

ادغام هوش مصنوعی و نانوتکنولوژی: پیشرفت‌ها، کاربردها و ملاحظات اخلاقی

سید محسن موسوی*

گروه آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

چکیده

پژوهش حاضر به بررسی زمینه‌های ادغام هوش مصنوعی و نانوتکنولوژی می‌پردازد و نحوه بهره‌گیری تکنیک‌های هوش مصنوعی از جمله یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی را به منظور ارتقای بهره‌وری، دقت و مقیاس‌پذیری کاربردهای فناوری نانو بررسی می‌کند. برخی از کاربردهای هوش مصنوعی در نانوتکنولوژی شامل تسریع در کشف و بهینه‌سازی طراحی نانومواد، بهینه‌سازی تحویل دارو، استفاده از نانوحسگرهای مجهز به هوش مصنوعی برای نظارت بیولوژیکی و محیط‌زیستی و پیش‌بینی خواص مواد بیان می‌شود. علاوه بر آن، چالش‌ها، فرصت‌ها و چشم‌اندازهای پیش روی ادغام هوش مصنوعی و فناوری نانو به منظور ایجاد پیشرفت‌های تحول‌آفرین در زمینه‌های گوناگون از مراقبت‌های بهداشتی و علم مواد گرفته تا پایداری محیط‌زیستی بررسی می‌شود. در پایان به مسائل اخلاقی همچون سوگیری الگوریتمی، حریم خصوصی داده‌ها و اثرات اجتماعی ادغام این فناوری‌ها پرداخته و بر ضرورت وضع مقررات شفاف، توسعه مسئولانه و اخلاقی برای اطمینان از ادغام نانوتکنولوژی مبتنی بر هوش مصنوعی تأکید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نانوتکنولوژی، هوش مصنوعی، ادغام نانوتکنولوژی با هوش مصنوعی، نانومواد، نانوحسگر

ایمیل نویسنده مسئول: smm4566@cfu.ac.ir

۱ مقدمه

توسعه علمی و فناوری مدرن به‌طور فزاینده‌ای به علوم نانو، زیست‌شناسی و اطلاعات وابسته است. برای بیش از یک دهه، این تصور وجود داشته است که همگرایی نانو فناوری و هوش مصنوعی (AI)، انقلابی دیگر در فناوری و علم را به همراه خواهد داشت. با این حال، این ادغام مورد انتظار پژوهش‌های چندرشته‌ای هنوز در حال پیشرفت است. نانو فناوری ترکیبی از دانش فیزیک، شیمی و مهندسی است، در حالی که هوش مصنوعی به‌شدت به الهام از زیست‌شناسی متکی است تا برخی از کارآمدترین الگوهای خود مانند شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های تکاملی را توسعه بخشد. نانوتکنولوژی رشته‌ای است که به تحلیل نوآوری‌های ناشی از ابعاد مواد در ابعاد نانو می‌پردازد و فرآوری و مدیریت مواد در مقیاس نانو، یا اندازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را شامل

می‌شود [۱]. ولفگانگ لوتر معتقد است که فناوری نانو کلید فناوری اطلاعات و ارتباطات آینده خواهد بود [۲]. نانوتکنولوژی در حوزه‌های مختلفی مانند تشخیص [۳]، الکترونیک [۴]، درمان [۵]، سنجش [۶]، انرژی [۷] و محیط‌زیست [۸] کاربرد دارد. به لطف فناوری نانو، می‌توان راحل‌هایی برای کمبود مواد غذایی و انرژی، محیط‌زیست و مشکلات بهداشتی که به دلیل افزایش جمعیت جهان با آن مواجه هستیم، ایجاد نماییم [۹]. هوش مصنوعی که به‌عنوان هوش تولید شده توسط ماشین‌ها یا نرم‌افزارها تعریف می‌شود، در سال‌های اخیر به موضوعی داغ تبدیل شده است. هوش مصنوعی یک فناوری نوظهور با پتانسیل بسیار زیاد است که قابلیت‌های محاسباتی و تحلیل قوی آن در مقایسه با ابزارهای محاسباتی سنتی بی‌نظیر است [۱۰]. با وجودی که مفهوم هوش مصنوعی اولین بار توسط مک کارتی و همکاران در سال

با این حال، در هر دو حوزه موانعی وجود دارد. هوش مصنوعی با چالش‌های اخلاقی، الگوریتم‌های دارای تعصب و کاهش اشتغال ناشی از خودکارسازی روبرو است. نانو تکنولوژی نیز با برخی موانع قانونی، اثرات زیست‌محیطی و مسائل ایمنی مواجه است. برای بهره‌برداری کامل از هوش مصنوعی و نانو تکنولوژی و تضمین کاربرد مسئولانه و سودمند آن‌ها برای جامعه جهانی، ضروری است که این چالش‌ها مورد توجه قرار گیرند. از آنجا که هوش مصنوعی و نانو تکنولوژی به‌خوبی یکدیگر را تکمیل می‌کنند و پتانسیل همکاری برای ایجاد نوآوری و حل مسائل دشوار را دارند، نیروی محرکی برای کشف همگرایی آن‌ها وجود دارد. در حالی که نانو تکنولوژی به‌دقت مواد را در مقیاس نانو تغییر می‌دهد و با استفاده از آن می‌توان دستگاه‌های الکترونیکی کوچکتر و سریع‌تری تولید کرد و داده‌های مغناطیسی را ذخیره کرد [۱۹]، هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های بزرگ را ارزیابی کرده و به نتایج مهمی دست یابد. محققان با ترکیب روش‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی با نانو تکنولوژی، عملکرد، دقت و مقیاس‌پذیری طراحی نانو مواد، فرایندهای تولید و کارایی دستگاه‌ها را بهبود بخشیده‌اند [۲۰]. علاوه بر این، ماهیت میان‌رشته‌ای نانو تکنولوژی و هوش مصنوعی منجر به تبادل مفاهیم و رویکردهای مختلف و همکاری بین حوزه‌های علمی می‌شود. این همکاری توسعه راه‌حل‌های نوآورانه‌ای را که کاربرد گسترده‌ای در صنایع مانند انرژی، بهداشت و پایداری محیط‌زیست دارند، تسهیل می‌کند. همچنین، ترکیب هوش مصنوعی با نانو تکنولوژی این پتانسیل را دارد که به مسائل اجتماعی فوری مانند پایش محیط‌زیست، تولید انرژی تجدیدپذیر و تشخیص و درمان بیماری‌ها بپردازد. محققان می‌توانند با استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، سرعت کشف و نوآوری در نانو تکنولوژی را افزایش دهند و مسیرهای جدیدی برای مطالعات علمی و پیشرفت‌های فنی بگشایند. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی زمینه‌های ادغام هوش مصنوعی و نانو فناوری و نشان دادن پتانسیل مکمل آن‌ها جهت دستیابی به راه‌حل‌های تحول‌آفرینی است که به توسعه پایدار، ارتقای سلامت انسان و بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کنند.

۱۹۵۶ ارائه شد [۱۱]، اما به دلیل محدودیت الگوریتم و داده‌های ناکافی در مراحل اولیه نتوانست پتانسیل خود را نشان دهد. در سال‌های اخیر، ظهور انواع مدل‌های شبکه عصبی و الگوریتم‌ها باعث توسعه و پیشرفت شگفت‌انگیز هوش مصنوعی شده است به‌طوری‌که در چند سال گذشته، موج هوش مصنوعی به‌سرعت صنایع مختلف را فراگرفته است و به‌طور قابل‌توجهی بر آن‌ها تأثیر گذاشته است. از هوش مصنوعی می‌توان برای تحقیق و توسعه نظریه‌ها، روش‌ها، فناوری‌ها و سیستم‌های کاربردی برای شبیه‌سازی و گسترش هوش انسانی استفاده کرد [۱۰]. پردازش زبان طبیعی، شبکه‌های عصبی یادگیری عمیق و الگوریتم‌های یادگیری ماشین همگی بخشی از هوش مصنوعی هستند. پیچیدگی، هزینه و ماهیت زمان‌بر فرایندهای آزمایشگاهی، حجم زیاد داده‌ها و چالش‌های موجود در تجزیه و تحلیل داده‌ها از یک سو و قابلیت‌های شگفت‌انگیز هوش مصنوعی از سوی دیگر باعث اقبال به ابزارهای هوش مصنوعی شده است [۱۲]. از هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلفی مانند رباتیک [۱۳]، داده‌کاوی [۱۴]، شناسایی الگو/نشانه [۱۵] و دستگاه‌های خودناوبری [۱۶] استفاده می‌شود. پیشرفت‌ها در فناوری هوش مصنوعی بر رشته‌های مختلفی از جمله زیست‌شناسی، ژنتیک، نانو تکنولوژی، کشف دارو و شناسایی مولکول‌های کوچک تأثیر گذاشته است [۱۷].

دلایل متعددی وجود دارد که چرا الگوهای هوش مصنوعی در تحقیقات نانو استفاده می‌شوند. نانو فناوری با محدودیت‌های فیزیکی مقیاس کاری خود مواجه است که در آن فیزیک کاملاً متفاوت از دنیای ماکروسکوپی است. این بدان معناست که تفسیر صحیح نتایج به‌دست‌آمده از هر سیستم یا دستگاه در این مقیاس یکی از مسائلی است که باید در نانو فناوری با آن مواجه شد. حتی فراتر از این وضعیت، معمولاً سیستم‌هایی وجود دارند که در آن‌ها اجزای سیستم تأثیر زیادی بر سیگنال دارند. در این موارد، توسعه تقریب‌های تحلیلی دشوار است و شبیه‌سازی‌های عددی به‌طور گسترده برای به دست آوردن تفسیرهای دقیق از نتایج تجربی مورد نیاز است. در اینجا است که ابزارهای هوش مصنوعی مانند الگوهای یادگیری ماشین می‌توانند نقش کلیدی در تولید نتایج علمی و همچنین در توسعه کاربردهای آینده نانو ایفا کنند [۱۸].

۲-۳- حوزه هوش مصنوعی

هوش مصنوعی شامل توسعه و ایجاد ابزارهایی است که می‌توانند هوش انسانی را تقلید کرده و وظایفی را که معمولاً به شناخت انسانی نیاز دارند، انجام دهد [۲۲]. به‌طور بنیادی، هدف آن تقلید و مکانیزه‌سازی فرایندهای شناختی مانند درک، یادگیری، استدلال و حل مسئله است. این حوزه گسترده شامل پردازش زبان طبیعی، رباتیک، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی و دیگر روش‌ها است. یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین است که به ایجاد الگوریتم‌هایی می‌پردازد که به رایانه‌ها اجازه می‌دهند بدون نیاز به برنامه‌نویسی صریح، از داده‌ها یاد بگیرند و با گذشت زمان بهبود یابند. کاربردهای هوش مصنوعی را می‌توان در طیف وسیعی از صنایع مانند بهداشت و درمان، بانکداری، سرگرمی و حمل‌ونقل مشاهده کرد. ابزارهای مجهز به هوش مصنوعی در حوزه بهداشت می‌توانند در کشف دارو کمک کرده، تصویربرداری‌های پزشکی را ارزیابی کرده و نتایج بیماری را پیش‌بینی کنند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی در امور مالی برای خدمات خودکار مشتری، معاملات الگوریتمی و تشخیص تقلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. هوش مصنوعی در حمل‌ونقل به خودروهای خودران امکان می‌دهد تا در موقعیت‌های چالش‌برانگیز مسیریابی و تصمیم‌گیری کنند [۲۳].

۳-۳- ترکیب هوش مصنوعی و نانو فناوری

ترکیب دو حوزه انقلابی (هوش مصنوعی و نانو تکنولوژی) پتانسیل بالایی برای پیشبرد نوآوری و حل مشکلات دشوار در زمینه‌های مختلف دارد. با ترکیب دقت نانو تکنولوژی با ظرفیت محاسباتی هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های بزرگ، می‌توان مواد، دستگاه‌ها و سیستم‌هایی با قابلیت‌های بی‌سابقه ایجاد کرد [۲۴]. در زیر به تعدادی از این کاربردها اشاره می‌شود (شکل ۲):

۳-۳-۱- بهینه‌سازی طراحی نانو مواد

مدل‌سازی و شبیه‌سازی محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی ابزاری مؤثر برای درک سیستم‌های پیچیده، پیش‌بینی رفتار و بهبود عملکرد در حوزه‌های مختلف، از جمله علم مواد، مهندسی،

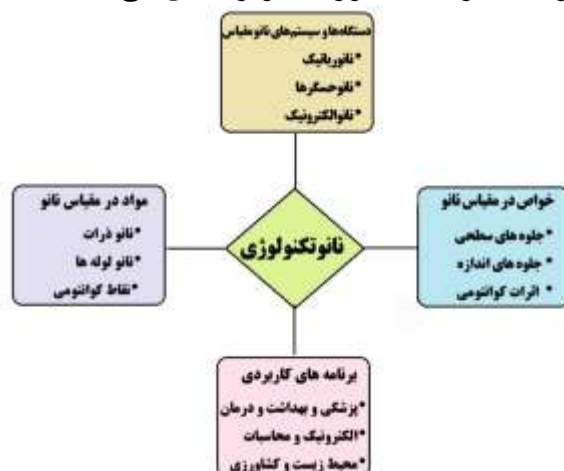
۲- روش پژوهش

در این پژوهش با کمک کلیدواژه‌های نانو فناوری، هوش مصنوعی، ادغام نانو فناوری و هوش مصنوعی، کاربردهای هوش مصنوعی در نانو فناوری، نانو مواد و AI، نانو حسگرها و AI، در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر Science Direct، ISI، RSC، ACS، Scopus و Google scholar انجام شد. از یافته‌های مقالات مختلف برای شناسایی زمینه‌های ادغام نانو فناوری و هوش مصنوعی، استفاده شد.

۳- یافته‌ها

۱-۳- حوزه نانو تکنولوژی

حوزه نانو تکنولوژی به دستکاری و کنترل مواد در مقیاس بسیار کوچک، معمولاً بین یک تا صد نانومتر می‌پردازد [۲۱]. مواد در این مقیاس، ویژگی‌ها و رفتارهای منحصر به فردی دارند که با مواد در مقیاس‌های بزرگتر متفاوت است. نانو تکنولوژی در صنایع مختلفی مانند الکترونیک، پزشکی، انرژی و علوم محیط زیست به ایجاد، سنتز، مشخصه و استفاده از نانو مواد و نانو دستگاه‌ها اشاره دارد. دامنه آن شامل ایجاد مواد جدید، فرایندهای تولید و تجهیزات با ویژگی‌های تخصصی برای کاربردهای خاص است و به مشکلاتی در زمینه‌هایی مانند پاک‌سازی محیط زیست، تولید انرژی تجدیدپذیر و تشخیص و درمان بیماری‌ها پاسخ می‌دهد. شکل ۱ برخی از حوزه‌های مرتبط با فناوری نانو را نشان می‌دهد.



شکل ۱. حوزه‌های مرتبط با فناوری نانو

علاوه بر این، مدل‌سازی و شبیه‌سازی محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی با ارائه یک چارچوب مشترک برای ادغام داده‌ها، به همکاری بین‌رشته‌ای و ادغام دانش کمک می‌کند. با ادغام تجزیه و تحلیل داده‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با دانش حوزه‌های مهندسی، زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک، دانشمندان می‌توانند مدل‌های جامع‌تری ایجاد کنند که ویژگی‌های چندبعدی و چند مقیاسی سیستم‌های پیچیده را دارا باشد و منجر به پیشرفت و کشف بنیادین شود [۲۷].

همچنین نانو تکنولوژی و شبکه‌های عصبی به‌عنوان محرک استراتژیک برای توسعه سیستم‌های محاسبات عصبی عمل می‌کنند. از یک سو الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان تقلید از شبکه‌های عصبی را فراهم می‌کند. از سوی دیگر نانو تکنولوژی فرآیند ساخت مواد و ساختارها در مقیاس نانو را تسهیل می‌کند که برای تولید اجزاء با ویژگی‌های تقلید زیستی، ضروری است. با ترکیب این دو، امکان ساخت سیستم‌های هوشمند که فرآیندهای شناختی در مغز را شبیه‌سازی می‌کنند، فراهم می‌شود و این امر فرصت‌های جدیدی را در حوزه رباتیک و تشخیص پزشکی ایجاد می‌کند [۲۸].

۳-۲- تسریع در کشف و بهینه‌سازی نانو مواد
هوش مصنوعی انقلابی در زمینه کشف و بهینه‌سازی مواد برای کشف داروها ایجاد نموده است و روش‌های خلاقانه‌ای را برای شناسایی سریع داروهای پیشنهادی جدید با ویژگی‌های ایمنی و اثربخشی بهبود یافته ارائه می‌دهد [۲۹]. با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، محققان می‌توانند به تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های عظیم از ترکیبات شیمیایی، آزمایش‌های بیولوژیکی و داده‌های بالینی بپردازند تا داروهای پیشنهادی جدید را شناسایی، ویژگی‌های آن‌ها را پیش‌بینی و عملکردشان را بهینه‌سازی کنند. هوش مصنوعی عمدتاً از مدل‌سازی پیش‌بینی و غربالگری مجازی برای تسریع در کشف مواد در توسعه داروها استفاده می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند پایگاه داده‌های بزرگ حاصل از فعالیت بیولوژیکی و ساختار مولکولی را تحلیل کنند تا ترکیباتی را که ممکن است پتانسیل دارویی داشته باشند، شناسایی نمایند. مدل‌های هوش مصنوعی با

بهداشت و درمان و پایداری زیست‌محیطی است. این روش از قابلیت‌های محاسباتی هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌ها، شناسایی الگوها و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌کند که دینامیک سیستم مورد مطالعه را نمایان می‌سازد. یکی از مزایای اصلی مدل‌سازی و شبیه‌سازی محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی، توانایی آن در مدیریت داده‌های بزرگ و ناهمگن از جمله پیش‌بینی‌های نظری، خروجی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های تجربی است. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، این داده‌ها می‌توانند تحلیل شوند تا همبستگی‌ها، روندها و الگوهایی که روش‌های تحلیلی یا تجربی متعارف از آن غافلند، شناسایی شوند. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند پیوندهای پیچیده و دینامیک‌های غیرخطی را با یادگیری از داده‌ها ضبط کنند که منجر به پیش‌بینی‌ها و بینش‌های دقیق‌تری درباره رفتار سیستم مورد مطالعه می‌شود [۲۵].

علاوه بر این، محققان می‌توانند با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی، رفتار سیستم‌ها را در زمینه‌ها، محیط‌ها و پارامترهای مختلف از طریق امکان انجام آزمایش‌های مجازی و آزمون فرضیات را فراهم کنند. این روش آزمایش مجازی نیاز به آزمایش‌های هزینه‌بر و زمان‌بر را از بین می‌برد و سرعت کشف و بهینه‌سازی مواد، ابزارها و فرآیندها را افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال، در تحقیقات مواد، مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند به جهت‌دهی ایجاد مواد جدید با ویژگی‌های مورد نظر، پیش‌بینی خصوصیات مواد فرضی و بهینه‌سازی شرایط سنتز و پردازش مواد برای بهبود عملکرد کمک کنند [۲۶].

شبیه‌سازی‌های کامپیوتری مبتنی بر هوش مصنوعی به کنترل و بهینه‌سازی زمان واقعی سیستم‌های پیچیده در کنار مدل‌سازی پیش‌بینی کمک می‌کنند. داده‌های حسگر واقعی از سیستم می‌توانند توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحلیل شوند و برای شناسایی ناهنجاری‌های عملکرد و تغییر پارامترهای کنترلی برای دستیابی به بهترین عملکرد سیستم استفاده شوند. این تکنیک کنترلی جایی که تغییرات زمان واقعی برای دستیابی به نتایج مطلوب و حفظ یکپارچگی سیستم ضروری است از جمله برنامه‌های تولید پیشرفته، سیستم‌های انرژی و خودروهای خودران بسیار مفید است.

یادگیری از الگوهای موجود در داده‌ها، می‌توانند فعالیت ترکیبات فرضی را در برابر اهداف دارویی خاص یا بیماری‌ها پیش‌بینی کنند. این قابلیت باعث تسریع تحقیقات و هدایت تلاش‌های تجربی به سمت امیدوارکننده‌ترین گزینه‌ها می‌گردد [۳۰].

علاوه بر این، مدل‌سازی و شبیه‌سازی محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی با پیش‌بینی ویژگی‌ها و رفتار داروهای پیشنهادی به بهینه‌سازی آن‌ها کمک می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند ارتباطات ساختار-ویژگی‌های ترکیبات شناخته‌شده را تحلیل کنند تا ویژگی‌های ترکیبات جدید با ساختارهای مشابه ترکیبات موجود را پیش‌بینی کنند. این روش به محققان اجازه می‌دهد برای طراحی و تولید مولکول‌ها با ویژگی‌های مطلوب، مانند قدرت، انتخاب‌پذیری و ویژگی‌های فارماکوکینتیک بهبود یافته، بتوانند نیاز به آزمایش‌های تجربی پرهزینه و زمان‌بر را کاهش دهند [۳۱].

هوش مصنوعی با استفاده از رویکردهای مبتنی بر داده، به کشف اهداف دارویی و مکانیسم‌های عمل جدید نیز کمک می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند بیومارکرهای نشانگرهای زیستی مرتبط با مسیرهای بیماری و پاسخ‌های درمانی را با تجزیه و تحلیل داده‌های مختلفی از جمله پروتئومیکس، متابولومیکس و ژنوم‌ها شناسایی کنند. این اطلاعات به راهنمایی در انتخاب بهترین اهداف دارویی و رویکردهای درمانی کمک می‌کند. همچنین، ترکیب‌های دارویی و تعاملات هم‌افزایی که اثربخشی درمانی را بهبود بخشیده و مقاومت دارویی را کاهش می‌دهند، می‌توانند با استفاده از رویکردهای هوش مصنوعی کشف شوند.

علاوه بر این، بهینه‌سازی فرمولاسیون داروها و روش‌های تحویل دارو با کمک هوش مصنوعی به طرز چشمگیری بر بهبود اثربخشی دارو و نتایج بیماران تأثیر می‌گذارد. برای رویکردهای پزشکی شخصی‌سازی شده، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل داده‌های فرمولاسیون و ویژگی‌های خاص بیمار، رژیم‌های دوز دارو و کانال‌های توزیع را بهینه‌سازی کنند. همچنین، توسعه سیستم‌های تحویل هدفمند دارو که تحویل دارو به بافت‌ها یا سلول‌های خاص را بهبود بخشیده و عوارض جانبی ناخواسته و سمیت سیستماتیک را کاهش می‌دهند، با کمک پلتفرم‌های نانو دارورسانی مبتنی بر هوش مصنوعی ممکن می‌شود [۳۲].

۳-۳-۳- نمونه‌سازی و نانو ساخت

هوش مصنوعی روش‌های نوآورانه‌ای را برای افزایش مقیاس‌پذیری، دقت و کارایی در توسعه دستگاه‌ها، مواد و ساختارهای در مقیاس نانو ارائه می‌دهد. ابزارهای هوش مصنوعی مدیریت هوشمند، بهبود و اتوماسیون فرآیندهای نانو ساخت را تسهیل می‌کنند که به پیشرفت‌های انقلابی در صنایع مختلف منجر می‌شود.

کنترل و نظارت بر فرآیند یکی از کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در نانو ساخت است. برای دستیابی به نتایج مطلوب، کنترل دقیق بر عواملی مانند دما، فشار و ترکیب شیمیایی برای فرآیندهای نانو ساخت مانند لیتوگرافی، اچینگ (Etching) و رسوب‌گذاری ضروری است. روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی این امکان را فراهم می‌کنند که متغیرهای فرآیند را در زمان واقعی نظارت کرده و با استفاده از داده‌های حسگر و مکانیسم‌های کنترل بازخورد، عملکرد را بهینه و پارامترهای فرآیند را تغییر دهند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های حسگر را تجزیه و تحلیل کرده و ناهنجاری‌ها، پیش‌بینی شکست‌های فرآیندی و بهبود شرایط فرآیند را برای افزایش بازده و کیفیت نانو ساختارهای تولید شده شناسایی کنند [۳۳].

علاوه بر این، هوش مصنوعی با استفاده از مدل‌سازی پیش‌بینی و شبیه‌سازی، طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای ساخت نانو را تسهیل می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادر به تولید مدل‌های پیش‌بینی از روابط بین فرآیند، ساختار و ویژگی‌ها با تجزیه و تحلیل داده‌های ناشی از مراحل قبلی تولید است. با استفاده از این مدل‌ها، دانشمندان می‌توانند پیش‌بینی کنند که تغییرات در یک فرآیند چگونه بر ویژگی‌های نانو ساختارهای تولید شده تأثیر می‌گذارد. این امر به محققان کمک می‌کند تا فرآیندهای تولیدی بهینه را برای کاربردهای خاص ایجاد نمایند. شبیه‌سازی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی همچنین امکان آزمایش‌های مجازی را فراهم می‌کنند که تسریع در کشف و بهبود مواد و دستگاه‌ها را ممکن می‌سازد و به محققان اجازه بررسی رفتار نانو ساختارها در شرایط و محیط‌های مختلف را می‌دهد [۳۴].

همچنین هوش مصنوعی علاوه بر بهینه‌سازی و نظارت بر فرآیند، اتوماسیون و رباتیک را در نانو ساخت و تولید تسهیل می‌کند. ربات‌های مبتنی

روندها و الگوهای را شناسایی کنند که به توسعه بیومواد جدید کمک می‌کند. مدل‌های هوش مصنوعی با از طریق یادگیری از داده‌ها و پیش‌بینی ویژگی‌های مواد فرضی و بهینه‌سازی ترکیبات و شرایط فرآیند می‌توانند به سرعت مواد با ویژگی‌های مطلوبی نظیر استحکام مکانیکی، زیست‌سازگاری و سینتیک تجزیه را شناسایی کنند. برای بررسی رفتار بیومواد در مقیاس مولکولی و نانو، محققان می‌توانند از مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده کنند [۳۷]. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل ساختارهای مولکولی، تعاملات پروتئین-لیگاند و واکنش‌های سلولی، زیست‌سازگاری، ایمنی و فعالیت زیستی بیومواد را پیش‌بینی کنند. مدل‌های هوش مصنوعی با مدل‌سازی تعاملات بین بیومواد و سیستم‌های بیولوژیکی، به توسعه بیومواد برای کاربردهای خاص پزشکی کمک می‌کنند. این مدل‌ها شناسایی ساز و کارهای اساسی تأثیرگذار بر پاسخ میزبان، بازسازی بافت و تعاملات سلولی-ماده را ممکن می‌سازند.

هوش مصنوعی نه تنها در طراحی مواد کمک می‌کند بلکه بیومواد را برای کاربردهای مهندسی بافت و تحویل دارو بهینه‌سازی می‌کند. برای بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های تحویل دارو، مانند هیپروژل‌ها، میکرو ذرات و نانو ذرات، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند مسیرهای جذب سلولی، مکانیسم‌های انتشار و سینتیک آزادسازی دارو را بررسی کنند. مدل‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی پروفایل‌های آزادسازی و کارایی هدف‌گیری بیومواد بارگذاری شده با دارو، امکان ایجاد سیستم‌های تحویل دارو مؤثرتر و سفارشی برای کاربردهای درمانی مختلف را فراهم می‌آورند [۳۸].

روش‌های هوش مصنوعی همچنین امکان شناسایی و نظارت بر کیفیت بیومواد را در هر مرحله از فرآیند تولید فراهم می‌آورند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های تصویری، اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی و آزمایش‌های مکانیکی، خطاها، ناهنجاری‌ها و انحراف از مشخصات مورد نظر را شناسایی کنند. راه‌حل‌های کنترل کیفیت مبتنی بر هوش مصنوعی با شناسایی و اندازه‌گیری ویژگی‌ها و شاخص‌های عملکرد مواد، قابلیت اطمینان، انسجام و ایمنی

بر هوش مصنوعی قادر به کار و مونتاژ اشیاء پیچیده در مقیاس نانو با دقت و کارایی بی‌سابقه هستند [۳۵]. این سیستم‌های رباتیک از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند تا از تجربیات خود یاد بگیرند، با شرایط متغیر سازگار شوند و به تدریج عملکرد خود را بهبود بخشند. رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی فرآیندهای نوساخت را ساده‌سازی کرده و هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد و از طریق اتوماسیون عملیات کاربر محور و تکراری، بازده را افزایش دهند. این امر تولید مقیاس‌پذیر دستگاه‌ها و مواد نانو را برای کاربردهای تجاری ممکن می‌سازد.

روش‌های هوش مصنوعی همچنین شناسایی و نظارت بر کیفیت را در فرآیندهای نوساخت تسهیل می‌کنند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های بصری و حسگری از نانو ساختارهای تولید شده، نواقص، ناهنجاری‌ها و انحراف از مشخصات مورد نظر را شناسایی کنند. راه‌حل‌های کنترل کیفیت مبتنی بر هوش مصنوعی با شناسایی و توصیف نواقص در زمان واقعی، امکان مداخله زودهنگام و اقدامات اصلاحی را فراهم می‌آورند و به افزایش بازده و قابلیت اطمینان در فرآیندهای نوساخت کمک می‌کنند [۲۷].

۳-۳-۴- طراحی، بهینه‌سازی و شناسایی بیومواد

هوش مصنوعی در طراحی، توصیف و ساخت نانو سیستم‌های دارورسانی و همچنین در پیش‌بینی کارایی درمان بکار می‌رود و نقش مهمی در توسعه و پیشرفت نانو پزشکی در آینده ایفا می‌کند [۱۲]. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای پیش‌بینی اثربخشی و سمیت نانو داروهای جدید، سرعت بخشیدن به فرآیند کشف دارو و کاهش هزینه‌ها استفاده شوند [۳۶]. برای مهندسی بافت، تحویل دارو و دستگاه‌های پزشکی، محققان می‌توانند به سرعت بیومواد جدید را با استفاده از رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی شامل یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی شناسایی و تولید کنند.

هوش مصنوعی نقش مهمی در طراحی و بهینه‌سازی مواد در کاربردهای بیومواد ایفا می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌های بزرگ از ویژگی‌های مواد، روش‌های سنتز و معیارهای عملکرد، همبستگی‌ها،

بیومواد برای استفاده بالینی را تضمین می‌کنند [۳۹]

همچنین هوش مصنوعی می‌تواند برای تجزیه و تحلیل و تفسیر تصاویر پزشکی، مانند سی‌تی‌اسکن و اسکن MRI، برای تشخیص بیماری استفاده شود. علاوه بر این، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای تشخیص بیماری‌ها در مراحل اولیه و توسعه برنامه‌های درمانی شخصی بر اساس نیازهای خاص بیمار مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای نظارت بر درمان‌های مبتنی بر نانو پزشکی در زمان واقعی استفاده شوند و امکان تنظیم دقیق‌تر درمان‌ها و کاهش خطر عوارض جانبی را فراهم کنند [۱۷]. علاوه بر این، هوش مصنوعی با تسریع در کشف دارو از طریق پیش‌بینی ساختارهای پروتئینی و ساخت نانو مولکول‌های جدید، پزشکی دقیق را متحول می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی را می‌توان برای پیش‌بینی زمانی که نانو دستگاه‌ها ممکن است از کار بیفتند، استفاده کرد و امکان تعمیر و نگهداری را قبل از توقف عملکرد دستگاه‌ها فراهم می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین برای نانو داروها، کاهش ضایعات و افزایش کارایی استفاده شوند [۱۷]. به‌طور کلی، هوش مصنوعی پیشرفت قابل‌توجهی در توسعه، ارائه و توانایی درمان‌های نانو دارویی دارد که منجر به بهبود نتایج سلامتی بیماران می‌شود.

۵-۳-۳- افزایش بهره‌وری کشاورزی

تغییرات آب و هوایی، افزایش جمعیت و کاهش کیفیت خاک، امنیت غذایی جهانی را به چالش کشیده است. یافتن راه‌حل‌های پایدار نیازمند رویکردهای جدید جسورانه و ادغام زمینه‌های مختلف دانش است. با توسعه هوش مصنوعی در سال‌های اخیر، زمینه برای ادغام روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و فناوری نانو در کشاورزی فراهم شده است. با کمک هوش مصنوعی می‌توان اثرات نانو مواد بر اکوسیستم کشاورزی و عملکرد آن‌ها را در بهبود تولید کشاورزی و کاهش آلودگی هوا و آب را از طریق ادغام داده‌های تجربی حاصل از شرایط مختلف خاک و گونه‌های گیاهی یا شرایط آب و هوایی مختلف پیش‌بینی کرد. از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی نانو مواد تا توسعه مدل‌های

پیش‌بینی‌کننده برای بهینه‌سازی کارایی تحویل، در عین حال به حداقل رساندن آلودگی و اطمینان از مشخصات ایمنی بالا برای نانو مواد در خاک و حداقل باقی‌مانده‌ها در بخش‌های خوراکی گیاه، به‌عنوان بخشی از یک رویکرد کلی برای توسعه طراحی ایمن‌تر نانو مواد شیمیایی کشاورزی محسوب می‌شود [۴۰].

۳-۳-۶- پایداری محیط زیست

تغییرات آب و هوا و پایداری انرژی از جمله مسائل مهمی هستند که نیاز به توجه دارند و یکی از روش‌های نوآورانه برای حل این مسائل، استفاده از هوش مصنوعی به‌منظور بهینه‌سازی نانو مواد برای انرژی‌های پاک است. کشف و توسعه نانو مواد با ویژگی‌های بهبود یافته برای تولید، ذخیره‌سازی و تبدیل انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی تسریع شود. طراحی و کشف مواد دو عملکرد اصلی هوش مصنوعی در بهینه‌سازی نانو مواد در زمینه انرژی‌های پایدار هستند. هنگام طراحی نانو مواد جدید برای کاربردهای انرژی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل داده‌های بزرگ از ویژگی‌های مواد، روش‌های سنتز و اندازه‌گیری‌های عملکرد، الگوها، روندها و همبستگی‌ها را شناسایی کنند. مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند با یادگیری از داده‌ها و پیش‌بینی خواص مواد فرضی، جستجو برای نانو مواد با ویژگی‌های مطلوب مانند کارایی بالا، ثبات و مقیاس‌پذیری را تسریع کنند و ترکیب‌های مواد و شرایط پردازش را بهینه‌سازی نمایند [۳۳].

هوش مصنوعی همچنین به بهینه‌سازی دستگاه‌ها و سیستم‌های مبتنی بر نانو مواد برای کاربردهای انرژی پایدار کمک می‌کند. طراحی و عملکرد سلول‌های خورشیدی، سلول‌های الکتروشیمیایی و واکنشگرهای کاتالیتی، می‌تواند از طریق استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین که داده‌های حسگر، شرایط عملیاتی و معیارهای عملکرد را ارزیابی می‌کنند، بهینه‌سازی شود. مدل‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی عملکرد دستگاه تحت شرایط عملیاتی مختلف و زیرساخت‌های کاربردهای مقیاس شبکه و سیستم‌های انرژی، راه‌حلی برای انرژی قابل‌اعتماد، اقتصادی و کارآمد ارائه نماید.

آزمایشگاهی باشد. با ادغام نانو مواد در پلتفرم حسگرهای قابل حمل، امکان استقرار حسگر در مکان‌هایی که به‌سختی قابل دسترسی هستند، فراهم شده است. این موضوع امکان پایش زمان واقعی آلودگی محیطی و ایجاد سیستم‌های هشدار زودهنگام برای تهدیدات احتمالی را فراهم می‌کند. علاوه بر این، انتقال و پایش داده‌های دوربرد با اتصال بی‌سیم و قدرت پردازش داده امکان‌پذیر می‌شود که به ذینفعان اجازه می‌دهد به‌سرعت برای کاهش نگرانی‌های محیطی دست به اقدام بزنند. نانو حسگرها می‌توانند در دستگاه‌های کوچک و با قیمت مناسب برای استفاده گسترده در محیط‌های صنعتی، کشاورزی و شهری ادغام شوند و به پایش دقیق آلودگی محیطی و اثرات آن بر اکوسیستم‌ها و سلامت انسان کمک کنند.

یکی از کاربردهای اصلی نانو حسگرها در پایش محیط زیست، پایش کیفیت هوا و کاهش آلودگی است [۴۳]. نانو حسگرها توانایی شناسایی طیف وسیعی از آلودگی‌های هوایی از جمله کربن مونوکسید، گوگرد دی‌اکسید، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق و ترکیبات آلی فرار با حساسیت و دقت استثنایی را دارند. نانو حسگرهایی که امکان پایش زمان واقعی کیفیت هوا را فراهم می‌کنند به ما این امکان می‌دهند تا با شناسایی منابع آلودگی، ارزیابی خطرات در معرض هوای آلوده قرار گرفتن و اجرای تدابیر کاهش آلودگی، کیفیت هوا را بهبود بخشیده و از سلامت انسان‌ها حفاظت کنیم. علاوه بر این، با استفاده از نانو حسگرها برای مدیریت آلودگی و پایش کیفیت آب، می‌توان آلودگی‌هایی مانند فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، داروها، عوامل بیماری‌زا و سایر آلودگی‌ها را در فاضلاب و منابع آبی شناسایی کرد. نانو حسگرها می‌توانند به شناسایی زودهنگام رویدادهای آلودگی، تحلیل روندها و اجرای استراتژی‌های ترمیمی برای حفاظت از اکوسیستم‌های آبی و منابع آب شرب کمک کنند [۴۴].

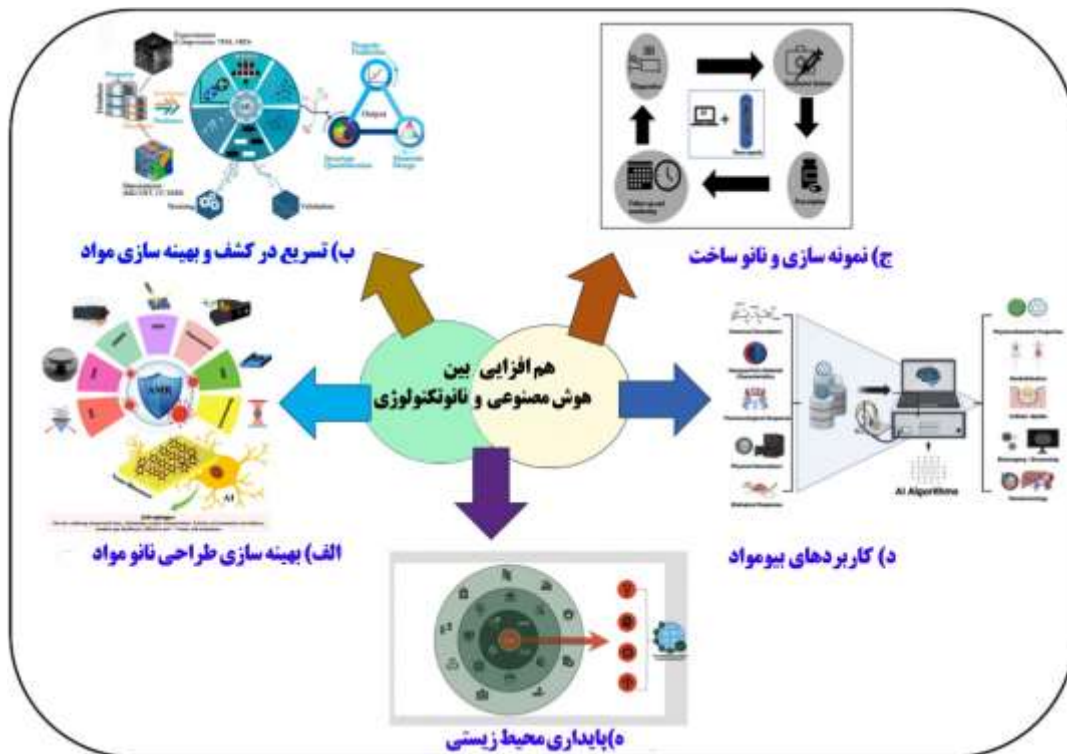
برای بهینه‌سازی استقرار و عملکرد فناوری‌های انرژی مبتنی بر نانو مواد، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های مربوط به منابع انرژی تجدیدپذیر، پایداری شبکه و الگوهای مصرف انرژی را ارزیابی کنند. سیستم‌های مدیریت انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی با ارائه بینش‌های به‌موقع و تحلیل‌های پیش‌بینی، به استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر و ایجاد آینده‌ای پایدار کمک می‌کنند [۴۱].

۳-۷-۳-۳ نانو حسگرها برای پایش محیط زیست

نانو حسگرها به‌عنوان ابزاری بسیار حساس، گزینش‌پذیر برای شناسایی آلودگی‌ها و سموم در هوا، آب، خاک و غذا هستند که یک الگوی نویدبخش جدید برای پایش محیط زیست و کنترل آلودگی ارائه می‌دهند. ویژگی‌های استثنایی نانو مواد، از جمله نسبت بالای سطح به حجم، اثرات کوانتومی و واکنش‌پذیری سطحی، توسط این حسگرهای کوچک برای دستیابی به دقت و کارایی بی‌سابقه در شناسایی و اندازه‌گیری مقادیر جزئی آلودگی‌های محیطی بکار می‌رود.

حساسیت عالی نانو حسگرها به انواع مختلف آنالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی یکی از مزایای اصلی آن‌ها برای پایش محیط زیست است. نانو حسگرها از طریق فرآیندهای مختلفی از جمله جذب سطحی، واکنش شیمیایی و انتقال نوری، امکان شناسایی انتخابی آلودگی‌های خاص را فراهم می‌آورند. نانو حسگرها می‌توانند به‌صورت انتخابی از طریق عملکردهای نانو مواد با گیرنده‌ها، لیگاندها یا مولکول‌های زیستی خاص به آنالیت‌های هدف (حتی در غلظت‌های پایین) متصل شوند و امکان شناسایی بسیار حساس و خاص آن‌ها را فراهم کنند [۴۲].

علاوه بر این، نانو حسگرها با قابلیت‌های پایش زمان واقعی، اندازه‌گیری پارامترهای محیطی را به‌طور مداوم و در محل انجام می‌دهند بدون اینکه نیازی به جمع‌آوری نمونه و تجزیه و تحلیل



شکل ۲. ادغام نانوتکنولوژی و هوش مصنوعی (الف) بهینه‌سازی طراحی نانو مواد، (ب) تسریع در کشف و بهینه‌سازی مواد، (ج) نمونه‌سازی و نانساخت، (د) کاربردهای بیومواد، (ه) پایداری محیطی [۳۳].

۳-۴

- چالش‌های ادغام نانوتکنولوژی و هوش مصنوعی

هوش مصنوعی در نانوتکنولوژی پتانسیل بسیار بالایی دارد، اما موانع و محدودیت‌هایی وجود دارد که باید قبل از کاربرد و ادغام موفق آن برطرف شوند. این موانع عبارتند از:

(۱) مدل‌های هوش مصنوعی به داده‌های باکیفیت و زیادی برای آموزش کارآمد نیاز دارند. به دلیل محدودیت‌ها در روش‌های تجربی و فرآیندهای جمع‌آوری داده، ممکن است جمع‌آوری داده کافی در نانوتکنولوژی، به‌ویژه در مقیاس نانو، دشوار باشد. البته این مشکل می‌تواند با کمک روش‌هایی مانند افزایش داده و یادگیری انتقالی که مدل‌های هوش مصنوعی را حتی در مواجهه با مجموعه‌های داده کوچک بهبود می‌بخشند، حل شود [۴۵].

(۲) با توجه به اینکه پدیده‌های نانو در مقیاس‌های بسیار کوچک و غیرقابل مشاهده رخ می‌دهند، به دست آوردن داده‌های خاص برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی ممکن است دشوار باشد. این امر می‌تواند منجر به چالش‌های مربوط به جمع‌آوری و

اعتبارسنجی داده‌ها شده و در نهایت به تصمیم‌گیری ضعیف و عدم اعتماد به نتایج منجر گردد [۴۶]. (۳) به دلیل ماهیت پیچیده و بین‌رشته‌ای نانوتکنولوژی، ایجاد همکاری‌های مؤثر میان دانشمندان و مهندسان در زمینه‌های مختلف لازم است. بسیاری از محققان ممکن است دانش تخصصی کافی در زمینه‌های مختلف نداشته باشند. عدم تعاملات مؤثر می‌تواند منجر به محدودیت‌های طراحی و توسعه مدل‌های هوش مصنوعی در نانوتکنولوژی شود [۴۷].

(۴) بسیاری از مدل‌های پیچیده یادگیری عمیق به‌سختی قابل‌فهم هستند. این عدم شفافیت و قابلیت تفسیر در الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند مشکل‌ساز باشد و اعتماد به نتایج را محدود کند [۴۸].

(۵) نگرانی‌هایی در مورد اخلاق و حریم خصوصی داده‌ها به‌ویژه در زمینه‌های پزشکی و بهداشتی یکی دیگر از چالش‌ها است که می‌تواند تأثیرات اجتماعی عمیقی داشته باشد.

۵- چشم‌اندازهای آینده

با وجود چالش‌های موجود، کاربردهای هوش مصنوعی در نانو تکنولوژی همچنان در حال گسترش است. انتظار می‌رود که پیشرفت‌های آتی در حوزه‌های یادگیری ماشین و محاسبات، راه‌حل‌های نوآورانه‌تری برای بهینه‌سازی فرآیندها و تسریع کشف مواد جدید ارائه دهد. به‌ویژه، ادغام روش‌های مولکولی و شبیه‌سازی محاسباتی با تکنیک‌های یادگیری عمیق می‌تواند امکان پیش‌بینی دقیق‌تری از خواص نانو مواد و بهینه‌سازی طراحی آن‌ها را فراهم کند. همچنین، تقویت همکاری‌های بین‌رشته‌ای و ایجاد پلتفرم‌های داده‌ای مشترک می‌تواند به تسریع در توسعه و پذیرش فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در نانو تکنولوژی کمک کند. ایجاد آگاهی و آموزش در مورد چالش‌های اخلاقی و اجتماعی مرتبط با این فناوری‌ها برای اطمینان از استفاده مسئولانه و ایمن از هوش مصنوعی در نانو تکنولوژی ضروری است.

۶-۳- ملاحظات اخلاقی

ملاحظات اخلاقی پیرامون هوش مصنوعی در نانو تکنولوژی فراتر از حوزه اشتغال بوده و به هر جنبه‌ای از زندگی در کره زمین گسترش یافته است. همچنین، هوش مصنوعی اکنون پیامدهای متعددی برای توسعه، حریم خصوصی، امنیت و ایمنی دارد [۴۹]. ساختارها اغلب توسط هوش مصنوعی تقویت می‌شوند. افرادی که از قابلیت‌های نانو تکنولوژی محروم هستند، با ادغام قابلیت‌های هوش مصنوعی در نانو تکنولوژی ممکن است بیشتر از قبل محروم شوند.

بسیاری از نگرانی‌های اخلاقی از استفاده احتمالی هوش مصنوعی در پیشرفت نانو تکنولوژی ناشی می‌شوند. به‌عنوان مثال، ترکیب نانو ساخت با محاسبات مولکولی، امکان دستیابی به درجات جدیدی از کنترل و ایجاد سیستم‌های فیزیکی جدید (مانند سیستم‌های مولکولی مصنوعی یا سلول‌های زیستی) را فراهم می‌کند. تحلیل دقیق اثرات جامعه‌شناختی، اقتصادی و فنی این همگرایی ضروری است. در مواجهه با فناوری نوظهور، روش‌های جدیدی برای ارزیابی اخلاقی لازم است. با توجه به فراوانی کاربردهای هوش مصنوعی و نانو تکنولوژی، این مسئله نگرانی‌هایی را در مورد چگونگی توازن مزایای احتمالی سیستم‌های نانو-

هوش مصنوعی برای سلامت انسان با خطرات احتمالی سیستم‌های نانو-هوش مصنوعی برای سلامت انسان به وجود آورده است [۱۹].

۴. نتیجه‌گیری

شکل‌دهی به آینده با استفاده از نانو فناوری و تکنیک‌های هوش مصنوعی که فناوری‌های آینده هستند، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش در حوزه نانو فناوری به ایجاد ساختارها از مقیاس اتمی و مولکولی (از پایین به بالا) می‌پردازد، در حالی که پژوهش‌های هوش مصنوعی معمولاً از رویکردی بالا به پایین برای حل مسائل استفاده می‌کند. ترکیب این دو حوزه راه‌حلی را برای بسیاری از مسائل پیچیده که نیازمند سطوح و تعاملات توصیفی چندگانه هستند، به ارمغان خواهد آورد.

نتایج این تحقیق نشان داد که تقارن هوش مصنوعی و نانو تکنولوژی نمایانگر هم‌افزایی بین هوش محاسباتی و مهندسی مقیاس نانو است و نویدبخش چشم‌اندازهای تحولی در زمینه‌های مختلف است. هر دو این فناوری‌ها از یکدیگر تغذیه و پشتیبانی می‌کنند. تکنیک‌های هوش مصنوعی برای حل مسائل نانو فناوری، طراحی سیستم‌های نانو، پیش‌بینی، تعریف و بهینه‌سازی رفتارهای شبیه‌سازی نانو، نانو ذرات یا نانو داروها، کاهش زمان محاسبات در بسیاری از زمینه‌ها مانند شناسایی داده‌های نانو مقیاس با پردازش تصویر، پیش‌بینی مؤثر پارامترها، تفسیر شبیه‌سازی سیستم و نتایج به کار گرفته می‌شوند. از سوی دیگر به لطف نانو فناوری، دستگاه‌های کوچک و سریع‌تری تولید می‌شود. کامپیوترهای کوانتومی توسعه می‌یابند که در نتیجه آن، هوش مصنوعی می‌تواند با داده‌های بیشتری تحلیل کند و زمان تحلیل کوتاه‌تر شود.

با ترکیب توانایی‌های محاسباتی هوش مصنوعی و دقت نانو تکنولوژی، دانشمندان می‌توانند درک بهتری از علم مواد، فرآیندهای نانو فرآوری را بهینه‌سازی کرده، خدمات بهداشتی را متحول کنند و به حل مسائل زیست‌محیطی فوری بپردازند. در آینده‌ای نزدیک، با رابطه بین نانو فناوری و هوش مصنوعی، شاهد خواهیم بود که بیماری‌ها با نانو داروها درمان می‌شوند، منابع آبی به منابع

فرآوری می‌توانند توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین تجزیه و تحلیل شوند تا ناهنجاری‌ها را شناسایی کنند، نقص‌ها را پیش‌بینی کنند و پارامترهای فرآیند را برای افزایش بهره‌وری و کارایی تنظیم کنند. علاوه بر این، سیستم‌های رباتیک مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند فرآیندهای مرتبط با نانو را خودکار کنند و امکان تولید با ظرفیت بالا و دقت بی‌سابقه را فراهم کنند. همچنین نتایج نشان داد ترکیب هوش مصنوعی با نانوتکنولوژی رویکردهای خلاقانه‌ای برای پایداری، بهبود و پایش در کاربردهای زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. نانوتکنولوژی نانو مواد و نانو حسگرهایی را فراهم می‌آورد که می‌توانند پارامترهای زیست‌محیطی را پایش کنند، آلاینده‌ها را شناسایی و حذف کنند و تولید انرژی تجدیدپذیر را تسهیل نمایند؛ اما پیاده‌سازی این فناوری‌های نانو در محیط واقعی نیازمند استفاده از سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی منابع، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری است؛ رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی با ارائه بینش‌های مبتنی بر داده و مدل‌های پیش‌بینی برای پایش و مدیریت زیست‌محیطی به حل این مسائل کمک می‌کنند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تحلیل داده‌های حسگری از شبکه‌های توزیع‌شده نانو حسگرها، غلظت‌های آلاینده را پیش‌بینی کنند، آلاینده‌های زیست‌محیطی را شناسایی نمایند و فرآیندهای بهبود را در زمان واقعی بهینه‌سازی کنند.

۵. منابع

- [1] Kumar A, Jayeoye TJ, Mohite P, Singh S, Rajput T, Munde S, Eze FN, Chidrawar VR, Puri A, Prajapati BG, Parihar A. Sustainable and consumer-centric nanotechnology-based materials: An update on the multifaceted applications, risks and tremendous opportunities. *Nano-Structures & Nano-Objects*. 2024;38:101148. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101148>.
- [2] Luther W. International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology.
- [3] Naik GG, Jagtap VA. Fluorescent carbon dots for sensing therapeutic moieties. *Nanomedicine*. 2024;19(18-

تجدیدپذیر تبدیل می‌گردند، ارتباطات و امنیت داده‌ها با دستگاه‌های نانو فراهم می‌شود، دستگاه‌ها مقاوم‌تر شده و زنگ نمی‌زنند، مواد مقاوم در برابر حرارت تولید می‌شوند و کامپیوترهای کوچک با پردازنده‌های قدرتمندتر به کار گرفته می‌شوند.

نانو فناوری مبتنی بر هوش مصنوعی در حال تحول در مراقبت از بیماران و مدیریت بیماری‌ها است و با تسریع در توسعه داروهای سفارشی و درمان‌های هدفمند، بهبودهایی حاصل می‌شود. پیشرفت‌های نانو فناوری مبتنی بر هوش مصنوعی تأثیر مثبت‌تری بر علم مواد و مهندسی دارد و ایجاد ویژگی‌های سفارشی برای طیف وسیعی از کاربردها، از جمله الکترونیک و هوافضا را تسهیل می‌کند.

علاوه بر این، فناوری‌های انرژی پاک و نانو حسگرهای مبتنی بر هوش مصنوعی راهکارهایی برای کاهش آلودگی و مقابله با تغییرات اقلیمی فراهم می‌کنند و زمینه‌ساز آینده‌ای پایدارتر در پایش محیط‌زیست و پایداری می‌شود.

نتایج پژوهش نشان داد که طراحی و کشف مواد یکی از زمینه‌های اصلی است که در آن هوش مصنوعی و نانوتکنولوژی به هم می‌پیوندند. با اجرای نانوتکنولوژی، مواد می‌توانند در سطح اتمی و مولکولی طراحی شوند تا ویژگی‌های خاصی مانند افزایش رسانایی، واکنش‌پذیری و استحکام را داشته باشند. با این حال، فضای طراحی برای نانو مواد بزرگ و پیچیده است و ناوبری مؤثر در آن نیازمند استفاده از ابزارهای محاسباتی پیشرفته است. علاوه بر این، محققان می‌توانند با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌های محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی، رفتار نانو مواد را در محیط‌ها و شرایط مختلف مورد بررسی قرار دهند که این امر به بهینه‌سازی عملکرد و کارایی مواد کمک می‌کند. این رویکرد همکاری علاوه بر تسریع در کشف مواد، درک ما از پدیده‌های مقیاس نانو را بهبود می‌بخشد و موجب ایجاد مواد جدید با ویژگی‌ها و کاربردهای بی‌سابقه می‌شود.

زمینه‌های نانو فرآوری و تولید نیز یکی دیگر از زمینه‌هایی بود که مورد بحث قرار گرفت. هوش مصنوعی با فراهم آوردن امکان نظارت، کنترل و بهینه‌سازی فرآیندها در زمان واقعی، کیفیت و تکرارپذیری نانو ساختارهای ساخته شده را تضمین می‌کند. داده‌های حسگری ناشی از فرآیندهای نانو



- [10] Liu L, Bi M, Wang Y, Liu J, Jiang X, Xu Z, Zhang X. Artificial intelligence-powered microfluidics for nanomedicine and materials synthesis. *Nanoscale*. 2021;13(46):19352-66. <https://doi.org/10.1039/D1NR06195J>.
- [11] McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. *AI magazine*. 2006;27(4):12-4. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>.
- [12] Heydari S, Masoumi N, Esmaeeli E, Ayyoubzadeh SM, Ghorbani-Bidkorpheh F, Ahmadi M. Artificial Intelligence in nanotechnology for treatment of diseases. *Journal of Drug Targeting*. 2024;1-20. <https://doi.org/10.1080/1061186X.2024.2393417>.
- [13] Liang CJ, Le TH, Ham Y, Mantha BR, Cheng MH, Lin JJ. Ethics of artificial intelligence and robotics in the architecture, engineering, and construction industry. *Automation in Construction*. 2024;162:105369. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105369>.
- [14] Liu Y, Alzahrani IR, Jaleel RA, Al Sulaie S. An efficient smart data mining framework based cloud internet of things for developing artificial intelligence of marketing information analysis. *Information Processing & Management*. 2023;60(1):103121. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103121>.
- [15] Hangaragi S, Singh T, Neelima N. Face detection and Recognition using Face Mesh and deep neural network. *Procedia Computer Science*. 2023;218:741-9. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.054>.
- [16] Waisberg E, Ong J, Masalkhi M, Zaman N, Sarker P, Lee AG, Tavakkoli A. Meta smart glasses—large language models and the future for assistive glasses for individuals with vision impairments. *Eye*. 20):1581-4. <https://doi.org/10.1080/17435889.2024.2373679>.
- [4] Khan MY, Elme NS, Tahrim HM, Raza K. A Review on Nanotechnology and Its Impact with Challenges on Electrical Engineering. *Control Systems and Optimization Letters*. 2024;2(1):82-9. <https://doi.org/10.59247/csolv2i1.78>.
- [5] Naik GG, Minocha T, Verma A, Yadav SK, Saha S, Agrawal AK, Singh S, Sahu AN. Asparagus racemosus root-derived carbon nanodots as a nano-probe for biomedical applications. *Journal of materials science*. 2022;57(43):20380-401. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07908-z>.
- [6] Naik GG, Pratap R, Mohapatra D, Shreya S, Sharma DK, Parmar AS, Patra A, Sahu AN. From phytomedicine to photomedicine: quercetin-derived carbon nanodots—synthesis, characterization and healthcare applications. *Journal of Materials Science*. 2023;58(34):13744-61. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08880-y>.
- [7] Anusha JR, Citarasu T, Uma G, Vimal S, Kamaraj C, Kumar V, Muzammil K, Sankar MM. Recent advances in nanotechnology-based modifications of micro/nano PET plastics for green energy applications. *Chemosphere*. 2024;141417. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141417>.
- [8] Karthikeyan B, Velvizhi G. A state-of-the-art on the application of nanotechnology for enhanced biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024;52:536-54. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.237>.
- [9] Bayda S, Adeel M, Tuccinardi T, Cordani M, Rizzolio F. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*. 2019;25(1):112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>



Research and Reports. 2024;18(1):30-5. <https://doi.org/10.9734/ajarr/2024/v18i1596>

[24] Chugh V, Basu A, Kaushik A, Bhansali S, Basu AK. Employing nano-enabled artificial intelligence (AI)-based smart technologies for prediction, screening, and detection of cancer. *Nanoscale*. 2024;16(11):5458-86. <https://doi.org/10.1039/D3NR05648A>.

[25] Badini S, Regondi S, Pugliese R. Unleashing the power of artificial intelligence in materials design. *Materials*. 2023;16(17):5927. <https://doi.org/10.3390/ma16175927>.

[26] Choudhary K, Wines D, Li K, Garrity KF, Gupta V, Romero AH, Krogel JT, Saritas K, Fuhr A, Ganesh P, Kent PR. JARVIS-Leaderboard: a large scale benchmark of materials design methods. *npj Computational Materials*. 2024;10(1):93. <https://doi.org/10.1038/s41524-024-01259-w>.

[27] Nandipati M, Fatoki O, Desai S. Bridging Nanomanufacturing and Artificial Intelligence—A Comprehensive Review. *Materials*. 2024;17(7):1621. <https://doi.org/10.3390/ma17071621>.

[28] Liu Z, Zhao Y, Yin Z. Low-power soft transistors triggering revolutionary electronics. *The Innovation*. 2024;5(3). <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100616>.

[29] Papadimitriou I, Gialampoukidis I, Vrochidis S, Kompatsiaris I. AI methods in materials design, discovery and manufacturing: A review. *Computational Materials Science*. 2024;235:112793. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2024.112793>

[30] Li C, Bao L, Ji Y, Tian Z, Cui M, Shi Y, Zhao Z, Wang X. Combining machine learning and metal-organic frameworks research: Novel modeling, performance prediction, and materials discovery. *Coordination Chemistry Reviews*. 2024;514:215888. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215888>.

2024;38(6):1036-8.

<https://doi.org/10.1038/s41433-023-02842-z>.

[17] Mohammad H, You HW, Umapathi M, Ravikumar KK, Mishra S. Strategies of Artificial intelligence tools in the domain of nanomedicine. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2023;91:105157. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.105157>

[18] Sacha GM, Varona P. Artificial intelligence in nanotechnology. *Nanotechnology*. 2013;24(45):452002. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/24/45/452002>.

[19] Hassan SA, Almaliki MN, Hussein ZA, Albehadili HM, Banoon SR, Al-Abboodi A, Al-Saady M. Development of Nanotechnology by Artificial Intelligence: A Comprehensive Review. *Journal of Nanostructures*. 2023;13(4):915-32. <https://doi.org/10.22052/JNS.2023.04.002>.

[20] Agrawal R, Tilak P, Devand A, Bhatnagar A, Gupta P. Artificial Intelligence in Nanotechnology. In *International Conference on Data Science and Big Data Analysis 2023* (pp. 239-248). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9179-2_18.

[21] Sarwar S, Raja DA, Hussain D. Chapter 1 - Introduction to nanotechnology, in: M.I. Malik, D. Hussain, M.R. Shah, D.-S. Guo (Eds.), *Handbook of Nanomaterials*, 2024;1:1-26. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54357-3_1.

[22] Wang Y, Fu EY, Zhai X, Yang C, Pei F. Introduction of artificial Intelligence. In *Intelligent Building Fire Safety and Smart Firefighting*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024: 65-97. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48161-1_4.

[23] Marquis YA, Oladoyinbo TO, Olabanji SO, Olaniyi OO, Ajayi SA. Proliferation of AI tools: A multifaceted evaluation of user perceptions and emerging trend. *Asian Journal of Advanced*



- [38] Vijaya R, Lincy BC, Raman G, Kirubakaran N, Chacko L, Bhupathyaaj M, Kiruba M, Alharbi HF. Applications of Artificial Intelligence in Drug Delivery Systems. In *Artificial intelligence in Pharmaceutical Sciences* 2023:42-53, CRC Press.
- [39] Deori C, Hujuri L, Sarma G, Sonowal T. Artificial Intelligence (AI): It's Role in Drug Discovery and Novel Drug Delivery System, 2024;13(2):1426-1430. <https://doi.org/10.21275/SR24219203948> 2024.
- [40] Zhang P, Guo Z, Ullah S, Melagraki G, Afantitis A, Lynch I. Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture. *Nature Plants*. 2021;7(7):864-76. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00946-6>.
- [41] SKaur S, Kumar R, Singh K, Huang Y. Leveraging artificial intelligence for enhanced sustainable energy management. *J. Sustain. Energy*. 2024;3(1):1-20. <https://doi.org/10.56578/jse030101>.
- [42] Arellano Vidal CL, Govan JE. Machine learning techniques for improving nanosensors in agroenvironmental applications. *Agronomy*. 2024;14(2):341. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020341>.
- [43] Parihar A, Sharma P, Choudhary NK, Khan R, Mostafavi E. Internet-of-Things-integrated Molecularly Imprinted Polymer-based Electrochemical Nano-sensors for Pesticide Detection in the environment and food products. *Environmental Pollution*. 2024:124029. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124029>.
- [44] Thakur A, Devi P. A comprehensive review on water quality monitoring devices: materials advances, current status, and future perspective. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2024;54(2):193-218. <https://doi.org/10.1080/10408347.2022.2070838>.
- [31] Yan J, Zhang Z, Meng M, Li J, Sun L. Insights into deep learning framework for molecular property prediction based on different tokenization algorithms. *Chemical Engineering Science*. 2024;285:119471. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119471>.
- [32] Agu PC, Obulose CN. Piquing artificial intelligence towards drug discovery: Tools, techniques, and applications. *Drug Development Research*. 2024;85(2):e22159. <https://doi.org/10.1002/ddr.22159>.
- [33] Naik GG, Jagtap VA. Two Heads Are Better than One: Unravelling the Potential Impact of Artificial Intelligence in Nanotechnology. *Nano TransMed*. 2024:100041. <https://doi.org/10.1016/j.ntm.2024.100041>.
- [34] Wang Z, Zhu X. Enhancing Nanocrystal Synthesis: A Comparative Study of Online Artificial Intelligence Optimization and Offline High-Throughput Experimentation in Chemical Material Discovery. *ACS Applied Nano Materials*. 2024;7(6):6499-505. <https://doi.org/10.1021/acsanm.4c00255>.
- [35] Vidya Wicaksana Putra R, Marchisio A, Zayer F, Dias J, Shafique M. Embodied Neuromorphic Artificial Intelligence for Robotics: Perspectives, Challenges, and Research Development Stack. *arXiv e-prints*. 2024:arXiv-2404.03325. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.03325>.
- [36] Zhou JB, Tang D, He L, Lin S, Lei JH, Sun H, Xu X, Deng CX. Machine learning model for anti-cancer drug combinations: Analysis, prediction, and validation. *Pharmacological Research*. 2023;194:106830. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2023.106830>.
- [37] Kumar A, Panda D, Gangawane KM. Computational modeling on the design of the morphology of aerogels. *Hybrid Aerogels: Energy and Environmental Applications*. 2024:269.



[48] Yang Y, Bevan MA, Li B. Efficient navigation of colloidal robots in an unknown environment via deep reinforcement learning. *Advanced Intelligent Systems*. 2020;2(1):1900106. <https://doi.org/10.1002/aisy.201900106>.
[49] Holzinger A, Keiblinger K, Holub P, Zatloukal K, Müller H. AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*. 2023;74:16-24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.02.001>

[45] Liu S, Tian G, Xu Y. A novel scene classification model combining ResNet based transfer learning and data augmentation with a filter. *Neurocomputing*. 2019;338:191-206. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.01.090>.
[46] Adir O, Poley M, Chen G, Froim S, Krinsky N, Shklover J, Shainsky-Roitman J, Lammers T, Schroeder A. Integrating artificial intelligence and nanotechnology for precision cancer medicine. *Advanced Materials*. 2020;32(13):1901989. <https://doi.org/10.1002/adma.201901989>.
[47] Sacha GM, Varona P. Artificial intelligence in nanotechnology. *Nanotechnology*. 2013;24(45):452002. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/24/45/452002>.



Integration of Artificial Intelligence and Nanotechnology: Advancements, Applications, and Ethical Considerations

Seyed Mohsen Mousavi*

Department of Chemistry Education, Farhangian University, Tehran, Iran

Abstract

This paper examines the areas of integration of AI and nanotechnology and examines how AI techniques, including machine learning, deep learning, and neural networks, can be used to improve the efficiency, accuracy, and scalability of nanotechnology applications. Some of the applications of AI in nanotechnology include accelerating the discovery and optimization of nanomaterial design, optimizing drug delivery, and using AI-powered nanosensors for biological and environmental monitoring and predicting material properties. It also examines the challenges, opportunities, and prospects for integrating AI and nanotechnology to create transformative advances in fields ranging from healthcare and materials science to environmental sustainability. Finally, ethical issues such as algorithmic bias, data privacy, and the social impacts of integrating these technologies are addressed, and the need for transparent regulation, responsible, and ethical development is emphasized to ensure the integration of AI-based nanotechnology.

Keywords: Nanotechnology, artificial intelligence, integration of nanotechnology with artificial intelligence, nanomaterials, nanosensors