هم‌افزایی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای برای ارتقای پایداری زیست‌محیطی

جمال سلیمانی

دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی، رایانامه: jamal.soleimani96@gmail.com

خلاصه

این پژوهش به بررسی نقش هم‌افزایی هوش مصنوعی (AI) و اقتصاد دایره‌ای در ارتقای پایداری زیست‌محیطی و بهبود بهره‌وری منابع پرداخته است. اقتصاد دایره‌ای به‌عنوان مدلی نوآورانه برای مدیریت منابع، بر بازیافت، استفاده مجدد و کاهش ضایعات تمرکز دارد، در حالی که هوش مصنوعی با ارائه الگوریتم‌های تحلیلی پیشرفته و مدل‌سازی داده‌های پیچیده، قابلیت بهینه‌سازی این فرآیندها را فراهم می‌کند. مطالعات موردی از صنایعی مانند خودروسازی، الکترونیک و کشاورزی هوشمند نشان می‌دهد که استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند به کاهش ضایعات، افزایش نرخ بازیافت و کاهش هزینه‌های عملیاتی منجر شود. از جمله مهم‌ترین نتایج این تحقیق، بهبود بهره‌وری منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی در فرآیندهای تولید و بازیافت است. با این حال، چالش‌هایی نظیر هزینه‌های اولیه بالا، فقدان داده‌های جامع و مقاومت سازمانی در برابر تغییرات تکنولوژیکی همچنان وجود دارد. این تحقیق با شناسایی این چالش‌ها، راهکارهایی همچون سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی کار و توسعه چارچوب‌های نظارتی برای حفاظت از داده‌ها ارائه می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ادغام AI و اقتصاد دایره‌ای می‌تواند به تحول زیست‌محیطی و کاهش وابستگی به منابع طبیعی منجر شود، اما برای بهره‌برداری کامل از این پتانسیل‌ها، نیاز به همکاری‌های چندبخشی و پذیرش گسترده‌تر این فناوری‌ها وجود دارد.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، اقتصاد دایره‌ای، پایداری زیست‌محیطی، بهینه سازی بازیافت، تحلیل داده ها

۱. مقدمه

با تشدید نگرانی‌های جهانی در مورد تغییرات اقلیمی و کاهش منابع طبیعی، اهمیت اتخاذ رویکردهای پایدار در مدیریت منابع بیش از پیش احساس می‌شود. رویکردهای سنتی اقتصادی، که به شکل خطی طراحی شده‌اند، دیگر پاسخگوی نیازهای محیط زیستی و اجتماعی کنونی نیستند. در این راستا، اقتصاد دایره‌ای به عنوان یکی از مدل‌های نوآورانه و پایدار در مدیریت منابع و کاهش ضایعات مطرح شده است. اقتصاد دایره‌ای بر بازیافت، استفاده مجدد و بهینه‌سازی مصرف تمرکز دارد و به دنبال کاهش حداکثری اثرات منفی زیست‌محیطی از طریق بازچرخانی مداوم منابع است. [۱] در همین حال، هوش مصنوعی (AI) به عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، قادر است با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیندها، کارایی و بهره‌وری در مدل‌های اقتصاد دایره‌ای را به‌طور قابل‌توجهی ارتقا دهد .هوش مصنوعی با تجزیه و تحلیل الگوهای مصرف، پیش‌بینی تقاضا، و بهینه‌سازی زنجیره تأمین، می‌تواند نقش مهمی در کاهش ضایعات، بهبود فرآیندهای بازیافت و استفاده مجدد از مواد ایفا کند. این فناوری با استفاده از تحلیل داده‌های حجیم و شبیه‌سازی‌های هوشمند، به صنایع کمک می‌کند تا منابع طبیعی را به شکل بهینه‌تری مدیریت کرده و سیستم‌های بازیافتی هوشمندتر و کارآمدتری ایجاد کنند. [۲] اهمیت تحقیق در این است که با وجود مطالعاتی که به‌صورت مجزا به تأثیرات هوش مصنوعی

یا مزایای اقتصاد دایره‌ای پرداخته‌اند، تحقیقات جامعی که به‌طور خاص ادغام این دو حوزه را بررسی کند، به‌ندرت وجود دارد. بیشتر تحقیقات پیشین تنها به مزایای تئوری یا کاربردهای محدود این فناوری‌ها در صنایع خاص پرداخته‌اند، در حالی که تأثیرات جامع و بین‌رشته‌ای هوش مصنوعی بر تمامی مراحل اقتصاد دایره‌ای، به‌ویژه در زمینه بازیافت و مدیریت منابع، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پرسش اصلی این تحقیق این است که چگونه ادغام هوش مصنوعی در استراتژی‌های اقتصاد دایره‌ای می‌تواند به ارتقای پایداری زیست‌محیطی منجر شود و چه موانع و چالش‌های فنی، اجتماعی و اخلاقی بر سر راه این ادغام وجود دارد؟ همچنین، فرضیه اصلی این پژوهش بیان می‌کند که استفاده از هوش مصنوعی در فرآیندهای اقتصاد دایره‌ای می‌تواند به طور قابل‌توجهی بهره‌وری منابع را افزایش داده و در عین حال پیامدهای منفی زیست‌محیطی را کاهش دهد. این مقاله با بررسی مطالعات موردی از صنایع مختلف، سعی در تحلیل فرصت‌ها و موانع موجود در ادغام هوش مصنوعی با مدل‌های اقتصاد دایره‌ای دارد. همچنین، پیشنهادهایی برای سیاست‌گذاران و صنایع ارائه می‌شود تا از پتانسیل‌های بی‌نظیر این تقاطع برای دستیابی به اهداف پایداری زیست‌محیطی بهره‌برداری کنند.

نوشتار پیش رو در هفت بخش زیر سامان دهی شده است. در بخش اول مسئله پژوهش و اهمیت آن تبیین شده است و در ادامه، پرسش اصلی، فرضیه و ساماندهی مقاله آمده است. هوش مصنوعی، اقتصاد دایره‌ای، پایداری زیست‌محیطی و مدیریت منابع به عنوان مفاهیم کلیدی و پیشینه علمی مطالعه های انجام شده در باره عنوان پژوهش در ایران و خارج، بخش دوم مقاله را تشکیل داده است. بخش سوم، مبانی نظری پژوهش به نقش هوش مصنوعی در ترویج اقتصاد دایره ای می پردازد. در بخش چهارم چالش ها و فرصت های یکپارچه سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره ای بررسی می شود. بخش پنجم به بررسی مطالعات موردی می پردازد. در بخش ششم جهت‌گیری های آینده و توصیه ها را بررسی میکند و بخش پایانی با خلاصه و نتایج و درخواست اقدام از ذینفعان برای یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای، مقاله را به سرانجام می رساند.

۲. ادبیات پژوهش

۲.۱ مفاهیم پایه

هوش مصنوعی: هوش مصنوعی (AI) شاخه‌ای از علوم کامپیوتر و مهندسی است که بر ایجاد و بهبود سیستم‌ها و الگوریتم‌هایی تمرکز دارد که قادر به انجام وظایفی هستند که معمولاً نیاز به هوش انسانی دارند. [۳] این وظایف شامل یادگیری از تجربه، درک و پردازش زبان طبیعی، حل مسائل پیچیده، تصمیم‌گیری و تشخیص الگوها است. هدف اصلی هوش مصنوعی ایجاد سیستم‌هایی است که بتوانند به طور مستقل عمل کرده و با محیط‌های پیچیده و غیرقطعی تطبیق پیدا کنند، و در برخی موارد، عملکردی معادل یا حتی بهتر از انسان‌ها ارائه دهند. [۴] AI بر پایه تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی و پردازش زبان طبیعی استوار است و در زمینه‌های مختلفی از جمله پزشکی، اقتصاد، صنعت و محیط زیست کاربرد دارد. [۵]

اقتصاد دایره‌ای: اقتصاد دایره‌ای یک چارچوب اقتصادی پایدار است که بر کاهش مصرف منابع، به حداقل رساندن ضایعات و بازیافت مواد و محصولات در کل چرخه تولید و مصرف متمرکز است. این رویکرد به جای پیروی از مدل سنتی خطی اقتصادی تولید، مصرف و دورریز، بر طراحی سیستم‌هایی متمرکز است که گردش مداوم منابع و مواد را در چرخه اقتصادی ترویج می‌دهند. [۱][۲] در مفهوم اقتصاد دایره‌ای، زباله به عنوان یک منبع ارزشمند دیده می‌شود که می‌تواند

مجدداً وارد چرخه تولید شود، بنابراین اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و اثربخشی اقتصادی را افزایش می‌دهد. [۶] این مفهوم، مبتنی بر طراحی پایدار، بازسازی و بهره‌وری منابع، به دنبال ایجاد یک اقتصاد مقاوم و سازگار با محیط زیست است که بتواند چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی و کاهش منابع را برطرف کند. [۷]

پایداری زیست‌محیطی: پایداری زیست‌محیطی عبارت است از مدیریت و استفاده از سیستم‌های زیست‌محیطی و منابع طبیعی به گونه‌ای که نیازهای نسل حاضر را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای برآورده کردن نیازهای خود، برآورده کند. این ایده بر لزوم حفظ تعادل بین رشد اقتصادی، عدالت اجتماعی و حفاظت از محیط زیست تأکید دارد. [۸] هدف آن اطمینان از توانایی مداوم بازسازی و حفظ ظرفیت ارائه خدمات زیست‌محیطی توسط اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی است. [۹] پایداری زیست‌محیطی شامل مدیریت مسئولانه و بلندمدت آب، خاک، هوا و تنوع زیستی است. [۱۰] این امر به دنبال کاهش آلودگی، حفاظت از اکوسیستم‌ها و استفاده بهینه از منابع برای اطمینان از عملکرد و ارائه خدمات زیست‌محیطی به صورت مداوم است. [۱]

بهینه‌سازی بازیافت: بهینه‌سازی بازیافت به فرآیند طراحی، مدیریت و بهبود سیستم‌های بازیافت مواد اشاره دارد به‌گونه‌ای که حداکثر مقدار مواد مصرفی بتواند دوباره وارد چرخه تولید شود و ضایعات به حداقل برسد. هدف اصلی این بهینه‌سازی، کاهش مصرف منابع طبیعی و انرژی و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی است. در این فرآیند، الگوریتم‌های هوش مصنوعی به‌خصوص تکنیک‌های یادگیری ماشین و تشخیص الگو می‌توانند نقش کلیدی در تحلیل و دسته‌بندی زباله‌ها، بهبود کارایی خطوط تولید بازیافت، و حتی پیش‌بینی بهترین روش‌ها برای جداسازی و بازچرخانی مواد ایفا کنند. در اقتصاد دایره‌ای، بهینه‌سازی بازیافت یکی از اصلی‌ترین روش‌های مدیریت پایدار منابع است .هوش مصنوعی می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری و تحلیل داده‌ها، مواد قابل بازیافت را از ضایعات غیرقابل استفاده تشخیص دهد و فرآیند بازیافت را به صورت اتوماتیک انجام دهد. برای مثال، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌تواند به سیستم‌ها کمک کند تا الگوهای پیچیده در مواد زباله را شناسایی کرده و آن‌ها را به صورت خودکار برای بازیافت دسته‌بندی کند. [9]

تحلیل داده‌ها: تحلیل داده‌ها به مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و روش‌ها برای استخراج اطلاعات معنی‌دار از داده‌های خام اشاره دارد. در این فرآیند، داده‌های جمع‌آوری‌شده از منابع مختلف به صورت سیستماتیک پردازش، آنالیز و تفسیر می‌شوند تا الگوها، روندها و اطلاعات پنهان استخراج شوند. در هوش مصنوعی، تحلیل داده‌ها با استفاده از ابزارهایی مانند یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های داده‌کاوی انجام می‌شود که می‌توانند الگوها و روابط پیچیده بین داده‌ها را شناسایی کنند و به پیش‌بینی، بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری کمک کنند. در اقتصاد دایره‌ای، تحلیل داده‌ها به عنوان یک ابزار کلیدی برای پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی زنجیره تأمین و مدیریت منابع شناخته می‌شود. هوش مصنوعی از طریق تحلیل داده‌های مربوط به مصرف منابع، تولید زباله، و تقاضای بازار می‌تواند بهینه‌سازی در فرآیندهای اقتصادی را تسهیل کند. این داده‌ها می‌توانند به طور مداوم از طریق حسگرها و اینترنت اشیا جمع‌آوری شوند و سپس توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین تجزیه و تحلیل شوند تا بهبود کارایی و کاهش ضایعات تحقق یابد. [6]

۲.۲ پیشینه علمی مطالعات انجام شده درباره عنوان پژوهش در ایران

خیام نکویی و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه ای به بررسی نقش فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی پرداخته و نشان می‌دهد که این فناوری از طریق تحلیل کلان داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌تواند به بهبود فرآیندهای کشاورزی دقیق، از جمله پیش‌بینی عملکرد، کاهش مصرف نهاده‌ها، مدیریت آفات و به نژادی کمک کند. همچنین،

این مطالعه به اهمیت مدیریت زنجیره ارزش و زمان‌بندی ورود محصولات به بازار از طریق هوش مصنوعی اشاره دارد و بر کاربردهای زیست‌محیطی این فناوری، مانند تولید کودهای زیستی از ضایعات کشاورزی، تأکید می‌کند. [۱۱]

دلیر و ریاضت (۱۴۰۲) در پژوهش خود به بررسی نگرش‌های سیاستی و تقنینی نسبت به چالش‌ها و فرصت‌های هوش مصنوعی در حوزه محیط زیست و تغییرات اقلیمی پرداخته است. این تحقیق نشان می‌دهد که هوش مصنوعی با ارائه امکاناتی نظیر ارزیابی سریع داده‌ها، بهبود نظارت بر اثرات محیطی، و تسهیل در مشارکت عمومی، می‌تواند به توسعه پایدار زیست‌محیطی کمک کند. با این حال، این مطالعه به چالش‌های مرتبط با امنیت و کنترل هوش مصنوعی نیز اشاره دارد و بر اهمیت طراحی سیستم‌های هوش مصنوعی سازگار با محیط زیست و نظارت مؤثر بر آن‌ها تأکید می‌کند. [۱۲]

دانشجو و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه ای به بررسی پیشرفت‌های اخیر در حسگرهای زیستی و نقش هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری ماشین، در بهبود کارایی و دقت این حسگرها پرداخته است. این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب هوش مصنوعی با فناوری‌های زیستی مانند بیوسنسورها می‌تواند به تشخیص دقیق‌تر و پیش‌بینی بهتر بیماری‌ها، به‌ویژه سرطان و کووید-۱۹، کمک کند. همچنین، این مطالعه به اهمیت خودکارسازی فرآیندهای پیچیده استخراج و تحلیل داده‌ها از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین اشاره دارد، که نقش کلیدی در توسعه و بهبود کاربردهای زیستی حسگرهای زیستی ایفا می‌کند. [۱۳]

صفدری رنجبر و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه خود به بررسی سیاست‌های توسعه زیست‌بوم نوآوری در حوزه هوش مصنوعی با تمرکز بر ایران پرداخته و با مقایسه تجارب ۶ کشور پیشرو، به شناسایی بازیگران کلیدی و کارکردهای اساسی در این زیست‌بوم پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه موفق زیست‌بوم نوآوری هوش مصنوعی در ایران مستلزم همکاری و هماهنگی سطح بالای نهادهای دولتی، صنعتی و دانشگاهی است تا از مزایای بالقوه این فناوری بهره‌برداری شود و از عقب‌ماندگی در مقایسه با سایر کشورها جلوگیری گردد. [۱۴]

۲.۳ پیشینه علمی مطالعات انجام شده درباره عنوان پژوهش در خارج

سمین و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان "بهبود چارچوب‌های نظری و روش‌شناختی برای پیاده‌سازی فناوری دیجیتال توئین در بخش‌های مختلف کشاورزی" به بررسی چارچوب‌های نظری و روش‌شناختی برای اجرای فناوری دیجیتال توئین در کشاورزی پرداخته‌اند. این تحقیق با تحلیل روندهای دیجیتالی در کشاورزی، اهمیت دیجیتال توئین‌ها در بهینه‌سازی عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی را مورد بررسی قرار داده است. همچنین، اصول و ویژگی‌های فناوری دیجیتال توئین توسعه داده شده و شرایط لازم برای پیاده‌سازی موفق این فناوری در صنایع کشاورزی شناسایی شده است. این مطالعه به‌عنوان یک پیشینه علمی کلیدی برای تحقیقات آینده در زمینه استفاده از دیجیتال توئین‌ها در کشاورزی محسوب می‌شود. [۱۵]

کائو و سولانگی (۲۰۲۴) در مقاله خود با عنوان "نقش هوش مصنوعی در فعالیت‌های اقتصاد دایره‌ای"، به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در فعالیت‌های اقتصاد دایره‌ای پرداخته و تأکید کرده‌اند که این تکنولوژی می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش پایداری در زنجیره تأمین کمک کند. [۱۶]

سیواپراکش و ماهش (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان "استفاده از هوش مصنوعی برای بهبود اقتصاد دایره‌ای" به بررسی نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش ضایعات پرداخته‌اند. این پژوهش نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند با تجزیه و تحلیل داده‌ها، فرآیندهای بازیافت و استفاده مجدد را بهبود بخشیده و مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه‌ای برای تبادل منابع ایجاد کند. همچنین، هوش مصنوعی با ردیابی مواد در زنجیره تأمین، شفافیت بیشتری ایجاد کرده و به توسعه سیستم‌های بسته حلقه کمک می‌کند. [۱۷]

علی‌اف و شاهوردی‌یوا (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان "تشکیل اقتصاد دایره‌ای دیجیتال بر روی پلتفرم صنعت ۴.۰" به بررسی اهمیت ادغام فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، یادگیری ماشین و بلاک‌چین در توسعه اقتصاد دایره‌ای پرداخته‌اند. این پژوهش مدل یکپارچه‌ای از ترکیب صنعت ۴.۰ با اقتصاد دایره‌ای دیجیتال ارائه کرده و به نقش فناوری‌های دیجیتال در بهبود بهره‌وری منابع و کاهش ضایعات پرداخته است. همچنین، راهکارهایی برای افزایش پایداری و بهبود مدیریت زنجیره تأمین در اقتصاد دایره‌ای دیجیتال پیشنهاد شده است. [۱۸]

فراگا-لاماس و همکاران (۲۰۲٤) در مقاله "اینترنت اشیا سبز و هوش مصنوعی به عنوان محرک‌های کلیدی برای گذار دیجیتال پایدار به سمت اقتصاد دایره‌ای هوشمند"، به بررسی نقش اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در پشتیبانی از اقتصاد دایره‌ای هوشمند پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این تکنولوژی‌ها می‌توانند به ایجاد سیستم‌های تولید و مصرف پایدارتر کمک کنند و نقش مهمی در کاهش اثرات زیست‌محیطی ایفا کنند. [۱۹]

نویسنده	عنوان	نتایج
خیام نکویی و همکاران (۱۴۰۳)	نقش فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی	بهبود فرآیندهای کشاورزی دقیق، مدیریت زنجیره ارزش و تولید کود های زیستی.
دلیر و ریاضت (۱۴۰۲)	نگرش های سیاستی و تقنینی به چالش ها و فرصت های هوش مصنوعی در حوزه محیط زیست و تغییرات اقلیمی	بهبود نظارت بر اثرات محیطی، تسهیل مشارکت عمومی، و نیاز به کنترل و امنیت.
دانشجو و همکاران (۱۴۰۱)	پیشرفت های اخیر در حسگر های زیستی و نقش هوش مصنوعی	افزایش دقت تشخیص بیماری ها و خودکار سازی تحلیل داده ها با یادگیری ماشین.
صفدری رنجبر و همکاران (۱۴۰۱)	سیاست های توسعه زیست بوم نوآوری در حوزه هوش مصنوعی	هماهنگی نهادهای دولتی، صنعتی و دانشگاهی برای توسعه زیست بوم نوآوری هوش مصنوعی.
سیمین و همکاران (۲۰۲۳)	بهبود چارچوب‌های نظری و روش‌شناختی برای پیاده‌سازی فناوری دیجیتال توئین در بخش‌های مختلف کشاورزی	بررسی اهمیت دیجیتال توئین‌ها در بهینه‌سازی ماشین‌آلات و شناسایی شرایط لازم برای پیاده‌سازی موفق آن در کشاورزی
کائو و سولانگی (۲۰۲۴)	نقش هوش مصنوعی در فعالیت های اقتصاد	کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش پایداری در زنجیره تأمین.
سیواپراکش و ماهش (۲۰۲۳)	استفاده از هوش مصنوعی برای بهبود اقتصاد دایره‌ای	بهبود فرآیندهای بازیافت و ایجاد مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه با استفاده از هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای
علی اف و شاهوردی یوا (۲۰۲۳)	تشکیل اقتصاد دایره‌ای دیجیتال بر روی پلتفرم صنعت ۴.۰	ارائه مدل یکپارچه‌ای از صنعت ۴.۰ و اقتصاد دایره‌ای دیجیتال با استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و بلاک‌چین

فراگا-لاماس و همکاران (۲۰۲۴)	اینترنت اشیا سبز و هوش مصنوعی به عنوان محرک های کلیدی برای گذار دیجیتال پایدار به سمت اقتصاد دایره ای هوشمند	ایجاد سیستم های تولید و مصرف پایدارتر و کاهش اثرات زیست محیطی.

جدول ۱- پیشینه علمی پژوهش

منبع: یافته های پژوهش

۳. مبانی نظری

۳.۱ هوش مصنوعی در ترویج اقتصاد دایره ای

هوش مصنوعی با مدیریت مؤثر منابع و کاهش ضایعات، نقش مهمی در تحقق اهداف اقتصاد دایره‌ای ایفا می‌کند. این فناوری با تحلیل داده‌های پیچیده و پیش‌بینی خروجی و تقاضا، به بهینه‌سازی تولید و مدیریت، کاهش ضایعات و بهبود کارایی منابع کمک می‌کند. [۱۰] هوش مصنوعی می‌تواند روندهای مصرف را با دقت تشخیص داده و با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، راهکارهایی برای بهبود مصرف ارائه دهد. [۶] همچنین، با تحلیل داده‌های تاریخی مصرف انرژی، الگوهای مصرف بهینه را شناسایی کرده و مصرف انرژی را در زمان‌های کم‌تقاضا کاهش می‌دهد؛ این ویژگی در صنایع سنگین و تولیدی که مصرف انرژی بالا است، می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجه مصرف منابع شود. [۲۲] هوش مصنوعی قادر است عملیات صنعتی را بهینه کرده و نیازهای منابع را تخمین زده و فرآیندهای تولید را کنترل کند تا از تولید بیش از حد و ضایعات جلوگیری کند. این امر هزینه‌های تولید را کاهش داده و تأثیر زیست‌محیطی ضایعات صنعتی را کم می‌کند. [۴] در زمینه مدیریت زباله، الگوریتم‌های هوش مصنوعی زباله‌ها را مرتب کرده و برای بازیافت آماده می‌کنند، و با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری و یادگیری عمیق، کارایی بازیافت را افزایش داده و ضایعات دفن‌شده را کاهش می‌دهند. [۲۰] همچنین، این فناوری می‌تواند مسیرهای حمل‌ونقل را بهبود بخشیده و نیازهای مواد اولیه زنجیره تأمین را دقیق‌تر پیش‌بینی کند، که منجر به کاهش ضایعات و مصرف سوخت می‌شود. [۲۱] تحلیل داده‌های زنجیره تأمین با هوش مصنوعی از تولید بیش از حد جلوگیری کرده و لجستیک را بهینه می‌سازد، که به‌سرعت ضایعات را کاهش داده و مدیریت منابع را بهبود می‌بخشد. [۹] مطالعات متعدد نشان می‌دهند که هوش مصنوعی می‌تواند مدیریت منابع و کاهش ضایعات را بهبود بخشد. به عنوان مثال، بخش‌های صنعتی چین با استفاده از این فناوری برای بهبود فرآیندهای تولید، ضایعات تولیدی را کاهش داده‌اند و مدیریت زباله‌ها و بازیافت را بهبود بخشیده‌اند. [۱] در نتیجه، هوش مصنوعی به‌طور قابل‌توجهی در مدیریت منابع و کاهش ضایعات مؤثر است و می‌تواند به دستیابی به اهداف اقتصاد دایره‌ای و ایجاد یک اقتصاد پایدار و سازگار با محیط زیست کمک کند. [۶]

- **استفاده از هوش مصنوعی در طراحی محصول و تولید برای افزایش بازیافت**

هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای به بهبود بازیافت محصولات و فرآیندهای صنعتی کمک می‌کند. این فناوری از طریق تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی فرآیندها، و ارائه توصیه‌های هوشمند به طراحان و مهندسان، طراحی محصولات و فرآیندهای تولیدی را بهینه می‌سازد. [۱۰] یکی از کاربردهای کلیدی آن، بهبود طراحی محصولات برای جداسازی آسان است، که می‌تواند بازیافت را بهبود بخشیده و مواد بیشتری را به چرخه تولید بازگرداند. [۲۳] الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند

روندهای مواد و طراحی را ارزیابی کرده و بهترین ترکیب‌ها برای بهینه‌سازی بازیافت را پیشنهاد دهند، و همچنین سناریوهای جداسازی و بازیافت اجزا را شبیه‌سازی کنند. [۲۲] علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند کارایی مواد اولیه صنعتی را افزایش دهد و از طریق تحلیل داده‌ها و داده‌کاوی، طراحان را در استفاده از مواد پایدارتر و قابل بازیافت‌تر یاری کند. [۲۴] این امر در صنایع با مصرف بالای مواد خام می‌تواند هزینه‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. همچنین، هوش مصنوعی برای بهبود طراحی چرخه عمر محصول ضروری است؛ به طوری که با تحلیل داده‌های مربوط به طول عمر و نحوه استفاده از محصولات، به طراحان کمک می‌کند تا محصولاتی با طول عمر بیشتر و قابلیت بازیافت آسان‌تر طراحی کنند. [۹] شبیه‌سازی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیز می‌توانند فرآیندهای تولیدی را قبل از اجرا شبیه‌سازی کرده و بهترین روش‌ها برای کاهش ضایعات و بهبود بازیافت را شناسایی کنند، که این امر هزینه‌های تولید را کاهش داده و کارایی را افزایش می‌دهد. [۶] تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از هوش مصنوعی در طراحی محصول و تولید می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بازیافت محصولات را افزایش داده و از اهداف اقتصاد دایره‌ای پشتیبانی کند. [۱] به عنوان مثال، در صنایع الکترونیکی و خودروسازی، هوش مصنوعی به بهبود طراحی ماژولار و خودروهای قابل بازیافت کمک کرده است. [۱۰] در مجموع، هوش مصنوعی می‌تواند طراحی محصول و تولید را بهبود بخشد تا محصولات در پایان عمر خود به راحتی بازیافت شوند، که این امر به کاهش ضایعات، حفظ منابع طبیعی و افزایش پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کند و به‌عنوان یکی از ارکان اصلی در ترویج اقتصاد دایره‌ای محسوب می‌شود. [۴]

- **بهبود مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای و بهره‌وری زنجیره تأمین با استفاده از هوش مصنوعی**

مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای و زنجیره‌های تأمین مبتنی بر هوش مصنوعی، روش‌های نوآورانه‌ای برای افزایش پایداری زیست‌محیطی هستند. هوش مصنوعی می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا از مدل‌های خطی به مدل‌های دایره‌ای تغییر کنند و در عین حال بهره‌وری و کارایی زنجیره تأمین خود را بهبود بخشند. [۱] بر خلاف مدل سنتی "تولید، مصرف، دورریز"، مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای از بازیافت منابع، بازیافت مواد و استفاده مجدد از محصولات حمایت می‌کنند. پیچیدگی مدیریت زنجیره تأمین، اجرای این مدل‌ها را دشوار می‌سازد. [۲۲] زنجیره‌های تأمین دایره‌ای نیاز به هماهنگی بیشتر، شفافیت بالاتر و تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر دارند. در اینجاست که هوش مصنوعی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند. بهینه‌سازی زنجیره تأمین از هوش مصنوعی استفاده می‌کند. [۲۴]

AI می‌تواند داده‌های زنجیره تأمین را در مورد تولید، حمل‌ونقل و مصرف مواد تحلیل کند. [۶] این تحلیل‌ها به سازمان‌ها کمک می‌کند تا بهترین روش‌ها را برای جابجایی منابع و کالاها انتخاب کنند. پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل و مدیریت موجودی، مثال‌هایی از این ارزیابی‌ها هستند. [۵] الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با استفاده از داده‌های تاریخی، نوسانات تقاضا را پیش‌بینی کرده و به شرکت‌ها کمک کنند تا فرآیندهای تولید و توزیع خود را بهینه‌سازی کنند. [۴] این امر می‌تواند به کاهش ضایعات، بهبود کارایی و افزایش قابلیت بازیافت در زنجیره تأمین منجر شود. [۲۳] علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند به شرکت‌ها در ایجاد مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای کمک کند که بر مبنای استفاده مجدد، تعمیر و بازیافت محصولات استوارند. [۹] به عنوان مثال، پلتفرم‌های مبتنی بر AI می‌توانند به شرکت‌ها کمک کنند تا از داده‌های مصرف‌کنندگان استفاده کرده و الگوهای رفتاری و ترجیحات آنها را تحلیل کنند. این اطلاعات می‌تواند به شرکت‌ها در طراحی مدل‌های کسب‌وکار جدید مانند سرویس‌دهی محصولات به جای فروش آنها یا ایجاد برنامه‌های بازخرید و بازسازی محصولات کمک کند. [۱۰] این مدل‌ها نه تنها به کاهش ضایعات و استفاده مجدد از محصولات کمک می‌کنند، بلکه به افزایش وفاداری مشتریان و خلق ارزش‌های جدید در زنجیره تأمین نیز منجر می‌شوند. [۲۲] علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند در ارتقای شفافیت و ردیابی در زنجیره تأمین دایره‌ای نقش مهمی ایفا کند. [۲۴] سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند از تکنولوژی‌هایی مانند بلاک‌چین برای ایجاد شفافیت بیشتر در زنجیره تأمین استفاده کنند. [۲۳]

این سیستم‌ها به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند تا منابع مواد اولیه و فرآیندهای تولید را در طول زنجیره تأمین ردیابی کنند و از این طریق به اطمینان از پایداری و مسئولیت‌پذیری اجتماعی کمک کنند. [۸] این سطح از شفافیت می‌تواند به شرکت‌ها در دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی و اجتماعی بالاتر کمک کند و در عین حال اعتماد مصرف‌کنندگان را به برندها افزایش دهد. [۵] مطالعات موردی و تحقیقات نشان داده‌اند که ادغام هوش مصنوعی در زنجیره تأمین و مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای می‌تواند به نتایج قابل‌توجهی در بهبود کارایی و کاهش ضایعات منجر شود. [۴] به عنوان مثال، در صنایع خودروسازی و الکترونیک، هوش مصنوعی به شرکت‌ها کمک کرده است تا زنجیره‌های تأمین پیچیده خود را بهینه‌سازی کرده و از مواد بازیافتی در تولید محصولات جدید استفاده کنند. [۶] این امر نه تنها به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری منجر شده است، بلکه اثرات زیست‌محیطی منفی را نیز به حداقل رسانده است. [۲۲]

به طور کلی، هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار کلیدی می‌تواند مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای را امکان‌پذیر ساخته و زنجیره تأمین را بهینه‌سازی کند. [۱۰] این تکنولوژی با ارائه تحلیل‌های دقیق و پیش‌بینی‌های هوشمندانه، به شرکت‌ها کمک می‌کند تا فرآیندهای خود را بهبود بخشیده و در مسیر پایداری زیست‌محیطی حرکت کنند. [۵] استفاده از هوش مصنوعی در این زمینه، می‌تواند به طور قابل‌توجهی به تحقق اهداف اقتصاد دایره‌ای و حفاظت از منابع طبیعی کمک کند و به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی امروزی مورد استفاده قرار گیرد. [۲۴]

۴. چالش ها و فرصت های یکپارچه سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره ای

چالش‌های تکنولوژیکی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی ادغام هوش مصنوعی با اقتصاد دایره‌ای، پیچیدگی‌های تکنولوژیکی و نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته است. بسیاری از سازمان‌ها و شرکت‌ها فاقد منابع و توانایی‌های لازم برای پردازش‌های پیچیده داده‌ها و استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی هستند. برای پیاده‌سازی مؤثرAI ، نیاز به داده‌های حجیم و باکیفیت، سرورهای پردازش قدرتمند و تکنولوژی‌های مدرن وجود دارد که تنها در اختیار بخش محدودی از صنایع و کشورها قرار دارد. [۲۵] یکی دیگر از چالش‌های تکنولوژیکی، عدم وجود استانداردهای یکپارچه برای توسعه و پیاده‌سازی هوش مصنوعی است. این مشکل منجر به ناهماهنگی در تعامل سیستم‌های مختلف و کاهش کارایی کلی می‌شود. برای بهبود این وضعیت، سازمان‌ها باید در توسعه چارچوب‌های استاندارد و پلتفرم‌های باز برای پیاده‌سازی هوش مصنوعی همکاری کنند. [۲۶]

چالش‌های سازمانی بسیاری از سازمان‌ها به دلیل مقاومت در برابر تغییرات تکنولوژیکی، قادر به پذیرش سریع فناوری‌های هوش مصنوعی نیستند .فرهنگ سازمانی سنتی و عدم تمایل به تغییر ساختارهای مدیریتی، یکی از بزرگ‌ترین موانع پذیرش این فناوری‌هاست. [۲۷] همچنین، فقدان مهارت‌های دیجیتال در نیروی کار از دیگر چالش‌های اساسی است. برای حل این مشکل، سازمان‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی کار و توسعه مهارت‌های دیجیتال هستند تا بتوانند از مزایای AI در مدیریت منابع و بهینه‌سازی زنجیره تأمین بهره‌برداری کنند. [۲۸]

چالش‌های اقتصادی یکی از موانع اقتصادی اصلی، هزینه‌های اولیه بالا برای پیاده‌سازی سیستم‌های هوش مصنوعی است. بسیاری از شرکت‌ها، به‌ویژه کسب‌وکارهای کوچک و متوسط، توانایی مالی کافی برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های AIرا ندارند. [۲۷] علاوه بر این، عدم قطعیت در بازگشت سرمایه (ROI) از پروژه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیز باعث نگرانی شرکت‌ها می‌شود. برای رفع این چالش، مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه که به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر شوند، می‌توانند به کار گرفته شوند .مدل‌های بازچرخانی و بازیافت مبتنی برAI ، می‌توانند شرکت‌ها را در کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری یاری کنند. [۲۸]

چالش‌های اجتماعی و اخلاقی مسائل اخلاقی مرتبط با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و تصمیم‌گیری‌های خودکار از جمله موانع اصلی در یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی با اقتصاد دایره‌ای محسوب می‌شوند .حفظ حریم خصوصی و شفافیت در فرآیندهای تصمیم‌گیری از مهم‌ترین دغدغه‌های عمومی و اجتماعی است. الگوریتم‌های AI معمولاً بر اساس داده‌های تاریخی آموزش می‌بینند، که در صورت داشتن تعصبات یا عدم تعادل در داده‌ها، ممکن است این تعصبات به‌طور ناخواسته در نتایج تصمیم‌گیری‌های خودکار تقویت شوند. [۲۶]

برای مقابله با این چالش‌ها، نیاز به شفافیت در الگوریتم‌ها و توسعه AI قابل توضیح (Explainable AI) وجود دارد، که به کاربران اجازه می‌دهد تا فرآیندهای تصمیم‌گیری الگوریتم‌ها را درک کرده و نسبت به نتایج آن‌ها اعتماد بیشتری پیدا کنند. همچنین، حفظ امنیت داده‌ها و اطمینان از اینکه داده‌های حساس به‌صورت اخلاقی مدیریت می‌شوند، چالش بزرگی است که نیاز به چارچوب‌های نظارتی دقیق و مقررات شفاف دارد.

فرصت‌ها

افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها یکی از بزرگ‌ترین فرصت‌هایی که هوش مصنوعی برای اقتصاد دایره‌ای به ارمغان می‌آورد، افزایش بهره‌وری در مدیریت منابع و کاهش هزینه‌های تولید است. AI می‌تواند با تحلیل داده‌های حجیم و پیش‌بینی روندهای مصرف، به شرکت‌ها کمک کند تا فرآیندهای تولیدی خود را بهینه‌سازی کنند و ضایعات را به حداقل برسانند. همچنین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به‌طور مداوم فرآیندهای بازیافت و بازچرخانی را تحلیل کرده و بهبود بخشند، که این امر باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش سودآوری می‌شود. [۲۹]

مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه هوش مصنوعی می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا از مدل‌های کسب‌وکار سنتی به مدل‌های دایره‌ای نوآورانه تغییر کنند. به‌عنوان مثال، شرکت‌ها می‌توانند به جای فروش محصولات، از مدل‌های سرویس‌دهی استفاده کنند؛ به این ترتیب که مصرف‌کنندگان به‌جای خرید محصول، از آن به‌صورت سرویس استفاده کنند و پس از پایان عمر مفید آن، محصول به شرکت بازگردانده شود تا برای بازیافت یا بازسازی استفاده شود. این مدل‌ها نه‌تنها به کاهش ضایعات و افزایش بازچرخانی منابع کمک می‌کنند، بلکه ارزش‌های جدید اقتصادی ایجاد می‌کنند و مشتریان را به بهره‌برداری پایدار تشویق می‌کنند. [۲۹]

بهبود شفافیت و ردیابی در زنجیره تأمین هوش مصنوعی از طریق استفاده از تکنولوژی‌هایی نظیر بلاک‌چین، می‌تواند به بهبود شفافیت و ردیابی مواد اولیه در زنجیره تأمین کمک کند. این تکنولوژی‌ها امکان پیگیری مسیر حرکت مواد از مرحله استخراج تا مصرف و بازیافت را فراهم می‌کنند، که این امر باعث می‌شود شرکت‌ها بتوانند مسئولیت‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی خود را بهبود بخشند. به این ترتیب، مصرف‌کنندگان نیز می‌توانند اطمینان بیشتری نسبت به پایداری محصولات داشته باشند. [۲۶]

۵. مطالعات موردی و بهترین شیوه ها

ادغام هوش مصنوعی در مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای در صنایع مختلف به‌طور چشمگیری موجب بهبود کارایی و کاهش ضایعات شده است. در این بخش، چند نمونه از صنایع مختلف را بررسی می‌کنیم که با استفاده از AI توانسته‌اند به اهداف پایداری زیست‌محیطی دست یابند.

صنعت خودروسازی: بهینه‌سازی بازیافت قطعات خودرو

در صنعت خودروسازی، شرکت‌هایی نظیر BMW و رنو از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی بازیافت و استفاده مجدد از قطعات خودرو استفاده می‌کنند. BMW i از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای ارزیابی قطعات برگشتی خودرو و تعیین قابلیت استفاده مجدد آن‌ها بهره می‌برد. این الگوریتم‌ها با تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کیفیت قطعات، به بهینه‌سازی فرآیند بازیافت کمک کرده و ضایعات تولیدی را به حداقل می‌رسانند.
نتیجه این رویکرد، افزایش بهره‌وری مواد و کاهش هزینه‌های تولید بوده است. علاوه بر این، استفاده از هوش مصنوعی باعث شده است که زمان لازم برای ارزیابی و بازیافت قطعات به‌طور قابل‌توجهی کاهش یابد و این امر به بهبود کارایی عملیاتی در خطوط تولید منجر شده است. [۲۹]

صنعت الکترونیک: پروژه بازیافت حلقه بسته دل

در صنعت الکترونیک، شرکت دل از هوش مصنوعی برای مدیریت چرخه عمر محصولات و بازیافت قطعات استفاده می‌کند .پروژه بازیافت حلقه بسته دل، نمونه‌ای موفق از به‌کارگیری AI برای ردیابی و بازیافت مواد از محصولات الکترونیکی است. هوش مصنوعی در این پروژه به تحلیل داده‌های مربوط به محصولات برگشتی و مدیریت چرخه عمر کمک می‌کند و بر اساس این داده‌ها، بهترین روش‌های بازیافت و بازیابی قطعات پیشنهاد می‌شود. نتایج این پروژه نشان می‌دهد که دل توانسته است ضایعات الکترونیکی را به حداقل برساند و از مواد بازیافتی در تولید محصولات جدید استفاده کند. این رویکرد نه‌تنها به کاهش هزینه‌های تولید منجر شده، بلکه باعث شده است که اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات الکترونیکی نیز کاهش یابد. [۳۰]

صنعت مد و پوشاک: کاهش ضایعات نساجی با هوش مصنوعی

H&M یکی از شرکت‌های پیشرو در صنعت مد است که از هوش مصنوعی برای بهبود پایداری زنجیره تأمین و کاهش ضایعات نساجی استفاده می‌کند. الگوریتم‌های AI در H&M به تحلیل الگوهای مصرف مشتریان و بهینه‌سازی موجودی انبارها کمک می‌کنند. این تحلیل‌ها به شرکت امکان می‌دهد که میزان تولید اضافی را کاهش داده و ضایعات نساجی را به حداقل برساند. علاوه بر این، H&M از AI برای توسعه سیستم‌های بازخرید و بازتولید پوشاک استفاده کرده است. این سیستم‌ها به شرکت اجازه می‌دهد که پارچه‌ها و لباس‌های قدیمی را بازیافت کرده و از مواد بازیافتی برای تولید لباس‌های جدید استفاده کند. این رویکرد به کاهش مصرف مواد خام و افزایش بازچرخانی منابع منجر شده است. [۳۱]

صنعت کشاورزی: کشاورزی هوشمند در چین

در بخش کشاورزی، پروژه‌های کشاورزی هوشمند در چین نشان داده‌اند که چگونه هوش مصنوعی می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف منابع آب و کود کمک کند. سیستم‌های مبتنی بر AI داده‌های مربوط به شرایط محیطی و وضعیت خاک را تحلیل می‌کنند و به کشاورزان کمک می‌کنند تا میزان دقیق آب و کود مورد نیاز را تعیین کنند. این سیستم‌ها باعث شده‌اند که مصرف منابع در مزارع به حداقل برسد و بهره‌وری کشاورزی افزایش یابد. همچنین، استفاده از هوش مصنوعی به کاهش آلودگی محیطی ناشی از مصرف بیش از حد کودها و سموم کمک کرده است. این پروژه‌ها نشان می‌دهند که AI چگونه می‌تواند به تحقق اهداف اقتصاد دایره‌ای در بخش کشاورزی کمک کند. [۲۲]

صنعت انرژی: بهینه‌سازی شبکه‌های هوشمند

در بخش انرژی، شرکت‌های فعال در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و مدیریت توزیع انرژی استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های AI به تحلیل داده‌های مربوط به تولید و مصرف انرژی در زمان واقعی می‌پردازند و به بهبود کارایی شبکه‌های انرژی کمک می‌کنند. یکی از پروژه‌های موفق در این زمینه، بهینه‌سازی شبکه‌های هوشمند بوده است. این شبکه‌ها با استفاده از هوش مصنوعی قادر به پیش‌بینی تقاضا و مدیریت بهتر توزیع انرژی هستند، که این امر منجر به کاهش هدررفت انرژی و افزایش بهره‌وری در استفاده از منابع شده است. [۲۹]

این مطالعات موردی نشان می‌دهند که هوش مصنوعی به‌طور مؤثری در ارتقای بهره‌وری منابع و کاهش ضایعات در صنایع مختلف نقش داشته است . AI با تحلیل داده‌ها، پیش‌بینی روندها و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و بازیافت، به شرکت‌ها کمک کرده است تا به اهداف پایداری زیست‌محیطی دست یابند و مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای خود را بهبود بخشند.

جدول ۲- مقایسه تأثیر هوش مصنوعی در صنایع مختلف اقتصاد دایره‌ای

صنعت	کاربرد هوش مصنوعی	نتایج و پیامدها	چالش ها و محدودیت ها
خودروسازی	بهینه‌سازی بازیافت قطعات، تحلیل عمر مفید قطعات	کاهش ضایعات، افزایش بازدهی بازیافت، بهبود مدیریت زنجیره تأمین	هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، نیاز به داده‌های دقیق
الکترونیک	بازیافت حلقه بسته، تحلیل بازدهی مصرف انرژی	کاهش ضایعات الکترونیکی، افزایش بازیافت قطعات الکترونیک	امنیت داده‌ها، پیچیدگی فرایند بازیافت
کشاورزی	کشاورزی هوشمند، تحلیل داده‌های محیطی و خاک	بهینه‌سازی مصرف آب و کود، کاهش مصرف منابع طبیعی	محدودیت دسترسی به تکنولوژی‌های پیشرفته در مناطق روستایی
پوشاک	بهینه‌سازی تولید و موجودی انبار، بازیافت و بازچرخانی پارچه	کاهش ضایعات نساجی، بهبود مدیریت موجودی و مصرف پایدار	عدم دسترسی به تکنولوژی‌های بازیافت پارچه در مقیاس بزرگ
انرژی	پیش‌بینی تقاضا و مدیریت شبکه‌های هوشمند	کاهش هدررفت انرژی، بهینه‌سازی تولید و توزیع انرژی تجدیدپذیر	امنیت سایبری، نیاز به زیرساخت‌های پیچیده دیجیتال

منبع: یافته های پژوهش

○ استراتژی‌های کلیدی برای یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای

برای دستیابی به اجرای موفق و گسترش اصول هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای، توسعه راهکارهای متنوعی ضروری است که بتوانند چالش‌ها را برطرف کرده و مزایا را بهینه کنند. استراتژی‌های کلیدی عبارتند از:

✓ ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال و داده‌ای: یکی از اولین قدم‌ها برای غلبه بر چالش‌های تکنولوژیکی، توسعه زیرساخت‌های مناسب دیجیتال و داده‌ای است. [۱۰] سازمان‌ها و دولت‌ها باید در ایجاد زیرساخت‌های پیشرفته‌ای که شامل شبکه‌های داده‌ای پایدار، پلتفرم‌های پردازش ابری و سیستم‌های ذخیره‌سازی داده‌های بزرگ است، سرمایه‌گذاری کنند.

[۴] این زیرساخت‌ها امکان دسترسی به داده‌های جامع و با کیفیت را فراهم می‌کنند که برای آموزش و بهینه‌سازی الگوریتم‌های هوش مصنوعی ضروری است. [۲۴] همچنین، ایجاد استانداردهای یکپارچه برای داده‌ها و الگوریتم‌ها می‌تواند به بهبود تعامل بین سیستم‌ها و کاهش مشکلات سازگاری کمک کند. [۲۲]

✓ آموزش و توسعه مهارت‌های دیجیتال: برای غلبه بر موانع سازمانی، سرمایه‌گذاری در آموزش و توسعه مهارت‌های دیجیتال نیروی کار حیاتی است. [۶] سازمان‌ها باید برنامه‌های آموزشی جامعی را برای کارکنان خود طراحی و اجرا کنند تا بتوانند از تکنولوژی‌های هوش مصنوعی بهره‌برداری کنند. [۳۲] این آموزش‌ها باید شامل مفاهیم پایه‌ای و پیشرفته هوش مصنوعی، مدیریت داده‌ها و اصول اقتصاد دایره‌ای باشد. [۳۳] همچنین، ترویج فرهنگ نوآوری و پذیرش تکنولوژی‌های جدید می‌تواند به کاهش مقاومت در برابر تغییرات و بهبود پذیرش هوش مصنوعی در سازمان‌ها کمک کند. [۹]

✓ تدوین و اجرای سیاست‌های حمایتی: سیاست‌گذاران نقش کلیدی در تسریع پذیرش هوش مصنوعی و مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای دارند. [۵] دولت‌ها می‌توانند از طریق ارائه مشوق‌های مالی مانند یارانه‌ها و تسهیلات مالیاتی، شرکت‌ها را به پذیرش این فناوری‌ها تشویق کنند. [۸] همچنین، تدوین مقررات مناسب که شامل حفاظت از حریم خصوصی داده‌ها، تضمین شفافیت الگوریتم‌ها و حمایت از حقوق مصرف‌کنندگان باشد، می‌تواند به افزایش اعتماد عمومی و پذیرش اجتماعی هوش مصنوعی کمک کند. [۱۰] علاوه بر این، ایجاد چارچوب‌های قانونی که به تسهیل تبادل داده‌ها و همکاری بین بخش‌های مختلف کمک می‌کنند، می‌تواند به تحقق اهداف اقتصاد دایره‌ای یاری رساند. [۲۳]

✓ توسعه و استفاده از هوش مصنوعی قابل توضیح: برای افزایش شفافیت و پذیرش فناوری‌های هوش مصنوعی، توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی قابل توضیح ضروری است. [۴] این سیستم‌ها به کاربران و ذینفعان امکان می‌دهند تا به طور دقیق‌تر و شفاف‌تر از فرآیندهای تصمیم‌گیری الگوریتم‌ها مطلع شوند. [۲۲] توضیح‌پذیری علاوه بر افزایش اعتماد به تصمیمات هوش مصنوعی، می‌تواند به بهبود عملکرد سیستم‌ها و شناسایی نقاط ضعف کمک کند. [۵] این رویکرد به ویژه در صنایعی که نیاز به شفافیت و مسئولیت‌پذیری بیشتری دارند، مانند صنایع زیست‌محیطی و اجتماعی، اهمیت دارد. [۱۰]

✓ تقویت همکاری چندبخشی: همانطور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، همکاری نزدیک بین بخش‌های دولتی، خصوصی، علمی و جامعه مدنی برای موفقیت در یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای ضروری است. [۲۲] ایجاد کنسرسیوم‌ها و ائتلاف‌های چندبخشی می‌تواند به اشتراک‌گذاری دانش و منابع، تسریع توسعه تکنولوژی‌ها و بهبود اجرای پروژه‌ها کمک کند. [۲۴] این همکاری‌ها می‌توانند به ایجاد پلتفرم‌های مشترک داده‌ای، تدوین استانداردهای بین‌المللی و پیشبرد پروژه‌های پژوهشی مشترک منجر شوند. [۵]

✓ تمرکز بر پایداری مالی و اقتصادی: برای اطمینان از موفقیت بلندمدت پروژه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای، باید توجه ویژه‌ای به پایداری مالی و اقتصادی این پروژه‌ها داشت. [۱۰] این شامل ارزیابی دقیق هزینه‌ها و منافع، تجزیه و تحلیل بازده سرمایه‌گذاری (ROI) و شناسایی فرصت‌های جدید برای کسب درآمد از مدل‌های دایره‌ای است. [۶] شرکت‌ها باید استراتژی‌های مالی پایداری را تدوین کنند که به آنها امکان دهد تا هزینه‌های اولیه پیاده‌سازی هوش مصنوعی را پوشش دهند و از منافع بلندمدت آن بهره‌برداری کنند. [۴]

این استراتژی‌ها می‌توانند به شرکت‌ها و سازمان‌ها کمک کنند تا چالش‌های موجود در مسیر پذیرش و یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی با اصول اقتصاد دایره‌ای را به طور مؤثری مدیریت کرده و از پتانسیل‌های عظیم این فناوری‌ها در راستای دستیابی به اهداف پایداری زیست‌محیطی حداکثر بهره را ببرند. [۱۰]

۶. جهت گیری های آینده و توصیه ها

در تقاطع هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای، چندین حوزه بالقوه برای تحقیقات و توسعه بیشتر وجود دارد که می‌تواند به بهبود عملکرد و افزایش پایداری این تکنولوژی‌ها کمک کند .این حوزه‌ها شامل بررسی عمیق‌تر ملاحظات فنی، اخلاقی، اقتصادی و اجتماعی است که می‌تواند به بهینه‌سازی مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای و ارتقای استفاده از هوش مصنوعی در راستای اهداف پایداری زیست‌محیطی منجر شود.

بهبود و توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بازیافت و بازچرخانی مواد: یکی از حوزه‌های مهم برای تحقیقات بیشتر، توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی است که به طور خاص برای بهینه‌سازی فرآیندهای بازیافت و بازچرخانی مواد طراحی شده‌اند .این تحقیقات می‌تواند به شناسایی روش‌های جدید و کارآمدتر برای جداسازی و بازیافت مواد از محصولات پایان عمر کمک کند .همچنین، توسعه الگوریتم‌های پیشرفته‌تر برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار مواد در فرآیندهای بازیافت، می‌تواند به بهبود کارایی این فرآیندها منجر شود. [۲۶]

تحقیقات در مورد هوش مصنوعی قابل توضیح (Explainable AI) در اقتصاد دایره‌ای: شفافیت و توضیح‌پذیری در تصمیمات هوش مصنوعی یکی از چالش‌های مهم در پذیرش گسترده این تکنولوژی‌ها است .تحقیقات بیشتر در زمینه توسعه هوش مصنوعی قابل توضیح می‌تواند به بهبود اعتماد عمومی و پذیرش اجتماعی هوش مصنوعی کمک کند .این حوزه تحقیقاتی می‌تواند به توسعه ابزارها و الگوریتم‌هایی منجر شود که به کاربران اجازه دهند تا فرآیندهای تصمیم‌گیری هوش مصنوعی را بهتر درک کنند و از صحت و دقت این تصمیمات اطمینان حاصل کنند. [۵]

بررسی تأثیرات اجتماعی و اقتصادی مدل‌های دایره‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی: تحقیقات بیشتری لازم است تا تأثیرات اجتماعی و اقتصادی پیاده‌سازی مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی به دقت بررسی شود .این شامل مطالعه تأثیرات بر اشتغال، توزیع منافع و نابرابری‌های اجتماعی است .همچنین، تحقیقات در این زمینه می‌تواند به شناسایی بهترین راهکارها برای کاهش اثرات منفی احتمالی و افزایش مزایای اجتماعی و اقتصادی این مدل‌ها کمک کند.

توسعه چارچوب‌های قانونی و سیاست‌گذاری‌های حمایتی: یکی دیگر از حوزه‌های تحقیقاتی مهم، توسعه چارچوب‌های قانونی و سیاست‌گذاری‌هایی است که بتوانند از یکپارچگی و استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای حمایت کنند .این تحقیقات باید به بررسی نیازهای قانونی و سیاستی خاص برای حفاظت از حقوق مصرف‌کنندگان، حفظ حریم خصوصی داده‌ها و تضمین عدالت اجتماعی بپردازند .همچنین، این حوزه می‌تواند به توسعه مقررات بین‌المللی برای تسهیل تبادل داده‌ها و همکاری بین کشورها و سازمان‌ها کمک کند.

مطالعات موردی و ارزیابی‌های کاربردی: نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه مطالعات موردی و ارزیابی‌های کاربردی پروژه‌های موفق هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای وجود دارد .این مطالعات می‌توانند به شناسایی بهترین شیوه‌ها، درس‌های آموخته‌شده و فرصت‌های بهبود کمک کنند .بررسی و تحلیل عمیق پروژه‌های واقعی می‌تواند به توسعه راهبردهای بهتر و کارآمدتر برای پیاده‌سازی هوش مصنوعی در مدل‌های دایره‌ای منجر شود.

بررسی اثرات زیست‌محیطی در بلندمدت: تحقیقات بلندمدت در مورد تأثیرات زیست‌محیطی استفاده از هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای نیز از اهمیت بالایی برخوردار است .این تحقیقات می‌تواند به ارزیابی اثربخشی راهبردهای فعلی و شناسایی فرصت‌های بهبود برای کاهش بیشتر اثرات منفی زیست‌محیطی کمک کند .به عنوان مثال، بررسی چرخه عمر (Life Cycle Assessment) محصولات و فرآیندهای تولیدی با استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند به ارائه راهکارهای نوآورانه برای کاهش اثرات زیست‌محیطی منجر شود. [۲۷]

این حوزه‌های تحقیقاتی نه تنها به توسعه علمی و فنی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای کمک می‌کنند، بلکه به بهبود پذیرش اجتماعی و مقیاس‌پذیری این فناوری‌ها نیز یاری می‌رسانند .با توجه به پتانسیل بالای این فناوری‌ها در بهبود پایداری زیست‌محیطی، تحقیقات و توسعه بیشتر در این زمینه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

❖ توصیه‌های سیاستی

برای تقویت نوآوری و همکاری در ترویج شیوه‌های پایدار، ضروری است که سیاست‌گذاران مجموعه‌ای از توصیه‌ها و استراتژی‌های حمایتی را تدوین و اجرا کنند که می‌تواند به تسریع پذیرش و پیاده‌سازی هوش مصنوعی و مدل‌های اقتصاد دایره‌ای کمک کند .در اینجا چند توصیه سیاستی کلیدی ارائه می‌شود:

✓**ایجاد چارچوب‌های قانونی و مقررات حمایتی:** سیاست‌گذاران باید چارچوب‌های قانونی و مقرراتی را تدوین کنند که استفاده از هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای را تسهیل کند .این شامل تدوین قوانین مربوط به حریم خصوصی داده‌ها، حفاظت از حقوق مصرف‌کنندگان و تضمین شفافیت و مسئولیت‌پذیری در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی است .همچنین، ایجاد استانداردهای بین‌المللی برای تبادل داده‌ها و تعامل سیستم‌ها می‌تواند به تسهیل همکاری‌های بین‌المللی و بهبود کارایی مدل‌های دایره‌ای کمک کند.

✓**ارائه مشوق‌های مالی و مالیاتی:** دولت‌ها می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالی و مالیاتی، شرکت‌ها و صنایع را به نوآوری در زمینه هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای ترغیب کنند .این مشوق‌ها می‌تواند شامل یارانه‌ها، تسهیلات مالیاتی و تخفیف‌های مالی برای شرکت‌هایی باشد که از فناوری‌های پایدار و مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای استفاده می‌کنند .این اقدام می‌تواند به تسریع پذیرش این فناوری‌ها و افزایش سرمایه‌گذاری در نوآوری‌های پایدار کمک کند.

✓**حمایت از برنامه‌های تحقیق و توسعه(R&D) :** سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D) یکی از ارکان اصلی برای تقویت نوآوری در اقتصاد دایره‌ای است .دولت‌ها باید بودجه‌های قابل توجهی را به برنامه‌های تحقیقاتی مرتبط با هوش مصنوعی و پایداری زیست‌محیطی اختصاص دهند .این برنامه‌ها می‌تواند شامل حمایت از پژوهش‌های دانشگاهی، توسعه الگوریتم‌های پیشرفته و ایجاد مراکز نوآوری باشد که بر روی یکپارچگی هوش مصنوعی با مدل‌های دایره‌ای تمرکز دارند .همچنین، ایجاد همکاری‌های بین‌المللی در زمینه تحقیق و توسعه می‌تواند به تبادل دانش و بهترین شیوه‌ها کمک کند.

✓**توسعه برنامه‌های آموزشی و ارتقاء مهارت‌ها :** برای پذیرش گسترده‌تر فناوری‌های هوش مصنوعی در مدل‌های دایره‌ای، نیاز به توسعه برنامه‌های آموزشی و ارتقاء مهارت‌ها در سطح جامعه و صنایع وجود دارد .دولت‌ها باید برنامه‌های آموزشی را که بر توسعه مهارت‌های دیجیتال و فناوری‌های پیشرفته متمرکز است، ترویج دهند .این برنامه‌ها می‌تواند به تقویت نیروی کار متخصص در زمینه هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای منجر شود و به ارتقای توانمندی‌های سازمان‌ها در استفاده از این فناوری‌ها کمک کند.

✓**ترویج همکاری‌های چندبخشی :** تشویق به همکاری‌های چندبخشی بین دولت‌ها، صنایع، دانشگاه‌ها و نهادهای مدنی می‌تواند به تسریع پیاده‌سازی شیوه‌های پایدار کمک کند .سیاست‌گذاران باید ائتلاف‌ها و کنسرسیوم‌هایی را ترویج دهند که به اشتراک‌گذاری منابع، دانش و داده‌ها بین بخش‌های مختلف کمک کنند .این همکاری‌ها می‌تواند به بهبود نوآوری و ایجاد مدل‌های کسب‌وکار پایدارتر منجر شود.

✓**ایجاد محیط‌های آزمایشی و نمونه‌سازی :** دولت‌ها باید محیط‌های آزمایشی و فضاهای نمونه‌سازی (sandbox environments) را فراهم کنند که در آنها شرکت‌ها و استارت‌آپ‌ها بتوانند مدل‌های جدید کسب‌وکار دایره‌ای مبتنی بر

هوش مصنوعی را آزمایش و بهینه‌سازی کنند .این فضاها به عنوان بستری برای توسعه و ارزیابی فناوری‌های جدید عمل می‌کنند و به شناسایی بهترین شیوه‌ها و رفع موانع پیش از ورود به بازار کمک می‌کنند.

✓**تشویق به توسعه بازارهای ثانویه و بازخرید :** یکی دیگر از راهکارهای سیاستی برای ترویج شیوه‌های پایدار، توسعه بازارهای ثانویه و سیستم‌های بازخرید محصولات است .سیاست‌گذاران می‌توانند با حمایت از ایجاد این بازارها و سیستم‌ها، به تسهیل بازچرخانی محصولات و کاهش ضایعات کمک کنند .این اقدام نه تنها به افزایش قابلیت بازیافت محصولات کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به ایجاد ارزش‌های جدید در اقتصاد دایره‌ای منجر شود.

با اجرای این توصیه‌ها، سیاست‌گذاران می‌توانند به تقویت نوآوری و همکاری در راستای ترویج شیوه‌های پایدار کمک کنند و از پتانسیل‌های هوش مصنوعی برای بهبود پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی بهره‌برداری کنند. این رویکرد جامع می‌تواند به ایجاد یک اکوسیستم پایدارتر و کارآمدتر در سطح جهانی منجر شود.

❖ پیاده‌سازی هوش مصنوعی در کسب‌وکارهای اقتصاد دایره‌ای

کسب‌وکارها و سازمان‌هایی که از هوش مصنوعی برای پیشبرد اهداف اقتصاد دایره‌ای استفاده می‌کنند، می‌توانند اقدامات عملی متعددی را برای دستیابی به موفقیت انجام دهند .این مراحل شامل استراتژی‌هایی برای بهبود کارایی، کاهش ضایعات و حفاظت از محیط زیست است.

- **تحلیل و ارزیابی نقاط قوت و ضعف موجود :**اولین گام برای هر کسب‌وکار، انجام یک تحلیل جامع از وضعیت فعلی خود است .این تحلیل باید شامل بررسی فرآیندهای تولید، مدیریت زنجیره تأمین و استفاده از منابع باشد .با شناسایی نقاط ضعف و فرصت‌های بهبود، کسب‌وکارها می‌توانند تعیین کنند که چگونه و در چه زمینه‌هایی می‌توانند از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی و ارتقای عملکرد خود استفاده کنند.
- **ایجاد زیرساخت‌های داده‌ای قوی :**برای استفاده مؤثر از هوش مصنوعی، کسب‌وکارها باید زیرساخت‌های داده‌ای قوی و پایدار ایجاد کنند .این شامل جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های باکیفیت بالا است .داده‌ها باید به طور منظم به‌روزرسانی شوند و الگوریتم‌های هوش مصنوعی باید به داده‌های دقیق و جامع دسترسی داشته باشند تا بتوانند به طور کارآمد عمل کنند .کسب‌وکارها می‌توانند از تکنولوژی‌های ابری برای مدیریت و پردازش داده‌ها بهره بگیرند.
- **انتخاب و پیاده‌سازی ابزارهای هوش مصنوعی مناسب :**کسب‌وکارها باید ابزارهای هوش مصنوعی مناسبی را برای نیازهای خاص خود انتخاب کنند .این ابزارها می‌توانند شامل سیستم‌های پیش‌بینی تقاضا، مدیریت زنجیره تأمین، بهینه‌سازی تولید و بازیافت، و سیستم‌های بازخورد مصرف‌کنندگان باشند .کسب‌وکارها باید اطمینان حاصل کنند که این ابزارها با فرآیندهای جاری آنها سازگار است و می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش ضایعات کمک کند.
- **آموزش و توانمندسازی نیروی کار :**پیاده‌سازی موفق هوش مصنوعی نیازمند نیروی کاری است که مهارت‌های لازم را داشته باشد .کسب‌وکارها باید برنامه‌های آموزشی جامعی را برای کارکنان خود توسعه دهند تا آنها با تکنولوژی‌های جدید آشنا شوند و بتوانند به طور مؤثر از این فناوری‌ها در عملیات روزانه استفاده کنند .این آموزش‌ها باید شامل مفاهیم پایه‌ای هوش مصنوعی، مدیریت داده‌ها و اصول اقتصاد دایره‌ای باشد.
- **توسعه مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای جدید :**کسب‌وکارها باید به دنبال ایجاد و توسعه مدل‌های کسب‌وکار جدیدی باشند که به طور خاص بر مبنای اصول اقتصاد دایره‌ای و استفاده از هوش مصنوعی استوار باشند .این مدل‌ها

می‌توانند شامل بازخرید محصولات، سرویس‌دهی به جای فروش و توسعه سیستم‌های بازچرخانی مواد باشند .استفاده از هوش مصنوعی در این مدل‌ها می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش هزینه‌ها کمک کند.

- **همکاری با دیگر سازمان‌ها و نهادها :**یکی دیگر از گام‌های عملی مهم، همکاری با دیگر کسب‌وکارها، نهادهای دولتی و دانشگاه‌ها است .این همکاری‌ها می‌تواند به اشتراک‌گذاری داده‌ها، دانش و بهترین شیوه‌ها کمک کند .علاوه بر این، مشارکت در کنسرسیوم‌ها و پروژه‌های مشترک می‌تواند به تسریع پذیرش و پیاده‌سازی تکنولوژی‌های هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای کمک کند.
- **پیگیری و اندازه‌گیری نتایج :**برای اطمینان از موفقیت در پیاده‌سازی هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای، کسب‌وکارها باید نتایج حاصل از اقدامات خود را به طور مستمر پیگیری و اندازه‌گیری کنند .این شامل ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی، بررسی تأثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی و شناسایی فرصت‌های بهبود است .این اطلاعات می‌تواند به کسب‌وکارها کمک کند تا استراتژی‌های خود را بهینه‌سازی کرده و عملکرد خود را بهبود بخشند.
- **ایجاد فرهنگ نوآوری و پایداری :**در نهایت، کسب‌وکارها باید به ایجاد یک فرهنگ سازمانی که بر نوآوری و پایداری تأکید دارد، توجه کنند .این فرهنگ باید شامل تشویق به خلاقیت، پذیرش تغییرات تکنولوژیکی و تعهد به پایداری زیست‌محیطی باشد .با ایجاد چنین فرهنگی، کسب‌وکارها می‌توانند از توانمندی‌های هوش مصنوعی برای ایجاد ارزش‌های پایدارتر و بلندمدت بهره‌برداری کنند.

با اجرای این گام‌های عملی، کسب‌وکارها و سازمان‌ها می‌توانند از فناوری‌های هوش مصنوعی به نحو مؤثری برای پیشبرد اهداف اقتصاد دایره‌ای و ارتقای پایداری زیست‌محیطی استفاده کنند .این اقدامات می‌تواند به ایجاد مدل‌های کسب‌وکار پایدارتر، بهبود کارایی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی منجر شود.

۷. خلاصه و نتایج

این مطالعه به بررسی تقاطع هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای پرداخته و نقش هوش مصنوعی را در ارتقای پایداری زیست‌محیطی و بهبود بهره‌وری منابع مورد تحلیل قرار می‌دهد. اقتصاد دایره‌ای به دنبال کاهش ضایعات و استفاده مجدد از منابع است، در حالی که هوش مصنوعی با تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیندها، این اهداف را تسهیل می‌کند. مقاله به مزایا و چالش‌های این تقاطع پرداخته و پیشنهاداتی برای سیاست‌گذاران و صنایع جهت بهره‌برداری از این فرصت‌ها ارائه می‌دهد. نتایج پژوهش به شرح زیر می باشد.

- ✓ **ارتقای کارایی منابع :**استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت منابع منجر به کاهش ضایعات و بهبود بهره‌وری در فرآیندهای تولید و مصرف شده است، که این امر در صنایع مختلف به تحقق اهداف اقتصاد دایره‌ای کمک کرده است.
- ✓ **بهبود بازیافت و بازچرخانی :**هوش مصنوعی توانسته است فرآیندهای بازیافت را بهینه‌سازی کرده و میزان بازیابی مواد را افزایش دهد، به‌ویژه در صنایع خودروسازی و الکترونیک که استفاده مجدد از قطعات و مواد به حداکثر رسیده است.
- ✓ **مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه :**توسعه مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای با استفاده از هوش مصنوعی، امکان ایجاد ارزش‌های جدید اقتصادی و بهبود پایداری کسب‌وکارها را فراهم کرده است، به‌ویژه از طریق بهینه‌سازی زنجیره تأمین و کاهش هزینه‌های تولید.

✓ **چالش‌های اخلاقی و اجتماعی :**با وجود مزایای قابل توجه، ملاحظات اخلاقی مرتبط با هوش مصنوعی، از جمله شفافیت در تصمیم‌گیری و حفظ حریم خصوصی داده‌ها، به عنوان چالش‌هایی مهم در پیاده‌سازی این فناوری‌ها در اقتصاد دایره‌ای مطرح شده‌اند.

درخواست اقدام از ذینفعان برای یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای

برای بهره‌مندی کامل از مزایای مدل اقتصاد دایره‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی، همکاری فعال ذینفعان کلیدی ضروری است .این فراخوان برای مشارکت فعال در توسعه و اجرای این روش‌ها حیاتی است.

✓ **کسب‌وکارها و صنایع :**کسب‌وکارها و صنایع باید به طور فعال هوش مصنوعی را در مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای خود ادغام کنند .این تکنولوژی نه تنها می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کند، بلکه نقش حیاتی در کاهش اثرات زیست‌محیطی و دستیابی به پایداری بلندمدت ایفا می‌کند .کسب‌وکارها می‌توانند از فرصت‌هایی مانند یارانه‌ها، تسهیلات مالیاتی و حمایت‌های سیاستی بهره‌برداری کنند تا با استفاده از هوش مصنوعی، فرآیندهای تولید و زنجیره تأمین خود را بهینه‌سازی کرده و به سمت مدل‌های دایره‌ای حرکت کنند.

✓ **دولت‌ها و سیاست‌گذاران :**دولت‌ها و سیاست‌گذاران باید به طور فعال از نوآوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای حمایت کنند .این شامل تدوین و اجرای سیاست‌های حمایتی، ارائه مشوق‌های مالی و توسعه چارچوب‌های قانونی است که استفاده مسئولانه و شفاف از هوش مصنوعی را تضمین می‌کند .همچنین، دولت‌ها باید تسهیل‌کننده همکاری‌های بین بخشی باشند و با ایجاد ائتلاف‌ها و کنسرسیوم‌ها، تبادل دانش و منابع را بین ذینفعان مختلف تسریع کنند.

✓ **دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی :**دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی باید به طور فعال در تحقیقات و توسعه در زمینه هوش مصنوعی و اقتصاد دایره‌ای شرکت کنند .این شامل انجام مطالعات موردی، توسعه الگوریتم‌های جدید و پیشرفته، و ارزیابی تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی این فناوری‌ها است .مؤسسات تحقیقاتی باید به شناسایی بهترین شیوه‌ها و ارائه راهکارهای نوآورانه برای غلبه بر چالش‌های موجود بپردازند و این دانش را با کسب‌وکارها و سیاست‌گذاران به اشتراک بگذارند.

✓ **جامعه مدنی و مصرف‌کنندگان :**جامعه مدنی و مصرف‌کنندگان نیز نقش مهمی در ترویج شیوه‌های اقتصاد دایره‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی دارند .با افزایش آگاهی عمومی درباره فواید و پتانسیل‌های این شیوه‌ها، مصرف‌کنندگان می‌توانند تقاضا برای محصولات و خدمات پایدارتر را افزایش دهند .همچنین، جامعه مدنی می‌تواند به عنوان یک ناظر مستقل عمل کند و بر شفافیت، مسئولیت‌پذیری و اخلاقی بودن استفاده از هوش مصنوعی در مدل‌های کسب‌وکار دایره‌ای نظارت داشته باشد.

بنابراین همه ذینفعان باید با هم در راستای تحقق این اهداف همکاری کنند .بهره‌برداری از فرصت‌های ارائه شده توسط هوش مصنوعی در اقتصاد دایره‌ای نه تنها به بهبود پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به ایجاد ارزش‌های اقتصادی و اجتماعی جدید نیز منجر شود .این فراخوان به اقدام، فرصتی است تا با همکاری و نوآوری، به سمت آینده‌ای پایدارتر و عادلانه‌تر حرکت کنیم .

مراجع

1.Fatimah, Y. A., Govindan, K., Sasongko, N. A., & Hasibuan, Z. A. (2024). The critical success factors for sustainable resource management in circular economy: Assessment of urban mining maturity level. Journal of Cleaner Production, 469, 143084. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143084

2.Redko, K. (2024). Circular economy and AI empowerment in social entrepreneurship: a path to sustainability. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, *3*(3), 27–35. https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20240303.04

۳.Rimban, Erwin, Intersecting Horizons of Artificial Intelligence and Nanotechnology (March 13, 2024). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4757599 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4757599

۴. Rame, R., Purwanto, P., & Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future. *Innovation and Green Development*, *3*(4), 100173. https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100173

۵. Ali, Z. A., Zain, M., Hasan, R., ..., Alkhamees, B. F., & Almisned, F. A. (2024). Circular economy advances with artificial intelligence and digital twin: Multiple-case study of Chinese industries in agriculture. *Journal of the Knowledge Economy*. https://doi.org/10.1007/s13132-024-02101-w

۶. Pathan, Muhammad Salman, Edana Richardson, Edgar Galvan, and Peter Mooney. 2023. "The Role of Artificial Intelligence within Circular Economy Activities—A View from Ireland" Sustainability 15, no. 12: 9451. https://doi.org/10.3390/su15129451

۷.Islam, R. (2024). Sustainable Entrepreneurship in the Digital Age: The Role of AI in Green Business Practices. http://www.theseus.fi/handle/10024/862779

۸. Stefanis, C., Stavropoulos, A., Stavropoulou, E., Tsigalou, C., Constantinidis, T. C., & Bezirtzoglou, E. (2024). A Spotlight on Environmental Sustainability in View of the European Green Deal. *Sustainability*, *16*(11), 4654. **https://doi.org/10.3390/su16114654**

۹. Ahmed, E., Farag, M. A., Darwish, A., & Hassanien, A. E. (2023). Digital twin technology for energy management systems to tackle climate change challenges. In *The Power of Data:* Driving Climate Change with Data Science and Artificial Intelligence Innovations 137–156.

۱۰. El Jarroudi, M., Kouadio, L., Delfosse, P. *et al.* Leveraging edge artificial intelligence for sustainable agriculture. *Nat Sustain* **7**, 846–854 (2024). https://doi.org/10.1038/s41893-024-01352-4

۱۱. Zaharudin, Z. A., Shuib, A. ., Hadianti, R., & Md Rodzi, Z. (2023). Towards Sustainable City: A Covering Model for Recycling Facility Location-allocation in Nilai, Malaysia. *Science and Technology Indonesia*, *8*(4), 570–578. https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.4.570-578

۱۲. Truant, E., Giordino, D., Borlatto, E., & Bhatia, M. (2024). Drivers and barriers of smart technologies for circular economy: Leveraging smart circular economy implementation to nurture companies' performance. Technological Forecasting and Social Change, 198, 122954. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122954

۱۳.سید مجتبی خیام نکویی، محمدرضا غفاری، محسن مردی، زهرا قربان زاده، رسمیه حمید، مهرشاد زین العابدینی، .(1403)فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی؛ چشم انداز، کاربردها و چالش ها، *مجله زیست فناوری گیاهان زراعی*، 13(45)، 15-29. magiran.com/p2700660

۱۴.بهرام دلیر، علیرضا ریاضت، .(1402)نگرش سیاستی و تقنینی به چالش ها و فرصت های هوش مصنوعی در حوزه محیط زیست و تغییرات اقلیمی، *نشریه دین و قانون*، (40)11، 109-93. magiran.com/p2719634

۱۵.هدا دشتی پور، علی نورس، سارا دانشجو، سهامه محبی، ندا موسوی نیری، .(1402)پیشرفت های اخیر(نانو) در حسگر های زیستی: کاربرد هوش مصنوعی، *نشریه زیست فناوری دانشگاه تربیت مدرس*، (3)13، 72-55. magiran.com/p2656714

۱۶.مصطفی صفدری رنجبر، اشکان علینقیان، فواد قادری، .(1401)بررسی سیاست های توسعه زیست بوم نوآوری در حوزه هوش مصنوعی؛ شواهدی از ایران، *نشریه مطالعات زیست بوم اقتصاد نوآوری*، (1)2، 111-93. magiran.com/p2508767

۱۷. Semin, A., Mironov, D., Kislitskiy, M., Zasypkin, A., & Ivanov, V. M. (2023). Improving the theoretical and methodological framework for implementing digital twin technology in various sectors of agriculture. *European Scientific Journal*, 7(4), 05. https://dx.doi.org/10.28991/esj-2023-07-04-05

۱۸. Cao, Z., & Peng, L. (2023). The Impact of Digital Economics on Environmental Quality: A System Dynamics Approach. *Sage Open*, *13*(4). https://doi.org/10.1177/21582440231219350

۱۹. Sivaprakash, Js., & Mahesh, G. N. (2023). Leveraging circular economy using AI. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 35784. https://dx.doi.org/10.56726/irjmets35784

۲۰. Aliyev, A., & Shahverdiyeva, R. (2023). Formation of a digital circular economy on the Industry 4.0 platform. *Journal of Information and Systems*, 14(2), 01. https://dx.doi.org/10.25045/jpis.v14.i2.01

۲۱. Fraga-Lamas, Paula, Sérgio Ivan Lopes, and Tiago M. Fernández-Caramés. 2021. "Green IoT and Edge AI as Key Technological Enablers for a Sustainable Digital Transition towards a Smart Circular Economy: An Industry 5.0 Use Case" *Sensors* 21, no. 17: 5745. https://doi.org/10.3390/s21175745

۲۲. Neri, A., Cagno, E., Susur, E., Urueña, A., Nuur, C., Kumar, V., Franchi, S. and Sorrentino, C. (2024), The relationship between digital technologies and the circular economy: a systematic literature review and a research agenda. R&D Management. https://doi.org/10.1111/radm.12715

۲۳. Ramos, Edgar, Arminda Guerra Lopes, and Fábio Mendonça. 2024. "Application of Machine Learning in Plastic Waste Detection and Classification: A Systematic Review" *Processes* 12, no. 8: 1632. https://doi.org/10.3390/pr12081632

۲۴. Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2024). The role of digital technologies in production systems for achieving sustainable development goals. *Sustainable Production and Consumption*. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.035

۲۵. Meng, Xianhai, Simran Das, and Junyu Meng. 2023. "Integration of Digital Twin and Circular Economy in the Construction Industry" *Sustainability* 15, no. 17: 13186. https://doi.org/10.3390/su151713186

۲۶. Aliyev, A., & Shahverdiyeva, R. (2023). Formation of a digital circular economy on the Industry 4.0 platform. *Journal of Information and Systems*, 14(2), 1-10. https://dx.doi.org/10.25045/jpis.v14.i2.01

۲۷. Toni, M. (2023). Conceptualization of circular economy and sustainability at the business level. *International Journal of Environmental Research and Management*, 2(2), 5-14. https://dx.doi.org/10.59762/ijerm20527579122023120514063 5

۲۸. Al-Khatib, A. (2023). The impact of dynamic capabilities on circular economy: The mediating effect of the industrial Internet of Things. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(4), 1-19. https://dx.doi.org/10.1108/jmtm-01-2023-0003

۲۹. Js, S., & Mahesh, G. N. (2023). Leveraging circular economy using AI. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 35784. https://dx.doi.org/10.56726/irjmets35784

۳۰. Ghosh, A., Bhattacharjee, D., Bhola, P., & Sivarajah, U. (2023). Exploring the practicality of circular economy through its associates: A case analysis-based approach. Journal of Cleaner Production, 421, 138457. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138457

۳۱. Silva, Wesley Douglas Oliveira, Marcele Elisa Fontana, Bianca Maria Jacinto de Almeida, Pedro Carmona Marques, and Raphaela Vidal. 2023. "Analyzing the Attractiveness of Businesses to Receive Investments for a Creative and Innovative Transition to a Circular Economy: The Case of the Textile and Fashion Industry" *Sustainability* 15, no. 8: 6593. https://doi.org/10.3390/su15086593

۳۲.Rychalski, A., & Aubry, M. (2024). Diversify Approaches to Better Understand the Compatibility of Artificial Intelligence and Sustainability:"I Love You… Me Neither". *Journal of Innovation Economics Management*, *44*(2), 1-21. https://doi.org/10.3917/jie.044.0001

۳۳.Al-Halbusi, H., Popa, S., Alshibani, S. M., & Soto-Acosta, P. (2024). Greening the future: Analyzing green entrepreneurial orientation, green knowledge management, and digital transformation for sustainable innovation and circular economy. European Journal of Innovation Management, ahead-of-print(ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2024-0169

۳۴. Abdullaeva Barchinoy Yuldashevna. (2024). THE GREEN ECONOMY: PATHWAYS TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *European Journal of Economics, Finance and Business Development*, *2*(6), 59–66. Retrieved from https://europeanscience.org/index.php/2/article/view/796

۳۵. Ali, F., et al. (2023). Green Technological Innovation and Environmental Sustainability. International Journal of Applied Research in Social Sciences, 6(5), 954-977. https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i5.1147

۳۶. Akoh Atadoga, Kehinde Feranmi Awonuga, Chidera Victoria Ibeh, Chinedu Ugochukwu Ike, Kehinde Andrew Olu-lawal, & Favour Oluwadamilare Usman. (2024). HARNESSING DATA ANALYTICS FOR SUSTAINABLE BUSINESS GROWTH IN THE U.S. RENEWABLE ENERGY SECTOR. Engineering Science & Technology Journal, *5*(2), 460-470. https://doi.org/10.51594/estj.v5i2.806