



انقلاب کم‌هزینه برای بازآفرینی مسیر تولید مواد دوبعدی پیشرفته

پژوهشگران آمریکایی با الهام از یک مقاله فراموش‌شده چهار دهه‌ای، موفق شده‌اند

پژوهشگران آمریکایی با الهام از یک مقاله فراموش‌شده چهار دهه‌ای، موفق شده‌اند روش جدیدی برای تولید MXene ها ارائه دهند؛ موادی دوبعدی با کاربردهای گسترده در ذخیره سازی انرژی، کاتالیزورها و فناوری‌های پیشرفته که این بار نه با اسیدهای خطرناک و هزینه‌های سرسام‌آور، بلکه با روشی «پایین به بالا» و تا صد برابر ارزان‌تر ساخته می‌شوند.

به گزارش ایسنا، گروهی از پژوهشگران دانشگاه شیکاگو، دانشگاه ایلینوی شیکاگو و دانشگاه وندربیلت توانسته‌اند مسیر تولید MXene ها را به طور اساسی بازتعریف کنند. MXene ها که تنها ۱۴ سال از معرفی آن‌ها می‌گذرد، دسته‌ای از مواد دوبعدی رسانا هستند که به دلیل ساختار اتمی منحصر به فرد خود، توجه بسیاری از حوزه‌های علمی و صنعتی را به خود جلب کرده‌اند؛ از باتری‌ها و ابرخازن‌ها گرفته تا محافظت الکترومغناطیسی، کاتالیزورها، مواد سبک فوق‌مقاوم و حتی جوهرهای رسانا.

با این حال، مسیر تولید این مواد پیشرفته تا امروز چندان هموار نبوده است. روش‌های مرسوم ساخت MXene ها مبتنی بر فرایندهای چندمرحله‌ای، دماهای بالا، استفاده از مواد بسیار خورنده مانند اسید هیدروفلوئوریک و تولید حجم زیادی پسماند شیمیایی بوده‌اند؛ مسیری پرهزینه، خطرناک و نامناسب برای تولید صنعتی در مقیاس بزرگ.

دیمیتری تالاپین، استاد مهندسی مولکولی و شیمی دانشگاه شیکاگو، در توضیح این چالش می‌گوید: روش‌های قبلی شاید برای پژوهش‌های آزمایشگاهی قابل قبول بودند، اما به مانعی جدی برای ورود MXene ها به کاربردهای صنعتی واقعی تبدیل شده بودند. به گفته او، ادامه این روند عملاً آینده تجاری این مواد را تهدید می‌کرد.

تیم پژوهشی به رهبری تالاپین، اکنون روشی کاملاً متفاوت ارائه داده است؛ روشی که MXene ها را «اتم به اتم» و به صورت پایین به بالا می‌سازد. در این روش جدید که نتایج آن در مجله Nature Synthesis منتشر شده، از فرایند رسوب دهی شیمیایی بخار برای تولید MXene ها استفاده شده است؛ رویکردی که بنا بر اعلام پژوهشگران، هزینه تولید را دست کم دو مرتبه بزرگی کاهش می‌دهد.

دی‌ان جیانگ، استاد مهندسی شیمی دانشگاه وندربیلت و از نویسندگان این مقاله، این دستاورد را فراتر از یک بهبود فنی می‌داند و تأکید می‌کند که این پژوهش در واقع یک روش جدید در سنتز شیمیایی را معرفی کرده است؛ روشی که با استفاده از پیش‌ماده‌های آلی تازه، امکان تولید کارآمدتر مواد دوبعدی را فراهم می‌کند.

جالب آن که الهام اصلی این پیشرفت، نه از پژوهش‌های مدرن، بلکه از مقاله‌ای کمترشناخته‌شده در سال ۱۹۸۶ آمده است. تالاپین توضیح می‌دهد که آن‌ها به مقاله‌ای قدیمی از جان کوربت، شیمیدان برجسته دانشگاه آیالتی آیووا، برخوردند که در آن روشی برای سنتز ترکیبات لایه‌ای کلرید و نیترید زیرکونیوم معرفی شده بود؛ موادی که از نظر ساختاری شباهت زیادی به MXene ها دارند، هرچند این نام سال‌ها بعد وارد ادبیات علمی شد.

MXene ها نخستین بار در سال ۲۰۱۱ توسط پژوهشگران دانشگاه درکسل معرفی شدند. این مواد در اصل لایه‌هایی از فلزات واسطه هستند که آن‌قدر نازک شده‌اند که عملاً دوبعدی محسوب می‌شوند. قابلیت ذخیره یون‌ها بین لایه‌ها و کنترل جریان آن‌ها، MXene ها را به گزینه‌ای جذاب برای فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی تبدیل کرده است.

نوآ میسون، دانشجوی دکتری و پژوهشگر این پروژه، توضیح می‌دهد که یکی از مزیت‌های کلیدی MXene ها، قابلیت تنظیم گروه‌های سطحی آن‌هاست؛ ویژگی‌ای که اجازه می‌دهد نوع یون‌های ذخیره‌شده، میزان پایداری آن‌ها و سرعت ورود و خروج یون‌ها با دقت کنترل شود. همین خصوصیت است که MXene ها را به بستری انعطاف‌پذیر برای نسل جدید باتری‌ها و ابرخازن‌ها تبدیل کرده است.

با این حال، روش‌های قدیمی تولید MXene ها شباهت زیادی به «تراشیدن یک کتاب از دل یک تکه چوب» داشتند؛ استعاره‌ای که رابرت کلی، استاد فیزیک دانشگاه ایلینوی شیکاگو، برای توصیف فرایندهای خشن و پراتلاف به کار می‌برد. در مقابل، روش جدید تیم پژوهشی، MXene را همان‌طور که باید ساخته شود تولید می‌کند؛ لایه به لایه، منظم و کنترل‌شده.

پژوهشگران پیش تر در سال ۲۰۲۳ نیز نسخه ای اولیه از این روش را منتشر کرده بودند، اما بازده و خلوص محصول هنوز پایین بود. دی وانگ، نویسنده اول این مقالات، می گوید که در آن مرحله، میزان MXene در محصول نهایی به سختی به ۶۰ درصد وزنی می رسید، در حالی که در پژوهش جدید این عدد به حدود ۹۰ درصد افزایش یافته است. به گفته او، تیم پژوهشی نه تنها واکنش جدیدی کشف کرده، بلکه به درک عمیق تری از «رازهای سنتز» این مواد دست یافته است. مسئله ایمنی و هزینه نیز در این پیشرفت نقش کلیدی داشته است. پیش ماده ای که در کارهای اولیه استفاده می شد، یعنی تتراکلرید تیتانیوم، آن قدر واکنش پذیر بود که حتی به سرنگ های پلاستیکی آسیب می زد. در مقابل، روش جدید از تتراکلرواتیلن استفاده می کند؛ ماده ای ارزان، پایدار و رایج که حتی در فرایندهای صنعتی مانند کافئین زدایی قهوه نیز کاربرد دارد.

تالابین معتقد است این پژوهش نمونه ای روشن از ارزش تحقیقات بنیادی است؛ پژوهش هایی که شاید سال ها بدون کاربرد مشخص باقی بمانند، اما در نهایت می توانند مسیرهای فناورانه کاملاً جدیدی را باز کنند. کنسرسیوم پژوهشی ام استار (M-STAR) که این پروژه در قالب آن انجام شده، بستری را فراهم کرده است تا شیمی دانان، فیزیک دانان و مهندسان شیمی با رویکردهای میان رشته ای، MXene ها را به سکوی نوآوری های آینده تبدیل کنند.