

افزایش تاب‌آوری در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) و ادغام فناوری نوین با گذر از جهش‌های هوش مصنوعی، جهت کاهش مشکلات در صنعت

مهدی پاسبان^۱، محدثه پاسبان^۲

۱- دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران / M.Pasban@iau.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات / Pasban.Jam@gmail.com

چکیده

این پژوهش به افزایش تاب‌آوری و تحلیل نقش ادغام فناوری هوش مصنوعی (AI) در سامانه‌های مدیریت زنجیره تأمین (SCM) در بستر گذار صنعتی از مرحله چهارم به ششم (جهش‌های هوش مصنوعی) می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، بررسی شیوه‌هایی است که از طریق آن‌ها بهره‌گیری از هوش مصنوعی می‌تواند بهره‌وری عملیات، همکاری انسان محور و پایداری زیست‌محیطی را در زنجیره‌های تأمین بهبود بخشد. با توجه به تحول مستمر صنعت و پیچیدگی محیط رقابتی، ضرورت ادغام فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای ارتقای تصمیم‌گیری راهبردی، تاب‌آوری عملیاتی و تحقق اصول پایداری بیش از پیش آشکار شده است. در این راستا، پژوهش حاضر با استفاده از چارچوب نظام‌مند PRISMA، یک مرور نظام‌مند از متون علمی منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ انجام داده است. که این دیتا شامل پایگاه‌های داده از جمله Web of Science، Scopus، IEEE Xplore، Google Scholar و بوده و مطالعات منتخب از طریق فرآیند غربال‌گری دقیق از نظر معیارهای شمول و کیفیت، ارزیابی شده‌اند. نتایج تحلیل حاکی از آن است که بهره‌گیری از فناوری‌های هوش مصنوعی، بهبود چشمگیری در پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی و تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. در مرحله‌ی صنعت ۵.۰، هماهنگی میان انسان و سیستم‌های هوشمند نقشی محوری در تقویت نوآوری، شخصی‌سازی و حل مسئله ایفا می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق هوش مصنوعی نه تنها کارایی و بهره‌وری عملیاتی را افزایش می‌دهد، بلکه انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را در مواجهه با اختلالات محیطی نیز تقویت می‌کند. دستاوردهای حاصل از این بررسی می‌تواند به عنوان راهنمایی کاربردی برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و مدیران زنجیره تأمین در جهت بهره‌برداری مؤثر از فناوری‌های نوین در گذار از صنعت ۴.۰ به ۶.۰ مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت، این مطالعه بر ضرورت اتخاذ رویکردی متعادل که نوآوری فناورانه را با اصول انسان‌محوری و پایداری زنجیره تأمین بلندمدت را در هم می‌آمیزد، تأکید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، زنجیره تأمین، یادگیری ماشین، تاب‌آوری، صنعت، فناوری‌های هوش مصنوعی.

۱. مقدمه

در سال های اخیر، مدیریت زنجیره تأمین با تمرکز بر بهینه سازی جریان منابع، تولید ارزش و افزایش کارایی در تحویل خدمات و محصولات به مصرف کنندگان نهایی، دستخوش تحولات قابل توجهی شده است [۱]. سازمان ها با هدف افزایش رقابت پذیری، بهره وری و توانایی سازگاری با تغییرات پویای بازار، به اهمیت گنجاندن اصول مدیریت زنجیره تأمین در راهبردهای خود پی برده اند [۲]. به ویژه بنگاه های کوچک و متوسط با به کارگیری استراتژی های مدیریت زنجیره تأمین، مزایای رقابتی چشمگیری به دست آورده و عملکرد سازمانی خود را ارتقا داده اند [۳]. در هسته ی این رویکرد، ادغام مؤثر فرآیندهای کلیدی کسب و کار برای خلق ارزش بیشتر برای مشتریان و ذی نفعان قرار دارد [۴]. در سال های اخیر، مفهوم مدیریت زنجیره تأمین سبز (GSCM) به عنوان یک پارادایم نوظهور مطرح شده است که هدف آن ادغام ملاحظات زیست محیطی در فرآیندهای تأمین، تولید و توزیع است [۵]. این رویکرد با هدف بهبود انطباق زیست محیطی، کاهش ضایعات و ارتقای مسئولیت اجتماعی شرکت ها، به یکی از محورهای کلیدی توسعه پایدار بدل شده است [۶]. هم زمان، پیشرفت های چشمگیر در حوزه هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشینی موجب تحول در مدیریت زنجیره تأمین از طریق دقت بیشتر در پیش بینی تقاضا، برنامه ریزی و مسیریابی شده است [۷]. به گفته ی پژوهشگران، کیفیت، هزینه و قابلیت اطمینان زنجیره های تأمین به طور مستقیم تحت تأثیر استفاده فزاینده از فناوری های هوش مصنوعی در انتخاب و مدیریت تأمین کنندگان قرار دارد [۸]. این فناوری ها از طریق خودکارسازی فرایندها، بهبود تصمیم سازی و ارتقای کارایی کلی، موجب تحول بنیادین در ساختار سنتی زنجیره تأمین شده اند [۹]. از این منظر، ادغام هوش مصنوعی به عنوان راهکاری مؤثر برای غلبه بر چالش هایی مانند پیش بینی دقیق، کنترل موجودی بهینه و ارتقای شفافیت در کل زنجیره تأمین مطرح است [۱۰]. با حرکت صنایع از پارادایم صنعت ۴.۰ به سمت صنعت ۶.۰، اهمیت پیاده سازی سیستم های هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین بیش از پیش برجسته شده است [۱۱]. مزایای این ادغام شامل افزایش کارایی، چابکی، سرعت واکنش به تغییرات بازار و ارتقای رقابت پذیری است [۱۲]. نوآوری های مبتنی بر هوش مصنوعی نقش راهبردی در بهبود تاب آوری زنجیره های تأمین و ارتقای عملکرد سازمانی ایفا می کنند [۱۳]. به کارگیری فناوری های هوش مصنوعی به شرکت ها این امکان را می دهد تا فعالیت های لجستیکی خود را ساده سازی کنند، الگوهای رفتاری بازار را شناسایی نمایند و از طریق تصمیم گیری داده محور، بهره وری عملیاتی را به میزان قابل توجهی افزایش دهند [۱۴]. این امر به ویژه در مواجهه با تغییرات مداوم محیطی و فنی، نقشی اساسی در توان تطبیق پذیری سازمان ها ایفا می کند [۱۵]. فناوری های رباتیک و خودکارسازی نیز موجب بازتعریف عملکرد انبارداری، توزیع و حمل و نقل شده اند و از طریق کاهش هزینه ها و افزایش دقت، نوآوری استراتژیک را تقویت کرده اند [۱۶]. همچنین تحلیل های پیش بینی مبتنی بر هوش مصنوعی در حوزه هایی نظیر مدیریت تقاضا و کنترل عرضه، عاملی کلیدی برای افزایش تاب آوری زنجیره های تأمین به شمار می روند [۱۷]. ادغام هوش مصنوعی با منابع انسانی و بهره گیری از الگوریتم های یادگیری ماشینی، بستری برای ایجاد سیستم های زنجیره تأمین هوشمند فراهم آورده است که در آن، انعطاف پذیری، پایداری و رقابت پذیری به طور هم زمان ارتقا می یابد [۱۸]. صنعت ۴.۰ با معرفی فناوری هایی نظیر اینترنت اشیا، کلان داده، رباتیک و امنیت سایبری، بنیان فنی لازم برای پیاده سازی گسترده هوش مصنوعی در زنجیره های تأمین را فراهم کرد، در حالی که صنعت ۶.۰ با تمرکز بر تعامل انسان و ماشین، این فرایند را به سطحی هوشمندتر و انسان محورتر ارتقا داده است [۱۹]. درک جامع از پیامدهای گذار بین این دو دوره صنعتی، مستلزم بررسی دقیق نقش فناوری های هوش مصنوعی در بازطراحی زنجیره های تأمین است [۲۰]. مطالعات اخیر نشان داده اند که استفاده از حسگرهای هوشمند و سامانه های هوش مصنوعی می تواند دقت تصمیم گیری، سلامت عملیاتی و

بهره‌وری را در صنایع گوناگون بهبود دهد [۲۱]. این فناوری‌ها علاوه بر افزایش کارایی و کاهش ضایعات، منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیندهای تولید نیز می‌شوند [۲۲]. تحلیل اثرات آینده‌نگرانه هوش مصنوعی در پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی و پاسخ سریع به نوسانات بازار، از ارکان اساسی در ارزیابی مزایا و محدودیت‌های این فناوری در زنجیره تأمین است [۲۳]. با این حال، چالش‌هایی همچون تهدیدات امنیت سایبری، کمبود مهارت‌های تخصصی در نیروی کار و ضرورت انطباق با اصول پایداری همچنان پابرجاست [۲۴]. از این‌رو، تدوین راهبردهای جامع جهت تقویت فرهنگ سازمانی مبتنی بر نوآوری، حمایت از پایداری و ارتقای امنیت داده‌ها، از الزامات اساسی در مسیر ادغام موفق هوش مصنوعی محسوب می‌شود [۲۵]. همچنین اجرای فرایندهای دایره‌ای در صنعت ۶.۰ نیازمند همکاری میان‌بخشی، سرمایه‌گذاری فناورانه و توسعه سرمایه انسانی است [۲۶].

بر این اساس، اهداف این پژوهش عبارت‌اند از:

۱. تحلیل روند تکامل و اثرگذاری فناوری‌های هوش مصنوعی بر مدیریت زنجیره تأمین در گذار از صنعت ۴.۰ به ۶.۰
 ۲. شناسایی مزایا و چالش‌های اساسی ادغام هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین؛
 ۳. ارائه پیشنهاد‌های راهبردی برای توسعه و پیاده‌سازی مؤثر هوش مصنوعی در نظام‌های تأمین آینده.
- گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ نمادی از تحولی عمیق در ساختارهای صنعتی است؛ تحولی که بر فراتر رفتن از اتوماسیون صرف تأکید دارد و تعامل متوازن میان فناوری‌های هوشمند، انسان‌محوری و پایداری را هدف قرار می‌دهد. بدین ترتیب، اهمیت مطالعه حاضر در تحلیل جامع این گذار و تمرکز آن بر ادغام هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین نهفته است.

۲. مرور ادبیات

۲.۱. مروری بر هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین

ادبیات اخیر، توجه روزافزونی به نقش هوش مصنوعی (AI) در تحول مدیریت زنجیره تأمین معطوف داشته است. یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش بهره‌وری عملیاتی، نوآوری استراتژیک و پایداری زنجیره‌های تأمین داشته‌اند [۲۷]. برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی به‌ویژه در بهبود چابکی، تاب‌آوری و سازگاری سازمان‌ها در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ مؤثر بوده‌اند [۲۸]. استفاده از تحلیل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی از عوامل کلیدی در بهینه‌سازی عملیات زنجیره تأمین است که منجر به کاهش هزینه‌ها، بهبود رضایت مشتری و ارتقای کارایی کلی سازمان می‌شود [۲۹]. اهمیت بهره‌گیری از هوش مصنوعی با حرکت صنایع از چارچوب صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ تشدید می‌شود. فناوری‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، واقعیت مجازی (VR) و سیستم‌های ایمنی مصنوعی (AIS) به‌عنوان ابزارهای مؤثر برای افزایش عملکرد مدیریت زنجیره تأمین شناخته می‌شوند [۳۰]. پژوهش‌ها بر نقش مکمل یادگیری ماشین و خلاقیت انسانی در ایجاد رابطه‌ای هم‌افزا میان نیروی کار و فناوری تأکید داشته‌اند که منتج به مدیریت یکپارچه‌تر و تصمیم‌گیری هوشمندتر در زنجیره‌های تأمین می‌شود [۳۱]. با وجود این فرصت‌ها، چالش‌های مهمی همچون حفظ امنیت سایبری، تضمین پایداری و بهبود فرآیندهای تصمیم‌سازی هنوز پابرجا هستند [۳۲]. لذا، راهبردهای آینده‌نگر در ادغام هوش مصنوعی، باید به مقابله‌ی مؤثر با این موانع پرداخته و از نوآوری فناورانه برای ارتقای کارایی عملیاتی، رضایت ذی‌نفعان و مزیت رقابتی بهره‌گیرند [۳۳].

۲.۲ تکامل فناوری‌های هوش مصنوعی از صنعت ۴.۰ تا صنعت ۶.۰

روند تکامل فناوری‌های هوش مصنوعی از عصر صنعت ۴.۰ تا صنعت ۶.۰، تحولی بنیادین در مدیریت زنجیره تأمین ایجاد کرده است. این فناوری‌ها از طریق یادگیری ماشینی، تحلیل داده‌های پیش‌بینی‌کننده و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، موجب ارتقای تاب‌آوری عملیاتی، کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد کلان سازمان‌ها شده‌اند [۳۴]. پیشرفت‌های فناورانه در حوزه‌ی هوش مصنوعی، نحوه‌ی اجرای عملیات زنجیره تأمین را متحول ساخته و سطح بالایی از اثربخشی و رقابت‌پذیری را در محیط‌های دینامیک سازمانی فراهم کرده‌اند [۳۵]. این فناوری‌ها توانایی انطباق سریع با تغییرات بازار، تخصیص بهینه منابع و کاهش اختلالات عملیاتی را ممکن می‌سازند [۳۶]. از سوی دیگر، خودکارسازی فرآیندها و قابلیت تحلیل بلادرنگ داده‌ها، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا تجارب مشتریان را به‌صورت سفارشی‌سازی شده ارتقا دهند و تصمیمات استراتژیک بهتری اتخاذ کنند [۳۷]. علاوه بر این، فناوری‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین و تحلیل کلان‌داده، پیشرفت‌های چشمگیری در نگهداری پیش‌بینی‌کننده و تخصیص منابع در حوزه‌های کشاورزی، تولید و فناوری اطلاعات ایجاد کرده‌اند [۳۸]. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این فناوری‌ها ضمن کاهش تهدیدات امنیتی، ظرفیت بازبایی سریع زنجیره‌های تأمین را پس از بحران‌ها افزایش می‌دهند [۳۹]. در مجموع، توسعه شبکه‌های نسل جدید هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی، در کنار راهبردهای دیجیتال، زیربنای اصلی دستیابی به صنعت ۶.۰ را تشکیل می‌دهد [۴۰]. برای تداوم رقابت‌پذیری و نوآوری، سازمان‌ها نیازمند درک عمیق از تفاوت‌های منطقه‌ای در پذیرش فناوری، تقویت همکاری میان‌صنعتی و مدیریت جهانی زنجیره‌های مبتنی بر هوش مصنوعی هستند [۴۱].

۲.۳ مزایا و چالش‌های ادغام هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین

به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین منجر به تحولات چشمگیری در سرعت، دقت و پیچیدگی تصمیم‌سازی‌ها شده است [۴۲]. ابزارهایی همچون اتوماسیون فرآیند رباتیک (RPA)، بینایی ماشین و یادگیری عمیق، فرایندهای سنتی تصمیم‌گیری را متحول و کارایی کلی زنجیره را ارتقا داده‌اند [۴۳]. این سامانه‌ها امکان پیش‌بینی دقیق تقاضا، مدیریت بهینه موجودی و افزایش شفافیت در انتقال کالا را فراهم می‌کنند و در نتیجه، منجر به کاهش ضایعات، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بهبود پاسخ‌گویی به نوسانات بازار می‌شوند [۴۴]. فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی از طریق تحلیل‌های پیشرفته، شناخت دقیق‌تری از پویایی زنجیره‌های تأمین و روندهای بازار ارائه می‌دهند [۴۵]. با وجود این، موانعی همچون چالش‌های هماهنگی میان شرکای زنجیره، پیچیدگی فناوری و ریسک‌های ناشی از اتوماسیون بیش از حد همچنان وجود دارد [۴۶]. از این‌رو، مدیران باید به ارزیابی دقیق ظرفیت‌های فنی و سازمانی برای پیاده‌سازی مؤثر فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی بپردازند [۴۷]. مدیریت موفق ادغام این فناوری‌ها مستلزم ایجاد تعادل میان کارایی عملیاتی، امنیت داده‌ها و پایداری اجتماعی است [۴۸].

۲.۴ تفاوت‌های بین صنعت ۴.۰، ۵.۰ و ۶.۰

روند توسعه هوش مصنوعی در چارچوب صنایع ۴.۰، ۵.۰ و ۶.۰ بیانگر دگرگونی بنیادین در نحوه‌ی مدیریت کسب‌وکار و زنجیره‌های تأمین است. در صنعت ۴.۰، تمرکز بر اتوماسیون، تحلیل داده‌ها و اتصال دیجیتال قرار دارد که به‌واسطه‌ی فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده و هوش مصنوعی تقویت می‌شود [۴۹]. در این مرحله، تصمیم‌سازی بلادرنگ و پیش‌بینی تقاضا، کارایی عملیات را افزایش می‌دهد؛ اما هزینه‌های پیاده‌سازی بالا، ریسک‌های امنیتی و کمبود مهارت‌های تخصصی، موانع مهمی محسوب می‌شوند [۵۰]. صنعت ۵.۰ به‌عنوان گامی فراتر از اتوماسیون صرف، ترکیب انسان و ماشین را در مرکز توجه قرار می‌دهد. در این فاز، هوش مصنوعی با توانایی شناختی انسان ادغام می‌شود تا تصمیم‌گیری اخلاقی‌تر، سفارشی‌سازی محصولات و فرایندهای پایدارتری را ممکن سازد [۵۱]. در این مرحله، رویکرد انسان‌محور، اصول اخلاقی و

توسعه پایدار به عناصر کلیدی موفقیت تبدیل می‌شوند [۵۲]. در نهایت، صنعت ۶۰ به سمت اکوسیستم‌های خودگردان و هوشمند حرکت دارد که در آن مداخله انسانی حداقلی است. در این فاز، هوش مصنوعی نه تنها بهره‌وری اقتصادی، بلکه ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی را نیز مدنظر قرار می‌دهد [۵۳]. ساختارهای تولیدی این دوره متکی بر اقتصاد چرخشی، بازیافت منابع و جذب هوش مصنوعی در چرخه‌های تصمیم‌گیری پایدار هستند [۵۴]. با وجود این، چالش‌هایی همچون یکپارچه‌سازی سامانه‌های خودمختار، مدیریت حاکمیت داده‌ها و رعایت اصول اخلاقی در تصمیم‌سازی الگوریتمی همچنان قابل توجه‌اند [۵۵].

۳.۱ روش‌شناسی PRISMA

چارچوب "PRISMA" (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) یکی از رویکردهای معتبر برای اجرای مرورهای نظام‌مند و فراتحلیل است که اطمینان حاصل می‌کند سنتز پژوهش‌ها به صورت دقیق، شفاف و جامع انجام می‌شود [۵۶]. این چارچوب برای بررسی نظام‌مند ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) از صنعت ۴۰ تا ۶۰، به‌ویژه در زمینه‌ی پایداری زنجیره تأمین، یک روش‌شناسی مناسب و استاندارد فراهم می‌کند [57]. در این رویکرد، داده‌ها به شیوه‌ای ساختاریافته جمع‌آوری، ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌شوند تا تصویری جامع از وضعیت پژوهش‌های موجود به دست آید. پیروی از دستورالعمل‌های PRISMA به پژوهشگران امکان می‌دهد فرایند ارزیابی سیستماتیک را به گونه‌ای انجام دهند که یافته‌ها از قابلیت اتکا و بازتولید بالا برخوردار باشند [55]. در این روش، تمامی مراحل از مرحله‌ی شناسایی و غربالگری تا مرحله‌ی نهایی گنجانیدن مطالعات در تحلیل، بر اساس شفافیت و قابلیت پیگیری طراحی می‌شوند. هدف این مقاله که دستیابی به ارزیابی جامع نقش هوش مصنوعی در تکامل شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین در گذار از صنعت ۴۰ به ۶۰ است، از طریق اجرای چارچوب PRISMA نقویت شده است [55]. استفاده از چک‌لیست‌ها و نمودارهای جریان در PRISMA سبب می‌شود فرایند گردآوری و تحلیل داده‌ها ساختارمند و مبتنی بر شواهد باقی بماند. این فرایند موجب شناسایی شکاف‌های علمی، طبقه‌بندی گرایش‌های پژوهشی، و ارائه بینش‌های قابل اتکا برای تصمیم‌گیری‌های آینده در زمینه سیاست‌گذاری و راهبردهای صنعتی می‌شود [40]. ویژگی بارز PRISMA در قابلیت آن برای ارزیابی انتقادی و یکپارچه‌سازی نظام‌مند یافته‌های پیشین است، به گونه‌ای که از سوگیری در انتخاب منابع یا تحلیل داده‌ها جلوگیری می‌کند [۱۴]. از این منظر، این چارچوب ابزاری کارآمد برای بررسی ساختارمند تأثیر هوش مصنوعی بر مؤلفه‌هایی نظیر "کارایی، شفافیت و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین" در سیر تحول صنعتی ۴۰ تا ۶۰ محسوب می‌شود [۲۴]. در نتیجه، اجرای این رویکرد باعث دستیابی به نتایجی معتبر و قابل تعمیم در زمینه نقش فناوری‌های هوشمند در ارتقای پایداری و عملکرد زنجیره تأمین می‌شود.

۳.۲ معیارهای ورود و خروج

تدوین دقیق معیارهای ورود و خروج منابع به منظور اطمینان از جامعیت، کیفیت و ارتباط یافته‌ها با موضوع پژوهش انجام گرفته است. تمرکز معیارهای ورود بر مطالعاتی است که به "ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین" از صنعت ۴۰ تا صنعت ۶۰ پرداخته‌اند [۳۴]. این مطالعات باید به بررسی مؤلفه‌هایی چون نوآوری فناورانه، ارتقای پایداری، بهبود تصمیم‌سازی، و افزایش شفافیت فرایندها در زنجیره تأمین پرداخته باشند. از جمله معیارهای ورود شامل پژوهش‌هایی است که:

۱. به تحلیل یا پیاده‌سازی فناوری‌های AI در زمینه‌هایی مانند پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی، حمل‌ونقل، لجستیک هوشمند و تعامل با تأمین‌کنندگان می‌پردازند. [54]
۲. از روش‌های پژوهشی معتبر همچون تحقیقات تجربی، تحلیل نظری، مطالعات موردی یا مرورهای نظام‌مند استفاده

کرده‌اند. [55]

۳. به زبان انگلیسی و از سال ۲۰۱۰ به بعد منتشر شده‌اند تا از روزآمدی و اعتبار علمی یافته‌ها اطمینان حاصل شود

[56].

۴. به بررسی آثار زیست‌محیطی و اجتماعی هوش مصنوعی بر پایداری زنجیره تأمین پرداخته باشند. [57]
در مقابل، برای حفظ دقت و تمرکز مطالعه، معیارهای حذف نیز به‌طور روشن تعیین شده‌اند. پژوهش‌هایی که:

-تمرکزی بر صنایع نسل‌های ۴.۰، ۵.۰ یا ۶.۰ نداشتند،

-به‌صورت مستقیم به ادغام AI در SCM نپرداخته بودند،

-به زبان‌هایی غیر از انگلیسی منتشر شده‌اند، یا

-فاقد جزئیات روش‌شناختی کافی برای ارزیابی قابلیت اعتماد و اعتبار علمی بودند،

از دامنه بررسی حذف شدند. همچنین، آثار منتشر شده پیش از سال ۲۰۱۰، گزارش‌های غیرعلمی و منابع فاقد نمایه‌ی معتبر نیز کنار گذاشته شدند تا از تکرار یافته‌ها و سوگیری نتایج جلوگیری شود.

بنابراین، تنها پژوهش‌هایی در این مرور نظام‌مند گنجانده شدند که هم "از نظر محتوایی مرتبط" و هم "از لحاظ روش‌شناختی سخت‌گیرانه و قابل اتکا" بوده‌اند. این رویکرد، مبنای لازم برای استنتاج یافته‌های دقیق در خصوص نقش هوش مصنوعی در پایداری و کارایی زنجیره‌های تأمین را فراهم ساخت.

۳.۳ استراتژی جستجو

استراتژی جستجو در این مرور نظام‌مند با هدف شناسایی جامع و دقیق مطالعات مرتبط با ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) در گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ طراحی و اجرا شد. این فرایند شامل جستجوی نظام‌مند در چندین پایگاه داده علمی معتبر از جمله Google Scholar, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science و ScienceDirect بود [۴۱]. انتخاب این پایگاه‌ها بر اساس پوشش بین‌رشته‌ای و غنای محتوایی آن‌ها در حوزه‌های مهندسی صنایع، هوش مصنوعی و مدیریت زنجیره تأمین انجام شد [۴۲]. کلمات کلیدی با دقت و از طریق بازبینی مستمر به همراه مشاوره با خبرگان حوزه تدوین گردیدند. واژگان مورد استفاده شامل اصطلاحاتی مانند: صنعت ۴.۰، صنعت ۵.۰، صنعت ۶.۰، هوش مصنوعی (AI)، یادگیری ماشین (ML)، مدیریت زنجیره تأمین (SCM)، تحول دیجیتال و مرور نظام‌مند متون بودند. برای بهینه‌سازی نتایج، از عملگرهای بولی مانند AND، OR و NOT جهت ترکیب مفاهیم و محدود کردن یا گسترش دامنه جستجو استفاده شد [۴۳]. بازه‌ی زمانی انتخاب‌شده برای جستجو ژانویه ۲۰۱۰ تا دسامبر ۲۰۲۳ بود تا شامل جدیدترین پیشرفت‌ها و تحولات نظری و تجربی در زمینه‌ی ادغام هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین نسل‌های صنعتی گردد [۴۴]. تمرکز اصلی بر بازه‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ امکان دستیابی به آثار علمی روزآمد و معتبر را فراهم کرد که بازتاب‌دهنده‌ی وضعیت فعلی پژوهش و عملکرد در حوزه صنعت ۴.۰ تا ۶.۰ هستند [۴۵].

۳.۴ روش استخراج و ترکیب داده‌ها

فرآیند استخراج و ادغام داده‌ها مطابق با دستورالعمل‌های چارچوب PRISMA انجام گرفت [۴۶]. کل مراحل شامل گردآوری، غربالگری، انتخاب نهایی و ترکیب نظام‌مند مقالات بود تا پاسخ‌گوی اهداف سه‌گانه پژوهش باشد:

۱. تحلیل تحول و تأثیر فناوری‌های هوش مصنوعی بر مدیریت زنجیره تأمین طی گذار از صنعت ۴.۰ به ۶.۰،
۲. شناسایی مزایا و چالش‌های کلیدی در فرآیند ادغام،
۳. ارائه پیشنهادها و استراتژیک برای آینده‌ی ادغام هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین نسل‌های آتی [۴۷].

در مرحله‌ی شناسایی اولیه، ۳۴ منبع علمی بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ بازیابی گردیدند. با اعمال دقیق معیارهای ورود

و خروج، مجموعه به ۱۴ مقاله منتخب کاهش یافت که بیشترین ارتباط را با اهداف پژوهش داشتند [۴۸]. برای جلوگیری از خطای انتخاب، غربالگری مضاعف توسط دو ارزیاب مستقل انجام و اختلاف نظرها از طریق اجماع رفع شد. گام‌های اصلی فرآیند

-استخراج داده‌ها با استفاده از فرم استاندارد، شامل اطلاعاتی نظیر اهداف تحقیق، روش‌شناسی، ابزارهای هوش مصنوعی، یافته‌های کلیدی، چالش‌های شناسایی شده و پیشنهادهای آتی انجام شد.

-تحلیل مضمون (Thematic Analysis) برای ترکیب داده‌های بازایی شده به کار رفت. در این روش، داده‌ها در محورهای چون پیشرفت‌های فناوریانه، مزایا، چالش‌ها و توصیه‌های راهبردی طبقه‌بندی شدند [۴۹].

ترکیب مضمون، ضمن شناسایی الگوهای مشترک میان مقالات، به سازمان‌دهی داده‌های کیفی در قالب یک روایت منسجم کمک کرد. این تحلیل زمینه‌ای مناسب برای بحث و نتیجه‌گیری در مورد نقش راهبردی هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین پدید آورد [۵۰].

۳.۵ ارزیابی کیفیت مطالعات انتخاب‌شده

برای اطمینان از اعتبار، دقت و قابلیت اتکای نتایج، ارزیابی کیفی جامع بر اساس دستورالعمل‌های PRISMA و معیارهای اعتبار علمی بین‌المللی انجام شد [۵۱].

این ارزیابی، میزان تطابق هر مطالعه با اهداف تحقیق و کیفیت روش‌شناسی آن را بررسی می‌کرد. تنها آثاری که ارتباط مستقیم با موضوعاتی چون صنعت ۴.۰، صنعت ۶.۰ و مدیریت زنجیره تأمین پایدار داشتند، حفظ شدند [۵۲]. معیارهای اصلی ارزیابی

-دقت روش‌شناسی: بررسی ساختار تحقیق، نوع طراحی (کمی، کیفی یا ترکیبی) و شفافیت مراحل اجرا.

-کیفیت آماری: ارزیابی حجم نمونه، کنترل متغیرها و سلامت تحلیل‌های کمی.

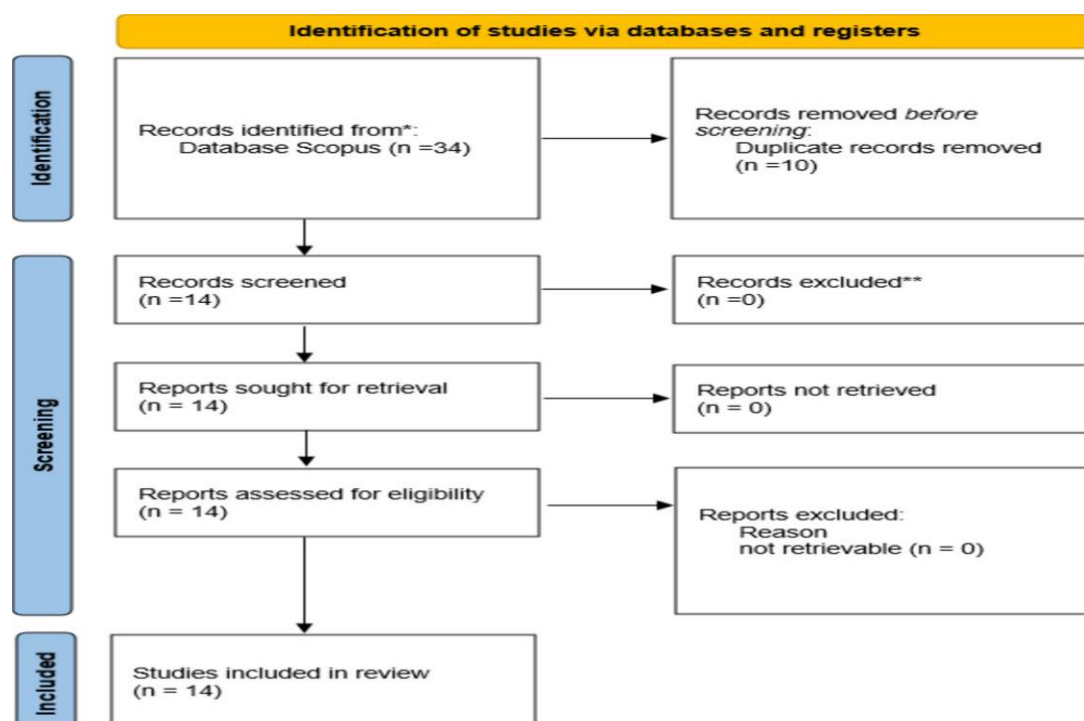
-جامعیت نظری: میزان انسجام میان چارچوب‌های نظری و یافته‌های تجربی در تحقیقات کیفی.

-اتکاپذیری و شفافیت گزارش‌دهی: بررسی چگونگی توضیح روش‌ها، ارائه یافته‌ها و بیان محدودیت‌ها.

-میزان نوآوری و ارزش افزوده علمی: ارزیابی سهم هر مطالعه در گسترش درک از نقش AI در زنجیره‌های تأمین نسل جدید [۵۳]. پژوهش‌هایی با نمره بالا در دقت تحلیلی، کاربرد چارچوب‌های نظری پیشرفته و سطح نوآوری قابل توجه، در

رده مطالعات با کیفیت بالا طبقه‌بندی شدند [۵۴]. چنین مطالعاتی معمولاً پارادایم‌های سنتی را به چالش کشیده، تبیین‌های نو ارائه داده و مبنایی محکم برای سیاست‌گذاری و تحقیقات آتی فراهم کردند [۵۵]. نتایج این فرایند در ادامه

(شکل ۱) به صورت نمودار جریان غربالگری منابع بر اساس مدل PRISMA نشان داده شد. این نمودار گویای مراحل حذف و نگهداری مقالات از جستجوی اولیه تا انتخاب نهایی منابع برای تحلیل است.



شکل ۱ - نمودار جریان غربالگری منابع بر اساس مدل PRISMA

۴. نتایج

این مرور سیستماتیک متون، ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) را در حین گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ بررسی می‌کند. نمودار جریان PRISMA برای ترسیم روش جامع مورد استفاده به منظور کشف و انتخاب مطالعات مرتبط به کار می‌رود [۵۶]. این نمودار به وضوح مراحل مختلف شناسایی، غربالگری، انتخاب و گنجاندن مطالعات در مرور را نشان می‌دهد.

خلاصه داده‌های کشف‌شده

متن حاوی داده‌های کاملی در مورد:

-تعداد رکوردهای کشف شده در طول جستجوهای پایگاه داده،

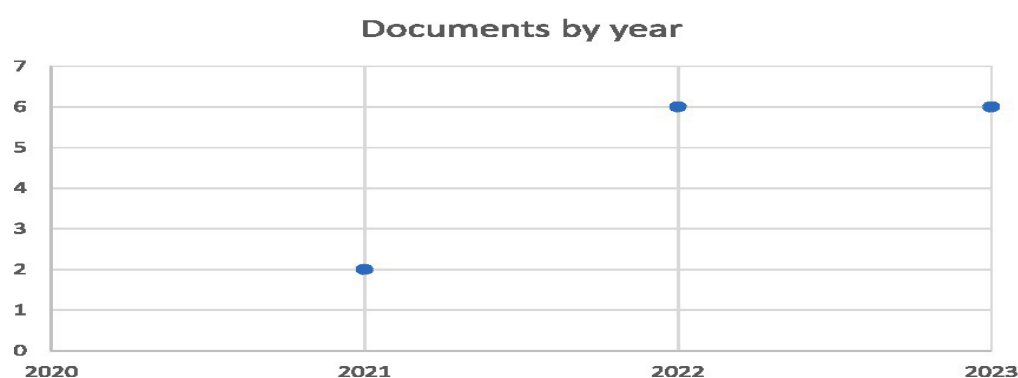
-تعداد رکوردهای بررسی‌شده،

-تعداد مقالات متن کامل ارزیابی‌شده برای مناسب بودن، و

-تعداد مطالعات گنجانده شده در ترکیب نهایی می‌باشد [۵۷].

این روش دقیق، رویکردی روشمند برای انتخاب مقالات با کیفیت بالا را تضمین می‌کند، و بنابراین بینش‌های قابل اعتمادی درباره‌ی حوزه تحقیق ارائه می‌دهد [۵۷]. جداول اطلاعات: جدول ۱ و ۲، درضمیمه می‌باشند. که با ارائه خلاصه‌ای از داده‌ها و نتایج کلیدی، به وضوح نمایانگر یافته‌های حاصل از این مروری نظام‌مند می‌باشد. جداول نشان می‌دهند که چگونه آمار و نتایج حاصله به درک بهتر از موقعیت فعلی و چالش‌های ادغام هوش مصنوعی در زنجیره تأمین کمک می‌کند. این جداول، علاوه بر نمایش داده‌های کمی، نمودارهایی از تحلیل مضمون و مزایای کلیدی ناشی از این ادغام را به نمایش می‌گذارند. نمودار خطی در شکل ۲، تجسم جامعی از داده‌ها را ارائه می‌دهد که با موفقیت تحقیقات گسترده انجام شده در

حوزه فناوری‌های انسان‌محور از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. نمودار خطی، پیشرفت متوالی انتشارات دانشگاهی را نشان می‌دهد، به طوری که محور X نشان‌دهنده سال‌ها و محور Y نشان‌دهنده تعداد سالانه اسناد تولید شده است. این تصویر بصری، درک سریع و کاملی از الگوها و نوسانات فعالیت تحقیقاتی در دوره انتخاب شده را ممکن می‌سازد. از این منظر، نمودار نشان می‌دهد که تنها دو سند در سال ۲۰۲۱ تولید شده است که نشان‌دهنده حجم نسبتاً کم تحقیقات در حوزه فناوری انسان‌محور در این سال خاص است. در سال ۲۰۲۲، همانطور که با انتشار شش سند نشان داده شده است، این کمیت سه برابر شده است. این نشان‌دهنده افزایش قابل توجه هم در علاقه و هم در بهره‌وری علمی در این حوزه مطالعاتی است.



شکل ۲ - تجسم جامعی از داده‌ها (اسناد بر اساس سال).

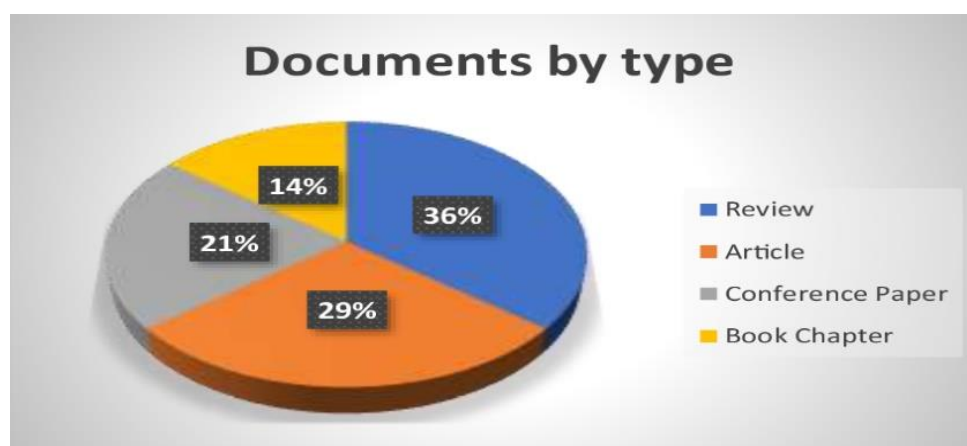
با این حال، مهم‌ترین ثبات در سال ۲۰۲۳ مشاهده شد، زمانی که تعداد اسناد در شش ثابت ماند. ایجاد مداوم تحقیقات دانشگاهی در فناوری انسان‌محور، نشان‌دهنده علاقه بلندمدت و تلاش‌های مداوم در این زمینه است. گسترش چشمگیر پیش‌بینی‌شده برای سال ۲۰۲۲ و خروجی ثابت پیش‌بینی‌شده برای سال ۲۰۲۳ ممکن است نشان‌دهنده شناخت فزاینده اهمیت فناوری‌های انسان‌محور باشد که به‌طور بالقوه ناشی از ابتکارات زیست‌محیطی جهانی و فرصت‌های مالی بهبودیافته در این حوزه است. انجام تجزیه و تحلیل مقالات از یک بازه زمانی خاص می‌تواند روندهای تمرکز دانشگاهی آن دوره را آشکار کند. به عنوان مثال، خروجی محدود در سال ۲۰۲۱ ممکن است نشان‌دهنده مطالعات اکتشافی اولیه یا تحقیقات بنیادی باشد که زمینه‌ساز تحقیقات گسترده آینده است. افزایش زیاد در سال ۲۰۲۲ نشان‌دهنده تغییر به سمت تحقیقات گسترده‌تر یا استفاده از فناوری‌ها و روش‌های نوظهور در فناوری‌های انسان‌محور است. تعهد مداوم به اکتشاف و توسعه بنیادی که در سال‌های گذشته ایجاد شده است، با خروجی ثابت در سال ۲۰۲۳ مشهود است. تجسم داده‌ها در شکل ۳، "انواع اسناد"، مروری جامع بر تحقیقات انجام‌شده در حوزه فناوری‌های انسان‌محور ارائه می‌دهد که بر اساس دسته‌بندی اسناد مرتب شده‌اند. نمودار دایره‌ای، نمایش مختصری از توزیع اشکال مختلف انتشارات دانشگاهی را ارائه می‌دهد و قالب‌های غالب مورد استفاده محققان در این حوزه را برجسته می‌کند. طبق نمودار، مقالات مروری با مجموع پنج نشریه، رایج‌ترین شکل سند هستند. این نشان می‌دهد که حجم قابل توجهی از تحقیقات دقیق در مورد فناوری انسان‌محور در مقالات مروری مستند شده است، که نشان‌دهنده نیاز به بررسی‌های کامل در مورد این موضوع است که برای استفاده دانشگاهی و حرفه‌ای مناسب باشند.



شكل ٣. اسناد بر اساس نوع

۴.۱ تحلیل موضوعی

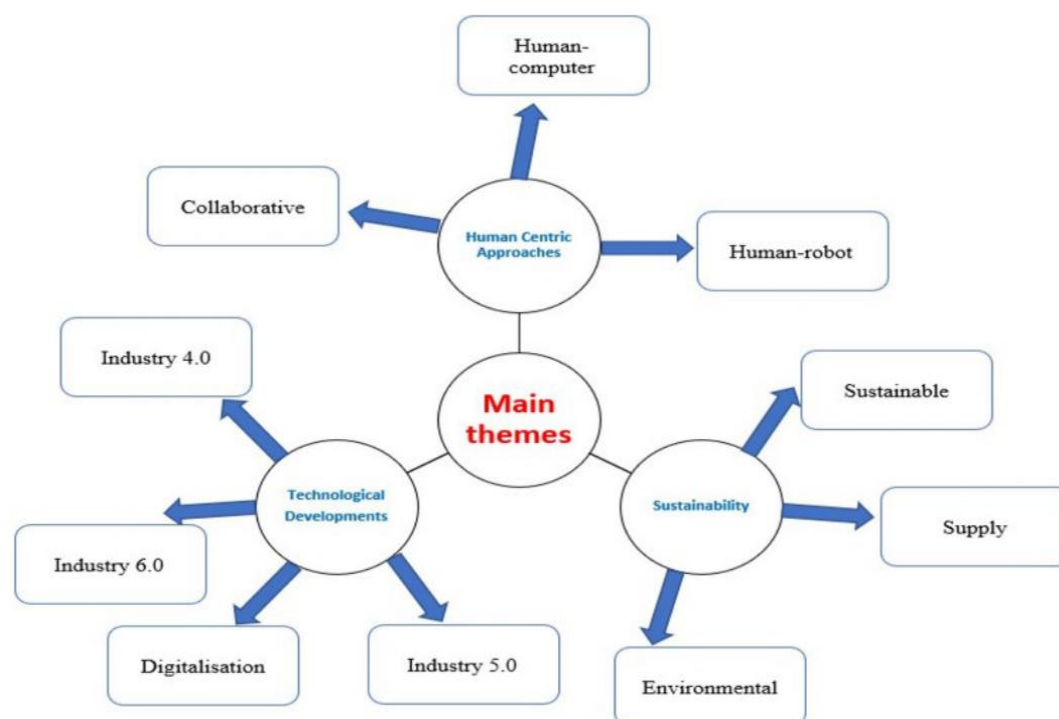
شکل ۴، نمایش بصری از پرکاربردترین اصطلاحات در حوزه تحقیق را ارائه می‌دهد که توسط ابر کلمات تولید شده از کلمات کلیدی مرتبط با فناوری‌های انسان‌محور به نمایش درآمده است. این نمایش قابل مشاهده، شناسایی سریع حوزه‌های اصلی تمرکز و اهمیت نسبی مفاهیم مختلف در این حوزه را تسهیل می‌کند. عملکرد اصلی تحقیقات اخیر با گنجاندن برجسته اصطلاحاتی مانند «صنعت ۴.۰» و «صنعت ۵.۰» در ابر کلمات نشان داده شده است. این عبارات نشان‌دهنده تمرکز قابل توجه بر پیشرفت فنی و تغییر از صنعت ۴.۰، که بر اتوماسیون و تبادل داده‌ها تأکید دارد، به سمت صنعت ۵.۰، که رویکردهای انسان‌محور و همکاری با فناوری‌های مدرن را ترکیب می‌کند، است.



شکل ۴. ابر کلمات

اصطلاحات مهم دیگر شامل «پایداری»، «همکاری انسان و ربات» و «دیجیتالی سازی» است. اهمیت «دیجیتالی سازی» بر پیاده سازی و ادغام گسترده فناوری های دیجیتال در رویه های متنوع صنعتی و سازمانی تأکید دارد. این نشان دهنده افزایش ادعان به اهمیت تحول دیجیتال در دستیابی به اثربخشی و نوآوری است. اصطلاحات «تعامل انسان و کامپیوتر» و

«همکاری انسان و ربات» نیز به شدت برجسته شده‌اند و بر تأکید روزافزون بر فناوری‌های مشارکتی که ارتباط انسان و ماشین را بهبود می‌بخشند، تأکید دارند. این امر نشان‌دهنده گذار به سمت راه‌حل‌های پیشرفته فناوری است که یکپارچه‌تر و متمرکزتر بر نیازهای انسانی هستند. این شامل استفاده از قدرت ترکیبی توانایی‌های انسانی با رباتیک پیشرفته یا سیستم‌های کامپیوتری برای بهبود بهره‌وری و دستیابی به نتایج بهتر است. کلمه ابر که از کلمات کلیدی در تحقیقات فناوری‌های انسان‌محور ایجاد شده است، خلاصه‌ای بصری و واضح از مضامین غالب و اهمیت نسبی آنها در این حوزه ارائه می‌دهد. اصطلاحات کلیدی مانند «صنعت ۴.۰» و «صنعت ۵.۰» به طور برجسته‌ای ظاهر می‌شوند که نشان‌دهنده تمرکز قابل توجه بر این پیشرفت‌های فناوری است. این اصطلاحات، گذار از محیط‌های خودکار و داده‌محور به سیستم‌های مشارکتی انسان‌محورتر را برجسته می‌کنند. دیجیتالی شدن نیز به عنوان یک موضوع حیاتی برجسته است و نقش کلیدی آن را در توانمندسازی راه‌حل‌های پیشرفته فناورانه و بهبود کارایی و پاسخگویی در فرآیندهای مختلف نشان می‌دهد. تأکید بر «همکاری انسان و ربات» و «تعامل انسان و کامپیوتر» بر اهمیت ادغام مهارت‌های انسانی با قابلیت‌های فناورانه، به عنوان یک جنبه اصلی صنعت ۵.۰، تأکید می‌کند. پایداری یکی دیگر از مضامین اصلی است که مکرراً به «پایداری زیست‌محیطی»، «تولید پایدار» و «زنجیره‌های تأمین» اشاره می‌شود. این نشان‌دهنده تعهد قوی به گنجاندن شیوه‌های پایدار در پیشرفت‌های فناوری است و تضمین می‌کند که ملاحظات زیست‌محیطی در توسعه فناوری‌های جدید و فرآیندهای صنعتی جدایی‌ناپذیر هستند. کلمه ابر به طور مؤثر این مضامین اصلی را برجسته می‌کند و مروری مختصر بر تمرکز تحقیقات بر فناوری‌های انسان‌محور ارائه می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵. مضامین اصلی، مضامین فرعی

۵. بحث و نتیجه گیری

۵.۱ موضوع اول: پیشرفت های تکنولوژیکی

در زمینه تحلیل ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین از صنعت ۴.۰ تا صنعت ۶.۰، ارزیابی تکامل و تأثیر فناوری های هوش مصنوعی بر زنجیره های تأمین، شناسایی مزایا و چالش های اصلی مرتبط با ادغام هوش مصنوعی و ارائه توصیه های استراتژیک برای ادغام در آینده ضروری است. صنعت ۴.۰ نشان دهنده مرحله معاصر انقلاب صنعتی است که با ادغام فناوری های دیجیتال در عملیات تولید و لجستیک مشخص می شود. این مرحله بر پیاده سازی اتوماسیون، تبادل داده ها و فناوری های هوشمند برای بهبود کارایی و تولید تمرکز دارد. پیش بینی می شود که در آینده، صنعت ۵.۰ رویکردی انسان محور باشد که به دنبال ایجاد تعادل بین نقش انسان و ماشین در فرآیند تولید باشد. تأکید بر تشویق همکاری بین انسان ها و سیستم های هوش مصنوعی برای بهبود فرآیندهای تصمیم گیری و حل مسئله است. تمرکز اصلی بر تضمین رفاه کارگران و متناسب سازی محصولات با خواسته های فردی است. اشتراک گذاری داده ها در لحظه، تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده و خودکارسازی فرآیندها، همگی توسط دیجیتالی شدن تسهیل می شوند که کلید تحول مدیریت زنجیره تأمین است. فرآیند دیجیتالی شدن، سطح دید، شفافیت و چابکی در زنجیره های تأمین را بهبود می بخشد و منجر به تصمیم گیری بهتر و بهره وری عملیاتی می شود. هوش مصنوعی ممکن است هنگام ادغام در زنجیره های تأمین، زیرموضوعات متعددی ایجاد کند. این ویژگی ها ممکن است شامل پیاده سازی فناوری های هوش مصنوعی، از جمله تصمیم گیری مبتنی بر داده، تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده برای پیش بینی تقاضا، سیستم های مستقل برای مدیریت موجودی ها و بهینه سازی مبتنی بر هوش مصنوعی در فرآیندهای لجستیک و حمل و نقل باشد.

ارزیابی نقش در حال تکامل هوش مصنوعی در بهبود تاب آوری، پایداری و رضایت مشتری زنجیره های تأمین، همزمان با گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰، به منظور تدوین توصیه های استراتژیک برای ادغام هوش مصنوعی در آینده، ضروری است. پیشنهادات ممکن است حول محور تخصیص منابع به توسعه تخصص هوش مصنوعی، ارتقای همکاری بین سیستم های هوش مصنوعی و کارکنان انسانی و اجرای ساختارهای حاکمیتی قوی برای امکان پذیر کردن استقرار مسئولانه هوش مصنوعی در عملیات زنجیره تأمین باشد.

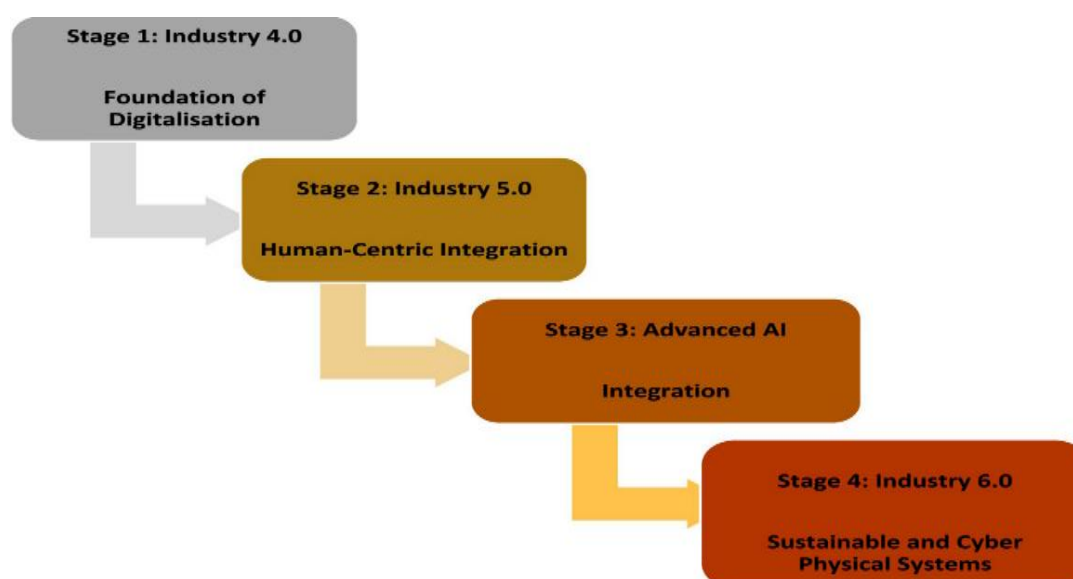
۵.۲ موضوع دوم: رویکردهای انسان محور

در گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰، رویکردهای انسان محور برای ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین، زیرمجموعه های متنوعی شامل همکاری انسان و ربات، تعامل انسان و کامپیوتر و تولید مشارکتی را در بر می گیرد. همکاری انسان و ربات (HRC) به همکاری کارآمد بین انسان ها و ماشین ها برای انجام فعالیت ها اشاره دارد. این همکاری در محیط های تولید هوشمند برای بهره برداری از قابلیت های سیستم های رباتیک و تجربه انسانی کلیدی است. HRC با ترکیب انعطاف پذیری انسان ها با کارایی ربات ها، بهره وری و کیفیت خروجی را در فرآیندهای تولید بهبود می بخشد. با این حال، علیرغم مزایای بالقوه، صنعت همچنان در پذیرش کامل HRC اکراه نشان می دهد. در حوزه تعامل انسان و کامپیوتر، از آگاهی از زمینه برای تضمین همکاری انسان و ربات بدون برخورد استفاده می شود این شکل از تماس، کلید بهبود ایمنی و کارایی در عملیات تولیدی است. اهمیت اتخاذ طرح هایی که از ارتباط دست مبنی بر حسگر عمق برای تعامل انسان و ربات در عملیات هوشمند ربات های جابجایی مواد استفاده می کنند، به طور فزاینده ای مورد توجه قرار گرفته است. پیشرفت در تعامل انسان و ربات قرار است تولید خودرو را متحول کرده و بهره وری عملیاتی را بهبود بخشد. گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ تا حد زیادی به تولید مشارکتی وابسته است که منابع بسیاری از مشاغل را برای به حداکثر رساندن ظرفیت

تولید ادغام می‌کند.

۵.۳ موضوع سوم: پایداری

پایداری زیست‌محیطی، تولید پایدار و زنجیره‌های تأمین پایدار، زیرمضامین کلیدی هستند که هنگام تجزیه و تحلیل ادغام هوش مصنوعی (AI) در مدیریت زنجیره تأمین از صنعت ۴.۰ تا ۶.۰ باید در نظر گرفته شوند. اهمیت مدیریت زنجیره تأمین پایدار در عملیات شرکت‌های معاصر به دلیل افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و ضرورت توسعه پایدار به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. این امر مستلزم مدیریت کامل منابع، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و توسعه عدالت اجتماعی و پایداری اقتصادی است. زنجیره‌های تأمین پایدار تأثیر قابل توجهی در کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی سازمان‌ها، از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای، هدر رفتن منابع و آسیب به اکوسیستم‌ها دارند. پایداری زیست‌محیطی یک جزء حیاتی از شیوه‌های پایدار زنجیره تأمین است که شامل کاهش ضایعات و انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، تأمین پایدار مواد و ترویج شیوه‌های عادلانه کار می‌شود. گنجاندن پایداری زیست‌محیطی در هر مرحله از زنجیره ارزش جهانی برای بهینه‌سازی استفاده از منابع و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی بسیار مهم است. علاوه بر این، توسعه پایدار زنجیره تأمین شامل جنبه‌های مختلفی از مدیریت زنجیره تأمین، مانند توسعه، طراحی، تولید، بسته‌بندی، بازاریابی، توزیع، مصرف و بازیافت می‌شود. هدف، به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی در عین دستیابی به اهداف پایداری است. بر اهمیت به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی در طول فرآیند تولید در چارچوب تولید پایدار تأکید می‌کند. این امر می‌تواند با اجرای استراتژی‌های لجستیک سازگار با محیط زیست، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های حمل و نقل و توزیع و تأکید بر تأمین منابع مسئولانه محقق شود. اتخاذ فرآیندهای تولید پایدار، کلید دستیابی به اهداف پایداری و به حداقل رساندن تأثیر زیست‌محیطی زنجیره‌های تأمین است. با این حال، مدیریت زنجیره تأمین پایدار مستلزم گنجاندن اهداف سه‌گانه (زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) برای بهبود عملکرد اقتصادی بلندمدت و تشویق توسعه پایدار است. (شکل ۶).



شکل ۶. مراحل تکامل صنعت از صنعت ۴.۰ تا صنعت ۶.۰

۵.۴ مدل پیشنهادی: مراحل تکامل صنعت**۵.۴.۱ مرحله اول: پایه و اساس دیجیتالی شدن**

دیجیتالی شدن در بخش صنعت طبق مرحله اول، معروف به صنعت ۴.۰، صورت می گیرد. این مرحله با ادغام فناوری های دیجیتال در رویه های تولید، که منجر به ایجاد کارخانه های هوشمند می شود، شناسایی می گردد. فناوری های کلیدی شامل محاسبات ابری، سیستم های فیزیکی سایبری، تجزیه و تحلیل کلان داده و اینترنت اشیا (IoT) هستند. این فناوری ها نظارت مداوم بر سیستم ها، توانایی پیش بینی و پیشگیری از مشکلات تعمیر و نگهداری و استفاده از داده ها برای اطلاع رسانی در تصمیم گیری را فراهم می کنند و بهبود قابل توجهی در کارایی و بهره وری عملیاتی را ایجاد می نمایند. صنعت ۴.۰ از طریق ارتقاء ارتباطات و اتوماسیون، تحول رو به رشدی در تولید متعارف ایجاد می کند که پایه گذار پیشرفت های آینده در توسعه صنعتی خواهد بود.

۵.۴.۲ مرحله دوم: ادغام انسان محور

صنعت ۵.۰ بر تسهیل ادغام انسان محور تأکید دارد و بر پایه دیجیتال صنعت ۴.۰ بنا شده است. در این مرحله، هم افزایی بین انسان و فناوری در مرکز توجه قرار دارد، جایی که فناوری های پیشرفته به جای جایگزینی توانایی های انسانی، آنها را بهبود می بخشند. اجزای کلیدی شامل ربات های همکار (کوبوت ها)، هوش مصنوعی (AI) و رابط های پیچیده انسان و ماشین هستند. صنعت ۵.۰ به دنبال ایجاد ارتباطی سودمند میان کارگران و سیستم های هوشمند است و بر ارتقاء خلاقیت، حل مسئله و سفارشی سازی در رویه های تولید تأکید می کند. تمرکز بر ارتقاء رفاه انسان در این مرحله تضمین می کند که پیشرفت فناوری به ساخت یک محیط صنعتی پایدارتر و فراگیرتر کمک می کند.

۵.۴.۳ مرحله سوم: یکپارچه سازی پیشرفته هوش مصنوعی

در مرحله سوم، که به عنوان ادغام پیشرفته هوش مصنوعی شناخته می شود، فرآیندهای صنعتی به طور عمیق با هوش مصنوعی ادغام می شوند. این سطح از یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و تجزیه و تحلیل پیشرفته را برای بهینه سازی فرآیندها، افزایش تصمیم گیری و بهبود قابلیت های پیش بینی به کار می گیرد. سیستم های مبتنی بر هوش مصنوعی توانایی ارزیابی حجم زیادی از داده ها در زمان واقعی، شناسایی الگوها، پیش بینی نتایج و تصمیم گیری مستقل را دارند که به بهبود بهره وری و به حداقل رساندن وقفه های عملیاتی کمک می کند. ادغام فناوری هوش مصنوعی امکان ایجاد زنجیره های تأمین هوشمند را فراهم می سازد که با دید سرتاسری و اتوماسیون، پاسخگویی و سازگاری را افزایش می دهند. این مرحله نمایانگر پیشرفت قابل توجهی به سمت سیستم های صنعتی مستقل و خود بهبود است.

۵.۴.۴ مرحله چهارم: سیستم های فیزیکی سایبری و پایدار

صنعت ۶.۰ اوج تکامل صنعتی است که بر ادغام سیستم های سایبری-فیزیکی و پایداری تأکید دارد. هدف این مرحله ایجاد اکوسیستم های تولیدی است که هم قوی و هم پایدار باشند و از طریق ادغام فناوری دیجیتال پیشرفته و شیوه های پایدار حاصل شوند. سیستم های سایبری-فیزیکی که فرآیندهای فیزیکی را با اجزای محاسباتی ترکیب می کنند، کلید دستیابی به این هدف هستند. این سیستم ها نظارت، تنظیم و بهبود مستمر فرآیندهای صنعتی در زمان واقعی را فراهم می آورند و منجر به افزایش اثربخشی و کاهش رد پای اکولوژیکی می شوند. صنعت ۶.۰ بر استفاده از ایده های اقتصاد چرخشی، منابع انرژی تجدیدپذیر و بهره وری منابع تمرکز می کند تا اطمینان حاصل شود توسعه صنعتی با پایدار زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی هماهنگ است.

۶. نتیجه گیری

ادغام هوش مصنوعی (AI) با انتقال مدیریت زنجیره تأمین از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰، بینش‌های محوری را ارائه داده است. هوش مصنوعی با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های پیچیده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، کارایی عملیاتی و تصمیم‌گیری را ارتقا می‌دهد و منجر به پیش‌بینی بهتری از تقاضا و کنترل موجودی می‌شود. صنعت ۵.۰ به طور قابل ملاحظه‌ای بر الگوی انسان‌محور تأکید دارد و همکاری بین انسان‌ها و سیستم‌های هوش مصنوعی را برای بهبود سفارشی‌سازی و توانایی‌های حل مسئله ترویج می‌کند. این هم‌افزایی نه تنها با افزایش اثربخشی عملیاتی، بلکه با ارتقای پایداری نیز همخوانی دارد و از اهداف صنعت ۶.۰ حمایت می‌کند. توسعه سیستم‌هایی که پایدار، کارآمد و مقاوم باشند، تمرکز اصلی توصیه‌های استراتژیک برای ادغام آینده هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین است. سازمان‌ها باید در فناوری‌های پیشرفته هوش مصنوعی سرمایه‌گذاری کنند تا شایستگی‌های خود را در تجزیه و تحلیل داده‌های بلادرنگ، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده و تصمیم‌گیری بهبود بخشند. به طور خاص، این سرمایه‌گذاری باید شامل به‌کارگیری تکنیک‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای بهبود عملیات زنجیره تأمین و پیش‌بینی روند بازار باشد. این امر مستلزم تأمین مهارت‌ها و دانش لازم برای کارکنان جهت همکاری مؤثر با هوش مصنوعی و تشویق محیطی است که بهره‌وری و نوآوری را ارتقا می‌دهد. پایداری باید در اولویت قرار گیرد و برنامه‌های هوش مصنوعی باید با هدف بهبود شیوه‌های زنجیره تأمین سازگار با محیط زیست، از جمله به حداقل رساندن ردپای کربن و بهینه‌سازی استفاده از منابع، طراحی شوند. بهبود مستمر و نوآوری با تشویق همکاری بین ذینفعان صنعت، مؤسسات دانشگاهی و ارائه‌دهندگان فناوری اهمیت دارد تا همگام با پیشرفت‌های فناوری و روندهای نوظهور باشید. این استراتژی‌ها می‌توانند تسهیل‌گر گذار روان از صنعت ۴.۰ به صنعت ۶.۰ و ایجاد زنجیره‌های تأمین مقاوم، انعطاف‌پذیر و سازگار با محیط زیست باشند. مطالعات آینده در زمینه مدیریت زنجیره تأمین و ادغام هوش مصنوعی باید بر مسائل فناورانه، انسان‌محور و پایدار متمرکز شوند. بررسی ادغام بین‌صنعتی هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین، کاستی‌های قابل توجهی را در استانداردسازی و انطباق نظارتی در بخش‌هایی مانند مراقبت‌های بهداشتی، کشاورزی و خرده‌فروشی آشکار می‌کند. متغیرهای نرخ پذیرش متفاوت و چارچوب‌های نظارتی در این صنایع، ضرورت پروتکل‌های استاندارد هوش مصنوعی را که قابلیت همکاری یکپارچه را تسهیل کند و در عین حال الزامات عملیاتی و انطباق متمایز را مرتفع سازد، در بر دارد. چارچوب‌های نظارتی جامع می‌توانند تجزیه و تحلیل پیش‌بینی بهبود یافته، اشتراک‌گذاری داده‌ها و قابلیت‌های بهینه‌سازی را که در صنایع مختلف تنوع دارند، تقویت کنند و در نتیجه زنجیره‌های تأمین قوی‌تر و کارآمدتری را تسهیل نمایند. نگرش به ایجاد استانداردهای هوش مصنوعی بین‌صنعتی، ملاحظات اخلاقی از جمله حریم خصوصی داده‌ها و شفافیت را بهبود می‌بخشد که به ویژه در بخش‌های حساس که اعتماد مصرف‌کننده اهمیت دارد، بسیار حائز اهمیت است. ابعاد امنیت سایبری و حریم خصوصی داده‌ها در زنجیره‌های تأمین یکپارچه با هوش مصنوعی نیز باید به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد و نیاز به ایجاد چارچوب‌های نظارتی کامل و بهترین شیوه‌ها برای محافظت از داده‌های حساس و ارتقاء اعتماد و پذیرش در این صنعت احساس می‌شود.

References

1. Abaku, E. A. (2024). Sustainable Supply Chain Management in the Medical Industry: A Theoretical and Practical Examination. *Int. J. Med. Sci.*, 4, 319–340. doi: 10.51594/imsrj.v4i3.931
2. Adenekan, O. A. (2024). Improving manufacturing productivity: a review of AI-driven supply chain management optimization and ERP systems integration. *Int. J. Manag. Entrepr. Res.* 6, 1607–1624. doi: 10.51594/ijmer.v6i5.1126
3. Alojaiman, B. (2023). Technological modernizations in the industry 5.0 era: A descriptive analysis and future research directions. *Processes*, 11:1318.
4. Atadoga, A. (2024). AI in supply chain optimization: a comparative review of USA and African trends. *Int. J. Sci. Res. Arch.* 11, 896–903. doi: 10.30574/ijsra.2024.11. 1.0156
5. Bakon, K., Holczinger, T., and Jaskó, S. (2022). Production flow of customized products in a digital factory. *Procedia Computer Science*, 200, 1201–1208.
6. Banur, O. M. (2024). Integration of robotics and automation in supply chain: a comprehensive review. *Robot. Syst. Appl.* 4, 1–19. doi: 10.21595/rsa.2023.23349
7. Belhadi, A., Mani, V., Kamble, S. S., Khan, S. A. R., and Verma, S. (2021). Artificial intelligence-driven innovation for improving supply chain resilience and performance under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation. *Ann. Oper. Res.* 333, 1–26. doi: 10.1007/s10479-021-03956-x
8. Borchardt, M., Pereira, G. M., Milan, G. S., Scavarda, A. R., Nogueira, E. O., and Poltosi, L. C. (2022). Industry 5.0 beyond technology: an analysis through the lens of business and operations management literature. *Organizacija*, 55, 305–321.
9. Cao, Y. (2024). The implementation of green supply chain management. doi: 10.4108/eai.17-11-2023.2342656
10. Chen, R. (2024). Sustainable Supply Chain Management as a Strategic Enterprise Innovation. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, 85, 24–29. doi: 10.54254/2754-1169/85/20240831
11. Chukwu, N. (2024). Resilient chain: AI-improved supply chain security and efficiency integration. *IJSMR* 7, 46–65. doi: 10.37502/ijsmr.2024.7306
12. Cisneros-Cabrera, S., Pishchulov, G., Sampaio, P., Mehendjiev, N., Liu, Z., and Kununka, S. (2021). An approach and decision support tool for forming industry 4.0 supply chain collaborations. *Comput. Ind.* 125:103391. doi: 10.1016/j.compind.2020.103391
13. Ding, I. Jr., and Su, J. (2022). Designs of human–robot interaction using depth sensor-based hand gesture communication for smart material-handling robot operations. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 237, 392–413. doi: 10.1177/09544054221102247

- 14.Dou, D. (2022). Sensor vegetable greenhouse and agricultural product supply chain management based on improved neural network. *Mob. Inf. Syst.* 2022, 1–9. doi: 10.1155/2022/4139784
- 15.Elufioye, O. A. (2024). Ai-driven predictive analytics in agricultural supply chains: a review: assessing the benefits and challenges of Ai in forecasting demand and optimizing supply in agriculture. *Comput. Sci. It Res. J.* 5, 473–497. doi: 10.51594/csitrj.v5i2.817
- 16.Eyo-Udo, N. L. (2024). Leveraging artificial intelligence for improved supply chain optimization. *Open Access Res. J. Multidis. Stud.* 7, 001–015. doi: 10.53022/oarjms.2024.7.2.0044
- 17.Fu, H. (2023). Research on the Walmarts successful application of supply chain management. *Adv. Econ. Manage. Polit. Sci.* 35, 211–215. doi: 10.54254/2754-1169/35/20231759
- 18.Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, M. F., Mubarik, M., Rejeb, A., and Nilashi, M. (2022). Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development: A strategy roadmap for delivering sustainability values. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 716–737.
- 19.Gong, C. (2023). Supply chain management practices, competitive advantages and business performance of small and medium enterprises in China: basis to develop an improved supply chain management framework. *Int. J. Res. Stud. Manage.* 11. doi: 10.5861/ijrsm.2023.1076
- 20.Hasrul, H. (2023). Future Outlook Toward Sustainable Supply Chain of Capture Fisheries in Rembang District, Central Java Indonesia. doi: 10.46254/ap04.20230264
- 21.Hendriksen, C. (2023). Artificial intelligence for supply chain management: disruptive innovation or innovative disruption? *J. Supply Chain Manag.* 59, 65–76. doi: 10.1111/jscm.12304
- 22.Joel, O. S. (2024). Leveraging artificial intelligence for improved supply chain optimization: a comprehensive review of current practices and future potentials. *Int. J. Manag. Entrepr. Res.* 6, 707–721. doi: 10.51594/ijmer.v6i3.882
- 23.Krishnan, M. (2024). Improving supply chain efficiency to build next-gen artificial intelligence (AI)/machine learning network through AI-driven forecasting. *Int. J. Supply Chain Manag.* 13, 28–41. doi: 10.59160/ijscm.v13i3.6244
- 24.Kumar, S., and Mallipeddi, R. (2022). Impact of cybersecurity on operations and supply chain management: emerging trends and future research directions. *Prod. Oper. Manag.* 31, 4488–4500. doi: 10.1111/poms.13859
- 25.Layode, O. (2024). Addressing cybersecurity challenges in sustainable supply chain management: a review of current practices and future directions. *Int. J. Manag. Entrepr. Res.* 6, 1954–1981. doi: 10.51594/ijmer.v6i6.1208

- 26.Li, Y. (2023). Investigate the Impact of Supply Chain Sustainability Transformation on Enterprises: Case Study of IKEA. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, 65, 195–200. doi: 10.54254/2754-1169/65/20231631
- 27.Liu, Q., Liu, Z., Xiong, B., Xu, W., and Liu, Y. (2021). Deep reinforcement learning-based safe interaction for industrial human-robot collaboration using intrinsic reward function. *Adv. Eng. Inform.* 49:101360. doi: 10.1016/j.aei.2021.101360
- 28.Liu, H., and Wang, L. (2021). Collision-free human-robot collaboration based on context awareness. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 67:101997. doi: 10.1016/j.rcim.2020.101997
- 29.Modgil, S., Singh, R., and Hannibal, C. (2021). Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19. *Int. J. Logist. Manage.* 33, 1246–1268. doi: 10.1108/ijlm-02-2021-0094
- 30.Mohsen, B. M. (2023). Impact of artificial intelligence on supply chain management performance. *J. Serv. Sci. Manag.* 16, 44–58. doi: 10.4236/jssm.2023.161004
- 31.Mukhamedjanova, K. A. (2020). Concept of supply chain management. *J. Crit. Rev.* 7, 759–766. doi: 10.31838/jcr.07.02.139
- 32.Mursidah, S., and Fauzi, A. M. (2022). Sustainable Sugarcane Supply Chain Performance Assessment: A Review and Research Agenda. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1063:012039. doi: 10.1088/1755-1315/1063/1/012039
- 33.Muthaluri, J. (2024). Optimizing supply chain management and marketing strategies: AI and ML integration for competitive advantage. *EATP* 30, 8990–8997. doi: 10.53555/kuey.v30i5.4494
- 34.Neethirajan, S. (2023). Artificial intelligence and sensor technologies in dairy livestock export: charting a digital transformation. *Sensors* 23:7045. doi: 10.3390/s23167045
- 35.Nzeako, G. (2024). The role of AI-driven predictive analytics in optimizing IT industry supply chains. *Int. J. Manag. Entrepr. Res.* 6, 1489–1497. doi: 10.51594/ijmer.v6i5.1096
- 36.Okoye, C. C. (2024). Sustainable Supply Chain Practices: A Review of Innovations in the Usa and Africa. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6, 292–302. doi: 10.51594/ijarss.v6i3.887
- 37.Othman, U., and Yang, E. (2022). An overview of human-robot collaboration in smart manufacturing. doi: 10.1109/icac55051.2022.9911168
- 38.Petriashvili, L. (2024). The impact of artificial intelligence in the business process in the phase of data analytics Georgian technical university. *Georg. Sci.* doi: 10.52340/gi.2024.06.01.07
- 39.Qu, S., and Ji, Y. (2023). Sustainable Supply Chain Management and Optimization. 15:3844.

40. Rega, A., Marino, C. D., Pasquariello, A., Vitolo, F., Patalano, S., Zanella, A., et al. (2021). Collaborative workplace design: a knowledge-based approach to promote human-robot integration and multi-objective layout optimization. doi: 10.20944/preprints202111.0241.v1
41. Reis-Andersson, J. (2023). Leading the digitalisation process in K–12 schools – the school leaders' perspective. *Educ. Inf. Technol.* 29, 1–19. doi: 10.1007/s10639-023-11935
42. Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., et al. (2021). PRISMA-S: an extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews. *Syst. Rev.* 10, 1–19. doi: 10.1186/s13643-020-01542-z
43. Reynolds, S. (2024). Sustainability Practices in Supply Chain Management: Insights From Leading Global Firms. doi: 10.20944/preprints202406.0926.v1
44. Richey, R. G. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: a primer and roadmap for research. *J. Bus. Logist.* 44, 532–549. doi: 10.1111/jbl.12364
45. Sami, A., Manzoor, U., Irfan, A., and Sarwar, F. (2023). Characterizing circular supply chain practices in industry 5.0 with respect to sustainable manufacturing operations. *J. Manage. Res.* 10, 84–105. doi: 10.29145/jmr.101.04
46. Samuels, A., Takawira, B., and Mbhele, T. P. (2024a). Evolving paradigms in operations management: a systematic review of industry 4.0 to 5.0 transitions in SOUTH AFRICAN supply chains. *J. Econ. Soc. Dev.* (1849–6628) 11.
47. Samuels, A., Takawira, B., and Mbhele, T. P. (2024b). Evolving supply chain management from industry 4.0 to industry 5.0: a systematic review of blue ocean strategy in South African enterprises. *J. Econ. Soc. Dev. (JESD) Resilient Soc.* 11.
48. Samuels, A. B., Takawira, B., and Mbhele, T. P. (2024c). Resilience in the last mile: a systematic literature review of sustainable logistics in South Africa. *Int. J. Res. Bus. Soc. Sci.* (2147–4478) 13, 01–16. doi: 10.20525/ijrbs.v13i3.3302
49. Siagian, H., Tarigan, Z. J. H., and Jie, F. (2021). Supply chain integration enables resilience, flexibility, and innovation to improve business performance in COVID-19 era. *Sustain. For.* 13:4669. doi: 10.3390/su13094669
50. Silva, A.D. (2024). Advancing BIM and sustainability with coopetition: evidence from the Portuguese stone industry. doi: 10.20944/preprints202406.0589.v1
51. Singh, R., Modgil, S., and Shore, A. (2023). Building artificial intelligence enabled resilient supply chain: a multi-method approach. *J. Enterp. Inf. Manag.* 37, 414–436. doi: 10.1108/jeim-09-2022-0326
52. Tahera, K., Jowers, I., Loureiro-Koechlin, C., Eckert, C., and Lockett, H. (2023). Industrial perspectives on the adoption of virtual testing. *Proc. Des. Soc.* 3, 2305–2314. doi: 10.1017/pds.2023.231

53. Tang, Q., Wu, B., Chen, W., and Jinyue, Y. (2023). A digital twin-assisted collaborative capability optimization model for smart manufacturing system based on Elman-Ivif-Topsis. IEEE Access 11, 40540–40564. doi: 10.1109/access.2023.3269577
54. Trevisan, C., and Formentini, M. (2024). Digital technologies for food loss and waste prevention and reduction in agri-food supply chains: a systematic literature review and research agenda. IEEE Trans. Eng. Manage. 71, 12326–12345. doi: 10.1109/tem.2023.3273110
55. Villar, A., Paladini, S., and Buckley, O. (2023). Towards supply chain 5.0: redesigning supply chains as resilient, sustainable, and human-centric systems in a post-pandemic world. In. Operations Research Forum. Springer. p 60.
56. Zhang, D. (2023). Environmental Sustainability and Global Value Chains: Challenges and Opportunities for Green Supply Chain Management. Frontiers in Business Economics and Management, 10, 155–160. doi: 10.54097/fbem.v10i2.10898
57. Zhao, X., He, Y., Chen, X., and Li, Z. (2021). Human–robot collaborative assembly based on eye-hand and a finite state machine in a virtual environment. Appl. Sci. 11:5754. doi: 10.3390/app11125754