکارهای اغلب تکـراری دارد. اگر هر پیام به طراحی از پیش‌نویس نیاز داشـته باشـد، ذخیره درشـت مولکول کاری طولانی و گران‌قیمت خواهد بود.

کفرتی می‌گوید: ما در پی تدبیری هستیم که به‌طور مستقیم از زیست‌شناسی گرفته نشده باشد. به‌جای آن، ما به روش‌های متداول در شیمی آلی و تجزیه تکیه کردیم تا روشی ارائه کنیم کـه از مولکول‌های کوچک با وزن مولکولی کم برای رمزگذاری اطلاعات استفاده می‌کند.

تنها با یک سنتز، گروه می‌تواند مولکول‌های کوچک کافی برای رمزگذاری چندین ویدئو در یک زمان تولید کند که این روش را آسان‌تر و ارزان‌تر از نوع مبتنی بر DNA می‌کند.

دانشمندان الیگوپپتیدها (دو یا تعداد بیشتری پپتید که به‌هم متصل شده‌اند) را به‌دلیل مولکول‌های کم‌وزنشان، انتخاب کردند کـه متداول، پایدار و کوچک‌تـر از DNA، RNA یا پروتئین‌ها هستند.

الیگوپپتیدها بسـته به تعـداد و نوع آمینواسـیدهای آن‌ها، جرم‌های متغیری دارند و وقتی با هم مخلوط می‌شـوند، مانند حروف الفبا در سوپ، از یکدیگر تشخیص داده می‌شوند.

ساختن واژه از حروف، کمی پیچیده است: در یک چاه کوچک، مانند یک نسـخه مینیاتوری از بازی whack-a-mole با ۳۸۴ سـوراخ، هر حفره شـامل الیگوپپتیدهایی با جرم‌های مختلف اسـت. همان‌طورکه جوهر روی کاغذ جذب می‌شـود، مخلوط الگوپپتیدها روی سـطح یـک فلز مونتاژ می‌شـوند. اگر گروه دانشـمندان بخواهند آنچه را که نوشـته شده است بخوانند، با استفاده از طیف‌سنج جرمی نگاهی به یکی از حفره‌ها می‌اندازند که مولکول‌ها را براسـاس جرمشـان مرتب می‌کند. این کار به آن‌ها می‌گوید کدام الیگوپپتیدها حضور دارند یا غایب هستند؛ جرمشان آن‌ها را آشکار می‌کند.

دانشمندان برای ترجمه مفاهیم مولکول‌ها به حروف و واژه، کد دوـ دو یـا «صفر و یک» را قرض گرفتند. برای نمونه، حرف M، ۴ تا از ۸ الیگوپپتید ممکن راـ که هر کدام جرم متفاوتی دارندـ اسـتفاده می‌کند. چهار الیگوپپتید موجود در حفره، عدد یک را می‌گیرند، درحالی‌که چهار الیگوپپتید غایب، عدد صفر را دریافت می‌کنند. کد دوـدوی مولکولی به یک حرف اشاره می‌کند، یا اگر اطلاعات به شکل یک تصویر باشد، به یک پیکسل اشاره می‌کند.

با ایـن روش، مخلوطی از ۸ الیگوپپتیـد می‌تواند یک بایت اطلاعـات ذخیره کنـد، ۳۲ تا چهار بایت و تعداد بیشـتر آن، اطلاعات حتی بیشتری ذخیره می‌کنند.

تاکنون، گروه کفرتی اطلاعات ارزشمندی را بایگانی کرده است و می‌تواند شاهکارهای ذخیره شده خود را با صحت ۹۹/۹درصد بازیابی کند. سـرعت نوشـتن آن‌ها به‌طور متوسط ۸ بایت در ثانیه و سـرعت خواندن، ۲۰ بایت در ثانیه است. اگرچه سرعت نوشتن بسیار سریع‌تر از نوشتن با DNA سنتزی است، خواندن با درشتـ مولکول می‌تواند سریع‌تر و ارزان‌تر باشد.

بی‌تردید با فناوری سریع‌تر، سرعت گروه افزایش خواهد یافت. برای نمونه، در یک چاپگر جوهرافشـان که می‌تواند هزار قطره در ثانیـه تولید کند، اطلاعات بیشـتری در فضاهای کوچک‌تر ثبت می شـود. طیف‌سنج‌های جرمی پیشرفته می‌توانند حتی اطلاعات بیشتری را در زمانی کوتاه در اختیار شما قرار دهند.

ایـن گـروه همچنین می‌توانـد پایداری، قیمـت و ظرفیت ذخیره‌سازی مولکولی را با گروه‌های مختلف از مولکول‌ها بهبود بخشد. الیگوپپتیدها به طور سفارشی ساخته شده‌اند و بنابراین گران‌ترند اما سازندگان کتابخانه‌های آینده می‌توانند مولکول‌های ارزان‌قیمت مانند آلکان‌تیول‌هـا[6] را خریداری کنند که در این صورت فقط یک سنت برای ثبت ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ بایت اطلاعات هزینه می‌شود.

برخلاف دیگر سامانه‌ها، ذخیره‌سازی اطلاعات مولکولی روی یک مولکول خاص انجـام می‌گیرد. این رویکـرد می‌تواند هر مولکول قابل خواندن را تا زمانی استفاده کند که بتوان آن را به بایت‌های قابل تشخیص تبدیل کرد.

الیگوپپتیدها و گزینه‌های مشابه آن‌ها، هم‌اکنون انعطاف‌پذیر هستند. بنابه این مقاله در شرایط مناسب، الیگوپپتیدها پایداری صدها و هزاران ساله دارند. مولکول‌های مقاوم می‌توانند بدون نور و اکسیژن، در دمای بالا و خشکسالی پایدار بمانند. برخلاف ابر، کـه هکرها می‌توانند از صندلی راحت مورد علاقه خود به آن‌ها دسترسی داشته باشند، ذخیره‌سـازی مولکولی تنها به‌صورت شـخصی قابل دسترسی اسـت. حتی اگر یک دزد اطلاعاتی را پیدا کند برای بازیابی کد، کمی به دانستن شیمی نیازمند است.

کتابخانه مولکولی مقیاس‌پذیر کفرتی گزینه‌ای پایدار، بی‌نیاز از صرف انرژی و مقاوم در برابر پوسـیدگی برای ذخیره‌سـازی اطلاعات آینده اسـت. بنابراین، اگر کتاب‌ها بسـوزند، رایانه‌ها هک شـوند و DVDها خراب شوند، یک whack-a-mole پر از اطلاعات می‌تواند اطلاعات را برای آیندگان، محفوظ نگه دارد.

1. cloud
2. Cafferty, B.
3. the lab of George Whitesides
4. Mrksich, M.
5. Northwestern
6. alkanethiols

1. Preserving the contents of the New York Public Library in a teaspoon of protein, without energy, for millions of years
2. phys.org/news/2019-05-contents-york-library-teaspoon-protein.html