

## بررسی کاربرد هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست: فرصت ها، چالش ها

محبوبه مهری خوانساری

کارشناس زیست شناسی دانشگاه اراک

علی اکبری

کارشناس ارشد رشته علوم باغبانی دانشگاه شاهد

حسن طاهری

دانشجوی کارشناس ارشد رشته علوم باغبانی دانشگاه شاهد

### چکیده

این پژوهش به تحلیل و بررسی نقش هوش مصنوعی (AI) در حفاظت از محیط زیست و تأثیرات آن بر ارتقاء روش های پایداری می پردازد. هدف اصلی از این مطالعه بررسی ظرفیت های هوش مصنوعی در حل کردن مسائل پیچیده زیست محیطی از طریق مرور نظام مند منابع علمی و تجزیه و تحلیل مقالات، گزارش ها و مطالعات موردی منتشر شده در سال های اخیر است. تمرکز تحقیق بر کاربردهای هوش مصنوعی در حفاظت از تنوع زیستی، کاهش تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی و مدیریت پایدار منابع طبیعی قرار دارد. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که هوش مصنوعی می تواند با بهینه سازی مصرف منابع، پیش بینی وضعیت اکولوژیکی برای حفاظت از گونه های در معرض خطر و بهبود سیستم های پایش زیست محیطی، تأثیرات مثبتی در حوزه های مختلف زیست محیطی داشته باشد. پردازش دقیق داده های کلان و تحلیل های قدرتمند به هوش مصنوعی این امکان را می دهد که روند فرآیندهای زیست محیطی را با دقت بالاتری شبیه سازی کند و راه حل های مؤثری را برای کاهش آسیب های اکولوژیکی ارائه دهد. با این حال، استفاده از این فناوری پیشرفته با چالش هایی نیز همراه است که از جمله آنها می توان به مسائل اخلاقی، حریم خصوصی و تهدیدات امنیتی اشاره نمود. به منظور بهره برداری بهینه از هوش مصنوعی، تدوین سیاست های مناسب و ایجاد چارچوب های نظارتی کارآمد ضروری به نظر می رسد. این مطالعه مروری بر ضرورت همکاری میان رشته ای، تعامل مؤثر با ذینفعان و توسعه هوش مصنوعی با رویکرد اخلاقی تأکید دارد. در نهایت، این پژوهش پیشنهاد می کند که متخصصان حوزه محیط زیست با آگاهی از ظرفیت های هوش مصنوعی، زمینه را برای توسعه ابزارهای پیشرفته تر در راستای تحقق اهداف زیست محیطی فراهم کنند.

**واژگان کلیدی:** هوش مصنوعی (AI)، حفاظت از محیط زیست، تغییرات اقلیمی، توسعه پایدار

## مقدمه

ادغام هوش مصنوعی (AI) و حفاظت از محیط زیست به عنوان یک حوزه پژوهشی در حال رشد شناخته می شود که با توجه به شدت گرفتن بحران تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی اهمیت بیشتری یافته است. این همگرایی با هدف استفاده از توان پردازشی هوش مصنوعی برای مقابله با چالش های زیست محیطی و بهبود شیوه های پایداری در بخش های مختلف صورت می گیرد. به کارگیری هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست صرفاً یک پیشرفت فناورانه نیست، بلکه یک ضرورت برای افزایش کارایی اقدامات پایداری محسوب می شود.

هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست نقش های متعددی از جمله پایش اکوسیستم ها و حفاظت از گونه های در معرض خطر گرفته تا مدیریت بهینه منابع طبیعی ایفا می کند، پژوهش ایزابل و وسترلاند (۲۰۲۲) مروری جامع بر کاربردهای هوش مصنوعی در حفاظت از حیات وحش، اقیانوس ها و اراضی ارائه می دهد. یافته های آن ها نشان می دهد که این فناوری می تواند استراتژی های حفاظتی را متحول کند و ابزارهایی نوآورانه برای ردیابی تجارت غیرقانونی حیات وحش، پیش بینی الگوهای رفتاری حیوانات و محافظت از گونه های در معرض انقراض فراهم آورد. چارچوب مفهومی آن ها نشان می دهد که چگونه هوش مصنوعی می تواند به چالش بزرگ کاهش تنوع زیستی بپردازد؛ چالشی که پیامدهای عمیقی برای امنیت غذایی جهانی، طبیعت و جامعه انسانی دارد و بر نیاز فوری به مداخله هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست تأکید می کند (Isabelle & Westerlund, 2022).

علاوه بر این، پژوهش راتلا و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی نقش هوش مصنوعی در پایش محیط زیست و اقدامات حفاظتی پرداخته و مزایای این فناوری را در حوزه هایی مانند کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، بهینه سازی کشاورزی، سلامت اقیانوس ها، مدیریت منابع آبی، پیش بینی وضعیت آب و هوا و تاب آوری در برابر بلایای طبیعی ارزیابی کرده است. تحلیل کیفی آن ها نشان می دهد که یک شکاف پژوهشی مهم در زمینه کاربردهای هوش مصنوعی و سیستم های پشتیبانی تصمیم گیری در پایداری محیط زیست وجود دارد. آن ها با پیشنهاد یک رویکرد "پایداری زیست محیطی از طریق هوش مصنوعی" بر ضرورت توسعه سیستم های هوش مصنوعی شفاف، مسئولانه و انسان محور تأکید می کنند. با این حال، محدودیت اصلی پژوهش آن ها تمرکز صرف بر پایداری محیط زیستی بدون در نظر گرفتن سیاست های جهانی در این زمینه است (Rautela et al., 2020).

چاودھاری (۲۰۲۳) دیدگاه گسترده تری را مطرح کرده و نقش هوش مصنوعی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs) سازمان ملل را بررسی می کند، به ویژه در زمینه پایداری محیط زیست. این پژوهش کاربرد هوش مصنوعی را در بخش های انرژی، آب، تنوع زیستی و حمل و نقل مورد بررسی قرار داده و نشان می دهد که هوش مصنوعی می تواند با اولویت بندی نیازهای انسانی و ترویج محصولات و روش های پایدار در حل بحران های جهانی، مانند تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی، نقش کلیدی ایفا کند. این یافته ها با تعریف گسترده پایداری همخوانی دارد که تأکید می کند نیازهای کنونی باید بدون به خطر انداختن توانایی نسل های آینده در برآورده کردن نیازهای خود تأمین شوند (Chaudhary, 2023).

بررسی این مطالعات نشان می دهد که میان محققان یک اجماع کلی درباره پتانسیل تحول آفرین هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست وجود دارد. ایزابل و وسترلاند (۲۰۲۲) یک طبقه بندی از فرصت های هوش مصنوعی در حفاظت از طبیعت ارائه داده اند که یک چارچوب ساختاریافته برای درک این فناوری فراهم می کند (Isabelle & Westerlund, 2022). راتلا و همکاران (۲۰۲۰) بر ضرورت استفاده پایدار از هوش مصنوعی تأکید کرده و لزوم ادغام پایداری محیط زیستی در توسعه این فناوری را مطرح می کنند (Rautela et al., 2020). چاودھاری (۲۰۲۳) نیز هوش مصنوعی را به عنوان یک ابزار کلیدی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار معرفی کرده است (Chaudhary, 2023).

با این حال، همسو شدن هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست بدون چالش نیست. توسعه و پیاده سازی این فناوری باید با ملاحظات اخلاقی، شفافیت و رویکرد انسان محور هدایت شود. موفقیت هوش مصنوعی در این حوزه به همکاری میان رشته ای بین فناوران، بوم شناسان، سیاست گذاران و جوامع محلی وابسته است. این همکاری ضروری است تا اطمینان حاصل شود که فناوری های هوش مصنوعی به گونه ای توسعه و اجرا می شوند که تعادل اکولوژیکی را حفظ کرده و رفاه تمامی گونه ها را تضمین کنند.

در مجموع، مطالعات نشان می‌دهند که هوش مصنوعی پتانسیل تحول‌آفرینی در حفاظت از محیط‌زیست دارد، اما چالش‌هایی همچون ملاحظات اخلاقی، شفافیت و تعامل میان‌رشته‌ای باید در توسعه آن مدنظر قرار گیرد. موفقیت این فناوری مستلزم همکاری بین متخصصان فناوری، بوم‌شناسان، سیاست‌گذاران و جوامع محلی است تا تعادل اکولوژیکی حفظ شده و اقدامات حفاظتی مؤثرتر شوند. هوش مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی و ترویج روش‌های پایدار ایفا کند، اما برای تحقق این هدف، باید ابعاد اجتماعی، فنی و اخلاقی آن نیز مورد توجه قرار گیرد.

### نقش هوش مصنوعی در روش‌های پایدار زیست‌محیطی

همسو شدن هوش مصنوعی (AI) در شیوه‌های پایدار زیست‌محیطی تغییری مهم در نحوه مدیریت و کاهش اثرات زیست‌محیطی ایجاد کرده است. این فناوری به عنوان یک عامل نوآوری و ابزار بهینه‌سازی منابع، کاهش ضایعات و صرفه‌جویی در انرژی شناخته می‌شود و مسیر جدیدی را برای پایداری ترسیم می‌کند.

هوش مصنوعی قادر است با بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش ردپای کربنی و افزایش بهره‌وری انرژی در پایداری محیط‌زیست نقش کلیدی ایفا کند. کانکل و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم AI بر محیط‌زیست پرداخته‌اند. آن‌ها تأکید دارند که مشارکت ذینفعان در طراحی سیستم‌های هوش مصنوعی سازگار با محیط‌زیست ضروری است (Kunkel et al., 2023).

در حوزه مدیریت سبز، ایوبی، طبّا و الخریم (۲۰۲۳) نشان داده‌اند که AI با اتوماسیون وظایف، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و پیش‌بینی تقاضا بهره‌وری سازمانی را افزایش داده و اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. آن‌ها بر چالش‌هایی مانند حفظ حریم خصوصی داده‌ها و مقیاس‌پذیری سیستم‌ها تأکید کرده و خواستار توسعه هوش مصنوعی مسئولانه هستند (Ayoubi, Tabaa, and El Kharrim., 2023).

مدیریت پسماند یکی از بخش‌هایی است که می‌تواند به طور چشمگیری از AI بهره‌برد. شارما و وید (۲۰۲۱) نقش الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در تفکیک، پردازش و بازیافت پسماند بررسی کرده‌اند که می‌تواند باعث کاهش انتشار کربن و استفاده بهینه از منابع شود. این فناوری با بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری زباله و پیش‌بینی الگوهای تولید پسماند به ایجاد محیط‌های پاک‌تر کمک می‌کند (Sharma and Vaid., 2021).

مطالعات فوق نشان می‌دهند که هوش مصنوعی یک ابزار کلیدی برای توسعه پایدار است. کانکل و همکاران (۲۰۲۳) بر مشارکت ذینفعان در شکل‌دهی به فناوری‌های AI تأکید دارند (Kunkel et al., 2023)، درحالی‌که ایوبی و همکاران (۲۰۲۳) بر ارتباط AI با مدیریت کارآمدتر تأکید کرده‌اند. همچنین، شارما و وید (۲۰۲۱) نقش AI را در بهبود مدیریت پسماند برجسته کرده‌اند.

با وجود این مزایا، همسویی AI در استراتژی‌های زیست‌محیطی باید با ملاحظات اخلاقی، حفظ حریم خصوصی و مقیاس‌پذیری سیستم‌ها همراه باشد (Sharma and Vaid., 2021). آجالا و همکاران (۲۰۲۴) بیان کرده‌اند که تعامل ذینفعان در این فرایند، برای همسویی فناوری با اهداف پایداری ضروری است (Ajala et al., 2024).

### تکامل تاریخی هوش مصنوعی در حفاظت از محیط‌زیست

تاریخچه هوش مصنوعی در حفاظت از محیط‌زیست نشان‌دهنده تأثیر شگرف فناوری در مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی است. این مسیر با نوآوری‌های مهمی همراه بوده و نشان می‌دهد که AI می‌تواند به بهبود سلامت محیط‌زیست، پیشگیری از بلایای طبیعی و مدیریت آلودگی کمک کند.

در مراحل اولیه، هوش مصنوعی در پایش و تحلیل داده‌ها برای تدوین راهبردهای مدیریت زیست‌محیطی به کار گرفته شد. وو (۲۰۲۳) تأکید دارد که AI از طریق تحلیل داده‌های کلان و الگوریتم‌های هوشمند، قابلیت پایش در زمان واقعی را فراهم می‌کند. با این حال، وی هشدار می‌دهد که وابستگی بیش از حد به هوش مصنوعی می‌تواند به برداشتهای نادرست از داده‌های پیچیده منجر شود و نیاز به قضاوت انسانی همچنان ضروری است (Wu, 2023).

یک نمونه مهم از تکامل هوش مصنوعی در حفاظت محیط زیست، استفاده از آن در پیشگیری از آتش سوزی جنگل ها است. پتوررو و همکاران (۲۰۲۳) ذیک سیستم پایش مبتنی بر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (IoT) طراحی کرده اند که قادر است تغییرات جزئی در شرایط محیطی را شناسایی و واکنش سریع به آتش سوزی ها را ممکن سازد (Pettorru et al., 2023).

در مدیریت آلودگی صنعتی نیز، سینگ و کائور (۲۰۲۳) از مدل های شبکه عصبی مبتنی بر AI برای کنترل آلاینده های صنعتی استفاده کرده اند که موجب کاهش رد پای زیست محیطی فرآیندهای تولیدی می شود. این مطالعات نشان می دهند که AI از تحلیل داده ها و پایش محیطی به ابزاری برای پیشگیری و مدیریت آلودگی های زیست محیطی تکامل یافته است. پتوررو و همکاران (۲۰۲۳) به نقش آن در پیشگیری از بلایای طبیعی پرداخته اند و سینگ و کائور (۲۰۲۳) کارایی آن را در مدیریت آلودگی صنعتی نشان داده اند (Singh & Kaur, 2023) و (Pettorru et al., 2023).

این روند نشان می دهد که ادغام دانش انسانی با قابلیت های هوش مصنوعی برای توسعه راهکارهای مؤثر زیست محیطی ضروری است. با پیشرفت های مستمر در AI، انتظار می رود این فناوری نه تنها به حل چالش های فعلی کمک کند، بلکه راهکارهای نوینی برای یک آینده پایدار ارائه دهد. هدف این پژوهش مروری بررسی اثرات همسویی هوش مصنوعی (AI) و حفاظت از محیط زیست است تا مشخص شود چگونه فناوری های هوش مصنوعی می توانند برای تقویت تلاش های پایداری، کاهش چالش های زیست محیطی و کمک به اهداف گسترده تر حفاظت از محیط زیست مورد استفاده قرار گیرند. این پژوهش به دنبال درک ظرفیت تحول آفرین هوش مصنوعی در ایجاد راه حل های نوآورانه برای حفظ تنوع زیستی، بهینه سازی مدیریت منابع و مقابله با چالش های فوری ناشی از تغییرات اقلیمی و تخریب محیط زیست است.

### اصول اساسی هوش مصنوعی در پایش و حفاظت از محیط زیست

اصول اساسی هوش مصنوعی (AI) در پایش و حفاظت از محیط زیست نقش مهمی در درک نحوه استفاده از فناوری برای مقابله با چالش های فوری تخریب اکولوژیکی و از بین رفتن تنوع زیستی دارند. این اصول که مبتنی بر یکپارچه سازی هوش مصنوعی با داده های اکولوژیکی و راهبردهای حفاظتی هستند، مسیر بهره گیری از فناوری را برای ارتقای پایداری محیط زیست ارائه می دهند. نقش هوش مصنوعی در پایش و حفاظت از محیط زیست چندوجهی است و شامل جمع آوری داده ها، تحلیل آن ها و تولید بینش های عملی برای مدیریت اکوسیستم می شود. راوتلا و همکاران (۲۰۲۰) پتانسیل هوش مصنوعی را در تلاش های پایداری محیط زیست به طور قابل توجهی برجسته می کنند. تحقیقات آن ها نشان می دهد که هوش مصنوعی می تواند به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، بهبود شیوه های کشاورزی، ارتقای سلامت اقیانوس ها، بهینه سازی مدیریت منابع آبی و تقویت پیش بینی وضعیت هوا و مقاومت در برابر بلایا کمک کند. این مطالعه بر اهمیت توسعه سیستم های هوش مصنوعی شفاف، مسئولانه و انسان محور برای ارتقای پایداری محیط زیست تأکید دارد. با این حال، این مطالعه همچنین به خلأ تحقیقاتی در زمینه استفاده از هوش مصنوعی برای مدل های پشتیبانی تصمیم گیری و بهینه سازی اشاره می کند که می تواند زمینه های برای پژوهش های آینده باشد (Rautela et al., 2020).

کاربرد هوش مصنوعی در احیای منابع آبی اکولوژیکی نمونه ای از ظرفیت این فناوری در حمایت از بازسازی محیط زیستی است. شو، هسو و مونته نگر-مارین (۲۰۲۳) چارچوبی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تصمیم گیری در راستای بهبود احیای منابع آبی اکولوژیکی پیشنهاد می دهند. چارچوب آن ها از ابزارهای چندمنظوره انرژی همراه با هوش مصنوعی برای بهینه سازی تحلیل کیفیت آب و مدیریت انرژی استفاده می کند و نشان می دهد که چگونه هوش مصنوعی می تواند به احیای پایدار سیستم های طبیعی کمک کند. این رویکرد نه تنها چالش های ناشی از تغییرات مداوم در محیط های طبیعی و درک محدود انسانی از این سیستم ها را برطرف می کند، بلکه نشان دهنده کارایی هوش مصنوعی در پر کردن شکاف های دانش مرتبط با تلاش های پیشین احیای محیط زیستی است (Xu, Hsu & Montenegro-Marín, 2023).

علاوه بر این، مطالعه مارتین-فورس و همکاران (۲۰۲۱) به کاربرد راهبردهای طراحی مناطق حفاظت شده برای تعریف اولویت های پایش اکوسیستم می پردازد. با استفاده از هوش مصنوعی برای تحلیل شاخص های تنوع زیستی و اولویت بندی سایت های پایش، این پژوهش نشان می دهد که چگونه هوش مصنوعی می تواند حداکثر هم پوشانی اکولوژیکی را فراهم کند و از نمایندگی کافی در تلاش های پایش

محیط زیستی اطمینان حاصل کند. این استراتژی اولویت‌بندی، مبتنی بر اصول هم‌پوشانی و نمایندگی، از هوش مصنوعی برای اطلاع‌رسانی تصمیمات حفاظتی بهره می‌گیرد و نقش این فناوری را در تسهیل مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر محیط زیستی برجسته می‌کند (Martín-Forés et al., 2021).

این مطالعات به طور کلی اصول اساسی هوش مصنوعی در پایش و حفاظت از محیط زیست را نشان می‌دهند: یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی با داده‌های اکولوژیکی برای ارتقای تصمیم‌گیری، کاربرد هوش مصنوعی در بهینه‌سازی راهبردهای حفاظتی و اهمیت توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی شفاف، مسئولانه و هماهنگ با نیازهای انسانی و اکولوژیکی.

### بررسی نظام کاربردهای هوش مصنوعی در اقدامات پایدار

بررسی نظام‌مند کاربردهای هوش مصنوعی در اقدامات پایدار چشم‌اندازی تحول‌آفرین را آشکار می‌سازد که در آن فناوری و پایداری برای مقابله با چالش‌های جهانی تلاقی می‌کنند. این بررسی حوزه‌هایی مانند محاسبات پایدار، تصمیم‌گیری مهندسی و مدیریت زنجیره تأمین را شامل می‌شود و نقش محوری هوش مصنوعی را در پیشبرد شیوه‌های پایدار در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد.

الحشلمون، البرغوثی و تمیمی (۲۰۲۳) یک مرور جامع از تأثیر هوش مصنوعی بر محاسبات پایدار ارائه می‌دهند و پتانسیل آن را در کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های محاسباتی برجسته می‌کنند. پژوهش آن‌ها بر کاربردهای هوش مصنوعی در ایجاد مراکز داده کم‌مصرف، شبکه‌های هوشمند و کشاورزی دقیق تمرکز دارد و نشان می‌دهد که چگونه هوش مصنوعی می‌تواند شیوه‌های پایداری را در حوزه دیجیتال امکان‌پذیر کند. با این حال، پذیرش هوش مصنوعی در محاسبات پایدار بدون چالش نیست، از جمله نگرانی‌های اخلاقی، مسائل حریم خصوصی و احتمال از دست رفتن مشاغل. برای مدیریت این چالش‌ها، نویسندگان یک چارچوب حکمرانی برای کاربردهای هوش مصنوعی اخلاقی و مسئولانه در محاسبات پایدار پیشنهاد می‌کنند و بر نیاز به رویکردی متعادل که هم پیشرفت‌های فناوری و هم پیامدهای اجتماعی را در نظر بگیرد، تأکید دارند (Al Hashlamoun, Al Barghuthi & Tamimi, 2023).

در زمینه مهندسی پایدار، وانکده و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی نقش هوش مصنوعی در تسهیل تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت می‌پردازند. مرور آن‌ها ظهور هوش مصنوعی را به عنوان یک عامل کلیدی برای پذیرش شیوه‌های مهندسی پایدار، به ویژه در محیط‌های نامطمئن، برجسته می‌کند. با تحلیل روندهای پژوهشی از طریق مطالعات کتاب‌سنجی و تحلیل شبکه‌ای، نویسندگان موضوعات تحقیقاتی نوظهور را شناسایی کرده و مسیرهای پژوهشی آینده را پیشنهاد می‌دهند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند فرآیندهای تصمیم‌گیری در مهندسی پایدار را بهبود بخشد و دیدگاه‌های جدیدی را درباره یکپارچه‌سازی اقدامات پایدار در حوزه مهندسی ارائه دهد (Wankhede et al., 2023).

پال (۲۰۲۳) به بررسی ادغام هوش مصنوعی در مدیریت پایدار زنجیره تأمین (SSCM) می‌پردازد و بر پتانسیل آن برای افزایش شفافیت و پایداری در عملیات زنجیره تأمین تأکید دارد. این مطالعه کاربردهای هوش مصنوعی را در پیش‌بینی تقاضا، کاهش انتشار کربن، ردیابی لحظه‌ای و ارزیابی تأمین‌کنندگان ارزیابی می‌کند و نشان می‌دهد که هوش مصنوعی چگونه می‌تواند شیوه‌های اخلاقی و پایدار را ترویج دهد. علی‌رغم چالش‌های مرتبط با پذیرش هوش مصنوعی، مانند هزینه‌های بالا و نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی داده‌ها، پژوهش پال قدرت تحول‌آفرین هوش مصنوعی را در ایجاد زنجیره‌های تأمین پایدارتر برجسته می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را برای فعالان صنعت و سیاست‌گذاران ارائه می‌دهد (Pal, 2023).

این مطالعات به طور کلی بر سهم قابل توجه هوش مصنوعی در اقدامات پایدار تأکید دارند، از کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های محاسباتی گرفته تا بهبود تصمیم‌گیری در مهندسی و بهینه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین. در مجموع، این بررسی نشان می‌دهد که هوش مصنوعی در خط مقدم پیشبرد شیوه‌های پایدار در بخش‌های مختلف قرار دارد. با بهره‌گیری از قابلیت‌های هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده و خودکارسازی، ذینفعان می‌توانند راهبردهای مؤثرتری را برای ارتقای پایداری توسعه دهند. با این حال، اجرای موفقیت‌آمیز هوش مصنوعی در اقدامات پایدار مستلزم در نظر گرفتن ابعاد اخلاقی، اجتماعی و فنی است تا اطمینان حاصل شود که فناوری‌های هوش مصنوعی به گونه‌ای توسعه و اجرا می‌شوند که از اهداف توسعه پایدار حمایت کنند.

## شیوه‌های هوش مصنوعی در مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی و تلاش‌های حفاظتی

شیوه‌های به‌کارگیری هوش مصنوعی (AI) در مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی و اقدامات حفاظتی، حوزه‌ای رو به رشد از تحقیقات را نشان می‌دهد که منعکس‌کننده‌ی اتکای فزاینده بر فناوری برای کاهش خطرات زیست‌محیطی و تقویت تاب‌آوری اکوسیستم‌ها است. این بررسی به بررسی توانایی‌های هوش مصنوعی در مدیریت ریسک بلایا و سلامت اضطراری، اعتمادپذیری هوش مصنوعی در علوم زیست‌محیطی و ادغام راهکارهای مبتنی بر طبیعت در استراتژی‌های مدیریت ریسک زیست‌محیطی می‌پردازد.

باری و همکاران (۲۰۲۳) نقش بالقوه‌ی هوش مصنوعی را در مدیریت ریسک بلایا و سلامت اضطراری بررسی کرده‌اند و بر اهمیت ارزیابی‌های به‌موقع و مناسب ریسک سلامت زیست‌محیطی تأکید دارند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را به مقامات بهداشتی در مورد خطرات زیست‌محیطی و مدیریت اضطراری پزشکی ارائه دهد. این مطالعه توصیه می‌کند که هوش مصنوعی به‌عنوان ستون اصلی انقلاب صنعتی چهارم پذیرفته شود، چراکه این فناوری می‌تواند نقش محوری در کاهش اثرات فاجعه‌بار بلایای طبیعی ایفا کند. چنین دیدگاهی بر پتانسیل دگرگون‌کننده‌ی هوش مصنوعی در بهبود آمادگی و واکنش به بلایا تأکید دارد و در نتیجه، می‌تواند به سیستم‌های بهداشتی مقاوم‌تر کمک کند (Bari et al., 2023).

در حوزه‌ی علوم زیست‌محیطی، بوستروم و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی چالش‌های مرتبط با اعتماد به هوش مصنوعی پرداخته‌اند و یک برنامه‌ی تحقیقاتی برای بررسی اعتماد و قابلیت اعتماد ارائه داده‌اند. آن‌ها بر شکاف‌های موجود در معیارهای سنجش اعتمادپذیری هوش مصنوعی تأکید کرده و پیشنهاد داده‌اند که کاربران و ذینفعان در توسعه‌ی مشترک سیستم‌های هوش مصنوعی مشارکت داشته باشند. این رویکرد می‌تواند استانداردهای عملکردی هوش مصنوعی را با مفاهیم پویای اعتماد هماهنگ کند. مطالعه‌ی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی نیاز حیاتی به توسعه‌ی سیستم‌های هوش مصنوعی شفاف و پاسخگو است که بتوانند اعتماد کاربران و ذینفعان را جلب کنند و در نتیجه، کاربرد مؤثر هوش مصنوعی در مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی را تسهیل نمایند (Bostrom et al., 2023).

آکاستلو، بلان و برون (۲۰۱۹) یک چارچوب مفهومی برای ادغام راهکارهای مبتنی بر طبیعت در استراتژی‌های مدیریت ریسک زیست‌محیطی ارائه داده‌اند و تمرکز خود را بر مناطق در معرض خطرات طبیعی معطوف کرده‌اند. این چارچوب بر اولویت‌بندی تلاش‌های حفاظتی تأکید دارد و نقش جنگل‌های حفاظتی و سایر راهکارهای طبیعی را در استراتژی‌های مدیریت ریسک برجسته می‌کند. با در نظر گرفتن عرضه و تقاضای خدمات اکوسیستمی، این چارچوب تلاش می‌کند تا استراتژی‌هایی را توسعه دهد که مدیریت جنگل‌های حفاظتی را به‌عنوان بخشی از راهکارهای منتخب بگنجانند. این رویکرد نوآورانه نشان می‌دهد که هوش مصنوعی چگونه می‌تواند مفهوم تاب‌آوری را از طریق استراتژی‌های ترکیبی "خاکستری-سبز" به کار گیرد و در نتیجه، یکپارچگی راهکارهای مبتنی بر طبیعت را در مدیریت ریسک زیست‌محیطی افزایش دهد (Accastello, Blanc & Brun., 2019).

## پیشرفت‌های کلیدی فناوری در هوش مصنوعی برای پایداری زیست‌محیطی

تلاقی هوش مصنوعی و پایداری زیست‌محیطی، عصری مهم از پیشرفت‌های فناوری را رقم می‌زند که راه‌حل‌های نوآورانه‌ای برای برخی از چالش‌های زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. این بررسی، نقش هوش مصنوعی در نوآوری سبز، ادغام پیشرفت‌های فناوری در بخش سوخت‌های فسیلی برای دستیابی به پایداری زیست‌محیطی، و سهم اتوماسیون فرآیندهای رباتیک (RPA) در بانکداری پایدار را بررسی می‌کند.

وانگ، سان و لی (۲۰۲۴) تأثیر هوش مصنوعی را بر نوآوری سبز بررسی کرده‌اند و از یک مجموعه داده گسترده که ۵۱ کشور را در بازه‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ شامل می‌شود، استفاده کرده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت و معنادار میان هوش مصنوعی و نوآوری سبز است، که نقش کلیدی این فناوری را در پیشبرد نوآوری‌های زیست‌محیطی برجسته می‌کند. پژوهش آن‌ها همچنین نشان می‌دهد که این تأثیر در اقتصادهای توسعه‌یافته قوی‌تر از کشورهای در حال توسعه است، که پیچیدگی‌های پذیرش فناوری در بسترهای اقتصادی متفاوت را آشکار می‌سازد. علاوه بر این، مطالعه‌ی مذکور مسیرهای انتقالی که از طریق آن‌ها هوش مصنوعی نوآوری سبز را تسهیل می‌کند، از جمله ارتقای صنعتی و توسعه‌ی سرمایه‌ی انسانی را شناسایی کرده است (Wang, Sun & Li 2024).

لو و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر فناوری داده‌های کلان را بر شاخص رشد سبز شرکت‌های فهرست‌شده در بازار نزدیک بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از فناوری داده‌های کلان، بهبود معناداری را در رشد پایدار ایجاد کرده و هزینه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، نیروی محرکه‌ی رشد سبز محسوب می‌شود. همچنین، مطالعه‌ی مذکور تأثیر منفی مصرف سوخت‌های فسیلی بر شاخص رشد پایدار را نشان داده است، که بیانگر نقش مهم داده‌های کلان در بهبود پایداری زیست‌محیطی است (Lu et al., 2023). جوزف (۲۰۲۳) عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی راهکارهای RPA در بانکداری پایدار را بررسی کرده است و مطالعه‌ی موردی یک بانک برجسته‌ی فرانسوی را ارائه داده است. این پژوهش نشان می‌دهد که هوش مصنوعی شناختی، اهداف محیطی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) و چالش‌های پیاده‌سازی RPA، از جمله عوامل کلیدی برای اجرای پایدار این فناوری هستند. این تحقیق بر چالش دوگانه‌ای که صنعت بانکداری در بهینه‌سازی کارایی عملیاتی در عین رعایت مسئولیت زیست‌محیطی با آن مواجه است، تأکید دارد (Joseph, 2023). مجموع این مطالعات، چشم‌انداز روشنی از پتانسیل هوش مصنوعی در مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی را ارائه می‌دهد. از کاهش خطرات بلایای طبیعی و بهبود اعتمادپذیری سیستم‌های زیست‌محیطی گرفته تا تسهیل نوآوری سبز و بهینه‌سازی عملیات بانکی پایدار، هوش مصنوعی به‌عنوان یک نیروی محرکه‌ی تحول‌ساز در مدیریت محیط زیست و توسعه‌ی پایدار شناخته می‌شود. با این حال، موفقیت در به‌کارگیری هوش مصنوعی در این حوزه‌ها مستلزم توجه دقیق به ابعاد اخلاقی، اجتماعی و فنی است تا اطمینان حاصل شود که این فناوری‌ها در راستای اهداف توسعه‌ی پایدار، به کار گرفته می‌شوند.

### نوآوری‌های پیشرفته در هوش مصنوعی برای شیوه‌های سبز

حوزه هوش مصنوعی (AI) به سرعت در حال تکامل است و نوآوری‌های پیشرفته به طور مداوم برای حل چالش‌های محیط زیستی و ترویج شیوه‌های سبز ظهور می‌کنند. این بررسی به پیشرفت‌های مهم در هوش مصنوعی می‌پردازد که راه را برای آینده‌ای پایدارتر هموار می‌کنند و بر تأثیرات زیست‌محیطی هوش مصنوعی، ادغام آن در سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی، و کاربرد آن در کنترل بیماری‌های گیاهی تمرکز دارد.

ریزوی و همکاران (۲۰۲۳) تجزیه و تحلیل جامع از پیامدهای زیست‌محیطی چرخه عمر هوش مصنوعی ارائه می‌دهند و انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) قابل توجهی را که با محاسبات هوش مصنوعی همراه است، برجسته می‌کنند. این مطالعه تأثیر هوش مصنوعی را از جستجوی معماری عصبی تا پردازش در میدان در میلیاردها دستگاه حاشیه‌ای بررسی می‌کند و بر لزوم داشتن یک الگوی هوش مصنوعی سبز و امن تأکید دارد. برای کاهش این تأثیرات زیست‌محیطی، نویسندگان یک چارچوب طراحی سیستم هوش مصنوعی مبتنی بر دانش و سیستماتیک را پیشنهاد می‌دهند که از تجربیات طراحی گذشته برای محدود کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای در توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی آینده استفاده می‌کند. این رویکرد نوآورانه اهمیت طراحی سیستم هوش مصنوعی با توجه به محیط زیست را نشان می‌دهد و مسیری برای کاهش ردپای کربن تکنولوژی‌های هوش مصنوعی ارائه می‌کند (Rizvee et al., 2023).

گوپتا و همکاران (۲۰۲۳) نقش هوش مصنوعی و دیگر تکنولوژی‌های پیشرفته را در بهبود مدیریت سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی بررسی می‌کنند. پژوهش آن‌ها شیوه‌های فعلی مدیریت اطلاعات و ضرورت وجود استانداردهای جهانی در استفاده از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین (ML)، یادگیری عمیق (DL) و محاسبات ابری/حاشیه‌ای را تحلیل می‌کند. با برجسته کردن نیاز به خطوط تحقیقاتی جدید و ارائه یک نمای کلی از توسعه این حوزه، این مطالعه به درک نحوه ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های سازمانی برای ارتقاء کارایی و پایداری کمک می‌کند. این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که هوش مصنوعی و تکنولوژی‌های مرتبط می‌توانند سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی را متحول کنند و پیشرفت‌هایی در شیوه‌های تجاری پایدار ایجاد نمایند (Gupta et al., 2023).

رانی و همکاران (۲۰۲۳) کاربرد هوش مصنوعی در مبارزه با بیماری‌های گیاهی را بررسی می‌کنند که نگرانی مهمی در زمینه امنیت غذایی جهانی و پایداری کشاورزی است. این مطالعه به ادغام اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها در انقلاب مدیریت بیماری‌های گیاهی از طریق نظارت و تشخیص بهبود یافته می‌پردازد. با تسهیل اشتراک‌گذاری و تحلیل داده‌های زمان واقعی، محاسبات ابری به کشاورزان این امکان را می‌دهد که با کارایی بی‌سابقه‌ای به بیماری‌های گیاهی رسیدگی کنند و شیوه‌های کشاورزی پایدار را ترویج دهند. این پژوهش پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در کشاورزی را نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که چگونه نوآوری‌های

تکنولوژیکی می‌توانند از زنجیره تأمین غذایی جهانی پشتیبانی کرده و در عین حال از شیوه‌های پایدار و دوستدار محیط زیست پیروی کنند (Rani et al., 2023).

این مطالعات به طور کلی نوآوری‌های پیشرفته در هوش مصنوعی را برجسته می‌کنند که به شیوه‌های سبز در زمینه‌های مختلف کمک می‌کنند. ریزوی و همکاران (۲۰۲۳) بر لزوم طراحی سیستم هوش مصنوعی با توجه به محیط زیست تأکید می‌کنند، گوپتا و همکاران (۲۰۲۳) نقش هوش مصنوعی در سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی را بررسی می‌کنند (Rizvee et al., 2023) همچنین رانی و همکاران (۲۰۲۳) کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی پایدار را نشان می‌دهند. این آثار به طور مشترک تأثیر تحول‌آفرین هوش مصنوعی بر پایداری زیست‌محیطی را تأکید می‌کنند و پتانسیل پیشرفت‌های تکنولوژیکی را برای مقابله مؤثر با چالش‌های زیست‌محیطی نشان می‌دهند (Rani et al., 2023).

با تجزیه و تحلیل این دیدگاه‌ها، مشخص می‌شود که هوش مصنوعی در خط مقدم پیشبرد شیوه‌های پایدار در بخش‌های مختلف قرار دارد. با استفاده از قابلیت‌های هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی و اتوماسیون، ذینفعان می‌توانند استراتژی‌های مؤثرتری برای ترویج پایداری توسعه دهند. با این حال، اجرای موفقیت‌آمیز هوش مصنوعی در شیوه‌های سبز نیازمند توجه دقیق به ابعاد اخلاقی، اجتماعی و فنی است، به‌طوری‌که اطمینان حاصل شود تکنولوژی‌های هوش مصنوعی به روشی توسعه و به کار گرفته شوند که از اهداف توسعه پایدار پشتیبانی کند. بررسی نوآوری‌های پیشرفته در هوش مصنوعی برای شیوه‌های سبز، یک مسیر امیدوارکننده برای استفاده از تکنولوژی در حل چالش‌های زیست‌محیطی و ترویج پایداری را نشان می‌دهد. همانطور که هوش مصنوعی به تکامل خود ادامه می‌دهد، ادغام آن در شیوه‌های سبز فرصت‌های جدیدی برای ارتقای پایداری زیست‌محیطی، کارایی اقتصادی و رفاه اجتماعی ایجاد می‌کند و گامی مهم به سوی دستیابی به آینده‌ای پایدارتر و مقاوم‌تر به شمار می‌رود.

### روندهای آینده در هوش مصنوعی برای حفظ محیط زیست

روندهای آینده در هوش مصنوعی (AI) برای حفظ محیط زیست به طور فزاینده‌ای به نقطه کانونی تحقیقات بین رشته‌ای تبدیل شده است که هدف آن استفاده از پتانسیل هوش مصنوعی برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی فوری است. این بررسی به کاربرد پایدار هوش مصنوعی در اقتصاد و مدیریت محیط زیست، نقش آن در کشفیات علمی برای آینده‌ای پایدار و کاهش آلودگی فلزات سنگین می‌پردازد و پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در تقویت تاب‌آوری محیط زیست و پیشبرد شیوه‌های پایدار را برجسته می‌کند. لوبووا، بوگوویز و الکسیف (۲۰۲۲) تجزیه و تحلیل جامعی از نقش هوش مصنوعی پایدار در اقتصاد و مدیریت محیط زیست ارائه می‌دهند، به‌ویژه در زمینه دوران پس از کووید-۱۹؛ مطالعه آن‌ها بر اهمیت حیاتی هوش مصنوعی در بررسی تأثیرات آن بر اقتصاد زیست‌محیطی تأکید می‌کند و بر لزوم استفاده از هوش مصنوعی به عنوان تکنولوژی هوشمند برای حفظ سیستم‌های اقتصادی پایدار و متعادل تأکید دارد. این تحقیق پتانسیل هوش مصنوعی را برای مقابله با تهدیدات محیطی فعلی بررسی کرده و نسبت به محدودیت‌های آن در پیشگیری از بحران‌های آینده هشدار می‌دهد. با پیشنهاد کاربرد وسیع‌تر هوش مصنوعی پایدار فراتر از نیازهای بهداشتی فوری، این مطالعه دیدگاه آینده‌نگرانه‌ای در استفاده از هوش مصنوعی برای تضمین پایداری بلندمدت محیط زیست ارائه می‌دهد (Lobova, Bogoviz and Alekseev, 2022).

### تأثیر جهانی‌شدن هوش مصنوعی بر سیاست‌های محیط‌زیستی

مطالعه داورجنی (۲۰۲۱) پیامدهای جهانی‌شدن هوش مصنوعی بر سیاست‌های محیط‌زیستی را به‌طور انتقادی بررسی کرده است. این تحقیق تأثیر دوگانه هوش مصنوعی را برجسته می‌کند: از یک سو، یادگیری ماشینی و رباتیک هوشمند می‌توانند دانش زیست‌محیطی و تلاش‌های حفاظتی را ارتقا دهند؛ از سوی دیگر، برخی فناوری‌های هوش مصنوعی می‌توانند دولت‌ها و شرکت‌ها را در سرکوب فعالیت‌های محیط‌زیستی توانمند سازند. داورجنی استدلال می‌کند که فناوری‌های هوش مصنوعی احتمالاً اشکال فن‌سالارانه، تدریجی و معتدل محیط‌زیست‌گرایی را تقویت کرده و ممکن است مقاومت‌های مردمی را، به‌ویژه در رژیم‌های استبدادی، تضعیف کنند. علاوه بر

این، جهانی شدن هوش مصنوعی احتمالاً مصرف زائد، استخراج منابع طبیعی و تولید زباله‌های الکترونیکی را تشدید کرده و چالش‌های قابل توجهی را برای پایداری محیط زیستی ایجاد خواهد کرد (Dauvergne, 2021).

### نقش هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری زنجیره تأمین و نوآوری سبز

هائو و دمیر (۲۰۲۳) عوامل محرک و موانع فناوریانه مؤثر بر پذیرش هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری زنجیره تأمین را با تمرکز بر ابعاد ESG بررسی کرده‌اند. این مطالعه عوامل محرک زیست‌محیطی مانند کاهش ضایعات محصول و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را شناسایی کرده و پتانسیل هوش مصنوعی در ارتقای پایداری را نشان می‌دهد. محرک‌های اجتماعی شامل افزایش امنیت و کیفیت محصولات و بهبود رفاه اجتماعی بوده و محرک‌های حاکمیتی شامل شیوه‌های چابک و ناب، کاهش هزینه‌ها و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار هستند. با این حال، موانع فناوریانه مانند نگرانی‌های امنیت و حریم خصوصی داده‌ها، ملاحظات اخلاقی هوش مصنوعی، و کیفیت پایین داده‌ها چالش‌هایی را برای پذیرش هوش مصنوعی در زنجیره تأمین ایجاد کرده‌اند که نشان‌دهنده نیاز به یک رویکرد متوازن در بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای توسعه پایدار است (Hao & Demir, 2023).

تأثیر هوش مصنوعی بر نوآوری سبز را از طریق یک تحلیل جامع در ۵۱ کشور بررسی کرده‌اند. این مطالعه رابطه مثبت و معناداری بین هوش مصنوعی و نوآوری سبز را شناسایی کرده و نقش حیاتی هوش مصنوعی را در تقویت نوآوری‌های زیست‌محیطی برجسته می‌کند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تأثیر هوش مصنوعی بر نوآوری سبز در کشورهای توسعه‌یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه شدیدتر است، که پیچیدگی‌های پذیرش فناوری و نیاز به سیاست‌هایی برای حمایت از ادغام هوش مصنوعی در شیوه‌های پایدار را نشان می‌دهد (Wang, Sun & Li, 2024).

این مطالعات تأثیر چندوجهی هوش مصنوعی بر حفاظت از محیط زیست را برجسته کرده و نشان می‌دهند که این فناوری در ارتقای ارزیابی و کاهش اثرات زیست‌محیطی، تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین، و نوآوری‌های سبز نقش مهمی ایفا می‌کند. بهره‌گیری از توانمندی‌های هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری، می‌تواند به توسعه راهکارهای مؤثرتر برای ارتقای پایداری محیط‌زیستی، بهره‌وری اقتصادی و رفاه اجتماعی کمک کند.

### مخاطرات امنیت سایبری در استراتژی‌های حفاظتی مبتنی بر هوش مصنوعی

ادغام هوش مصنوعی (AI) در استراتژی‌های حفاظت از محیط زیست، موضوع مهمی مانند ریسک‌های امنیت سایبری را در مرکز توجه قرار داده است. این بررسی به استراتژی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی، تقویت محیط عملیاتی هوش مصنوعی برای کاهش ریسک‌ها، و تدابیر امنیت سایبری مبتنی بر هوش مصنوعی برای حفاظت از داده‌های شاهد می‌پردازد. این تحلیل به رویکرد چندبعدی مورد نیاز برای مقابله با ریسک‌های امنیت سایبری در استراتژی‌های حفاظتی مبتنی بر هوش مصنوعی اشاره دارد. جین و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی استراتژی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی پرداخته‌اند و بر نقش هوش مصنوعی در حفاظت از جوامع، زیرساخت‌ها و کسب‌وکارها در برابر تأثیرات تغییرات اقلیمی تأکید کرده‌اند. این مطالعه قابلیت‌های هوش مصنوعی در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، شبیه‌سازی سناریوهای آینده اقلیمی و ارزیابی ریسک‌ها و فرصت‌ها را برجسته می‌کند. با این حال، چالش‌های اخلاقی و تعصبات احتمالی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه نیز مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق بر لزوم راه‌حل‌های هوش مصنوعی شفاف، عادلانه و منصفانه تأکید دارد و ضمن نشان دادن نقش کلیدی هوش مصنوعی در توسعه پایدار، به ریسک‌های امنیت سایبری که ممکن است این تلاش‌ها را به خطر بیندازد، هشدار می‌دهد (Jain et al., 2023).

دوگان (۲۰۲۳) به بررسی قابلیت تدابیر امنیت سایبری مبتنی بر هوش مصنوعی برای افزایش حفاظت از داده‌های شاهد در سیستم قضایی هند پرداخته است. این مطالعه به فناوری‌هایی مانند یادگیری ماشین، تحلیل داده‌ها، الگوریتم‌های رمزگذاری، شناسایی ناهنجاری‌ها و بیومتریک اشاره دارد و مزایای آن‌ها را در افزایش اعتماد در سیستم قضایی برجسته می‌کند. با این حال، چالش‌ها و نگرانی‌های مربوط به امنیت سایبری مبتنی بر هوش مصنوعی، از جمله ریسک‌های حریم خصوصی، موانع فنی و مالی و ملاحظات

اخلاقی نیز بررسی شده است. دوگان بر لزوم یک استراتژی جامع و برنامه تحقیقاتی مداوم برای توسعه چارچوب‌های نظارتی پیشرفته در سطح ملی و بین‌المللی تأکید می‌کند (Devgan, 2023).

با تلفیق این دیدگاه‌ها، مشخص می‌شود که پرداختن به ریسک‌های امنیت سایبری در بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای حفاظت از محیط زیست امری ضروری است. با اتخاذ رویکردی چندجانبه که شامل ملاحظات اخلاقی، شفافیت در فرآیندها و تدابیر امنیت سایبری قوی باشد، ذی‌نفعان می‌توانند از پتانسیل هوش مصنوعی برای پیشبرد استراتژی‌های حفاظتی بهره‌مند شوند و هم‌زمان ریسک‌های مرتبط را کاهش دهند. اجرای موفق هوش مصنوعی در حفاظت از محیط زیست نیازمند تلاشی هماهنگ برای توسعه و پیاده‌سازی راه‌حل‌های هوش مصنوعی است که نه تنها کارآمد بلکه امن و منصفانه نیز باشند تا آینده‌ای پایدار و مقاوم برای همه تضمین شود.

### روندها و پیشرفت‌ها در فناوری‌های هوش مصنوعی برای پایداری محیط زیستی

ادغام هوش مصنوعی در تلاش‌های پایداری محیط زیستی گامی مهم در حل چالش‌های زیست‌محیطی جهانی محسوب می‌شود. چن و همکاران (۲۰۲۳) یک بررسی جامع در مورد پایداری هوش مصنوعی ارائه داده‌اند که بر روندهای نوظهور در الگوریتم‌های یادگیری و چالش‌های تحقیقاتی تأکید دارد. این مطالعه بر رشد سریع هوش مصنوعی و هزینه‌های زیست‌محیطی آن اشاره دارد و نگرانی‌هایی را درباره توسعه پایدار این فناوری مطرح می‌کند. نویسندگان بر نیاز به تکنیک‌های هوش مصنوعی نسل بعدی که از نظر زیست‌محیطی مسئولانه و از نظر اجتماعی عادلانه باشند، تأکید کرده و چالش‌ها و مسیرهای تحقیقاتی احتمالی را برای توسعه هوش مصنوعی پایدار پیشنهاد داده‌اند (Chen et al., 2023).

چادھاری (۲۰۲۳) به بررسی نقش هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل (SDGs)، به‌ویژه در زمینه پایداری محیط زیستی پرداخته است. این مطالعه تأثیر هوش مصنوعی در مسائل زیست‌محیطی جهانی از جمله انرژی، آب، تنوع زیستی و حمل‌ونقل را مورد بررسی قرار داده است. چادھاری بر اهمیت اولویت‌بندی منافع انسانی و ترویج استفاده از محصولات پایدار و دوستدار محیط زیست برای کاهش تخریب زیست‌محیطی و تغییرات اقلیمی تأکید دارد (Chaudhary, 2023).

وو و همکاران (۲۰۲۱) به تأثیرات زیست‌محیطی روندهای رشد فزاینده هوش مصنوعی پرداخته‌اند و مصرف انرژی، داده‌ها، الگوریتم‌ها و سخت‌افزارهای سیستم را بررسی کرده‌اند. این مقاله اثرات کربنی ناشی از محاسبات هوش مصنوعی را مشخص کرده و راه‌حلی برای طراحی سخت‌افزار-نرم‌افزار و بهینه‌سازی در مقیاس بزرگ جهت کاهش ردپای کربنی هوش مصنوعی ارائه داده است. نویسندگان بر ضرورت اتخاذ شیوه‌های پایدار در توسعه هوش مصنوعی تأکید کرده‌اند (Wu et al., 2022).

این مطالعات به‌طور کلی نشان می‌دهند که هوش مصنوعی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در افزایش پایداری محیط زیستی داشته باشد. با این حال، برای اطمینان از توسعه پایدار هوش مصنوعی، نیاز به رویکردهای نوآورانه و شیوه‌های مسئولانه است. با بهره‌گیری از توانایی‌های هوش مصنوعی در تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری، ذی‌نفعان می‌توانند استراتژی‌های مؤثرتری برای ترویج پایداری محیط زیستی و کاهش چالش‌های اجتماعی و اقتصادی تدوین کنند. اما اجرای موفق هوش مصنوعی در این حوزه نیازمند بررسی دقیق ابعاد اخلاقی، اجتماعی و فنی آن است تا اطمینان حاصل شود که این فناوری در راستای اهداف توسعه پایدار به‌کار گرفته می‌شود. بررسی روندها و پیشرفت‌ها در فناوری‌های هوش مصنوعی برای پایداری محیط زیستی نشان‌دهنده فرصت‌های قابل توجهی برای بهره‌گیری از این فناوری در مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و ارتقای پایداری است. همان‌طور که هوش مصنوعی همچنان در حال تحول است، یکپارچه‌سازی آن در برنامه‌های پایداری محیط زیستی، فرصت‌های جدیدی را برای بهبود بهره‌وری اقتصادی، پایداری زیست‌محیطی و رفاه اجتماعی فراهم می‌کند و گامی مهم در جهت دستیابی به آینده‌ای پایدار و مقاوم محسوب می‌شود.

### نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین، نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار ایفا می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این فناوری می‌تواند بهینه‌سازی مصرف منابع، حفاظت از تنوع زیستی، و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی را از

طریق تحلیل‌های پیشرفته و سیستم‌های پایشی هوشمند تسهیل کند. توانایی هوش مصنوعی در پردازش داده‌های گسترده و ارائه راهکارهای نوین، آن را به ابزاری ارزشمند برای مقابله با چالش‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی، و تخریب زیست‌بوم‌ها تبدیل کرده است. با این حال، استفاده از این فناوری نیازمند درک و مدیریت چالش‌های اخلاقی، حریم خصوصی داده‌ها و اثرات زیست‌محیطی خود سیستم‌های هوش مصنوعی است. آینده هوش مصنوعی در حوزه محیط زیست، سرشار از فرصت‌ها و چالش‌هاست. برای بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت این فناوری، ضروری است که توسعه آن در چارچوب اصول مسئولانه و پایدار صورت گیرد. ادغام هوش مصنوعی با سیاست‌های محیط زیستی، رویکردهای بین‌رشته‌ای، و همکاری میان محققان، سیاست‌گذاران و فعالان زیست‌محیطی می‌تواند مسیر دستیابی به راه‌حل‌های جامع‌تر و کارآمدتر را هموار کند. در نهایت، استفاده از هوش مصنوعی در مسیر توسعه پایدار باید با درک عمیق از اثرات بلندمدت آن همراه باشد. رویکردی که تنها بر نوآوری‌های فناورانه تمرکز کند، بدون در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی، ممکن است به پیامدهای ناخواسته منجر شود. بنابراین، آینده‌ای پایدارتر و هماهنگ‌تر با محیط زیست زمانی محقق خواهد شد که هوش مصنوعی نه تنها به عنوان ابزاری برای حل مشکلات، بلکه به عنوان عاملی برای تغییر نگرش بشر به طبیعت و مسئولیت‌پذیری در برابر آن به کار گرفته شود.

## منابع

- Accastello, C., Blanc, S., & Brun, F. (2019). A framework for the integration of nature-based solutions into environmental risk management strategies. *Sustainability*, 11(2), 489.  
<https://doi.org/10.3390/SU11020489>
- Ajala, O.A., Arinze, C.A., Ofodile, O.C., Okoyea, C.C. & Daraojimba, O.D. (2024). Reviewing advancements in privacy-enhancing technologies for big data analytics in an era of increased surveillance. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 6.
- Al Hashlamoun, N., Al Barghuthi, N., & Tamimi, H. (2023). Exploring the intersection of AI and sustainable computing: opportunities, challenges, and a framework for responsible applications, 9th International Conference on Information Technology Trends (ITT), Dubai, United Arab Emirates, pp. 220-225.  
<https://doi.org/10.1109/ITT59889.2023.10184228>
- Ayoubi, H., & Tabaa, Y. (2023). Artificial intelligence in green management and the rise of digital lean for sustainable efficiency. In *E3S Web of Conferences*, Vol. 412, p. 01053. EDP Sciences.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341201053>
- Bari, L. F., Ahmed, I., Ahamed, R., Zihan, T. A., Sharmin, S., Pranto, A. H., & Islam, M. R. (2023). Potential use of artificial intelligence (AI) in disaster risk and emergency health management: a critical appraisal on environmental health. *Environmental Health Insights*, 17. <https://doi.org/10.1177/11786302231217808>
- Bostrom, A., Demuth, J. L., Wirz, C. D., Cains, M. G., Schumacher, A., Madlambayan, D., ... & Williams, J. K. (2023). Trust and trustworthy artificial intelligence: A research agenda for AI in the environmental sciences. *Risk Analysis*.  
<https://doi.org/10.1111/risa.14245>
- Chaudhary, G. (2023). Environmental sustainability: can artificial intelligence be an enabler for SDGs?. *Nature Environment & Pollution Technology*, 22(3).  
<https://doi.org/10.46488/nept.2023.v22i03.027>
- Chen, Z., Wu, M., Chan, A., Li, X., & Ong, Y. S. (2023). Survey on AI sustainability: emerging trends on learning algorithms and research challenges. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 18(2), 60-77.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.03824>
- Dauvergne, P. (2021). The globalization of artificial intelligence: consequences for the politics of environmentalism. *Globalizations*, 18(2), 285-299.  
<https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1785670>
- Devgan, A.K., (2023). AI-Driven cybersecurity for witness data: confidentiality redefined. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 4(12) 1811-1816, [doi.org/10.55248/gengpi.4.1223.123428](https://doi.org/10.55248/gengpi.4.1223.123428).
- Gupta, B. B., Gaurav, A., Panigrahi, P. K., & Arya, V. (2023). Analysis of cutting-edge technologies for enterprise information system and management. *Enterprise Information Systems*, 17(11), 2197406. <https://doi.org/10.1080/17517575.2023.2197406>
- Hao, X., & Demir, E. (2023). Artificial intelligence in supply chain decision-making: an environmental, social, and governance triggering and technological inhibiting protocol. *Journal of Modelling in Management*, (ahead-of-print).  
<https://doi.org/10.1108/jm2-01-2023-0009>.



- Isabelle, D.A. & Westerlund, M. (2022). A Review and Categorization of Artificial IntelligenceBased Opportunities in Wildlife, Ocean and Land Conservation. *Sustainability*, 14(4), 1799. <https://doi.org/10.3390/su14041799>
- Jain, H., Dhupper, R., Shrivastava, A., Kumar, D., & Kumari, M. (2023). AI-enabled strategies for climate change adaptation: protecting communities, infrastructure, and businesses from the impacts of climate change. *Computational Urban Science*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.1007/s43762-023-00100-2>.
- Joseph, O. (2023). Sustainable banking through robotic process automation: what role does ESG and Cognitive AI play?. *Journal of Digitovation and Information System*, 3(1), 116-140, <https://doi.org/10.54433/jdiis.2023100025>
- Kunkel, S., Schmelzle, F., Niehoff, S., & Beier, G. (2023). More sustainable artificial intelligence systems through stakeholder involvement?. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 32(1), 64-70. <https://doi.org/10.14512/gaia.32.s1.10>
- Lobova, S. V., Bogoviz, A. V., & Alekseev, A. N. (2022). Sustainable AI in environmental economics and management: Current trends and post-COVID perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 1218. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.951672>
- Lu, T., Xiao, X., Yu, H., & Ren, D. (2023). The integration of technological advancements in fossil fuels towards environmental sustainability: Insights from big data analytics. *Resources Policy*, 86, 104196, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104196>
- Martín-Forés, I., Guerin, G. R., Munroe, S. E., & Sparrow, B. (2021). Applying conservation reserve design strategies to define ecosystem monitoring priorities. *Ecology and Evolution*, 11(23), 17060-17070, <https://doi.org/10.1002/ece3.8344>
- Pal, S. (2023). Integrating AI in sustainable supply chain management: A new paradigm for enhanced transparency and sustainability. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 11, 2979-2984. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54139>
- Pettorru, G., Fadda, M., Girau, R., Sole, M., Anedda, M., & Giusto, D. (2023). Using Artificial Intelligence and IoT Solution for Forest Fire Prevention. *International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Honolulu, HI, USA, pp. 414-418. <https://doi.org/10.1109/ICNC57223.2023.10074289>
- Rani, S., Das, K., Aminuzzaman, F. M., Ayim, B. Y., & Borodynko-Filas, N. (2023). Harnessing the future: cutting-edge technologies for plant disease control. *Journal of Plant Protection Research*, 387-398. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.147829>
- Rautela, K., Kumawat, K., Rahman, F. and Patidar, H.O. (2020). Artificial Intelligence in Environmental Monitoring and Conservation. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(2), 10031-10034 <https://doi.org/10.61841/v24i2/400257>
- Rizvee, M. M., Rahman, M. H., Chakraborty, P., & Shomaji, S. (2023). Understanding the Innovations Required for a Green & Secure Artificial Intelligence Paradigm. *IEEE 16th Dallas Circuits and Systems Conference (DCAS)*, Denton, TX, USA, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/DCAS57389.2023.10130257>
- Sharma, P., & Vaid, U. (2021). Emerging role of artificial intelligence in waste management practices. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 889(1), p. 012047). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/889/1/012047>
- Singh, D., & Kaur, R. (2023). The smart computation of pollution management in industrial environments using artificial intelligence based neural networking model. *IEEE International Conference on Integrated Circuits and Communication Systems (ICICACS)*, Raichur, India, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICICACS57338.2023.10099606>
- Wang, Q., Sun, T., & Li, R. (2024). Does artificial intelligence promote green innovation? An assessment based on direct, indirect, spillover, and heterogeneity effects. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305x231220520>
- Wankhede, V. A., Agrawal, R., Kumar, A., Luthra, S., Pamucar, D., & Stevic, Z. (2023). Artificial intelligence an enabler for sustainable engineering decision making in uncertain environment: a review and future propositions. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. <https://doi.org/10.1108/jgoss-06-2022-0057>
- Wu, C. J., Raghavendra, R., Gupta, U., Acun, B., Ardalani, N., Maeng, K.,... & Hazelwood, K. (2022). Sustainable AI: Environmental implications, challenges and opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795-813. <https://arxiv.org/abs/2111.00364>
- Wu, T. (2023). Application and development of artificial intelligence in environmental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 35-40. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/7/20230335>
- Xu, S., Hsu, C. H., & Montenegro-Marin, C. E. (2023). Multi-energy system smart tool for ecological water body restoration using an AI-based decision-making framework. *Water Supply*, 23(10), 3997-4014. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.223>



## Investigating the Application of Artificial Intelligence in Environmental Protection: Opportunities, Challenges

Mahboubeh Mehri Khansari  
Biology major, Arak University  
Ali Akbari

Master of Science in Horticulture, Shahed University  
Hassan Taheri

Master of Science in Horticulture, Shahed University

### Abstract

This study examines the role of artificial intelligence (AI) in environmental protection and seeks to assess the capacity of this technology to improve sustainability practices. Using a systematic review of scientific literature and content analysis, articles, reports, and case studies from recent years have been reviewed. The main focus of this research is on the applications of artificial intelligence in biodiversity conservation, climate change mitigation, and sustainable management of natural resources. The results show that AI has positive impacts in the areas of optimizing resource use, predictive analytics for the protection of endangered species, and improving environmental monitoring and analysis systems. This technology can more accurately identify environmental trends by processing large amounts of data and provide more effective solutions to reduce ecological damage. However, the use of AI also brings challenges, including ethical issues, privacy, and cybersecurity threats that require the development of appropriate policies and strong regulatory frameworks. The study emphasizes the importance of interdisciplinary collaboration, stakeholder engagement, and the development of ethical AI. It is also recommended that environmental professionals increase their awareness of AI technologies and pave the way for the development of more advanced tools in this area. Ultimately, AI can play a key role in achieving environmental goals, but its development requires a balance between technological advances and ethical and social considerations.

**Keywords:** Artificial Intelligence (AI), Environmental Protection, Climate Change, Sustainable Development