



ذخیره میلیاردها گیگابایت داده در گاو صندوق دیجیتال نانویی!

دانشمندان نشان داده‌اند که دی‌ان‌ای می‌تواند حجم عظیمی از داده‌ها را در فضایی بسیار کوچک ذخیره کند.

دانشمندان نشان داده‌اند که دی‌ان‌ای می‌تواند حجم عظیمی از داده‌ها را در فضایی بسیار کوچک ذخیره کند. آن‌ها همچنین با استفاده از ساختارهای نانویی دی‌ان‌ای، روشی تازه برای رمزنگاری امن اطلاعات ارائه داده‌اند. این فناوری ممکن است در

آینده جایگزین باندازه فوق‌فشرده برای حافظه‌های ابر دیجیتال باشد. به گزارش ایسنا، پژوهشگران دانشگاه ایالتی آریزونا (Arizona State University & ASU) در دو مطالعه تازه نشان داده‌اند که «دی‌ان‌ای» (DNA) می‌تواند نه تنها به عنوان رسانه‌ای فوق‌فشرده برای ذخیره حجم عظیم داده‌ها به کار رود، بلکه بستری نوین برای رمزنگاری و حفاظت از اطلاعات در مقیاس مولکولی فراهم آورد؛ دستاوردی که می‌تواند آینده سامانه‌های ذخیره‌سازی و امنیت دیجیتال را دگرگون کند.

از آغاز عصر رایانه تاکنون، دو چالش اساسی همواره ذهن پژوهشگران را به خود مشغول کرده است: نخست، چگونه می‌توان سیل فزاینده داده‌های دیجیتال را ذخیره کرد؛ و دوم، چگونه می‌توان این اطلاعات را از دسترسی‌های غیرمجاز مصون داشت. اکنون گروهی از دانشمندان «مؤسسه بیودیزاین» در دانشگاه ایالتی آریزونا به همراه همکاران خود، پاسخی غیرمنتظره اما الهام‌گرفته از طبیعت ارائه کرده‌اند: بهره‌گیری از مولکول حیات، یعنی دی‌ان‌ای، به عنوان یک سکوی اطلاعاتی. نتایج این پژوهش‌ها که در نشریات «مواد کاربردی پیشرفته» (Advanced Functional Materials) و «ارتباطات طبیعت» (Nature Communications) منتشر شده، جایگزینی زیست‌الهام برای راهکارهای مبتنی بر سیلیکون پیشنهاد می‌کند. به گفته «هائو یان»، استاد ممتاز دانشکده علوم مولکولی و مدیر مرکز طراحی مولکولی و زیست‌الگو در ASU، فناوری اطلاعات دهه‌ها به سیلیکون وابسته بوده است، اما اکنون می‌توان دی‌ان‌ای را نه فقط ماده ژنتیکی، بلکه بستری برای ذخیره و صیانت از اطلاعات دانست.

در نخستین مطالعه، تمرکز پژوهشگران بر ذخیره‌سازی داده‌ها با استفاده از شکل فیزیکی دی‌ان‌ای بوده است، نه صرفاً توالی حروف ژنتیکی آن. دی‌ان‌ای به دلیل چگالی ذخیره‌سازی بی‌نظیر و پایداری شگفت‌انگیزش - که نمونه‌هایی از آن پس از حدود دو میلیون سال در رسوبات گرینلند بازمی‌یابند - گزینه‌ای جذاب برای آرشیو بلندمدت اطلاعات به شمار می‌رود. دانشمندان ساختارهای بسیار کوچک دی‌ان‌ای را طراحی کرده‌اند که همانند «حروف فیزیکی» یک الفبا عمل می‌کنند و هر یک حامل بخشی از اطلاعات هستند. هنگامی که این ساختارها از درون یک حسگر نانومقیاس عبور می‌کنند، نرم افزارهای مبتنی بر یادگیری ماشین، سیگنال‌های الکتریکی ظریف تولیدشده را ثبت و تحلیل می‌کنند. سپس سامانه قادر است داده‌ها را با دقت بالا به‌واژه‌ها و پیام‌های خوانا تبدیل کند.

این روش، در مقایسه با شیوه‌های متداول ذخیره‌سازی دی‌ان‌ای که به توالی یابی ژنتیکی کند و پرهزینه وابسته‌اند، سریع‌تر، کم‌هزینه‌تر و مقیاس‌پذیرتر است. چشم‌انداز پیش‌رو نشان می‌دهد که دی‌ان‌ای می‌تواند به رسانه‌ای فوق‌مترکم، بادوام و ایمن برای نگهداری داده‌های علمی، فرهنگی و حتی اسناد تاریخی بدل شود؛ آن‌ها هم با مصرف حداقلی فضا و انرژی. اما نوآوری پژوهشگران به ذخیره‌سازی محدود نمی‌شود. در مطالعه دوم، آن‌ها نشان داده‌اند که نانوساختارهای دی‌ان‌ای می‌توانند به عنوان ابزاری برای رمزنگاری پیشرفته نیز به کار روند. در این پژوهش، ساختارهای موسوم به «اوربیتال‌های دی‌ان‌ای» طراحی شده‌اند؛ آرایش‌های تاخوردیده‌ای از رشته‌های دی‌ان‌ای که اشکال دقیق دوطرفه و سه‌بعدی ایجاد می‌کنند. در این رویکرد، اطلاعات نه به صورت بیت‌های ساده، بلکه در الگو و آرایش این ساختارهای نانومقیاس رمزگذاری می‌شود. برای خواندن این داده‌های رمزگذاری شده، پژوهشگران از نوعی میکروسکوپ با قدرت تفکیک بسیار بالا بهره‌برده‌اند که قادر است ساختارهای منفرد دی‌ان‌ای را با دقت چشمگیر مشاهده کند. سپس الگوریتم‌های یادگیری ماشین هزاران تصویر مولکولی را تحلیل کرده و الگوهای مشابه را گروه‌بندی می‌کنند تا پیام اصلی بازسازی شود. بدون چارچوب رمزگشایی صحیح، این الگوها عملاً بی‌معنا خواهند بود و همین ویژگی، لایه‌ای ذاتی از امنیت فراهم می‌آورد.

این رویکرد، تعداد کدهای مولکولی قابل تولید را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد و امکان رمزگشایی غیرمجاز را بسیار دشوارتر می‌کند. افزون بر آن، ذخیره‌سازی اطلاعات در ساختارهای سه‌بعدی دی‌ان‌ای، سطحی تازه از پیچیدگی و امنیت را به هر «کلید مولکولی» می‌افزاید.

به نقل از ستاد نانو، در مجموع، این دو پژوهش نشان می‌دهد که دی‌ان‌ای می‌تواند هم‌زمان نقش یک رسانه ذخیره‌سازی فشرده و سکوی امن مدیریت اطلاعات را ایفا کند. یکی از فناوری‌ها بر خوانش سریع و الکترونیکی اطلاعات مولکولی تأکید دارد و دیگری از خود الگوهای مولکولی به عنوان حاملان رمزگذاری شده بهره‌می‌برد.

کاربردهای بالقوه این فناوری گسترده است؛ از آرشیو فوق‌فشرده داده‌های علمی و پرونده‌های پزشکی گرفته تا حفاظت از اطلاعات حساس در شرایطی که تجهیزات الکترونیکی متعارف کارایی خود را از دست می‌دهند، مانند دماهای بسیار بالا، محیط‌های پرتوزا یا نگهداری‌های چنددهه‌ساله. این دستاورد، همگرایی فزاینده زیست‌شناسی، علم مواد، محاسبات و الکترونیک را به نمایش می‌گذارد و نشان می‌دهد که آینده ذخیره‌سازی و امنیت اطلاعات شاید در دل همان مولکولی نهفته باشد که راز حیات را در خود حمل می‌کند.