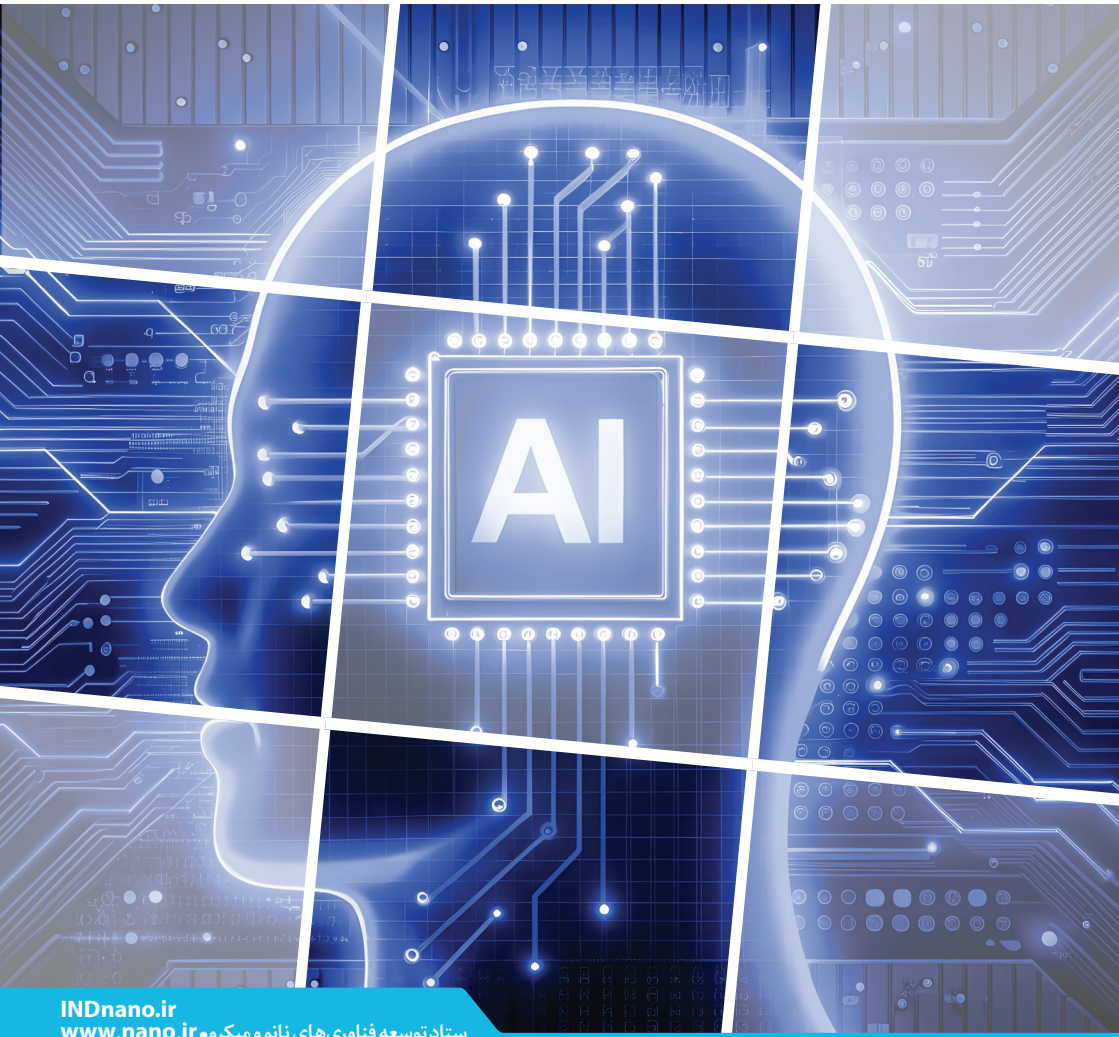
نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۷۹ هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی در فناوری نانو

بخش اول: تجهیزات



INDnano.ir
www.nano.ir • ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو
گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن
نظارت: داود قرایلو
صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵
پست الکترونیک: IND@nano.ir
سال انتشار: ۱۴۰۳
تهیه کنندگان: زینب معیری، مهدی راجی‌پور

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰
نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
پایگاه اینترنتی: www.nano.ir، www.INDnano.ir
اینستاگرام نانو و صنعت: @INDnano.ir

فهرست مطالب

هوش مصنوعی ۳
از هوش مصنوعی عمومی تا هوش مصنوعی مولد ۳
کاربرد هوش مصنوعی در فناوری نانو ۵
کشف و بسط مواد پیشرفته ۶
تجهیزات ۷
فرآیندهای تولید ۷
چالش‌های موجود در استفاده از هوش مصنوعی در نانو ۸
کیفیت و در دسترس بودن داده‌ها ۸
یکپارچه‌سازی با تجهیزات موجود ۸
استانداردسازی و قابلیت به‌روزرسانی ۸
نمونه‌های مشابه خارجی تجهیزات آنالیزی و تولیدی نانو با هوش مصنوعی ۹
دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس سطح ۹
دستگاه‌های طیف‌سنج رامان ۱۰
دستگاه‌های اسپکتروفتومتر و اسپکترومتر ۱۱
میکروسکوپ نیروی اتمی ۱۲
دستگاه الکتروریسی ۱۳

هوش مصنوعی

هوش مصنوعی[1] به سیستم‌های کامپیوتری اطلاق می‌شود که قادر به انجام وظایف پیچیده‌ای هستند که از نظر تاریخی فقط یک انسان می‌توانست انجام دهد، مانند استدلال، تصمیم‌گیری یا حل مشکلات [۱].

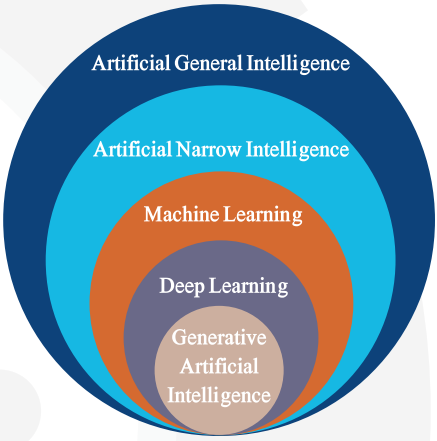
امروزه اصطلاح «AI» طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها را توصیف می‌کند که بسیاری از خدمات و کالاهایی را که ما هر روز استفاده می‌کنیم - از برنامه‌هایی که نمایش‌های تلویزیونی را پیشنهاد می‌کنند تا چت‌بات‌هایی که پشتیبانی مشتری را در حالت برخط (آنلاین) ارائه می‌کنند-تقویت می‌کنند.

در حال حاضر هوش مصنوعی تئوری و توسعه سیستم‌های رایانه‌ای است که قادر به انجام وظایفی است که از نظر تاریخی به هوش انسانی نیاز داشته است، مانند تشخیص گفتار، تصمیم‌گیری و شناسایی الگوها. اگرچه این اصطلاح معمولاً برای توصیف طیف وسیعی از فناوری‌های مختلف مورداستفاده امروزه، قرار گرفته است، بسیاری در مورد اینکه آیا این‌ها واقعاً هوش مصنوعی‌اند یا خیر، اختلافِ‌نظر دارند. در عوض، برخی استدلال می‌کنند که بسیاری از فناوری‌های مورداستفاده در دنیای واقعی امروزه در واقع یادگیری ماشینی بسیار پیشرفته را تشکیل می‌دهند که به‌سادگی اولین گام به‌سوی هوش مصنوعی واقعی یا هوش مصنوعی عمومی[2] است.

از هوش مصنوعی عمومی تا هوش مصنوعی مولد[3]

هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق اصطلاحات رایج در عصر فناوری اطلاعات است و گاهی اوقات به‌جای یکدیگر استفاده می‌شوند، اما تمایزاتی وجود دارد.

اصطلاح هوش مصنوعی که در دهه ۱۹۵۰ ابداع شد، به شبیه‌سازی هوش انسان توسط ماشین‌ها اشاره دارد که با توسعه فناوری‌های جدید، مجموعه‌ای از قابلیت‌های در حال تغییر را پوشش می‌دهد. فناوری‌هایی که زیر چتر هوش مصنوعی قرار می‌گیرند شامل یادگیری ماشین[4]، یادگیری عمیق[5] و هوش مصنوعی مولد را در بر می‌گیرد که توضیح مختصری از هریک در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- جایگاه فناوری‌های هوش مصنوعی

هوش مصنوعی عمومی به نوعی از هوش مصنوعی اشاره دارد که دارای توانایی درک، یادگیری و به‌کارگیری دانش در طیف وسیعی از وظایف در سطحی قابل‌مقایسه با هوش انسانی است و به‌طور کلی در هرکاری که انسان بتواند انجام دهد، تواناست. یادگیری ماشین وسیع‌ترین حوزه الگوریتم‌ها و مدل‌های آماری را در بر می‌گیرد و برنامه‌های نرم‌افزاری را قادر می‌سازد تا در پیش‌بینی نتایج بدون برنامه‌ریزی صریح، دقیق‌تر شوند.
الگوریتم‌های یادگیری ماشین از داده‌های به ثبت رسیده به‌عنوان ورودی برای پیش‌بینی مقادیر خروجی جدید استفاده می‌کنند. این رویکرد با افزایش مجموعه داده‌های بزرگ برای آموزش، بسیار مؤثرتر شد.
یادگیری عمیق، زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشینی، بر اساس درک ما از ساختار مغز است. استفاده یادگیری عمیق از ساختار شبکه عصبی مصنوعی[۶]، زیربنای پیشرفت‌های اخیر در هوش مصنوعی از جمله خودروهای خودران، تشخیص سرطان و... است.
هوش مصنوعی مولد زیرمجموعه دیگری از یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و هوش مصنوعی محدود است، هوش مصنوعی مولد با یادگیری از داده‌های موجود و تولید خروجی‌هایی که الگوهای آموخته شده را تقلید می‌کنند، بر ایجاد محتوای جدید در زمینه متن، تصویر یا صوت تمرکز دارد، مانند چت‌بات‌های هوشمند GPT و Copilot و Gemini و Midjourney و DALL-E که در سطح کاربردی بالایی قرار دارند (شکل ۲ و ۳).

شکل ۲- عکس تولیدشده مدل Dall-E3

شکل ۳- عکس تولید شده مدل Midjourney

با این حال، علی‌رغم اختلافِ نظرهای فلسفی فراوان در مورد اینکه آیا ماشین‌های هوشمند «واقعی» واقعاً وجود دارند یا خیر، وقتی امروزه بیشتر مردم از اصطلاح هوش مصنوعی استفاده می‌کنند، به مجموعه‌ای از فناوری‌های مبتنی بر یادگیری ماشینی مانند چت‌بات‌ها یا ماشین‌های خودکار اشاره می‌کنند که این به معنای وجود ماشین‌هایی برای انجام کارهایی که قبلاً فقط انسان‌ها می‌توانستند انجام دهند، است (مانند تولید محتوای نوشتاری، هدایت خودکار خودرو یا تجزیه‌وتحلیل داده‌ها). امروزه تصور دنیای بدون کامپیوتر همان‌قدر سخت است که بعد از گذر از انقلاب صنعتی چهارم بدون ربات‌های پیشرفته، بدون هوش مصنوعی و بدون اینترنت اشیا و... سخت خواهد بود. تفاوت پیشروی این انقلاب‌ها به‌جز دستاوردهای بیشتر، سرعت رسوخ آن در صنعت و جامعه نیز است.

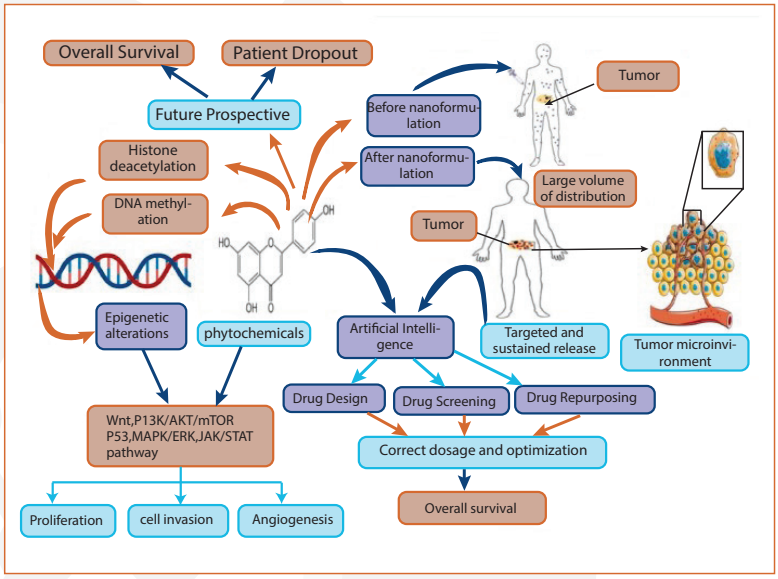
کاربرد هوش مصنوعی در فناوری نانو

فناوری نانو یا نانوتکنولوژی[۷]، توانمندی تولید و آنالیز مواد، ابزار و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در مقیاس نانومتری یا همان سطوح اتمی، مولکولی و فراملکولی و استفاده از خواصی است که در این سطوح در کاربردهای صنعتی ظاهر می‌شوند. به‌طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند که این خود به نوع اتم بستگی دارد. به‌طور کلی فناوری نانو گسترش، تولید و استفاده از ابزار و موادی است که ابعادشان در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. فناوری نانو به دو سطح قابل تقسیم است: مواد و ابزارها.

به هر ماده‌ای که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس نانومتری زیر ۱۰۰ نانومتر باشد، نانومواد گفته می‌شود که این تعریف به‌وضوح انواع بسیار زیادی از ساختارها، اعم از ساخته دست بشر یا طبیعت را شامل می‌شود. در ابزارها، تمام تجهیزات فناوری نانو را پوشش می‌دهد که شامل تجهیزات ساخت و تولید که تولیدکنندهٔ مواد در ابعاد نانو هستند و تجهیزات شناسایی و آنالیز که مواد را در ابعاد نانو بررسی می‌کنند.

هوش مصنوعی در صنعت کامپیوتر و فناوری نانو از جمله پرطرفدارترین فناوری‌های نوظهور هستند، وجودِ هم‌افزایی بین این فناوری‌ها، سبب توسعه هر یک در عصر دیجیتال شده است (شکل ۴ نمونه ای از مثال‌های کاربردی است).

در فناوری نانو نیز از هوش مصنوعی در تولید و آنالیز مواد استفاده شده است. در حال حاضر با توجه به بررسی‌های انجام شده کاربرد هوش مصنوعی در نانو به سه دسته تقسیم می‌شود: کشف و بسط مواد پیشرفته، تجهیزات و فرآیندهای تولید.



شکل ۴- مثالی از کاربردهای هوش مصنوعی در فناوری نانو برای درمان سرطان دهانه رحم [۱۵]

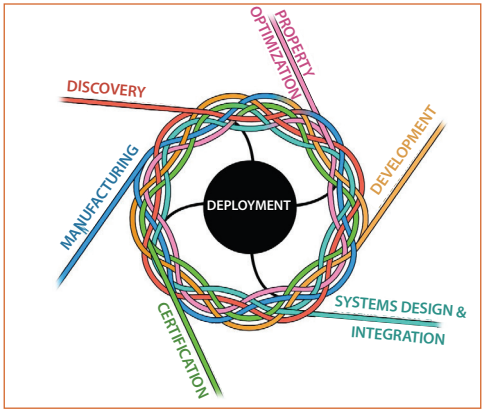
کشف و بسط مواد پیشرفته

بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای کشف مواد پیشرفته نانویی هم‌اکنون به مهم‌ترین ترند حوزهٔ مواد پیشرفته تبدیل شده است که برنامه‌ریزی در این خصوص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، این دانش در واقع یک زمینه میان‌رشته‌ای پیشرفته است که از نقاط قوت نانو و هوش مصنوعی برای توسعه مواد جدید با خواص پیشرفته برای کاربردهای مختلف استفاده می‌کند. به‌عنوان مثال مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند خواص و رفتار مواد را بر اساس ساختار و ترکیب اتمی آن‌ها پیش‌بینی کنند، همچنین هوش مصنوعی در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز به کمک فناوری نانو آمده و می‌تواند مقادیر زیادی از داده‌های تجربی و شبیه‌سازی را برای شناسایی الگوها و همبستگی‌هایی که ممکن است توسط محققان انسانی نادیده گرفته شود، پردازش کند. با الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توان فرآیندهای طراحی و سنتز را بهینه و بهترین ترکیب پارامترها را برای خواص مواد موردنظر پیدا کرد. علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند فرآیند کشف مواد جدید را با تولید و آزمایش فرضیه‌ها با سرعتی بسیار سریع‌تر از روش‌های سنتی خودکار کند.

به همین منظور در رصد به‌کارگیری هوش مصنوعی در صنعت تایر، مطالعهٔ موردی صورت گرفته است. این مطالعه با توجه به اینکه کمپانی‌های بزرگ تولیدکنندهٔ تایر مانند میشلین [۸]، کونتیننتال [۹] و نوکیان [۱۰] به این‌سو حرکت کرده‌اند، به‌کارگیری هوش مصنوعی در این صنعت را نتیجه‌بخش دانسته و مهر تأییدی بر رسوخ هوش مصنوعی در بسط مواد پیشرفته زده است.

با توجه به ترکیب تعداد زیادی ماده در تولید تایر، از هوش مصنوعی در توسعه مواد تایر در بهبود روند ترکیب و کشف مواد جدیدی که جهت بهبود عملکردی مشخص به فرمولاسیون اضافه می‌شود، می‌توان بهره برد. این مواد جدید با داده‌های عظیمی که توسط هوش مصنوعی آموزش داده می‌شوند با ویژگی‌های منحصربه‌فرد و درصدی مشخص پدیدار می‌شوند.

سازمان پیشگامی ژنوم مواد [۱۱] آمریکا، در برنامه‌ای استراتژیک بررسی‌هایی در این حوزه انجام داده است. هدف این سازمان تسریع روند کشف، توسعه و استقرار مواد پیشرفته است که مواد پیشرفته را با هزینه کمتر و دو برابر سریع‌تر ایجاد کنند. با درک پیش از رشد این حوزه در جهان، آمریکا این کار را از سال ۲۰۱۱ تسریع بخشیده و با طرح اهداف واضح آن را ملزم به رشد کرده است (شکل ۵). این اهداف شامل توسعه نیروی کار در این حوزه، دسترسی آسان به مراکز داده، ایجاد زیرساخت داده دیجیتال برای همکاری بین صنایع و اشتراک آسان بین آن‌ها، تشویق دانشگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها و صنعت به همکاری با یکدیگر و پر کردن شکاف بین کشف مواد تا استفاده تجاری است (شکل ۶) [۲].

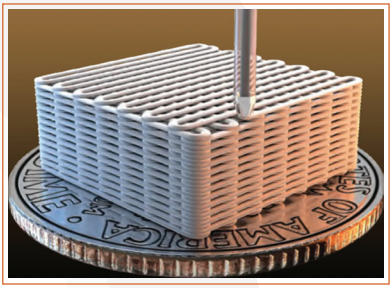


شکل ۵- استراتژی پلن سال ۲۰۲۱ سازمان پیشگامی ژنوم مواد آمریکا

تجهیزات

در زمینه تجهیزات هوش مصنوعی در افزایش دقت، افزایش سرعت تولید یا آنالیز و نتیجه‌گیری نقشی حیاتی در آینده خواهد داشت. به‌طوری که تجهیزات نانویی که به هوش مصنوعی مجهز نشده و در نرم‌افزارهای خود از آن بهره نبرده باشند، شانسی برای رقابت با نمونه‌های خارجی و صادرات نخواهند داشت.

تجهیزات در نانو می‌تواند در دو بخش تجهیزات ساخت و تولید و تجهیزات شناسایی و آنالیز مورداستفاده قرار گیرد. از آنجایی که آنالیز داده از ابتدا مرکز توجه گروه‌های فعال در حوزهٔ هوش مصنوعی بوده است، در بخش تجهیزات شناسایی و آنالیز با توجه به ماهیت تجهیزات که تولیدکننده داده هستند، روند سریع‌تری برای ادغام با هوش مصنوعی طی خواهد شد.



شکل ۶- آئروژل‌های گرافنی[۱۲]

فرآیندهای تولید

در فرآیندهای تولیدی فناوری نانو نیز با بهره‌گیری از هوش مصنوعی سیر تکاملی ادغام این فناوری‌ها طی خواهد شد، به‌عنوانِ‌مثال در خط تولید با استفاده از اینترنت اشیا، جمع‌آوری داده صورت گرفته و پردازش آن‌ها با هوش مصنوعی که در حال حاضر در بسیاری از کارخانجات تولیدی جایگذاری شده است، انجام می‌پذیرد.

هـوش مصنوعـی بـا تجزیه‌وتحلیل دادهٔ سیسـتم‌های نظارت بر خط تولیـد، به‌منظور افزایش راندمـان کنترل کیفی اسـتفاده می‌شـود. به‌عنوان مثال در خط تولید صنعت دارویی با تشخیص خودکار ورق‌های خالی قرص، آن‌ها را از خط تولید خارج می‌کند (شکل ۷).

شکل ۷- یکی از کاربردهای هوش مصنوعی در تحلیل داده‌های خط تولید است

چالش‌های موجود در استفاده از هوش مصنوعی در نانو

هر فناوری جدید علاوه بر ارائه دستاوردهای بی‌شمار، دارای چالش‌های خاص خود نیز است، در تعامل با هوش مصنوعی، اصلی‌ترین سـطح متعلق به داده‌هاسـت و نقطه عطف چالش‌های این حوزه نیز داده به شـمار می‌رود. چالش‌های موجود در ادغام هوش مصنوعی و فناوری نانو در ادامه بیان می‌شوند.

کیفیت و دردسترس‌بودن داده‌ها

در صورت عـدم وجـود داده، اجـرای ایـن امر غیرقابل امکان اسـت. می‌توان گفت با افزایـش داده، نرخ دقت هوش مصنوعی نیز بالاتر خواهد رفت، هرچه اطلاعات در مورد داده بیشـتر شـود مدل تحت آموزش می‌تواند دقیق‌تر یاد بگیرد و پیش‌بینی و پیشنهادهای بهتری ارائه دهد، در اصل داده‌ها با ویژگی‌های مهم‌تر اهمیت بسیار زیادی در نحوهٔ اجرای هوش مصنوعی دارند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای یادگیری و تطبیق به داده‌های با کیفیت بالا و فراوان نیاز دارند. با این حال، تجهیزات فناوری نانو اغلب داده‌های محدودی تولید می‌کنند که توسعه مدل‌های قوی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را به چالش خواهد کشید.

یکپارچه‌سازی با تجهیزات موجود

ادغـام خروجـی ایـن الگوریتم‌هـا بـا تجهیـزات نانـو می‌توانـد پیچیـده و زمان‌بـر بـوده و نیـاز بـه تغییـرات و ارتقای قابل‌توجهی داشته باشد.

استانداردسازی و قابلیت به‌روزرسانی

در به‌روزرسـانی‌های فنـی و رفـع نواقـص نرم‌افـزاری، قابلیـت دردسـترس‌بودن سروری که بتواند این امـکان را فراهم کند مسـئله‌ای ضروری به حسـاب خواهد آمد، همچنین عدم نقض اطلاعات به‌دسـت‌آمده از کاربران در مسئلهٔ استانداردسازی نیز نقش اساسی خواهد داشت.

نمونه‌های مشابه خارجی تجهیزات آنالیزی و تولیدی نانو با هوش مصنوعی

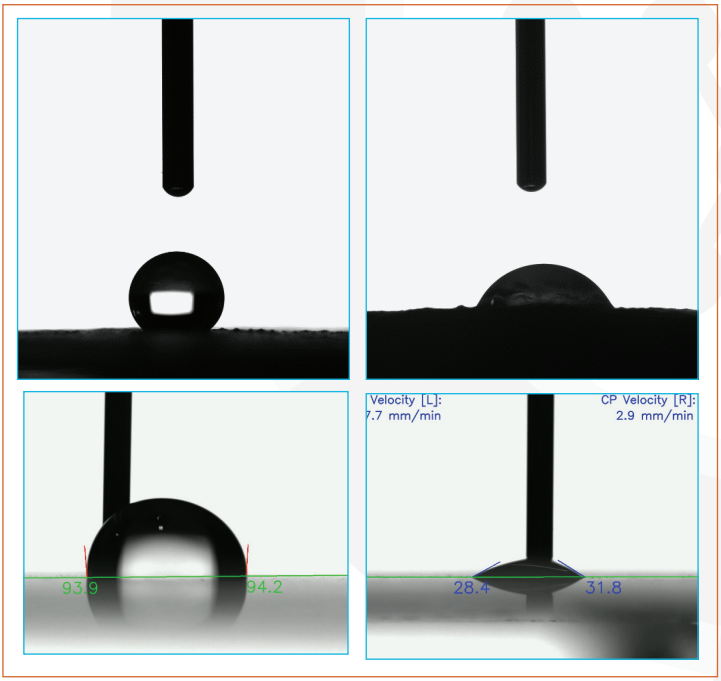
همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد دستگاه‌های آنالیز داده در بخش تجهیزات فناوری نانو از اهمیت بالایی برخوردارند، با توجه به این موضوع به شرح چند نمونه از دستگاه‌های موجود در ایران پرداخته شده است که نمونه‌های خارجی آن‌ها باتکیه‌بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی توانسته‌اند، خود را به‌خوبی به‌روزرسانی کنند، با درک بر اینکه هوش مصنوعی و به اصطلاح هوشمندسازی دستگاه‌های آزمایشگاهی و صنعتی به افزایش دقت و کاهش زمان اپراتورها کمک شایانی خواهد کرد.

دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس سطح

این دستگاه برای اندازه‌گیری زاویهٔ سطح تماس، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق مانند شبکه عصبی کانولوشن[۱۳] و الگوریتم تبدیل دایره‌ای[۱۴] برای آموزش مدل و پیش‌پردازش داده‌ها استفاده می‌کند تا بتواند بعد از دیدن عکس قطره روی سطح بلافاصله زاویه تماس را اندازه‌گیری کند، علاوه بر اندازه‌گیری زاویه سطح تماس، زاویه کشش سطح نیز می‌تواند با همین الگوریتم‌ها اندازه‌گیری شود.

شکل ۸- دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس ژیکان CAG-20PE

در این زمینه در مراکز مختلفی مانند مرکز تحقیقات ماکروسافت[۱۵] در سال ۲۰۱۷، مرکز تحقیقات آی‌بی‌ام[۱۶] در سال ۲۰۱۹، دانشگاه کمبریج[۱۷] در سال ۲۰۱۶ و در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳، مقالات متعددی به انتشار رسیده است. شرکت بیولین[۱۸] نیز علاوه بر تولید دستگاه، نرم‌افزار شیمی سطح مبتنی بر هوش مصنوعی را ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار از ترکیبی از شبکه عصبی کانولوشن و الگوریتم تبدیل دایره‌ای برای پیش‌بینی شیمی سطح مواد از جمله زاویه تماس قطرات استفاده می‌کند (شکل ۸ و ۹) [۵][۴][۳].



شکل ۹- تصاویر دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس

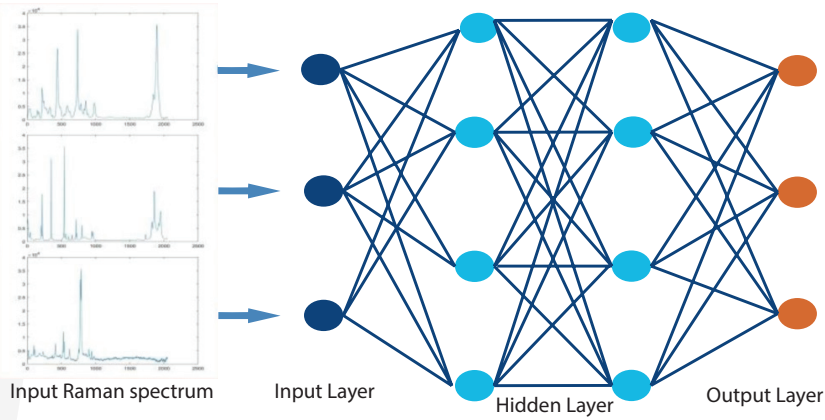
دستگاه‌های طیف‌سنج رامان

با توسعه دستگاه‌های طیف‌سنج رامان و گسترش حوزه‌های کاربردی آن، روش‌های مرسوم برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های طیفی، محدودیت‌های زیادی را آشکار کرده‌اند، همچنین کاوش رویکردهای جدید برای تسهیل طیف‌سنجی و تحلیل رامان، نقطه تمرکز برای محققان این حوزه شده است. تکنیک‌های یادگیری ماشینی می‌توانند به‌طور مؤثرتری اطلاعات ارزشمند را از داده‌های طیفی استخراج کنند و فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را برای علوم تحلیلی ایجاد کنند.

پیشرفت‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی در طیف‌سنجی رامان از چندین زمینه از جمله علم مواد، کاربردهای زیست‌پزشکی، علوم مواد غذایی و موارد دیگر به کار گرفته شده که به سطوح قابل‌توجهی از دقت تحلیلی رسیده است. ترکیب طیف‌سنجی رامان و هوش مصنوعی فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را برای دستیابی به توان عملیاتی بالا و شناسایی سریع در بسیاری از این زمینه‌های کاربردی ارائه می‌دهد.

روش‌های تجزیه‌وتحلیلی که معمولاً در یادگیری ماشین برای کاربردهای مختلف طبقه‌بندی و شناسایی مبتنی بر طیف‌سنجی رامان استفاده می‌شوند شامل پیدا کردن نزدیک‌ترین همسایه[۱۹]، جنگل تصادفی[۲۰] و ماشین‌بردار پشتیبان[۲۱] و همچنین الگوریتم‌های یادگیری عمیق مبتنی بر شبکه عصبی[۲۲] مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲۳]، شبکه‌های عصبی کانولوشنال و غیره است (شکل ۱۰).

شرکت اوژن اوپتیک[۲۴] سیستم‌های طیف‌سنجی رامان را با الگوریتم‌های یادگیری ماشین ارائه می‌کنند همچنین علاوه بر این، شرکت‌های دیگری مانند اجیلنت تکنولوژی و...[۲۵] به دلیل ترکیب تکنیک‌های یادگیری ماشین در رامان برای کارهایی مانند شناسایی و طبقه‌بندی مواد شناخته شده‌اند. [۸][۷][۶]

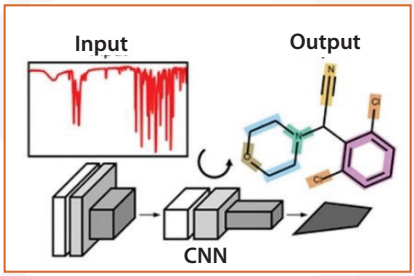


شکل ۱۰- شبکه عصبی یادگیری طیف‌های رامان

دستگاه‌های اسپکتروفتومتر و اسپکترومتر

در دستگاه‌های اسپکتروفتومتر و اسپکترومتر هم با توجه به اینکه محصولی پرکاربرد در صنایع است می‌توان با افزایش دقت خروجی دستگاه و کم کردن خطای انسانی و خودکار کردن تشخیص مواد، این محصول را برای فروش بیشتر چه در بازارهای داخلی و چه در رقابت با بازارهای جهانی آماده کرد. هوش مصنوعی (یادگیری ماشین - یادگیری عمیق) می‌تواند در چند قسمت به کمک اسپکتروفتومترها بیاید. در قسمت پیش‌پردازش داده‌ها، می‌تواند نویزهای داخل سیگنالی که از آشکارساز دریافت می‌شود را حذف یا آن‌ها را کمتر کند[۲۶]، در قسمت پیدا کردن ویژگی‌های مهم می‌تواند نقش بسزایی داشته باشد[۲۷] و همچنین در پردازش داده‌ها می‌توان هم از یادگیری ماشین و هم از یادگیری عمیق استفاده کرد[۲۸] (شکل ۱۱).

شرکت آمریکایی اجیلنت تکنولوژی در این حوزه پیشرو است و از یادگیری ماشین در دستگاه اسپکتروفتومتری خود استفاده کرده است. [۹][۱۰]



شکل ۱۱- مثالی از ورودی و خروجی‌های الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای طیف‌های اسپکتروفتومتر

میکروسکوپ نیروی اتمی[۲۹]

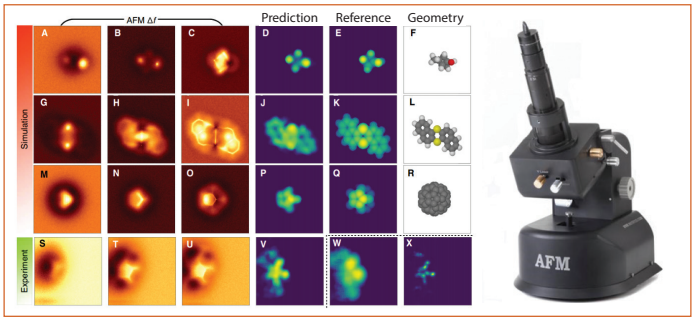
میکروسکوپ نیروی اتمی به‌عنوان یک ذره‌بین فوق‌العاده قدرتمند است که به دانشمندان اجازه می‌دهد تک‌تک اتم‌های سازنده مولکول‌ها را بررسی کنند. با CO-AFM که نوع خاصی از میکروسکوپ نیروی اتمی است، از یک مولکول مونوکسید کربن متصل به نوک میکروسکوپ برای گرفتن تصاویر با وضوح بسیار بالا استفاده می‌شود. اما درک تصاویری که دانشمندان دریافت می‌کنند بسیار سخت است، به‌خصوص اگر مولکول‌ها صاف نباشند. این مانند تلاش برای درک یک شی سه‌بعدی از سایه آن است.

دانشمندان با استفاده از یک پایگاه داده عظیم که از مولکول‌های مختلف ایجاد و شبیه‌سازی کردند، نشان دادند که تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی آن‌ها چگونه خواهد بود و یک مدل یادگیری عمیق را آموزش دادند (شکل ۱۲).

هوش مصنوعی بر روی تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی شبیه‌سازی و واقعی آزمایش شده و عملکرد بسیار خوبی را از خود نشان داده است و این بدان معناست که ساختارها را با دقت شناسایی کرده است. مانند مولکول‌های کافور روی سطح مس و فولرن C_{60} که در آن پیش‌بینی‌های هوش مصنوعی با ساختارهای مولکولی واقعی مطابقت داشته است.

در جایی دیگر در ژورنال Nano Letters، از دستاورد تیمی صحبت به میان آمده که با کمک هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، مشخصات ارتفاع و زبری دقیق را بدون محدودیت‌های ذاتی روش‌های معمولی‌تر ریاضی به دست آوردند که در ابتدا برای آموزش این الگوریتم، محققان تصاویر مصنوعی از ساختارهای سه‌بعدی تولید و بازخوانی‌های میکروسکوپ نیروی اتمی آن‌ها را شبیه‌سازی کردند. محققان در اینجا برای آزمایش الگوریتم خود، نانوذرات طلا و پالادیوم را با ابعاد مشخص بر روی میزبان سیلیکونی سنتز کردند. این الگوریتم با موفقیت اثرات نوک پرآب را حذف کرد و به‌درستی ویژگی‌های سه‌بعدی نانوذرات را شناسایی کرد.

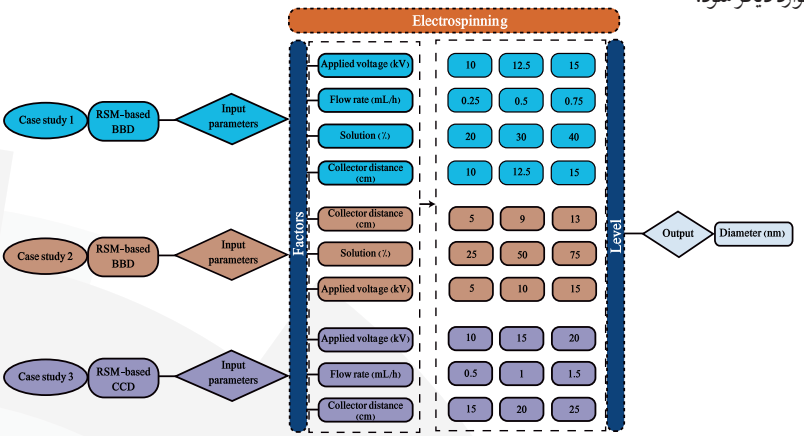
شرکت Park Systems واقع در کرهٔ جنوبی نیز در ساخت میکروسکوپ نیروی اتمی ادغام شده با هوش مصنوعی پیشروی کرده است و از یادگیری ماشینی برای تشخیص درست قرار گرفتن پرآب به‌طور خودکار استفاده می‌کند. [۱۱][۱۲]



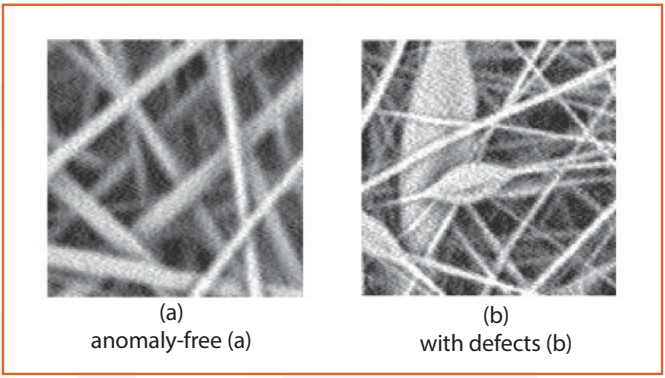
شکل ۱۲- دستگاه AFM و تصاویری از ساختارهای سه‌بعدی

دستگاه الکتروریسی[۳۱]

قطر نانوالیاف تولیدی از دستگاه الکتروریسی در صنعت حائز اهمیت است، زیرا کاربردهای مختلفی دارند. به‌عنوان مثال، الیاف بسیار نازک ممکن است برای فیلترهای خاص بهتر باشد، در حالی که الیاف ضخیم‌تر ممکن است برای استفاده‌های دیگر قوی‌تر باشند. پیش‌بینی قطر به طراحی فرآیند برای به دست آوردن الیاف موردنیاز کمک می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌کنید، محققان الگوریتم‌های یادگیری ماشین را با داده‌های کامل دستگاه مانند ولتاژ، نرخ جریان و... برای پیش‌بینی قطر فیبر آموزش دادند. با پیش‌بینی دقیق قطر الیاف، سازندگان می‌توانند فرآیند الکتروریسی را برای تولید نانوالیاف با خواص مطلوب بهینه کنند. این امر می‌تواند منجر به محصولات و کاربردهای بهتر در زمینه‌های مختلف مانند مهندسی محیط‌زیست، پزشکی و موارد دیگر شود.



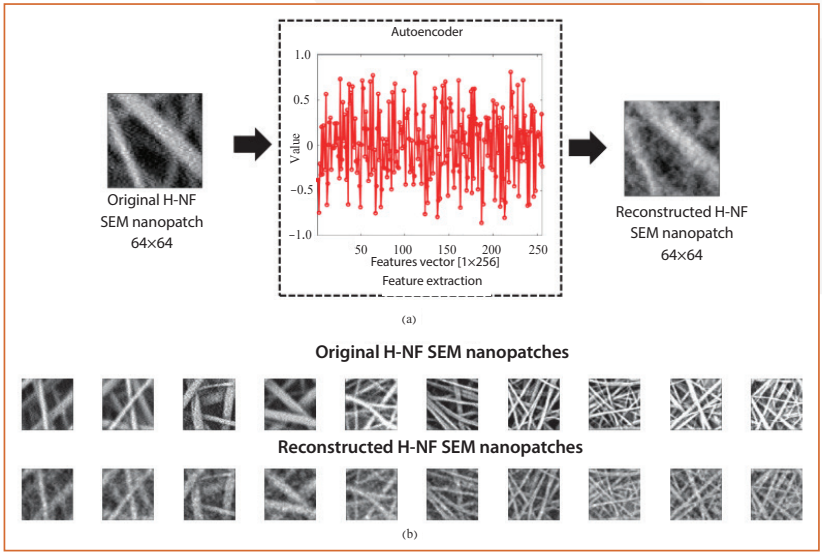
شکل ۱۳- طرحی از استراتژی بهینه‌سازی و خروجی‌های دریافتی از پارامترهای پردازش الکتروریسی به کمک RSM



شکل ۱۴- نانوالیاف‌های الکتروریسی شده به دو صورت بدون نقص (a) و با نقص (b).

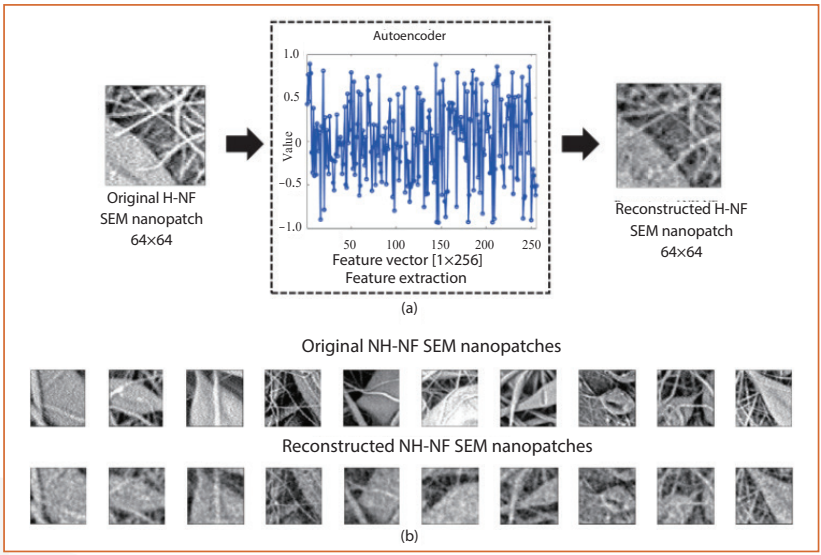
همچنین با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان به‌صورت خودکار نانوالیاف الکتروریسی شده ناقص را تشخیص داد. بدین صورت که با استفاده از ترکیب تکنیک‌های یادگیری ماشین بدون نظارت و با نظارت، نانوالیاف‌های الکتروریسی شده را به دو صورت همگن (بدون نقص) و غیرهمگن (با نقص) بر اساس تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی[۳۲] شناسایی و طبقه‌بندی کرد (شکل ۱۴).

اطمینان از کیفیت نانوالیاف مهم است زیرا نقص می‌تواند عملکرد آن‌ها را مختل کند. به‌طور سنتی، کارشناسان تصاویر میکروسکوپی نانوالیاف را به‌صورت بصری بازرسی می‌کنند تا عیوب را شناسایی کنند که زمان‌بر و ذهنی است. با خودکارسازی طبقه‌بندی کیفیت نانوالیاف، این سیستم می‌تواند فرآیند بازرسی را به میزان قابل‌توجهی سرعت بخشد، خطای انسانی را کاهش دهد و از ثبات بالاتر در کنترل کیفیت تولید نانوالیاف اطمینان حاصل کند. ترکیبی از این مدل‌ها[۳۳و۳۴] ابزار قدرتمندی برای طبقه‌بندی خودکار نانوالیاف الکتروریسی شده، افزایش کارایی و قابلیت اطمینان در فرآیندهای کنترل کیفیت فراهم می‌کند (شکل ۱۵و۱۶) [۱۴][۱۳].

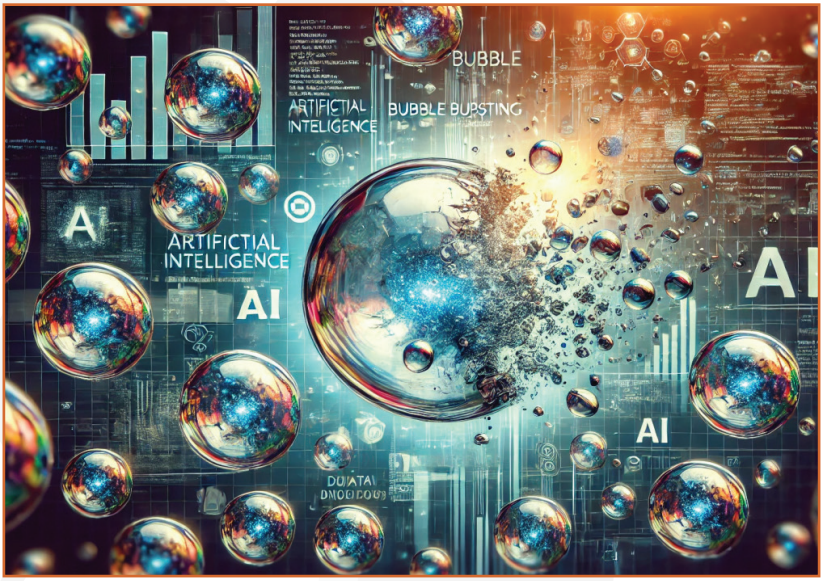


شکل ۱۵- یادگیری ماشین برای نانوالیاف‌های بدون نقص

به‌طور کلی این تجهیزات نمونه‌ای از تمامی موارد ادغام هوش مصنوعی و فناوری نانو هستند و هر یک از این مثال‌ها با توجه به رشد صعودی الگوریتم‌های هوش مصنوعی، رو به بهبودی و افزایش دقت مدل پیش خواهند رفت و در آینده‌ای نزدیک هر یک از موارد موجود در صنعت در هر سه حالت موردبررسی قرار داده شده، به هوش مصنوعی تجهیز خواهند شد.



شکل ۱۶- یادگیری ماشین برای نانوالیاف‌های با نقص



پی‌نوشت‌ها

۱ AI – Artificial Intelligence

۲ AGI – Artificial General Intelligence

۳ GenAI. Generative AI

۴ ML – Machine Learning

۵ DL – Deep Learning

۶ ANN– Artificial Neural Network

۷ NanoTechnology

۸ Michelin

۹ Continental

۱۰ Nokian

۱۱ MGI – Materials Genome Initiative

۱۲ آئروژل‌های گرافنی چاپ سه‌بعدی می‌توانند حسگرها و باتری‌ها را بهبود بخشند.

۱۳ CNN – Convolutional Neural Network

۱۴ CHT – Circle Hough Transform

۱۵ Microsoft Research

۱۶ IBM Research

۱۷ University of Cambridge

۱۸ Biolin Scientific

۱۹ KNN – K Nearest Neighbor

۲۰ Random Forest

۲۱ Support Vector Machine

۲۲ Neural Network-based

۲۳ Artificial Neural Networks

۲۴ Ocean Optics

۲۵ Agilent Technologies, Corporatio, Thermo Fisher Scientific

۲۶ mean centering، SNV-standard normal variate, MSC-multiplicative scatter correction،EMSC-extended multiplicative scatter correction، ISC -inverse scatter correction

۲۷ PSO-Particle Swarm Optimization, BPSO-Binary Particle Swarm Optimization, GAs-Genetic Algorithms

۲۸ PLS-partial least squares, ELM-extreme learning machines, SVR-support vector regression, ...

۲۹ AFM – Atomic Force Microscopy

۳۰ camphor molecules on a copper surface and fullerene C60

۳۱ Electrospinning

۳۲ SEM – Scanning Electron Microscope

۳۳ Autoencoder – AE

۳۴ Multilayer Perceptron – MLP

منابع

۱ https://www.coursera.org/articles/what-is-artificial-intelligence

۲ https://www.mgi.gov/

۳ https://arxiv.org/abs/2211.15243

۴ https://github.com/michaelorella/droppy/tree/master

۵ https://www.biolinscientific.com/measurements/contact-angle

۶ https://arxiv.org/pdf/2104.04599

۷ https://doi.org/10.1117/12.464039

۸ https://doi.org/10.1016/j.cplett.2021.139283

۹ https://doi.org/10.56530/spectroscopy.js8781e3

۱۰ https://doi.org/10.56530/spectroscopy.og4284z8

۱۱ https://arxiv.org/abs/1905.10204

۱۲ https://www.asminternational.org/afm-resolution-boosted-by-ai/

۱۳ https://www.nature.com/articles/s41598-023-36431-7

۱۴ https://ieeexplore.ieee.org/document/9205684

۱۵ https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.104392