

# نانوالیاف؛ ستاره‌ای در آزمایشگاه، غریبه‌ای در صنعت

نانوالیاف با وجود توان علمی بالا، پس از بیش از ۵۲ سال پژوهش هنوز به‌سختی وارد تولید انبوه شده‌اند. هزینه بالا، مشکل حلال‌ها و پیچیدگی تولید، مهم‌ترین موانع تجاری‌سازی این مواد هستند. با این حال، در حوزه فیلتراسیون و برخی کاربردهای خاص، نانوالیاف توانسته‌اند به موفقیت صنعتی دست پیدا کنند.

به گزارش ایرنا، گزارشی تازه که در نشریه *Frontiers in Nanotechnology* منتشر شده، نشان می‌دهد چرا این مواد پیشرفته، با وجود توانمندی‌های خیره‌کننده، هنوز نتوانسته‌اند جایگاه شایسته‌ای در تولید انبوه و بازار جهانی پیدا کنند.

در دهه‌های گذشته، دانشمندان علوم مواد و شیمی سنتزی موفق به توسعه طیف گسترده‌ای از نانومواد، از جمله نانوصفحات، نانوپودرها، نانولوله‌ها و نانوالیاف شده‌اند. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که این مواد می‌توانند ویژگی‌هایی چشمگیر، از استحکام مکانیکی بالا گرفته تا سطح ویژه بسیار زیاد و قابلیت‌های عملکردی خاص، از خود بروز دهند. با این حال، تنها بخش کوچکی از این دستاوردها توانسته‌اند مسیر خود را به محصولات تجاری واقعی باز کنند.

به گفته نویسندگان مقاله، موفقیت تجاری هر ماده پیشرفته معمولاً نیازمند تحقق دست‌کم دو شرط از سه شرط کلیدی است: امکان تولید پایدار در مقیاس صنعتی، هزینه رقابتی یا برتری عملکردی آشکار نسبت به گزینه‌های موجود و پایداری یا طول عمر کافی در کاربرد نهایی.

نانوالیاف، از نظر نظری، یکی از معدود خانواده‌های نانومواد هستند که می‌توانند در برخی کاربردها هر سه شرط را هم‌زمان برآورده کنند، اما مسیر رسیدن به این هدف همچنان ناهموار است.

یکی از محورهای اصلی این بررسی، روش‌های تولید نانوالیاف در مقیاس بزرگ است. دو فناوری غالب در این حوزه، «الکتروریسی» و «ریسندگی گریز از مرکز» به شمار می‌روند.

الکتروریسی امکان کنترل دقیق قطر الیاف را فراهم می‌کند، اما بازده پایین و پیچیدگی عملیاتی بالا، آن را برای تولید انبوه به گزینه‌ای پر هزینه تبدیل کرده است. در مقابل، ریسندگی گریز از مرکز که بر پایه چرخش مکانیکی و نه میدان

به‌ندرت در صنعت به‌کار گرفته شوند.

پایداری نانوالیاف نیز به‌شدت وابسته به نوع کاربرد است. در فیلترها، دوام بلندمدت اهمیت حیاتی دارد، در حالی که در کاربردهای زیست‌پزشکی، مانند ترمیم زخم یا داربست‌های مهندسی بافت، تخریب کنترل‌شده حتی یک مزیت محسوب می‌شود. برای پاسخ به این نیازهای متضاد، پژوهشگران به راهبردهای پس‌فراوری روی آورده‌اند؛ از جمله پیوند عرضی، تیمار پلاسما و پوشش‌دهی‌های بسیار نازک معدنی با روش‌هایی مانند لایه‌نشانی اتمی یا نفوذ فازی بخار.

در کنار چالش‌های فنی، مسئله ایمنی و نگرش مخاطبانه صنعت نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. خاطره تاریخی آریست، صنایع را نسبت به مواد الیافی حساس کرده است. با این حال، مطالعات سم‌شناسی جدید نشان می‌دهد که نانوالیاف غیر آلی عموماً خطرناک‌تر از نانوذرات هم‌جنس خود نیستند و حتی به‌دلیل اندازه بزرگ‌تر، نفوذ کمتری به پوست و ریه دارند. نانوالیاف زیست‌پلمیری نیز به‌دلیل قابلیت تجزیه زیستی، عموماً ایمن تلقی می‌شوند، هر چند اثرات زیستی محصولات تخریب آن‌ها هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است.

با وجود همه این محدودیت‌ها، نانوالیاف در حوزه فیلتراسیون به موفقیت تجاری چشمگیری دست یافته‌اند. غشاهای نانوالیافی امروز در سامانه‌های تصفیه هوا و مایعات به‌طور گسترده استفاده می‌شوند و به بالاترین سطح آمادگی فناورانه رسیده‌اند. حوزه‌هایی مانند محصولات آرایشی، جاذب‌ها و برخی کاربردهای خاص زیست‌پزشکی نیز با سرعتی کمتر، اما امیدبخش در حال پیشرفت هستند.

نویسندگان مقاله هشدار می‌دهند که نباید در انتظار جهش‌های ناگهانی بود. آینده نانوالیاف، به گفته آنان، در گرو بهبودهای تدریجی و سیستمی است؛ از افزایش بهرموری و کنترل بهتر فرآیند گرفته تا بازیافت حلال و همکاری نزدیک‌تر میان دانشگاه و صنعت.

نانوالیاف هنوز ظرفیت‌های فراوانی دارند، اما تنها زمانی به جایگاه واقعی خود می‌رسند که واقعیت‌های صنعتی به همان اندازه علم آزمایشگاهی جدی گرفته شوند.

الکتریکی عمل می‌کند، نرخ تولید بسیار بالاتری دارد، اما کنترل یکنواختی و کیفیت الیاف در آن دشوارتر است اگرچه هر دو روش قادر به تولید نانوالیاف با کیفیت بالا هستند، مقیاس‌پذیری قابل اعتماد آن‌ها همچنان یک چالش جدی است. کنترل جریان هوا، تبخیر حلال، جمع‌آوری الیاف و جلوگیری از ایجاد عیوب ساختاری، نیازمند دانش مهندسی دقیق و زیرساخت‌های پر هزینه‌ای است که بسیاری از شرکت‌ها حاضر به سرمایه‌گذاری در آن برای موادی نوظهور نیستند.

به باور نویسندگان، بزرگ‌ترین مانع بر سر راه تجاری‌سازی نانوالیاف، سامانه پلیمر-حلال است. بسیاری از پلیمرهای پرکاربرد، مانند پلی‌آمید ۶ و پلی‌اکریلونیتریل، تنها در حلال‌های آلی سمی و گران‌قیمت حل می‌شوند. در مقابل، پلیمرهای محلول در آب ایمن‌تر و ارزان‌تر هستند، اما ناپایداری آن‌ها در محیط‌های آبی دامنه کاربریشان را محدود می‌کند.

از منظر اقتصادی، مسئله حلال‌ها ابعادی نگران‌کننده دارد. برای تولید یک کیلوگرم نانوالیاف از محلولی با ده درصد وزنی پلیمر، حدود ۹ کیلوگرم حلال در فرآیند تبخیر از دست می‌رود. توسعه حلال‌های کاملاً جدید، از دید پژوهشگران، غیرواقع‌بینانه است و به همین دلیل، بازیافت حلال به‌عنوان عملی‌ترین راهکار بلندمدت مطرح می‌شود. هرچند سامانه‌های حلقه‌بسته، چگالش حلال و روش‌های جذب فنی امکان‌پذیر هستند، اما هزینه و پیچیدگی بالا باعث شده این راهکارها هنوز