نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۹/شماره ۱۱۶/ زمستان ۱۴۰۳
مدیریت

ارزیابی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری موفق یادگیری ماشین در زنجیره تأمین

Evaluation of factors affecting the successful application of machine learning in the supply chain

چکیده

با ظهور انقلاب صنعتی چهارم، بر اهمیت به‌کارگیری هوش مصنوعی افزوده شده است. سیستم یادگیری ماشین یکی از تحولات است که تولید و کارخانه هوشمند را به واقعیت تبدیل کرده است؛ از طرفی در دهه‌های اخیر، این سیستم کاربردهای فراوانی در کنترل کیفیت، توسعه محصول و مدیریت زنجیره تأمین داشته است. پژوهش حاضر با درک اهمیت این موارد، به ارزیابی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک و رتبه‌بندی نمونه‌ای از شرکت‌های زیرمجموعه این صنعت پرداخته است. باتوجه‌به اینکه جامعه آماری خبرگان و متخصصان پاسخ‌دهنده در خصوص مفاهیم یادگیری ماشین و زنجیره تأمین در صنعت لاستیک، دقیقاً مشخص نبوده، لذا جامعه مورد بررسی و حجم آن نامعین است و براین‌اساس از فرمول نمونه‌گیری کوکران، مقدار ۳۸۴ حاصل شد که در نهایت، تعداد ۳۵۷ پاسخ به‌صورت آنلاین، جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. روش پژوهش از لحاظ هدف، روش جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها از نوع کاربردی - توصیفی - کمی است. به‌منظور شناسایی عوامل نهایی از نظرات خبرگان و آزمون میانگین با طیف پنج نقطه‌ای لیکرت و نقطه آزمون سه استفاده شد. خروجی آزمون در نرم‌افزار SPSS نشان داد که ۱۳ عامل بر به‌کارگیری سیستم مورد اشاره در زنجیره تأمین صنعت تأثیرگذارند. سپس با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون و عقاید ۳۰ خبره در شرکت‌های منتخب، وزن عوامل، محاسبه و اولویت‌بندی آنها مشخص شد. نتیجه نهایی در نرم‌افزار اکسل نشان داد که عامل "مدیریت داده" با بیشترین وزن در رتبه اول؛ و عوامل "مدیریت کیفیت" و "یکپارچگی فناوری" در رتبه‌های بعدی از نظر اهمیت قرار دارند. همچنین عامل‌های "مدیریت موجودی"، "فرایندهای تولیدی" و "کنترل لجستیک" در رتبه‌های یازدهم تا سیزدهم جای گرفتند. در ادامه با استفاده از تکنیک مورا و بر مبنای وزن استخراجی از مرحله قبل، هفت شرکت منتخب و دردسترس صنعت مورد ارزیابی قرار گرفتند. تحلیل نهایی حاکی از آن است شرکت پنجم در رتبه اول؛ و شرکت‌های دوم و ششم در اولویت‌های دوم و سوم جای گرفتند. همچنین شرکت اول در رتبه آخر قرار گرفت. در انتها، پیشنهادهای کاربردی بر اساس اهمیت عوامل به شرکت‌ها و صنعت مورد مطالعه ارائه شد. بدین ترتیب مدل طراحی‌شده می‌تواند چارچوب مناسبی به صنعت مورد بررسی و سایر صنایع مرتبط در جهت ارتقای تکنولوژی‌ها و سیستم‌های هوشمند به‌منظور بهبود زنجیره تأمین ارائه دهد.

کلمات کلیدی: یادگیری ماشین، زنجیره تأمین، آنتروپی شانون، مورا، صنعت لاستیک.

نوع مقاله: پژوهشی

مهدی اجلی[1]

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات: m.ajalli@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

۱- مقدمه

رشد تصاعدی انقلاب صنعتی چهارم در دهه گذشته عمدتاً در بخش تولید، زنجیره تأمین، خدمات و محصولات بود. یادگیری ماشین می‌تواند در آموزش نوآورانه، محصولات هوشمند، کارگران هوشمند، خدمات هوشمند، زنجیره تأمین هوشمند و تولید هوشمند کمک کند. انتظار می‌رود رشد بازار یادگیری ماشینی با نرخ رشد مرکب سالانه ۴۴/۱ درصد، افزایش فزاینده ۷/۴ میلیارد دلاری از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ داشته باشد. بازار یادگیری ماشین از نرم‌افزار به سخت‌افزار و به سمت خدمات در حال حرکت است. ادبیات موجود قابل‌توجه کاربردهای یادگیری ماشین را برای زنجیره تأمین و تولید مورد بحث قرار می‌دهد. غول‌های یادگیری ماشینی مانند مایکروسافت، DataScience.com، IBM، Experfy، NeenO-pal و غیره، شروع به ارائه محصولات در بازار فناوری تجزیه‌وتحلیل زنجیره تأمین و یکپارچه‌سازهای سیستم برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، کرده‌اند. تعداد اختراعات مربوط به هوش مصنوعی یادگیری ماشین از سال ۲۰۱۶ رشد تصاعدی داشته است. طبق گزارش گارتنر (۲۰۲۱)، تا سال ۲۰۲۵، ۷۰ درصد سازمان‌ها از مدل‌های یادگیری ماشینی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده خواهند کرد. همچنین، همه‌گیری کوید ۱۹ فعلی نشان می‌دهد که مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند برای مدیریت اختلالات زنجیره تأمین موردتقاضا باشند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که قابلیت‌های یادگیری ماشین، سازمان‌ها را در برآورد هزینه، پیش‌بینی تقاضا، پیش‌بینی خرابی زمان صفر، مدیریت ریسک، زنجیره تأمین پایدار و انتخاب تامین‌کننده قادر می‌سازد (گارداس و ناروانه، ۲۰۲۴).

علایق تحقیقاتی در یادگیری ماشین و مدیریت زنجیره تأمین در طول دو دهه گذشته انتشارات زیادی را به همراه داشته است. بااین‌حال، در پیشینه مطالعاتی این موضوع، هیچ بررسی سیستماتیکی در مورد توسعه تحقیقات در رشته کاربرد یادگیری ماشین، به‌ویژه در مدیریت زنجیره تأمین وجود نداشت (نی و همکاران، ۲۰۲۰). مدیریت زنجیره تأمین در ایجاد مشارکت‌های بلندمدت که برای دستیابی به موفقیت پایدار تجاری حیاتی هستند، بسیار مهم است. مدیریت زنجیره تأمین مؤثر، نیازمند معیارهای دقیق و فرایندهای تصمیم‌گیری است که به طور قابل‌توجهی بر نتایج کلی تأثیر می‌گذارد. مطالعات اخیر، تجزیه‌وتحلیل بازار مبتنی بر ابر را به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای ارزیابی پویایی زنجیره تأمین و ارائه بینش در مورد مزایا و چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین برجسته می‌کند. ادغام رویکردهای یادگیری عمیق و یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین، پتانسیل تحول‌آفرین را ارائه می‌دهد و مدیریت کارآمدتر زنجیره تأمین را ممکن می‌سازد (احمد و شیجا، ۲۰۲۴).

در دنیای پیچیده و همیشه در حال تغییر امروز، نگرانی‌ها در مورد کمبود داده‌های کافی جای خود را به نگرانی در مورد داده‌های بیش از حد برای مدیریت زنجیره تأمین داده است. حجم داده‌های تولیدشده از تمام بخش‌های زنجیره تأمین، ماهیت تحلیل مدیریت زنجیره تأمین را تغییر داده است. با افزایش حجم داده‌ها، کارایی و اثربخشی روش‌های سنتی کاهش‌یافته است. محدودیت‌های این روش‌ها در تجزیه‌وتحلیل و تفسیر مقدار زیادی از داده‌ها است که محققان را به تولید روش‌هایی سوق داده است که توانایی بالایی برای تجزیه‌وتحلیل و تفسیر داده‌های بزرگ دارند (بابایی تیرکلایی و همکاران، ۲۰۲۱).

اکوسیستم زنجیره تأمین در حال حاضر از یک پویایی بزرگ ناشی از دیجیتالی‌شدن سازمان‌ها و تجارت بهره می‌برد. برای همه ذی‌نفعان این منطقه، این یک پیشرفت واقعی است و یادگیری ماشین، هسته اصلی این انقلاب است. در بسیاری از جنبه‌ها از جمله تکامل روش‌های ارتباطی، اتوماسیون بسیاری از فرایندها، اهمیت روزافزون سیستم‌های اطلاعاتی و غیره، شرکت‌ها را به‌شدت متحول کرده است. مدیریت و بهینه‌سازی آن مستلزم

تصمیم‌گیری واقعی برای زنجیره تأمین در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی است. در این زمینه و محیط غنی از داده، رویکردها و تکنیک‌های یادگیری ماشین، کاربردهای مفید متعددی برای تصمیم‌گیری زنجیره تأمین پیدا می‌کنند. امروزه، شرکت‌ها چاره‌ای جز استفاده از راه‌حل‌های یادگیری ماشین در تقریباً هر بخش از فرایندهای خود ندارند. این واقعیت در بازارهایی که رقابت شدیدتر است، حتی واضح‌تر به نظر می‌رسد. درحالی‌که یادگیری ماشین، سازمان را بازتعریف نمی‌کند، مطمئناً دارایی قدرتمندی برای اهداف بازاریابی و بهینه‌سازی فرایند است. این امر به‌قدری در استراتژی شرکت‌ها ریشه دوانده است که اکنون اکثر آنها برای همه فرایندها از ایجاد، کنترل کیفیت محصول و روابط‌عمومی به‌شدت به آن متکی هستند. به همین منظور، در سال‌های اخیر، مجموعه‌ای از کاربردهای عملی یادگیری ماشین برای تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین معرفی شده است (مهراز و همکاران، ۲۰۲۲). به‌طورکلی، یادگیری ماشین به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در مدیریت زنجیره تأمین پدیدار شده است که سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا بینش‌های ارزشمندی را از داده‌های متعدد به دست آورند و به تصمیمات آگاهانه دست یابند (تجاسری و همکاران، ۲۰۲۴).

صنعت لاستیک و تایرسازی نه‌تنها به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تولید خودرو بلکه به‌عنوان یک عنصر حیاتی در تأمین امنیت جاده‌ها شناخته می‌شود. در این دنیای رقابتی، کنترل کیفی لاستیک به‌عنوان یک نیاز ضروری و انکارناپذیر مطرح است. با استفاده از روش‌های نوین و پیشرفته مانند کنترل کیفی تایر با استفاده از بینایی ماشین، صنعت لاستیک‌سازی در حال ورود به دوره‌ای جدید از دقت و کیفیت است. یادگیری و بینایی ماشین، تکنولوژی است که به کامپیوترها این امکان را می‌دهد تا مانند انسان‌ها ببینند و اطراف را درک کنند. با دوربین‌های پیشرفته و نرم‌افزارهای تحلیلی، این سیستم‌ها قادرند الگوها را شناسایی کنند و حتی عیوبی را که ممکن است چشم انسان از دیدن آن عاجز باشد، شناسایی کنند. تصور کنید یک دستگاه کنترل کیفی لاستیک در کمترین زمان می‌تواند ویژگی‌های لاستیک را بررسی و ارزیابی کند. این فناوری نه‌تنها باعث بهبود کیفیت محصولات می‌شود؛ بلکه در کاهش هزینه‌ها و زمان تولید نیز مؤثر است. باوجود این مزایا، استفاده از بینایی و یادگیری ماشین در کنترل کیفی لاستیک چالش‌هایی نیز دارد. هزینه‌های اولیه بالا و نیاز به دانش فنی ازجمله این چالش‌ها هستند. همچنین، نگهداری و به‌روزرسانی سیستم‌ها مستلزم صرف منابع مالی و انسانی است. اما باوجود این چالش‌ها، ارزش سرمایه‌گذاری در این فناوری به‌وضوح مشخص است. به نظر می‌رسد آینده کنترل کیفی لاستیک به‌وسیله بینایی ماشین بسیار درخشان باشد. پیشرفت‌های مداوم در زمینه‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین می‌تواند به‌دقت و کارایی این سیستم‌ها بیفزاید. ترکیب این تکنولوژی باهوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی و پیش‌بینی عیوب کمک کند که به معنای تولید محصولات بهتر و باکیفیت‌تر است.

با عنایت به مزایای استفاده از سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک، پژوهش حاضر به بررسی و استخراج مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در به‌کارگیری موفق یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت پرداخته است. با بررسی مطالعات قبلی مشخص شد که هیچ پژوهشی به بررسی این مهم در این صنعت نپرداخته است. از طرفی استفاده از آزمون آماری و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (آنتروپی شانون و مورا) به‌منظور ارزیابی عوامل و رتبه‌بندی شرکت‌های منتخب صنعت از نظر به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین از مزیت‌های اصلی تحقیق پیشرو محسوب می‌شود. باتوجه‌به اهداف مطرح‌شده در صنعت، سؤالات اصلی پژوهش به این صورت مطرح می‌شوند

عوامل کلیدی تأثیرگذار بر به‌کارگیری یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک کدام‌اند؟

اهمیت عوامل مذکور از نظر اثربخشی سیستم یادگیری

ماشین در زنجیره تأمین صنعت به چه نحوی است؟
رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت‌های منتخب صنعت چگونه است؟
چه پیشنهادهایی به‌منظور تقویت عوامل سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین شرکت‌ها می‌توان ارائه داد؟

۲- مبانی نظری، پیشینه و مدل مفهومی تحقیق

در این قسمت، ابتدا به مفاهیم کلیدی پژوهش (مدیریت زنجیره تأمین و یادگیری ماشین) پرداخته می‌شود؛ سپس مروری بر پیشینه‌های مرتبط داخلی و خارجی صورت می‌گیرد

۲-۱- مدیریت زنجیره تأمین

اصطلاح "زنجیره تأمین" به‌خوبی در ادبیات آکادمیک مستند شده است و به‌طورکلی به‌عنوان همسویی شرکت‌هایی که محصولات یا خدمات را به بازار مصرف ارائه می‌دهند، اطلاق می‌شود. بسیاری از محققان زنجیره تأمین را مطالعه کرده‌اند، اما آن را از یک زاویه مشاهده نمی‌کنند. برخی از تعاریف، دیدگاه «محصول» و برخی دیگر دیدگاه «تجارت» یا «فرایند» دارند. یکی از اولین تعاریف ارائه‌شده، زنجیره تأمین را به‌عنوان برنامه‌ریزی و اجرای آزمایشی کل جریان مواد از زمان عرضه‌کننده تا مشتری نهایی در حین عبور از تولیدکننده و توزیع‌کننده تعریف کرده است. در تعریف دیگری، از آن به‌عنوان کل فعالیت‌هایی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تحقق سفارش مشتری تأثیر می‌گذارد، توصیف شده است. زنجیره تأمین نه‌تنها شامل تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان می‌شود، بلکه شامل حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و خود مشتریان نیز می‌شود. به‌طورکلی، زنجیره تأمین فرایندی است که زمانی ایجاد می‌شود که مشتری سفارشی را تا زمان تحویل محصول یا خدمات و پرداخت هزینه آن ایجاد می‌کند؛ بنابراین زنجیره تأمین شامل برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کلیه فعالیت‌های مربوط به جریان مواد و اطلاعات، خرید مواد اولیه، تحول میانی محصول و تحویل آن به مشتری نهایی می‌باشد. مجموعه‌ای از شرکت‌های وابسته به هم (که به‌عنوان حلقه‌های مختلف زنجیره در نظر گرفته می‌شوند) که در تحقق فعالیت‌ها (تأمین، تولید و توزیع) هماهنگ می‌کنند تا گردش محصولات یا خدمات را از زمان پیدایش تا پایان عمر (پس از فروش) تضمین کنند. از طرفی، نیازهای مشتریان در حال تغییر است. آنها بیشتر و بیشتر انتظار خدماتی از جمله شیوه تحویل خاص، تکمیل مجدد، تأخیر، قابلیت اطمینان، امنیت تأمین، انتقال داده، خدمات پس از فروش را دارند. این امر باعث می‌شود تا همه ذی‌نفعان از طریق تکنیک‌های جمع‌آوری داده و انتقال مستقیم، بیشتر و بیشتر به طور مستقیم در عمل فروش مصرف‌کننده نهایی، تا آنجا که به حالت‌های بسته‌بندی، تکمیل و پیش‌بینی مربوط می‌شوند، ادغام شوند. امروزه زنجیره‌های تأمین به دلیل بین‌المللی شدن، افزایش انواع جریان‌ها و تکامل الگوهای مصرف جهانی بسیار پیچیده شده‌اند. در اصل، اهداف زنجیره تأمین عبارت‌اند از: پیش‌بینی درخواست‌های مشتری، پردازش سفارش‌ها؛ تضمین تأمین و ذخیره‌سازی محصولات و مواد خام؛ برنامه‌ریزی سفارش‌ها و تحویل (مهراز و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۲- یادگیری ماشین

یادگیری ماشین، زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی است که به یک الگوریتم، نرم‌افزار یا سیستم اجازه می‌دهد بدون اینکه برنامه‌ریزی شده باشد، یاد بگیرد و تطبیق دهد. یادگیری ماشین معمولاً از داده‌ها یا مشاهدات برای تشکیل یک مدل رایانه‌ای استفاده می‌کند که در آن الگوهای مختلف داده (ترکیب با نتایج واقعی و پیش‌بینی‌شده) تجزیه‌وتحلیل شده و برای بهبود عملکرد فناوری استفاده می‌شود. مدل‌های یادگیری ماشین بر اساس الگوریتم‌ها، در تجزیه‌وتحلیل روندها، تشخیص ناهنجاری‌ها و به‌دست‌آوردن بینش‌های پیش‌بینی‌کننده در مورد مجموعه‌های داده بزرگ، عالی هستند. این ویژگی‌های قدرتمند آن را به یک

راه‌حل ایده‌آل برای رسیدگی به برخی از چالش‌های کلیدی در صنعت زنجیره تأمین تبدیل می‌کند (مهراز و همکاران، ۲۰۲۲). تکنیک‌های یادگیری ماشین برای آموزش به ماشین‌ها استفاده می‌شود؛ به این صورت که چگونه حجم زیادی از داده‌ها را به طور خودکار مدیریت کنند. گاهی اوقات استخراج الگوها یا اطلاعات از حجم زیاد داده‌ها و تفسیر آنها با تکنیک‌های سنتی غیرممکن است (دی، ۲۰۱۶). فراوانی مجموعه‌داده‌های موجود باعث تقاضای فزاینده برای تکنیک‌های یادگیری ماشین شده است. تکنیک‌های یادگیری ماشین به طور گسترده در صنایع مختلف از پزشکی گرفته تا ارتش برای کشف و استخراج دانش و اطلاعات از داده‌ها استفاده می‌شوند (بولز، ۲۰۱۵). در این زمینه، سه دسته اصلی از الگوریتم‌ها به‌صورت زیر قابل‌تشخیص هستند که از نظر داده‌هایی که در مرحله یادگیری یا آموزش استفاده می‌کنند و نوع نتیجه‌ای که ارائه می‌دهند متفاوت هستند:

یادگیری نظارت شده در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، سیستمی است که هم داده‌های ورودی و هم داده‌های خروجی مورد انتظار را ارائه می‌دهد. داده‌های ورودی و خروجی برای طبقه‌بندی برچسب‌گذاری می‌شوند تا یک پایگاه یادگیری برای پردازش بیشتر داده‌ها ایجاد شود. سیستم‌های یادگیری ماشینی تحت نظارت، الگوریتم‌های یادگیری را با مقادیر شناخته شده تغذیه می‌کنند که از تصمیم‌های آینده پشتیبانی می‌کنند (کو و لی، ۲۰۱۶). داده‌های مورد استفاده برای یادگیری تحت نظارت مجموعه‌ای از مثال‌ها شامل جفت موضوعات ورودی و خروجی‌های مورد انتظار (که سیگنال‌های نظارتی نیز نامیده می‌شوند) است (مکار و همکاران، ۲۰۱۹). این مدل‌ها به احتمال زیاد تصمیم‌هایی می‌گیرند که انسان‌ها بتوانند با آن‌ها ارتباط برقرار کنند، زیرا به ورودی‌های انسانی متکی هستند. اما با یک رویکرد مبتنی بر بازیابی، سیستم‌های یادگیری تحت نظارت در پردازش اطلاعات جدید مشکل دارند (مهراز و همکاران، ۲۰۲۲).

یادگیری بدون نظارت برخلاف یادگیری تحت نظارت، زمینه بدون نظارت، زمینه‌ای است که الگوریتم باید از نمونه‌های بدون حاشیه‌نویسی عمل کند. باید به طور خودکار، دسته‌هایی را ایجاد کند تا با داده‌های ارسال‌شده به آن مرتبط شود تا تشخیص دهد که گربه یک گربه است، یک ماشین یک ماشین است، همان‌طور که حیوانات و انسان‌ها قادر به انجام آن هستند (مکار و همکاران، ۲۰۱۹). رایج‌ترین مشکل یادگیری بدون نظارت، تقسیم‌بندی (یا خوشه‌بندی) است که در آن سعی می‌شود داده‌ها به گروه‌ها (دسته، کلاس، خوشه و...) جدا شوند: گروه‌بندی تصاویر ماشین‌ها، گربه‌ها و غیره. امید زیادی به تشخیص ناهنجاری است از جمله نگهداری پیش‌بینی‌کننده، امنیت سایبری، و همچنین تشخیص زودهنگام بیماری‌ها و غیره. به‌طورکلی، این الگوریتم به دنبال به حداکثر رساندن همگنی داده‌ها در گروه‌های داده و شکل‌گیری است. گروه‌هایی که تا حد امکان متمایز هستند؛ بسته به زمینه، فرد انتخاب می‌کند که از این یا آن الگوریتم برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده کند، به‌عنوان مثال، بر اساس چگالی یا گرادیان چگالی آنها. در مورد تشخیص ناهنجاری، بیشتر ویژگی افراطی یا غیر معمول مقادیر یا یک الگو در داده‌های مورد جستجو است. معیار زیربنایی، نقش کلیدی در تعیین اینکه چه چیزی هنجار است و چه چیزی از آن انحراف دارد بازی می‌کند (ژو و همکاران، ۲۰۱۷).

یادگیری تقویتی به‌جای اینکه به رایانه بگوید دقیقاً چگونه یک مسئله را حل کند، یادگیری ماشینی به آن می‌آموزد که حل یک مسئله را به‌تنهایی یاد بگیرد. این رشته شامل ده‌ها الگوریتم است و به آن‌ها سیستم‌های آموزش‌پذیر نیز می‌گویند؛ زیرا این الگوریتم‌ها می‌توانند با آموزش خود بر اساس مثال‌ها، قواعد ریاضی را از داده‌ها بیرون بیاورند و سپس با بهبود مداوم باتجربه، این قوانین را روی داده‌های جدید اعمال کنند. در میان رایج‌ترین الگوریتم‌ها، ماشین بردار پشتیبانی، تقویت،

جنگل‌های تصادفی، شبکه‌های عصبی، شبکه‌های بیزی و غیره را می‌یابیم. آنها در زمینه‌های مختلف عمل می‌کنند: تحت نظارت، نیمه نظارت یا بدون نظارت، در حالت متوالی یا دسته‌ای، با تقویت و غیره. آنها سیستم‌های "خروجی ورودی" با ورودی (تصویر، صدا، متن) و خروجی (مانند دسته‌بندی) هستند از شی در تصویر، کلمه گفته شده و موضوع متن؛ بنابراین، تمام وظایفی که برای واردکردن داده‌ها و طبقه‌بندی آنها نیاز دارند، می‌توانند خودکار شوند؛ همچنین این امکان را فراهم می‌کنند تا رایانه‌ها یا ماشین‌ها را با سیستم‌های ادراک محیط خود مانند بینایی، تشخیص اشیا (چهره‌ها، نمودارها، زبان‌های طبیعی، نوشتار، اشکال نحوی) مجهز کنند. در اینترنت، امکان فیلترکردن مطالب نامطلوب (هرزنامه)، سفارش‌دادن پاسخ به جستجو، ارائه توصیه‌ها یا انتخاب اطلاعات جالب برای هر کاربر (جستجو موتورها) برای درک سیستم‌های کمک به تشخیص، به‌ویژه پزشکی، برنامه‌های بازی، رابط‌های مغز و ماشین، سیستم‌های تشخیص تقلب در کارت اعتباری، تجزیه‌وتحلیل مالی، طبقه‌بندی توالی‌های DNA را دارند (مهراز و همکاران، ۲۰۲۲).

باوجود تعداد زیادی از مطالعات در زمینه یادگیری ماشین و مدیریت زنجیره تأمین به طور جداگانه، تعداد مقالاتی که به کاربردهای الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ارزیابی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری این الگوریتم‌ها در مدیریت زنجیره تأمین پرداخته‌اند، کافی نیست. از سوی دیگر، ارتباط کافی بین محققان و دست‌اندرکاران در این زمینه وجود ندارد و ممکن است ناشی از دانش ناکافی عملگران در مورد قدرت و مزایای الگوریتم‌های یادگیری ماشین در حل مسائل مدیریت زنجیره تأمین باشد. در مطالعات قبلی بر کاربرد معروف‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مدیریت مسائل مرتبط با زنجیره تأمین شامل انتخاب تأمین‌کننده، تقسیم‌بندی تأمین‌کننده، پیش‌بینی ریسک زنجیره تأمین، برآورد تقاضا و فروش، تولید، مدیریت موجودی و حمل‌ونقل تأکید شده است.

۲-۳- الگوریتم‌های کاربردی یادگیری ماشین در حوزه‌های کمی و حیاتی زنجیره تأمین

الگوریتم‌هایی که در حال حاضر در حال استفاده هستند به شرح زیر هستند (ماکار و همکاران، ۲۰۲۰):

پیش‌بینی تقاضا و فروش مبتنی بر یادگیری ماشین؛

توصیه‌های محصول شخصی؛

توصیه‌های قیمت و تبلیغات برای بهینه‌سازی نشانه‌گذاری‌ها و حاشیه‌ها؛

بهینه‌سازی موجودی با سطوح موجودی صحیح؛

میز کار برنامه‌ریزی لجستیک و بهینه‌سازی توان عملیاتی انبار؛

ایجاد نمای ۳۶۰ درجه از مصرف‌کنندگان؛

بینش مصرف‌کننده (تحلیل احساسات/ترجیحات/استفاده از خدمات‌شناختی)؛

بهینه‌سازی عملکرد طبقات فروشگاه؛

نگهداری و تعمیر تجهیزات و پیش‌بینی در کارخانه‌ها؛

۲-۴- پیشینه و مدل تحقیق

شفیعی نیک‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تأمین شرکت ایران خودرو با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین پرداختند. هدف این مقاله مقایسه دو الگوریتم هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تقاضای زنجیره تأمین است. در مرحله اول، داده‌ها برای ورود به مدل‌های پیش‌بینی آماده می‌شوند. در مرحله بعد، مرحله مدل‌سازی، یک شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان ارائه می‌شود. ساختار شبکه عصبی مصنوعی بر اساس نتایج پژوهشگران قبلی انتخاب شده است. برای اندازه‌گیری خطاها از میانگین مربعات خطا و از شاخص دیگری برای زمان بهره گرفته شده است که در اجرای الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی

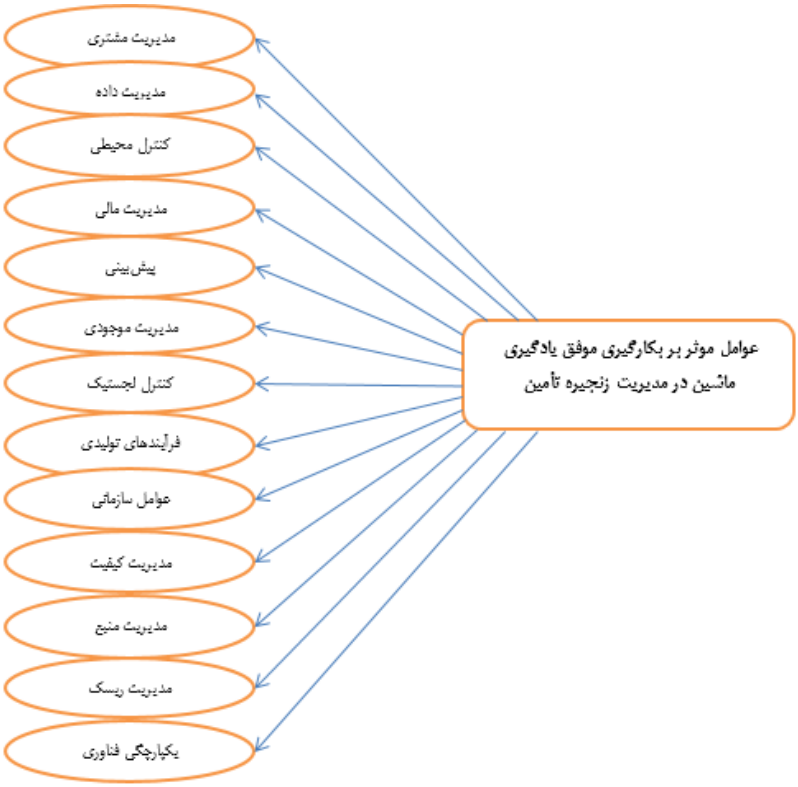
می‌تواند دقیق‌تر پیش‌بینی کند درحالی‌که ماشین بردار پشتیبانی سریع‌تر است. اجلی و رحمانی (۱۳۹۶) در پژوهشی به با استفاده از رویکرد ترکیبی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و کوالی‌فلکس به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان صنعت ابزارسازی پرداختند. بدین منظور ابتدا بر اساس شاخص‌های عملکردی استاندارد صنعت ابزارسازی و با استفاده از رویکرد فرایند سلسله‌مراتبی، وزن شاخص‌ها تعیین‌شده و سپس با به‌کارگیری تکنیک کوالی‌فلکس، تأمین‌کنندگان صنعت مذکور رتبه‌بندی می‌شوند. برانوش و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارائه چارچوبی برای کاربردهای یادگیری ماشین در مدیریت دانش سازمانی پرداختند. باتوجه‌به نتایج به دست آمده عوامل زیرساختی دارای بیشترین تاثیر و عوامل محتوایی کم‌ترین تأثیر را در حفظ مدیریت دانش در سیستم بانکی با در نظر گرفتن رویکرد یادگیری ماشین دارند. اجلی (۱۴۰۲) در پژوهشی به ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار با فن واسپاس پرداخت و خروجی تحلیل عاملی نشان داد که ده عامل در پیاده‌سازی سیستم مورد اشاره، مؤثر است. خروجی سوارا نشان داد که عامل چهارم یعنی "آموزش پایداری شرکت به مدیران" با بیشترین وزن، اهمیت بالاتری نسبت به سایر عوامل دارد. همچنین عامل هفتم (پیاده‌سازی سامانه‌های مدیریت زیست‌محیطی) در رتبه بعدی ازنظر اهمیت در مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت گاز کشور قرار دارد. خروجی نهایی فن واس‌پاس نشان داد که تأمین‌کننده پنجم در رتبه اول، تأمین‌کننده اول در رتبه دوم، تأمین‌کننده دوم در رتبه سوم، و تأمین‌کنندگان سوم و چهارم با امتیاز یکسان در رتبه چهارم قرار گرفتند. نورائی آباده و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای به ارائه رویکردی کمی برای ارزیابی اولویت‌ها در زنجیره تأمین هوشمند با استفاده از پیش‌بینی داده‌گرا با مطالعه موردی در دو صنعت پرکاربرد پرداختند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری به دلیل توانایی زنجیره تأمین در پاسخگویی به تغییرات و نوسانات تقاضا به‌عنوان مهم‌ترین معیار در زنجیره تأمین مطرح است. نتایج روش پیشنهادی بر روی دو حوزه صنعتی مبتنی بر اینترنت اشیا نشان می‌دهد، مهم‌ترین معیار در زنجیره تأمین متعلق به انعطاف‌پذیری است و کیفیت، هزینه و زمان تحویل به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این اولویت‌بندی به مدیران کمک می‌کند تصمیمات آگاهانه‌تری برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین اتخاذ کنند. استفاده از رویکردهای سیستماتیک و دقیق برای اولویت‌بندی معیارهای زنجیره تأمین می‌تواند به‌عنوان یک راهنمایی کاربردی برای انتخاب و تعیین تأمین‌کنندگان، اجرای استراتژی‌های بهینه‌سازی زنجیره تأمین و تخصیص منابع استفاده شود. این تحقیق نشان داد که ترکیب روش‌های سنتی تحلیل زنجیره تأمین با الگوریتم‌های یادگیری ماشینی مانند ماشین بردار پشتیبان می‌تواند به بهبود دقت و کارایی در پیش‌بینی و تصمیم‌گیری‌ها کمک کند. با بهبود زنجیره تأمین، سازمان‌ها قادر خواهند بود عملکرد خود را بهبود داده و فرآیندها را بهینه‌سازی کنند. همچنین، رویکردهایی مانند استراتژی درست به موقع، مدیریت کیفیت جامع و استفاده از فناوری‌های نوین نیز می‌توانند به بهبود زنجیره تأمین کمک کنند. توسعه روابط با تأمین‌کنندگان و تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی نیازها و مشکلات زنجیره تأمین نیز از دیگر رویکردهای مفید است.

نی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی سیستماتیک روندهای تحقیقاتی یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین پرداختند. این مطالعه به‌منظور ارائه آخرین روندهای پژوهشی در این رشته با تجزیه‌وتحلیل انتشارات در فاصله زمانی ۱۹۹۸/۰۱/۰۱ تا ۳۱/۱۲/۲۰۱۸ در پنج پایگاه داده اصلی انجام شد. تجزیه‌وتحلیل کمی ۱۲۳ مقاله فهرست نهایی نشان داد که برنامه‌های کاربردی یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین هنوز در مرحله توسعه هستند زیرا نویسندگان

پربازده کافی برای تشکیل یک گروه قوی در تحقیق برنامه‌های کاربردی یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین وجود نداشت و انتشارات آنها هنوز در سطح پایینی بود. حتی اگر ۱۰ الگوریتم یادگیری ماشین به طور مکرر در مدیریت زنجیره تأمین استفاده شوند، استفاده از این الگوریتم‌ها به طور نابرابر در سراسر فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین که اغلب در مقالات گزارش شده است توزیع شده است. هدف این مطالعه ارائه دیدگاهی جامع از کاربردهای یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین است که به‌عنوان مرجعی برای جهت‌های تحقیقاتی آینده برای محققان مدیریت زنجیره تأمین و بینش کاربردی برای پزشکان مدیریت زنجیره تأمین کار می‌کند. بابایی تیرکلایی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با مروری جامع بر حوزه‌های اصلی به بررسی کاربرد یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین پرداختند. هدف اصلی این مقاله شناسایی کاربردهای یادگیری ماشین به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین تکنیک‌های هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین با توسعه یک چارچوب مفهومی است. این مقاله سهم تکنیک‌های یادگیری ماشین را در انتخاب و تقسیم‌بندی تأمین‌کنندگان، پیش‌بینی ریسک‌های زنجیره تأمین، و برآورد تقاضا و فروش، تولید، مدیریت موجودی، حمل‌ونقل و توزیع، توسعه پایدار و اقتصاد چرخه‌ای شناسایی می‌کند. در ادامه، پیامدهای مطالعه بر روی محدودیت‌ها و چالش‌های اصلی مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، بینش‌های مدیریتی و جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آتی داده شده است. اکبری و دو (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی سیستماتیک یادگیری ماشین در مدیریت تدارکات و زنجیره تأمین با تأکید بر روندهای فعلی و جهت‌گیری‌های آینده پرداختند. در این پژوهش، یک مرور ادبیات سیستماتیک/ساختار یافته در رشته موضوعی و یک تحلیل کتابسنجی سازماندهی شد. اطلاعات مربوط به مشارکت صنعت، موقعیت جغرافیایی، طراحی و روش تحقیق، تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، دانشگاه، وابستگی، ناشران، نویسندگان، سال انتشار مستند شده است. مجموعه گسترده‌ای از هشت پایگاه داده از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ با استفاده از کلمات کلیدی یادگیری ماشین، لجستیک، تحول و زنجیره تأمین در عنوان و یا چکیده مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع ۱۱۰ مقاله یافت شد و اطلاعات مربوط به زنجیره‌ای از متغیرها جمع‌آوری شد. نویسندگان اعلام داشتند که در طول چند دهه اخیر، کاربرد فناوری‌های نوظهور، تمرکز قابل‌توجهی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده نشان می‌دهد که تنها ۹ مرور ادبیات در این زمینه منتشر شده است. علاوه بر این، یافته‌های کلیدی نشان می‌دهد که ۵۳/۸ درصد از نشریات به‌صورت خوشه‌ای در زمینه حمل‌ونقل و صنایع تولیدی و ۵۴/۷ درصد بر روی مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های ریاضی متمرکز شده‌اند. شبکه عصبی در ۲۲ مقاله به‌عنوان الگوریتم انحصاری آنها اعمال شده است. در نهایت، تمرکز اصلی ادبیات فعلی بر پیش‌بینی و بهینه‌سازی است، جایی که تشخیص تنها توسط هفت مقاله انجام می‌شود. مهراز و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با مرور سیستماتیک ادبیات به بررسی یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین پرداختند. با به هم پیوستن روش‌های یادگیری ماشین که برای تصمیم‌گیری زنجیره تأمین استفاده می‌شود، این مقاله کاربردهای فعلی زنجیره تأمین را شناسایی کرده و شکاف‌های پژوهشی بالقوه را نشان می‌دهد. در این مقاله، قابلیت استفاده کلی تکنیک‌های یادگیری ماشین برای کمک به تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین بررسی شده است؛ بنابراین هدف اصلی این تحقیق، مطالعه این است که چگونه تکنیک‌های یادگیری ماشین را می‌توان در طیف وسیعی از ابزارهای موجود برای تصمیم‌گیرندگان زنجیره تأمین ادغام کرد تا از حجم فزاینده داده‌های تولید شده در زنجیره تأمین استفاده کند. اجلی (a۲۰۲۴) در مطالعه‌ای از

یک رویکرد ترکیبی دلفی فازی، تاپسیس - بهترین و بدترین برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان پرداخت. نتایج تحلیل بهترین - بدترین نشان داد که «سیستم‌های کاهش ریسک تأمین‌کننده» و «عوامل کلیدی عملکرد» به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها هستند. خروجی تاپسیس نشان داد که تأمین‌کننده چهارم در رتبه اول و تأمین‌کننده دوم در رتبه آخر قرار دارد؛ بنابراین، مدل پیشنهادی این تحقیق می‌تواند راهنمای خوبی برای صنایع بالادستی پتروشیمی در ارزیابی موفقیت‌آمیز و آتی تأمین‌کنندگان بالقوه به‌منظور بهبود عرضه و دستیابی به مزیت رقابتی و برآوردن بیشتر نیازهای مشتریان باشد. تجاسری و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی با مرور گسترده ادبیات، به کاربردهای یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین پرداختند. این مقاله مروری جامع از پیشرفت‌ها و کاربردهای اخیر یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین ارائه می‌کند. هدف این است که درک جامعی از نحوه استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای بهبود جنبه‌های مختلف عملیات زنجیره تأمین ارائه شود. بررسی با تشریح مفاهیم اساسی یادگیری ماشین و ارتباط آن با مدیریت زنجیره تأمین آغاز می‌شود. سپس چالش‌های کلیدی پیش روی متخصصان زنجیره تأمین و نحوه رسیدگی به این چالش‌ها را بحث می‌کند. این مقاله مروری بر تکنیک‌های مختلف یادگیری ماشین، از جمله تحلیل رگرسیون، خوشه‌بندی، طبقه‌بندی، تحلیل سری‌های زمانی، شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های ژنتیک، یادگیری تقویتی و روش‌های مجموعه ارائه می‌کند و کاربردهای خاص آنها را در مدیریت زنجیره تأمین برجسته می‌کند. علاوه بر این، این بررسی روندهای تحقیقاتی و پیشرفت‌های اخیر در این زمینه را با تمرکز بر پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی موجودی، انتخاب تامین‌کننده و ارزیابی ریسک، بهینه‌سازی لجستیک، مدیریت ریسک زنجیره تأمین، و ابتکارات پایداری مورد بحث قرار می‌دهد. این مقاله، همچنین ادغام یادگیری ماشین با فناوری‌های نوظهور مانند بلاک‌چین، اینترنت اشیا، و محاسبات لبه را در زمینه مدیریت زنجیره تأمین بررسی می‌کند. یافته‌های بررسی نشان می‌دهد که یادگیری ماشین پتانسیل قابل‌توجهی در بهبود تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی عملیات، افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین و پرداختن به چالش‌های پایداری نشان داده است. احمد و شیجا (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی بهبود مدیریت زنجیره تأمین با تکنیک‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین پرداختند. این مقاله سهم تکنیک‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین را در جنبه‌های مختلف مدیریت زنجیره تأمین، از جمله انتخاب تامین‌کننده، تولید، کنترل موجودی، حمل‌ونقل، برآورد تقاضا و فروش، و موارد دیگر شناسایی می‌کند. بررسی گسترده ارائه شده در این کار، بررسی عمیقی از ادغام یادگیری عمیق و یادگیری ماشین با مدیریت زنجیره تأمین ارائه می‌کند، استراتژی‌هایی را برای افزایش کارایی عملیاتی، رسیدگی به محدودیت‌های فعلی و شناسایی فرصت‌های تحقیقاتی آینده را برجسته می‌کند. یک جدول ادبیات جامع، تحقیقات موجود در مورد تقویت مدیریت زنجیره تأمین با تکنیک‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین را ادغام می‌کند و یک نمای کلی دقیق از اهداف، یافته‌ها و زمینه‌های بهبود ارائه می‌دهد و بینش‌هایی سریع درباره چشم‌انداز در حال تکامل مدیریت زنجیره تأمین ارائه می‌دهد.

در شکل ۱، مدل مفهومی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین ارائه شده است. این عوامل از مطالعه جامع گارداس و ناروانه، (۲۰۲۴) استخراج شده است. در این پژوهش با مرور جامع ادبیات در سال‌های اخیر و مصاحبه با خبرگان، مدلی جامع از عوامل ارائه شده است که در مطالعات قبلی، تمامی عوامل بررسی نشده بود:



شکل ۱: مدل مفهومی عوامل تحقیق

در ادامه تعاریف مفهومی عوامل تحقیق به طور خلاصه ارائه شده است:

مدیریت مشتری: شامل درک تصمیمات مشتری و گسترش پایگاه مشتری موجود است. یادگیری ماشین می‌تواند ابزاری باورنکردنی برای درک روندها در میان مصرف‌کنندگان باشد.

مدیریت داده: شامل منبع‌یابی، تجزیه‌وتحلیل و انتقال داده‌هایی است که به مدیریت کارآمد یک شرکت کمک می‌کند. دردسترس‌بودن کلان‌داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل آماری آن منجر به مدل‌های پیش‌بینی باکیفیت بالا می‌شود که به نوبه خود عملکرد سازمانی را بهبود می‌بخشد. قابل‌ذکر آنکه، مدیریت داده برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین ضروری است

کنترل محیطی: یادگیری ماشینی می‌تواند به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها کمک کند و مدل‌های پیش‌بینی توسعه‌یافته با کاهش آلودگی به بهبود پایداری محیط‌زیست کمک می‌کنند که می‌تواند با بهینه‌سازی مؤثر مسیرهای سفر به دست آید. همچنین، یادگیری ماشین به نظارت بر فرایندهای مختلف تولید از منظر محیط‌زیستی کمک می‌کند.

مدیریت مالی: شامل مدیریت مؤثر هزینه‌ها و درآمد یک شرکت است. در تئوری استراتژی‌های سنتی شرکت، یکی از استراتژی‌های تبدیل‌شدن به یک رهبر بازار از طریق کاهش هزینه است. بااین‌حال، به‌جای کاهش واکنشی هزینه‌ها، یادگیری ماشین می‌تواند به طور فعال هزینه‌ها را به حداقل برساند و درآمد یک شرکت را بهبود بخشد.

پیش‌بینی: یادگیری ماشین در برنامه‌های پیش‌بینی بسیار مفید است. در نتیجه، پیش‌بینی برای مرتبط ماندن در دنیای بسیار رقابتی امروز ضروری است. این عامل شامل پیش‌بینی تقاضا، عرضه و قیمت است.

مدیریت موجودی: امروزه، شرکت‌ها برای کسب مزیت رقابتی به مدیریت موجودی کارآمد متکی هستند و یادگیری ماشین در دستیابی به آن کمک می‌کند، دیده‌شدن زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد، به طور مؤثر همه موجودیت‌های آن را یکپارچه می‌کند، تأخیر در حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد و تأمین‌کنندگان ناکارآمد را حذف می‌کند. علاوه بر این، یادگیری ماشین می‌تواند به ساده‌سازی مدیریت موجودی کمک کند.

کنترل لجستیک: شامل ظرفیت وسایل نقلیه، نوع محموله و زمان‌بندی وسایل نقلیه است. در نتیجه، یادگیری ماشین می‌تواند کارایی لجستیک را با کاهش زمان‌های بیکاری، انتخاب بهترین مسیر برای وسایل نقلیه حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی برای جلوگیری از تنگناها افزایش دهد.

فرایندهای تولیدی: سفارشی‌سازی انبوه که به سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر نیاز دارد، در صنایع مختلف رواج یافته است. یادگیری ماشین به طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک سیستم توانمند برای این امر در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند زمان ساخت و نظارت بر چندین فرایند تولید را کاهش دهد.

عوامل سازمانی: یادگیری ماشین به یک شرکت در اتخاذ تصمیمات اداری برای عملیات روان کمک می‌کند و می‌تواند این ذهنیت را در تصمیم‌گیری از بین ببرد و به تصمیم‌گیری «عینی» در موقعیت‌های پیچیده با متغیرهای متعدد کمک کند.

مدیریت کیفیت: امروزه مشتریان از نظر کیفیت، انتظارات بیشتری دارند. همچنین عیوب ساخت باعث افزایش ضایعات و هزینه‌ها می‌شود. یادگیری ماشین می‌تواند به پیش‌بینی عیوب قبل از وقوع و اصلاح آنها کمک کند. همچنین می‌تواند از رسیدن کالاهای آسیب‌دیده به دست مشتری جلوگیری کند.

مدیریت منبع: شرکت‌ها باید منابع خود را چه انسانی و چه مادی به طور کارآمد مدیریت کنند. یادگیری ماشین می‌تواند شبکه تولیدکنندگان را مدل‌سازی و کل فرایند را ساده کند. همچنین، یادگیری ماشین می‌تواند برای بهبود نرخ حفظ کارکنان استفاده شود.

مدیریت ریسک: کاهش این خطرات قبل از وقوع و مقابله با اختلالات برای عملکرد بدون درز ضروری است. یادگیری ماشین امکان مدیریت مؤثر ریسک را با کاوش در پیوندهای زنجیره تأمین حیاتی، توسعه پروفایل‌های ریسک و غیره فراهم می‌کند.

یکپارچگی فناوری: فناوری‌های دیجیتال، فرایندها را بهبود می‌بخشند و ریسک را کاهش می‌دهند و همچنین برای پیاده‌سازی سیستم یادگیری ماشین ضروری هستند. پیشرفت در یادگیری ماشین باعث افزایش بهره‌وری و عملکرد سازمان می‌شود.

در پژوهش حاضر از پرسش‌نامه استاندارد مطالعه گارداس و ناروانه (۲۰۲۴) برای سنجش متغیرها (عوامل) استفاده شده است

۳- روش تحقیق

این تحقیق از لحاظ هدف، تحقیقی کاربردی؛ از لحاظ روش جمع‌آوری و تحلیل داده، از نوع توصیفی - پیمایشی؛ و از نظر نوع تحلیل، تحقیقی کمی است. باتوجه‌به اینکه جامعه آماری خبرگان و متخصصان پاسخ‌دهنده در خصوص موضوع پژوهش در صنعت لاستیک، دقیقاً مشخص نبوده، لذا جامعه مورد بررسی و حجم آن نامعین است و براین‌اساس از فرمول نمونه‌گیری ارائه‌شده در سال ۱۹۳۱ توسط ویلیام کوکران[1] به‌صورت رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}\left[\frac{z^2 pq}{d^2} - 1\right]} \qquad (۱)$$

در این فرمول از حداکثر مقدار p و q یعنی ۰/۵ (به دلیل نامشخص‌بودن) استفاده می‌شود. سطح خطاء همان مقدار استاندارد ۰/۰۵ در نظر گرفته شد که در این شرایط مقدار z برابر ۱/۹۶ استخراج شده و مقدار برابر با ۳/۸۴۱۶ حاصل شد. به‌منظور کسب بیشترین دقت در نمونه‌گیری، از حداکثر مقدار d یعنی ۰/۰۵ بهره گرفته شد. با این توضیحات، حداقل نمونه لازم برای جامعه صنایع لاستیک نامعین، به مقدار ۳۸۴ حاصل می‌شود که در این پژوهش مبنا قرار گرفته است. اما به دلیل دسترسی سخت به همین تعداد متخصص جهت استخراج نظرات، پرسش‌نامه‌ها به‌صورت آنلاین طراحی و به اطلاع اهم آنان رسید. این پرسشنامه آنلاین، انگیزه

1. William Cochran

کافی به دلیل صرف وقت کمتر برای آزمودنی‌ها ایجاد کرد به طوری که در ۱ ماه پس از اطلاع‌رسانی، تعداد ۳۵۷ پاسخ جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفت که نرخ پاسخ خیلی خوبی را نشان می‌دهد

در این پژوهش جهت شناسایی و استخراج عوامل نهایی اثربخش در به‌کارگیری موفق یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت از آزمون ساده میانگین با پرسش‌نامه‌ای شامل طیف ۵تایی لیکرت و نقطه آزمون ۳ استفاده شد و عوامل تأثیرگذار و کلیدی استخراج شدند. همچنین به‌منظور تعیین اهمیت عوامل و اولویت‌بندی آنها از پرسشنامه تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه آنتروپی شانون[1] با استفاده از نظرات ۵۰ خبره و متخصص صنعت با تسلط کافی به موضوع یادگیری ماشین و زنجیره تأمین استفاده شد و وزن عوامل استخراج شد. این اولویت‌بندی می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی صنعت در تقویت عوامل به ترتیب رتبه و به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین باشد. در پایان پژوهش از پرسشنامه تکنیک رتبه‌بندی مورا[2] استفاده شد. این تکنیک به دلیل داشتن نقاط قوت و درک بهتر، جهت رتبه‌بندی هفت تأمین‌کننده شرکت منتخب در صنعت لاستیک بکارگرفته شد. با مراجعه به مطالعات قبلی داخلی و خارجی مشخص شد که در هیچ پژوهشی به ارزیابی عوامل تأثیرگذار به‌کارگیری یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک با استفاده از رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون - مورا پرداخته نشده است و این از نوآوری‌های اصلی پژوهش حاضر محسوب می‌شود که بر جذابیت انجام موضوع نوآور سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک می‌افزاید. در جدول ۱، وضعیت نمونه بررسی‌شده جهت استخراج اطلاعات بر

جدول ۱: وضعیت توصیفی خبرگان

جنسیت			**سن**		
جنسیت	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	بازه سنی	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
مذکر	۲۶۳	۷۳/۶۷	۳۵-۵۰	۱۹۳	۵۴/۰۶
مؤنث	۹۴	۲۶/۳۳	۵۰-۶۰	۱۱۷	۳۲/۷۷
جمع	۳۵۷	۱۰۰	۶۰ با بالا	۴۷	۱۳/۱۷
			جمع	۳۵۷	۱۰۰
تأهل			**تجربه فعالیت**		
وضعیت	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	میزان	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
متأهل	۳۰۵	۸۵/۴۳	زیر ۱۵ سال	۱۶۸	۴۷/۰۶
مجرد	۵۲	۱۴/۵۷	۱۵-۲۵	۱۲۹	۳۶/۱۳
جمع	۳۵۷	۱۰۰	بالای ۲۵	۶۰	۱۶/۸۱
			جمع	۳۵۷	۱۰۰
تحصیلات			**منطقه مورد بررسی**		
سطح	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	منطقه	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
لیسانس	۱۱۳	۳۱/۶۵	تهران	۱۳۱	۳۶/۶۹
فوق‌لیسانس	۲۱۹	۶۱/۳۴	سایر شهرستان‌ها	۲۲۶	۶۳/۳۱
دکتری	۲۵	۷/۰۱	جمع	۳۵۷	۱۰۰
جمع	۳۵۷	۱۰۰			

1.Shannon's Entropy Method
2. Multi-objective optimization by ratio analysis" (MOORA)

جنسیت			سن		
جنسیت	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	بازه سنی	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
مذکر	۲۶۳	۷۳/۶۷	۳۵–۵۰	۱۹۳	۵۴/۰۶
مؤنث	۹۴	۲۶/۳۳	۵۰–۶۰	۱۱۷	۳۲/۷۷
جمع	۳۵۷	۱۰۰	۶۰ با بالا	۴۷	۱۳/۱۷
			جمع	۳۵۷	۱۰۰
تأهل			**تجربه فعالیت**		
وضعیت	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	میزان	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
متأهل	۳۰۵	۸۵/۴۳	زیر ۱۵ سال	۱۶۸	۴۷/۰۶
مجرد	۵۲	۱۴/۵۷	۱۵–۲۵	۱۲۹	۳۶/۱۳
جمع	۳۵۷	۱۰۰	بالای ۲۵	۶۰	۱۶/۸۱
			جمع	۳۵۷	۱۰۰
تحصیلات			**منطقه مورد بررسی**		
سطح	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰	منطقه	تعداد از ۳۵۷	نسبت از ۱۰۰
لیسانس	۱۱۳	۳۱/۶۵	تهران	۱۳۱	۳۶/۶۹
فوق‌لیسانس	۲۱۹	۶۱/۳۴	سایر شهرستان‌ها	۲۲۶	۶۳/۳۱
دکتری	۲۵	۷/۰۱	جمع	۳۵۷	۱۰۰
جمع	۳۵۷	۱۰۰			

مبنای ویژگی‌های جنسیتی، سن، تأهل، تجربه فعالیت، تحصیلات آکادمیک و منطقه فعالیت آزمودنی‌ها آورده شده است:

در جدول ۲، مقادیر آلفای کرونباخ عوامل، مستخرج از خروجی نرم‌افزار SPSS بر اساس داده‌های پرسش‌نامه‌ها ارائه شده است:

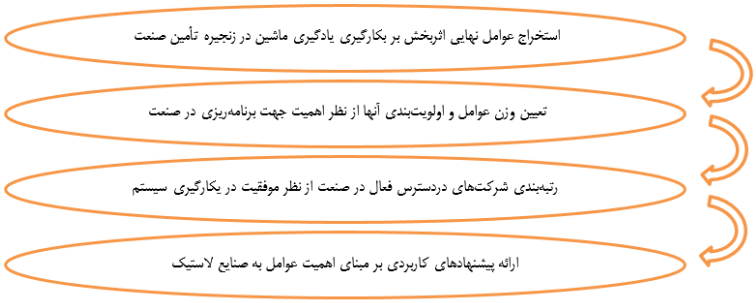
جدول ۲: مقادیر آلفای کرونباخ عوامل

عوامل	ضریب آلفای کرونباخ
یکپارچگی فناوری	۰/۷۶۵
مدیریت مشتری	۰/۸۱۴
مدیریت مالی	۰/۸۰۲
مدیریت سازمانی	۰/۷۵۹
مدیریت کیفیت	۰/۸۱۶
پیش‌بینی	۰/۸۲۳
کنترل محیطی	۰/۷۹۱
کنترل لجستیک	۰/۷۴۷
مدیریت منبع	۰/۷۸۲
مدیریت ریسک	۰/۸۲۴
مدیریت موجودی	۰/۸۱۱
مدیریت داده	۰/۸۴۶

فرایندهای تولیدی	۰/۷۶۳	(۲)

همان‌طور که در جدول بالا ملاحظه می‌شود مقادیر آلفای کرونباخ برای تمامی عوامل پژوهش از مقدار استاندارد ۰/۷۰ بالاتر است که نشان‌دهنده مناسب‌بودن متغیرها در سنجش مفهوم مورد بررسی دارند.

با عنایت به توصیف‌های بالا، به طور خلاصه، مراحل انجام پژوهش را می‌توان به‌صورت شکل ۱ نشان داد:



شکل ۱: مراحل انجام پژوهش

در ادامه تکنیک های آنتروپی شانون و مورا تشریح شده‌اند

۳-۱- تکنیک وزن‌دهی آنتروپی شانون

در این تکنیک، وزن شاخص‌ها بر اساس میزان پراکندگی موجود در هر شاخص ماتریس تصمیم محاسبه می‌شود. به‌این‌ترتیب، شاخصی که واگرایی مقادیر آن بیشتر (همگرایی مقادیر آن کمتر) است و از پراکندگی و اغتشاش بیشتری (کمتری) برخوردار است، اهمیت بالاتری (کمتری) در تصمیم‌گیری دارد (اصغری‌زاده و محمدی بالانی، ۱۳۹۶). در این روش، مراحل زیر جهت تعیین وزن شاخص‌ها طی می‌شود:

مرحله ۱: بی‌بعد کردن ماتریس تصمیم با دیدگاه نسبتی با رابطه بی‌بعدسازی نسبتی شاخص‌های مثبت برای تمامی شاخص‌های مثبت و منفی (نوع شاخص تأثیری در بی‌بعدسازی در این مرحله ندارد).

مرحله ۲: محاسبه درجه همگرایی مقادیر هر شاخص با استفاده از رابطه ۲:

$$E_j = -k\left(\sum_{i=1}^{m} r_{ij}, \ln\left(r_{ij}\right)\right) \quad (2)$$

مقدار k از رابطه ۳ به‌صور

$$k = \frac{1}{ln(m)} \quad (3)$$

مرحله ۳: محاسبه مقدار واگرایی هر شاخص با رابطه ۴ به‌صورت زیر:

$$D_j = 1 - E_j \quad (4)$$

مرحله ۴: استخراج وزن شاخص‌ها با رابطه ۵ به‌صورت زیر

$$w_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^{n} D_j} \quad (5)$$

۳-۲- تکنیک رتبه‌بندی مورا

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] به طور گسترده در بین محققان برای ارائه راه‌حل مبادله‌ای بین بهترین و بدترین، با درنظرگرفتن معیارها و مجموعه‌های ترجیحات متناقض استفاده شده است. در صنایع، تصمیمات بهینه نه‌تنها ریسک‌های مختلف را به حداقل می‌رساند، بلکه می‌تواند کیفیت محصولات را نیز افزایش دهد. محققان مختلفی، روش‌های متنوعی را برای ارائه پیش‌بینی‌های بهینه و تصمیم‌گیری‌های حیاتی در چنین مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد مطالعه و کار قرار داده‌اند. در میان روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره که طی دو دهه گذشته برای حل مسائل غیر پیش‌پاافتاده توسعه‌یافته و مورد بررسی قرار گرفته‌اند، رویکرد «بهینه‌سازی چندهدفه بر اساس تحلیل نسبت (مورا) «در حوزه‌های کاربردی مختلف به علاقه قابل‌توجهی دست‌یافته است. روش مورا از نسبت‌های ریشه مربع بدون بعد برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌کند و در ابتدا برای مشکلات خصوصی‌سازی در یک اقتصاد در حال گذار استفاده شد. متعاقباً، این روش برای بسیاری از موقعیت‌های دنیای واقعی استفاده شده است (سینگ[2] و همکاران، ۲۰۲۴). در این پژوهش به‌منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان منتخب در

1.Multi-criteria decision-making (MCDM) 2. Singh

حوزه لاستیک از تکنیک مورا بهره گرفته شد. این تکنیک اولین‌بار توسط بروارز و زاوادسکاس[1] (۲۰۰۶) پیشنهاد شد که در مطالعه حاضر به‌منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان صنعت از نظر به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین استفاده شد. این تکنیک شامل دو ورودی کلیدی (۱- ماتریس تصمیم و ۲- بردار وزن شاخص‌ها) می‌باشد (چاکرابورتی[2]، ۲۰۱۱؛ اجلی، b۲۰۲۴؛ اجلی و عظیمی، ۱۴۰۲).

قدم‌های پیاده‌سازی تکنیک مورا در ادامه به‌صورت خلاصه ارائه شده است (اجلی و عظیمی، ۱۴۰۲):

گام ۱: نرمال‌سازی (بی‌بعدسازی) ماتریس تصمیم با استفاده از روش اقلیدسی؛

گام ۲: ضرب وزن استخراجی هر عامل (شاخص) در ستون مربوط به آن با رابطه زیر:

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j$$

گام ۳: محاسبه امتیاز هر گزینه (تأمین‌کننده) با رابطه زیر

$$U_i = \sum_{j \epsilon J^+} r_{ij} - \sum_{j \epsilon J^-} r_{ij}$$

J^+ مجموعه شاخص‌های مثبت و J^- مجموعه شاخص‌های منفی است؛ به عبارتی، جهت محاسبه امتیاز (مطلوبیت) هر گزینه (تأمین‌کننده)، مجموع ارزیابی‌های نرمال یا بی‌بعد (r_{ij}) آن گزینه در شاخص‌های منفی از مجموع ارزیابی‌های نرمال همان گزینه در شاخص‌های مثبت کم می‌شوند.

گام ۴: رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب نزولی U_i نکته قابل‌ذکر آنکه، رتبه‌بندی بر مبنای قدرمطلق U_i صورت نمی‌گیرد، بلکه با استفاده از مقادیر واقعی U_i صورت می‌پذیرد؛ به عبارتی، در صورتی که U_i شامل مقادیر منفی هم بشود، گزینه‌ای که منفی‌ترین مقدار U_i را داشته باشد، در رتبه آخر قرار می‌گیرد

۴- بحث و تحلیل داده‌ها

۴-۱- استخراج عوامل مؤثر بر به‌کارگیری موفق یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین صنعت

در این بخش، خروجی تحلیل داده‌های مستخرج از نظرات خبرگان با آزمون میانگین با نقطه آزمون ۳ در جدول ۲ ارائه شده است:

جدول ۲: خروجی آزمون میانگین در رابطه با اثربخشی عوامل در مدیریت زنجیره تأمین

عوامل	مقدار T	درجه آزادی	Sig. (معناداری)	آلفای کرونباخ	وضعیت پذیرش
یکپارچگی فناوری	۸/۳۱۷	۳۵۶	۰/۰۰۸	۰/۸۳	تأیید
مدیریت مشتری	۴/۵۹۳	۳۵۶	۰/۰۱۹	۰/۷۴	تأیید
مدیریت مالی	۵/۸۳۷	۳۵۶	۰/۰۰۳	۰/۷۶	تأیید
مدیریت سازمانی	۳/۴۶	۳۵۶	۰/۰۰۰	۰/۷۳	تأیید
مدیریت کیفیت	۹/۵۸۳	۳۵۶	۰/۰۳۲	۰/۸۷	تأیید
پیش‌بینی	۴/۱۰۵	۳۵۶	۰/۰۰۷	۰/۷۳	تأیید
کنترل محیطی	۸/۱۰۹	۳۵۶	۰/۰۲۸	۰/۸۱	تأیید
کنترل لجستیک	۳/۷۱۴	۳۵۶	۰/۰۰۱	۰/۷۱	تأیید
مدیریت منبع	۷/۶۵۱	۳۵۶	۰/۰۱۶	۰/۷۸	تأیید
مدیریت ریسک	۶/۷۰۳	۳۵۶	۰/۰۰۴	۰/۷۹	تأیید
مدیریت موجودی	۳/۵۵۳	۳۵۶	۰/۰۰۰	۰/۷۲	تأیید
مدیریت داده	۱۱/۲۵۴	۳۵۶	۰/۰۳۱	۰/۹۱	تأیید
فرایندهای تولیدی	۳/۰۵۸۴	۳۵۶	۰/۰۰۹	۰/۷۱	تأیید

باتوجه‌به جدول بالا، تأثیرگذاری تمامی عوامل بر به‌کارگیری موفق سیستم یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین صنعت تأیید می‌شود.

۴-۲- وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل با آنتروپی شانون

در جدول ۳، امتیازدهی شاخص‌ها بر اساس نظرات خبرگان از ۱۰۰ ارائه شده است:

1. Brauers & Zavadskas
2. Chakraborty

جدول ۳: امتیازدهی شاخص‌ها

شاخص‌ها / شرکت‌ها	ML۱ یکپارچگی فناوری	ML۲ مدیریت مشتری	ML۳ مدیریت مالی	ML۴ مدیریت سازمانی	ML۵ مدیریت کیفیت	ML۶ پیش‌بینی	ML۷ کنترل محیطی	ML۸ کنترل لجستیک	ML۹ مدیریت منبع	ML۱۰ مدیریت ریسک	ML۱۱ مدیریت موجودی	ML۱۲ مدیریت داده	ML۱۳ فرایندهای تولیدی
S۱	۴۳	۵۷	۴۷	۵۵	۴۲	۶۶	۴۰	۵۰	۳۸	۶۹	۴۶	۸۳	۷۷
S۲	۸۵	۷۸	۷۵	۷۰	۸۳	۴۹	۸۱	۶۱	۵۲	۳۵	۷۵	۳۳	۵۳
S۳	۵۳	۴۲	۵۸	۴۶	۷۵	۵۸	۴۸	۴۴	۴۸	۷۴	۶۷	۶۱	۶۰
S۴	۳۶	۸۱	۳۸	۶۴	۴۶	۴۰	۵۱	۷۵	۷۴	۵۸	۸۰	۷۸	۷۴
S۵	۷۲	۶۶	۸۶	۷۸	۵۴	۸۱	۶۰	۵۴	۶۷	۸۳	۴۹	۴۲	۴۵
S۶	۵۷	۴۰	۵۳	۶۹	۷۲	۷۶	۳۵	۶۷	۸۲	۴۸	۵۱	۵۵	۸۳
S۷	۷۹	۷۲	۶۲	۴۱	۳۵	۴۵	۶۹	۷۹	۴۶	۵۱	۷۲	۴۷	۵۹
جمع	**۴۲۵**	**۴۳۶**	**۴۱۹**	**۴۲۳**	**۴۰۷**	**۴۱۵**	**۳۸۴**	**۴۳۰**	**۴۰۷**	**۴۱۸**	**۴۴۰**	**۳۹۹**	**۴۵۱**

در جدول ۴، مقادیر نرمال داده‌ها بر اساس روش بی‌بعدسازی نسبتی برای شاخص‌های مثبت آورده شده است:

جدول ۴: بی‌بعدسازی نسبتی داده‌ها

شاخص‌ها / شرکت‌ها	ML۱ یکپارچگی فناوری	ML۲ مدیریت مشتری	ML۳ مدیریت مالی	ML۴ مدیریت سازمانی	ML۵ مدیریت کیفیت	ML۶ پیش‌بینی	ML۷ کنترل محیطی	ML۸ کنترل لجستیک	ML۹ مدیریت منبع	ML۱۰ مدیریت ریسک	ML۱۱ مدیریت موجودی	ML۱۲ مدیریت داده	ML۱۳ فرایندهای تولیدی
S۱	۰/۱۰۱	۰/۱۳۱	۰/۱۱۲	۰/۱۳۰	۰/۱۰۳	۰/۱۵۹	۰/۱۰۴	۰/۱۱۶	۰/۰۹۳	۰/۱۶۵	۰/۱۰۵	۰/۲۰۸	۰/۱۷۱
S۲	۰/۲۰۰	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	۰/۱۶۵	۰/۲۰۴	۰/۱۱۸	۰/۲۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۲۸	۰/۰۸۴	۰/۱۷۰	۰/۰۸۳	۰/۱۱۸
S۳	۰/۱۲۵	۰/۰۹۶	۰/۱۳۸	۰/۱۰۹	۰/۱۸۴	۰/۱۴۰	۰/۱۲۵	۰/۱۰۲	۰/۱۱۸	۰/۱۷۷	۰/۱۵۲	۰/۱۵۳	۰/۱۳۳
S۴	۰/۰۸۵	۰/۱۸۶	۰/۰۹۱	۰/۱۵۱	۰/۱۱۳	۰/۰۹۶	۰/۱۳۳	۰/۱۷۴	۰/۱۸۲	۰/۱۳۹	۰/۱۸۲	۰/۱۹۵	۰/۱۶۴
S۵	۰/۱۶۹	۰/۱۵۱	۰/۲۰۵	۰/۱۸۴	۰/۱۳۳	۰/۱۹۵	۰/۱۵۶	۰/۱۲۶	۰/۱۶۵	۰/۱۹۹	۰/۱۱۱	۰/۱۰۵	۰/۱۰۰
S۶	۰/۱۳۴	۰/۰۹۲	۰/۱۲۶	۰/۱۶۳	۰/۱۷۷	۰/۱۸۳	۰/۰۹۱	۰/۱۵۶	۰/۲۰۱	۰/۱۱۵	۰/۱۱۶	۰/۱۳۸	۰/۱۸۴
S۷	۰/۱۸۶	۰/۱۶۵	۰/۱۴۸	۰/۰۹۷	۰/۰۸۶	۰/۱۰۸	۰/۱۸۰	۰/۱۸۴	۰/۱۱۳	۰/۱۲۲	۰/۱۶۴	۰/۱۱۸	۰/۱۳۱

با محاسبه مقدار k برابر ۰/۵۱۳۹، می‌توان LN داده‌های جدول ۴ را به‌صورت جدول ۵ استخراج کرد:

جدول ۵: مقادیر LN داده‌های جدول قبلی

شاخص‌ها / شرکت‌ها	ML۱ یکپارچگی فناوری	ML۲ مدیریت مشتری	ML۳ مدیریت مالی	ML۴ مدیریت سازمانی	ML۵ مدیریت کیفیت	ML۶ پیش‌بینی	ML۷ کنترل محیطی	ML۸ کنترل لجستیک	ML۹ مدیریت منبع	ML۱۰ مدیریت ریسک	ML۱۱ مدیریت موجودی	ML۱۲ مدیریت داده	ML۱۳ فرایندهای تولیدی
S۱	-۲/۲۹۱	-۲/۰۳۵	-۲/۱۸۸	-۲/۰۴۰	-۲/۲۷۱	-۱/۸۳۹	-۲/۲۶۲	-۲/۱۵۲	-۲/۳۷۱	-۱/۸۰۱	-۲/۲۵۸	-۱/۵۷۰	-۱/۷۶۸
S۲	-۱/۶۰۹	-۱/۷۲۱	-۱/۷۲۰	-۱/۷۹۹	-۱/۵۹۰	-۲/۱۳۶	-۱/۵۵۶	-۱/۹۵۳	-۲/۰۵۸	-۲/۴۸۰	-۱/۷۶۹	-۲/۴۹۲	-۲/۱۴۱
S۳	-۲/۰۸۲	-۲/۳۴۰	-۱/۹۷۷	-۲/۲۱۹	-۱/۶۹۱	-۱/۶۹۸	-۲/۰۷۹	-۲/۲۸۰	-۲/۱۳۸	-۱/۷۳۱	-۱/۸۸۲	-۱/۸۷۸	-۲/۰۱۷

S۴	-۲/۴۶۹	-۱/۶۸۳	-۲/۴۰۰	-۱/۸۸۸	-۲/۱۸۰	-۲/۳۳۹	-۲/۰۱۹	-۱/۷۴۶	-۱/۷۰۵	-۱/۹۷۵	-۱/۷۰۵	-۱/۶۳۲	-۱/۸۰۷
S۵	-۱/۷۷۵	-۱/۸۸۸	-۱/۵۸۴	-۱/۶۹۱	-۲/۰۲۰	-۱/۶۳۴	-۱/۸۵۶	-۲/۰۷۵	-۱/۸۰۴	-۱/۶۱۷	-۲/۱۹۵	-۱/۲۵۱	-۲/۳۰۵
S۶	-۲/۰۰۹	-۲/۳۸۹	-۲/۰۶۸	-۱/۸۱۳	-۱/۷۳۲	-۱/۶۹۸	-۲/۳۹۵	-۱/۸۵۹	-۱/۶۰۲	-۲/۱۶۴	-۱/۱۵۵	-۱/۹۸۲	-۱/۶۹۳
S۷	-۱/۶۸۳	-۱/۸۰۱	-۱/۹۱۱	-۲/۳۳۴	-۲/۴۵۳	-۲/۲۲۲	-۱/۷۱۷	-۱/۶۹۴	-۲/۱۸۰	-۲/۱۰۴	-۱/۸۱۰	-۲/۱۳۹	-۲/۰۳۴

در ادامه مقادیر Ej شاخص‌ها را می‌توان به‌صورت جدول ۶ ارائه کرد:

جدول ۶: مقادیر Ej شاخص‌ها

	ML۱	ML۲	ML۳	ML۴	ML۵	ML۶	ML۷	ML۸	ML۹	ML۱۰	ML۱۱	ML۱۲	ML۱۳
Ej	-۱/۹۰۵۳۸ **۰/۹۷۹۱۷**	-۱/۹۱۴۳۳ **۰/۹۸۳۷۷**	-۱/۹۱۴۰۴ **۰/۹۸۳۶۲**	-۱/۹۲۳۶۹ **۰/۹۸۸۵۸**	-۱/۹۰۲۰۹ **۰/۹۷۷۴۸**	-۱/۹۱۵۸۴ **۰/۹۸۴۵۵**	-۱/۹۰۸۷۲ **۰/۹۸۰۸۹**	-۱/۹۲۶۶۱ **۰/۹۹۰۰۸**	-۱/۹۱۲۵۱ **۰/۹۸۲۸۴**	-۱/۹۱۱۷۹ **۰/۹۸۲۴۷**	-۱/۹۲۴۶۲ **۰/۹۸۹۰۶**	-۱/۹۰۱۰۵ **۰/۹۷۶۹۵**	-۱/۹۲۵۸۸ **۰/۹۸۹۷۱**

سپس با عنایت به مقادیر جدول بالا، مقادیر Dj شاخص‌ها به‌صورت جدول ۷ حاصل می‌شود:

جدول ۷: مقادیر Dj شاخص‌ها

	ML۱	ML۲	ML۳	ML۴	ML۵	ML۶	ML۷	ML۸	ML۹	ML۱۰	ML۱۱	ML۱۲	ML۱۳	**جمع**
Dj	۰/۰۲۰۸۳	۰/۰۱۶۲۳	۰/۰۱۶۳۸	۰/۰۱۱۴۲	۰/۰۲۲۵۲	۰/۰۱۵۴۵	۰/۰۱۹۱۱	۰/۰۰۹۹۲	۰/۰۱۷۱۶	۰/۰۱۷۵۳	۰/۰,۰۱۰۹۴	۰/۰۲۳۰۵	۰/۰۱۰۲۹	**۰/۲۱۰۸۴**

و نهایتاً مقادیر وزن شاخص‌ها در جدول ۸ ارائه می‌شود:

جدول ۸: مقادیر وزن شاخص‌ها

شاخص‌ها	**یکپارچگی فناوری**	**مدیریت مشتری**	**مدیریت مالی**	**مدیریت سازمانی**	**مدیریت کیفیت**	**پیش‌بینی**	**کنترل محیطی**	**کنترل لجستیک**	**مدیریت منبع**	**مدیریت ریسک**	**مدیریت موجودی**	**مدیریت داده**	**فرایندهای تولیدی**
Wj	۰/۰۹۸۸	۰/۰۷۷۰	۰/۰۷۷۷	۰/۰۵۴۲	۰/۱۰۶۸	۰/۰۷۳۳	۰/۰۹۰۶	۰/۰۴۷۰	۰/۰۸۱۴	۰/۰۸۳۲	۰/۰۵۱۹	۰/۱۰۹۳	۰/۰۴۸۸
رتبه	۳	۸	۷	۱۰	۲	۹	۴	۱۳	۶	۵	۱۱	۱	۱۲

باتوجه‌به جدول بالا ملاحظه می‌شود که عامل "مدیریت داده" با بیشترین وزن در رتبه اول؛ و عوامل "مدیریت کیفیت" و "یکپارچگی فناوری" در رتبه‌های بعدی از نظر اهمیت قرار دارند. همچنین عامل‌های "مدیریت موجودی"، "فرایندهای تولیدی" و "کنترل لجستیک" در رتبه‌های یازدهم تا سیزدهم جای گرفتند

۴-۳- رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت‌ها با مورا

در این بخش با استفاده تکنیک تصمیم‌گیری مورا، شرکت‌های منتخب و دردسترس صنعت بر مبنای وزن استخراجی در بخش قبل، مورد ارزیابی مجدد خبرگان قرار گرفتند.

برای پیاده‌سازی این تکنیک، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری برگرفته از عقاید خبرگان و متخصصان صنعت در خصوص گزینه‌ها (شرکت‌ها) باتوجه‌به هر عامل مؤثر در به‌کارگیری سیستم یادگیری ماشین به‌صورت جدول ۹ استخراج شد:

در ادامه مراحل قدم‌به‌قدم پیاده‌سازی تکنیک مورا برای رتبه‌بندی شرکت‌ها در صنایع توصیف شده است.

خروجی گام ۱ در جدول ۱۰ آورده شده است:

جدول ۱۰: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم اقلیدسی

عامل/شرکت	ML۱	ML۲	ML۳	ML۴	ML۵	ML۶	ML۷	ML۸	ML۹	ML۱۰	ML۱۱	ML۱۲	ML۱۳
S۱	۰/۲۵۸	۰/۳۳۶	۰/۲۸۸	۰/۳۳۷	۰/۲۶۲	۰/۴۰۹	۰/۲۶۶	۰/۳۰۲	۰/۲۳۹	۰/۴۲۳	۰/۲۷۱	۰/۵۲۷	۰/۴۴۳
S۲	۰/۵۰۹	۰/۴۶۰	۰/۴۵۹	۰/۴۲۹	۰/۵۱۸	۰/۳۰۳	۰/۵۳۸	۰/۳۶۸	۰/۳۲۷	۰/۲۱۵	۰/۴۴۲	۰/۲۱۰	۰/۳۰۵
S۳	۰/۳۱۸	۰/۲۴۷	۰/۳۵۵	۰/۲۸۲	۰/۴۶۸	۰/۳۵۹	۰/۳۱۹	۰/۲۶۶	۰/۳۰۲	۰/۴۵۴	۰/۳۹۵	۰/۳۸۷	۰/۳۴۵
S۴	۰/۲۱۶	۰/۴۷۷	۰/۲۳۳	۰/۳۹۲	۰/۲۸۷	۰/۲۴۸	۰/۳۳۹	۰/۴۵۳	۰/۴۶۶	۰/۳۵۵	۰/۴۷۱	۰/۴۹۵	۰/۴۲۶
S۵	۰/۴۳۱	۰/۳۸۹	۰/۵۲۶	۰/۴۷۸	۰/۳۳۷	۰/۵۰۲	۰/۳۹۹	۰/۳۲۶	۰/۴۲۲	۰/۵۰۹	۰/۲۸۹	۰/۲۶۷	۰/۲۵۹
S۶	۰/۳۴۲	۰/۲۳۶	۰/۳۲۴	۰/۴۲۳	۰/۴۴۹	۰/۴۷۱	۰/۲۳۳	۰/۴۰۵	۰/۵۱۶	۰/۲۹۴	۰/۳۰۰	۰/۳۴۹	۰/۴۷۸
S۷	۰/۴۷۳	۰/۴۲۴	۰/۳۷۹	۰/۲۵۱	۰/۲۱۸	۰/۲۷۹	۰/۴۵۸	۰/۴۷۷	۰/۲۸۹	۰/۳۱۳	۰/۴۲۴	۰/۲۹۹	۰/۳۳۹

خروجی گام ۲ در جدول ۱۱ ارائه شده است:

جدول ۱۱: ماتریس حاصلضرب وزن استخراجی هر عامل در ستون مربوط به آن

عامل / شرکت	ML۱	ML۲	ML۳	ML۴	ML۵	ML۶	ML۷	ML۸	ML۹	ML۱۰	ML۱۱	ML۱۲	ML۱۳
S۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۰۵۸	۰/۰۲۲
S۲	۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۶	۰/۰۲۳	۰/۰۵۵	۰/۰۲۲	۰/۰۴۹	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۵
S۳	۰/۰۳۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۵	۰/۰۵۰	۰/۰۲۶	۰/۰۲۹	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰	۰/۰۴۲	۰/۰۱۷
S۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۸	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۵۴	۰/۰۲۱
S۵	۰/۰۴۳	۰/۰۳۰	۰/۰۴۱	۰/۰۲۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۱۵	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۹	۰/۰۱۳
S۶	۰/۰۳۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۴۸	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۴۲	۰/۰۲۴	۰/۰۱۶	۰/۰۳۸	۰/۰۲۳
S۷	۰/۰۴۷	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۴۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷

خروجی گام‌های ۳ و ۴ در جدول ۱۲ ارائه شده است:

جدول ۱۲: امتیاز و رتبه‌بندی هر شرکت

شرکت‌ها	Ui	رتبه
S۱	۰/۳۳۶	۷
S۲	۰/۳۹۳	۲
S۳	۰/۳۵۳	۵
S۴	۰/۳۶۵	۴
S۵	۰/۳۹۷	۱
S۶	۰/۳۶۶	۳
S۷	۰/۳۵۱	۶

با عنایت به جدول ۱۲، شرکت پنجم در رتبه اول؛ و شرکت‌های دوم و ششم در اولویت‌های دوم و سوم جای گرفتند. همچنین شرکت اول در رتبه آخر قرار گرفت.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیق

تکنولوژی یادگیری و بینایی ماشین به‌عنوان یک راهکار نوآورانه در صنعت لاستیک، می‌تواند تحولی بزرگ در کنترل کیفی لاستیک ایجاد کند. با افزایش دقت، کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی، این فناوری به تولیدکنندگان صنعت کمک می‌کند تا محصولاتی باکیفیت‌تر به بازار عرضه کنند. باتوجه‌به اهمیت کنترل کیفی در صنعت لاستیک و تأثیر آن بر ایمنی و عملکرد، استفاده از دستگاه کنترل کیفی لاستیک نه‌تنها یک انتخاب هوشمندانه بلکه یک ضرورت در دنیای امروز است. این تحول می‌تواند به افزایش رقابت‌پذیری و تقویت جایگاه تولیدکنندگان در بازار کمک کرده و درنهایت، ایمنی و رضایت مشتریان را تضمین کند.

در این پژوهش پس از شناسایی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری سیستم یادگیری ماشین در زنجیره تأمین صنعت لاستیک با استفاده از آزمون ساده میانگین و نقطه آزمون ۳، وزن عوامل با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون، محاسبه و اولویت‌بندی آنها تعیین شد. در ادامه، هفت تأمین‌کننده شرکت‌های موردنظر در صنعت، با تکنیک مورا موردارزیابی قرار گرفتند و رتبه‌بندی آنها مشخص شد. از آنجایی که پژوهش‌های جامعی در خصوص ارزیابی عوامل مؤثر بر یادگیری ماشین صورت نگرفته است و اکثریت پژوهش‌های به مرور و اهمیت سیستم یادگیری ماشین پرداخته‌اند لذا نتایج پژوهش حاضر تنها با نتایج پژوهش گارداس و ناروانه (۲۰۲۴) قابل مقایسه است. در مطالعه گارداس و ناروانه (۲۰۲۴)، عامل‌های "یکپارچگی فناوری"، "پیش‌بینی" و "مدیریت داده" در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. همچنین "فرایندهای تولیدی" در رتبه آخر قرار گرفته است. در مقایسه با نتایج مطالعه حاضر با این پژوهش، مشخص می‌شود که مدیریت داده و یکپارچگی فناوری از اولویت‌های حیاتی و تأثیرگذار بر به‌کارگیری موفق یادگیری ماشین در زنجیره تأمین محسوب می‌شوند. عامل "فرایندهای تولیدی" در هر دو پژوهش از اهمیت کمتری نسبت به سایر عوامل برخورداند.

بر مبنای اهمیت و اولویت استخراجی عامل‌ها در این تحقیق، پیشنهادهای زیر به صنعت ارائه می‌شود:

مدیریت داده: پیشنهاد می‌شود که صنعت از راه‌حل‌های قوی مدیریت داده و در جهت استفاده کامل از قابلیت‌های پیش‌بینی یادگیری بهره ببرد.

مدیریت کیفیت: پیشنهاد می‌شود که صنعت از مدل‌های یادگیری ماشین باکیفیت بالا استفاده نماید؛ این مدل‌ها می‌توانند منجر به بهبود کیفیت محصول و رضایت مشتری شود که به نوبه خود بر جنبه مدیریت کیفیت زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد.

یکپارچگی فناوری: پیشنهاد می‌شود که صنعت از یکپارچگی فناوری استفاده نماید. یکپارچگی فناوری نه‌تنها عملیات را ساده می‌کند، بلکه صنعت را قادر می‌سازد تا فرصت یادگیری ماشین را به طور کامل درک کنند، مانند نت پیشگیرانه، تضمین کیفیت، و پیش‌بینی تقاضا. پذیرش فناوری‌های یادگیری ماشین ممکن است بدون یک معماری فنی یکپارچه، تکه‌تکه و غیراثربخش باشد.

کنترل محیطی: پیشنهاد می‌شود که از یادگیری ماشین در صنعت لاستیک استفاده شود؛ این سیستم به اقدامات صنعتی پایدارتر و سازگار با محیط‌زیست کمک می‌کند و تأثیر مطلوبی بر کنترل محیطی دارد.

مدیریت ریسک: برای محدودکردن جنبه‌های منفی و عدم قطعیت‌های مرتبط با پذیرش یادگیری ماشین، تکنیک‌ها و شیوه‌های مؤثر مدیریت ریسک در صنعت مورد نیاز است. صنایع لاستیک ممکن است با شناخت و کنترل خطرات، انتقال ساده‌تر و ایمن‌تر به عملیات تقویت شده یادگیری

ماشین را تضمین کنند.

مدیریت منبع، مدیریت مالی و کنترل لجستیک: با مدیریت مناسب این عوامل در صنعت، آماده‌سازی زنجیره تأمین برای پذیرش یادگیری ماشین تقویت می‌شود. به‌کارگیری و توسعه سیستم کنترل لجستیک مناسب در صنعت، تضمین می‌کند که کالاها به طور مؤثر جابه‌جا شوند، درحالی‌که مدیریت مالی تخصیص منابع را بهینه می‌کند و مدیریت منابع به طور فعال دارایی‌ها را برای حمایت از پذیرش یادگیری ماشین توزیع می‌کند

مدیریت مشتری: پیشنهاد می‌شود صنعت لاستیک، برنامه‌ریزی مناسب برای پذیرش موفقیت‌آمیز یادگیری ماشین داشته باشد تا با فعال‌کردن پیش‌بینی بهتر، خدمات شخصی‌سازی‌شده و زمان پاسخ‌دهی بهتر، بر مدیریت مشتری تأثیر مثبت بگذارد. این نتیجه استراتژی‌های به‌خوبی اجراشده و اجرای مؤثر فناوری‌های یادگیری ماشین و بهترین شیوه‌ها در زنجیره تأمین است.

پیش‌بینی: تلاش در جهت ارائه استراتژی‌های پیش‌بینی دقیق (تقاضا، تأمین و قیمت) در صنعت برای تولید شبکه‌های تأمین حیاتی هستند. آنها پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی موجودی، و تخصیص منابع را آسان‌تر می‌کنند. پیش‌بینی دقیق به مدیران صنعت اجازه می‌دهد تا انتخاب‌های آگاهانه داشته باشند، برای نوسانات تقاضا برنامه‌ریزی کنند و از سناریوهای مازاد یا کمبود موجودی اجتناب کنند. ظرفیت استفاده از الگوریتم‌های پیچیده و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها برای پیش‌بینی می‌تواند انقلابی در عملیات زنجیره تأمین در زمینه پذیرش یادگیری ماشین ایجاد کند. توانایی‌های پیش‌بینی بهبودیافته، پاسخگویی را بهبود می‌بخشد و امکان تخصیص منابع مقرون‌به‌صرفه‌تر را فراهم می‌کند.

مدیریت سازمانی: پشتیبانی و کمک‌های سازمانی و اداری از به‌کارگیری و توسعه سیستم‌های یادگیری ماشین در صنعت ضروری است.

مدیریت موجودی: پیشنهاد می‌شود که صنعت از الگوریتم‌های پیشرفته در چارچوب یادگیری ماشین در جهت بهینه‌سازی سطوح موجودی بهره ببرد تا هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش داده و خطر انبارها یا موقعیت‌های مازاد را به حداقل برساند؛ لذا سرمایه‌گذاری برای راه‌اندازی یک سیستم مدیریت موجودی مناسب برای بهبود چابکی و کارایی زنجیره تأمین صنعت حیاتی است.

فرایندهای تولیدی: پیشنهاد می‌شود که صنعت با آموزش و برنامه‌ریزی مؤثر، از پذیرش موفقیت‌آمیز یادگیری ماشین پشتیبانی نماید. این امر منجر به عملیات‌های تولیدی ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر شده و بر کیفیت فرایندهای تولید تأثیر خواهد گذاشت.

در مطالعات آتی می‌توان از رویکردهای دلفی و تحلیل مسیر به‌منظور شناسایی عوامل از نظر اثربخشی بهره برد. همچنین از سایر تکنیک‌های وزن‌دهی مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، سوارا، بهترین - بدترین، لینمپ و... استفاده کرد. بررسی روابط علی و معلوی میان عوامل و شناسایی عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر با تکنیک دیمتل به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر در صنعت نیز می‌تواند مؤثر باشد. به‌کارگیری سایر تکنیک‌های رتبه‌بندی مانند تاپسیس، آراس، واسپاس، مشابهت، اورسته، ویکور و... نیز از جهت‌گیری‌های علمی آینده می‌تواند در نظر گرفته شود. همه این ارزیابی‌ها می‌تواند با نتایج ارزیابی رویکردهای این پژوهش مقایسه و رویکردهای بهینه مشخص شود. از محدودیت‌های پژوهش هم می‌توان به شناسایی سخت و عدم دسترسی آسان به خبرگان و متخصصان صنعت اشاره کرد. از طرفی عدم آشنایی کافی برخی خبرگان با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، تکمیل پرسش‌نامه‌ها را با تأخیر مواجه می‌کرد که محقق در این راستا به‌صورت آنلاین، توضیحات تکمیلی برای تشریح ضروری را ارسال کرد.

منابع

۱. اجلی، مهدی (۱۴۰۲). ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار با فن واس‌پاس. علمی اندیشه آماد. ۲۲ (۸۶). 179-207. doi: 10.22034/lot.2023.1272331.1262

۲. اجلی، مهدی و رحمانی، محمد (۱۳۹۶). به‌کارگیری رویکرد ترکیبی (FAHP-QUALIFLEX) برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان صنعت ابزارسازی. علمی اندیشه آماد. ۱۶ (۶۲). ۹۳-۱۰۸.

۳. اجلی، مهدی؛ زینتی، بابک؛ صابری فرد، نیما (۱۴۰۱). رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ناب با تکنیک ارزیابی نسبت افزودنی (مطالعه موردی: صنعت خودروسازی)، نشریه علمی اندیشه آماد. ۲۱ (۸۱). ۷۱-۹۴. doi: ۱۰,۲۲۰۳۴/lot.۲۰۲۲,۱۲۶۶۴۳۹,۱۱۷۱

۴. اجلی، مهدی؛ عظیمی، حسین (۱۴۰۲). طراحی مدل پیاده‌سازی نظام آراستگی 5S در صنعت روی با ترکیب سوارا، دلفی و مورا، مدیریت استاندارد و کیفیت، سال ششم، شماره ۴، پیاپی ۲۱، ۳۳-۶۴.

۵. حسین‌پور، برانوش؛ رضایی نور، جلال؛ عموزادخلیلی، حسین (۱۴۰۱). ارائه چارچوبی برای کاربردهای یادگیری ماشین در مدیریت دانش سازمانی. علوم و فنون مدیریت اطلاعات، ۸ (۳)، ۵۵-۸۰.

۶. شفیعی نیک‌آبادی، محسن؛ شفیعی نیک‌آبادی، محسن؛ عظیمی، سید علی (۱۳۹۴). پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مورد مطالعه: زنجیره تأمین شرکت ایران خودرو)، مدل‌سازی در مهندسی، ۱۳ (۴۱)، ۱۲۷-۱۳۶.

۷. نورائی آباده، مریم؛ بهادری، سندس؛ میرزایی، منصوره؛ ابراهیمی، نرگس (۱۴۰۳). ارائه رویکردی کمی برای ارزیابی اولویت‌ها در زنجیره تأمین هوشمند با استفاده از پیش‌بینی داده‌گرا: مطالعه موردی در دو صنعت پرکاربرد، چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴ (۳)، ۱۶۹-۱۸۸.

8. Ahmed M. Khedr, Sheeja Rani S., (2024). Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: A review, Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, Volume 10, Issue 4, https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100379.

9. Ajalli, M. (2024a). A Fuzzy Delphi-BWM-TOPSIS Hybrid Approach to Assessment Suppliers Resilience. Journal of Industrial Engineering and Management Studies, 11(1), 181-195. doi: 10.22116/jiems.2024.472125.1571.

10. Ajalli, M. (2024b). Conceptual modeling of determining factors in the assessment of sustainability and resilience of the supply chain: a study of rubber industry suppliers in Iran. J Rubber Res 27, 259–274. https://doi.org/10.1007/s42464-024-00257-3.

11. Akbari, M. and Do, T.N.A. (2021), "A systematic review of machine learning in logistics and supply chain management: current trends and future directions", Benchmarking: An International Journal, Vol. 28 No. 10, pp. 2977-3005. https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2020-0514

12. Babaee Tirkolaee, E., Sadeghi, S., & Mansoori Mooseloo, F., & Rezaei Vandchali, H., Aeini, S., (2021). Application of Machine Learning in Supply Chain Management: A Comprehensive Overview of the Main Areas, Mathematical Problems in Engineering, Hindawi, vol. 2021, pages 1-14, June.

13. Bowles, M. (2015). Machine Learning in Python: Essential Techniques for Predictive Analysis, John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA.

14. Brauers, W.K.M. and Zavadskas E.K. (2006). The MOORA Method and Its Applications to Privatization in a Transition Economy. Control and Cybernetics, 35, 445-469.

15. Chakraborty, S. (2011). Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. Int J Adv Manuf Technol 54, 1155–1166. https://doi.org/10.1007/s00170-010-2972-0.

16. Dey, A. (2016). Machine learning algorithms: a review," International Journal of Computer Science and Information Technologies, vol. 7, no. 3, pp. 1174–1179.

17. Gardas, R., Narwane, S. (2024). An analysis of critical factors for adopting machine learning in manufacturing supply chains, Decision Analytics Journal, Volume 10, https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100377.

18. Kuo, R. J., and Li, P. S. (2016). Taiwanese export trade forecasting using firefly algorithm based K-means algorithm and SVR with wavelet transform. Computers & Industrial Engineering, Vol.99, pp. 153-161.

19. Mahraz, M., Benabbou, L., & Berrado, A. (2022). Machine Learning in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. International Journal of Supply and Operations Management, 9(4), 398-416. doi: 10.22034/ijsom.2021.109189.2279.

20. Makkar, S., Devi, N., Kumar Solanki, V. (2020). Applications of Machine Learning Techniques in Supply Chain Optimization, In book: ICICCT 2019 – System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management, DOI: 10.1007/978-981-13-8461-5_98.

21. Ni, D., Xiao, Z. & Lim, M.K. (2020). A systematic review of the research trends of machine learning in supply chain management. Int. J. Mach. Learn. & Cyber. 11, 1463–1482. https://doi.org/10.1007/s13042-019-01050-0.

22. Singh, R., Kumar Pathak, V., Kumar, R., Dikshit, M., Aherwar, A., Singh, V., Singh, T. (2024). A historical review and analysis on MOORA and its fuzzy extensions for different applications, Heliyon, Volume 10, Issue 3, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25453.

23. Thejasree, P., Manikandan, N., Vimal, K.E.K., Sivakumar, K., Krishnamachary, P.C. (2024). Applications of Machine Learning in Supply Chain Management—A Review. In: Vimal, K.E.K., Rajak, S., Kumar, V., Mor, R.S., Assayed, A. (eds) Industry 4.0 Technologies: Sustainable Manufacturing Supply Chains.

Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4819-2_6.

24. Zhou,L.,Pan,S.,Wang,J.,and Vasilakos, A.V. (2017). Machine learning on big data: Opportunities and challenges. Neurocomputing, Vol. 237, pp. 350–361.

IRM

Iranian Rubber Magazine
Vol.29, NO.116, winter 2025

Management

Evaluation of factors affecting the successful application of machine learning in the supply chain

Mehdi Ajalli[1]

1. Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Accounting, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

***Corresponding author Email: m.ajalli@basu.ac.ir**

Abstract

With the advent of the Fourth Industrial Revolution, the importance of using artificial intelligence has been pushed. The machine learning system is one of the developments that have made production and smart factory reality; On the other hand, in recent decades, this system has been widely used in quality control, product development and supply chain management. Understanding the importance of these cases, the present study has evaluated the factors affecting the successful application of the machine learning system in the rubber industry supply chain and a sample ranking of subsidiaries of the industry. Given that the statistical population of experts and respondents on the concepts of machine learning and supply chain in the rubber industry was not precisely clear, so the community was investigated and its volume is indefinable, and accordingly Cochran sampling formula was 384, which was finally obtained. , 357 responses were collected and analyzed online. In terms of purpose, the research method is the method of collecting and analyzing the data of the application-descriptive-quantitative. Experts' opinions and average test with a five -point Likert and Test point three were used to identify the final factors. The test output in SPSS software showed that 13 factors affect the use of the system in the supply chain. Then, using the Shannon Entropy technique and the ideas of 30 experts in selected companies, the weight of the agents, calculated and prioritized was identified. The final result in Axel software showed that the "data management" factor with the highest weight in the first rank; and the factors of "quality management" and "technology integration" are in the next rank of importance. Also, "inventory management", "production processes" and "logistics control" was ranked 11th to thirteenth. Seven selected companies were evaluated and evaluated by the MOORA technique based on the weight of the previous stage. Final analysis indicates that fifth company is ranked first; and the second and sixth companies were in the second and third priorities. The first company also ranked last. Finally, applied suggestions were presented based on the importance of factors to the companies and industry. The designed model can provide an appropriate framework for the study industry and other related industries to promote smart technologies and systems to improve the supply chain. Keywords: Rubber and Tire industry, Optimization of consumption ,Cooling water systems , Evaporative cooling , Refrigeration cooling

Keywords: Machine Learning, Supply Chain, Shannon Entropy, MOORA, Rubber Industry.