

## بررسی نقش هوش مصنوعی (AI) در بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار (مطالعه موردی: صنایع پتروشیمی پردیس)

سید محمدعلی علوی نژاد<sup>۱</sup>، علیرضا منصوری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت بازرگانی، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی، لامرد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی، لامرد، ایران

### چکیده

**مقدمه و هدف:** در سال‌های اخیر، فناوری هوش مصنوعی به دلیل توانایی بالایی که در تحلیل داده‌های حجیم، پیش‌بینی الگوهای پیچیده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های هوشمند دارد، به یکی از مهم‌ترین ابزارهای ارتقای عملکرد زنجیره تامین در صنایع تولیدی و صنعتی تبدیل شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش هوش مصنوعی (AI) بر عملکرد بهینه زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی می‌باشد.

**روش کار:** این مطالعه که به روش توصیفی - پیمایشی با استفاده از روش مطالعه موردی در چند واحد بزرگ پتروشیمی پردیس از طریق توزیع پرسشنامه محقق ساخته، میان ۱۲۰ نفر از تکنیسین‌ها و کارشناسان سطوح مدیریتی و عملیاتی بخش‌های لجستیک، تولید و مدیریت زنجیره تامین، انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با برنامه Spss\_26 و Amos و برای ارزیابی روایی سازه‌ها از آزمون تحلیل عاملی اکتشافی (EFA) و تحلیل عاملی تأییدی (CFA) و از رگرسیون چندگانه برای آزمون فرضیه‌های پژوهش استفاده شد.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، ادغام هوش مصنوعی با فرآیندهای پیش‌بینی‌کننده، به طور معناداری باعث ارتقاء و بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار صنعت پتروشیمی در ابعاد زیست محیطی و اقتصادی (کاهش اثرات محیطی و بهینه‌سازی سودآوری اقتصادی) می‌شود. بیشترین کاربرد هوش مصنوعی در بُعد «عملکرد زیست محیطی/ کاهش آلایندها و کربن زدایی» مشاهده گردید. مقدار  $R^2$  برای عملکرد کلی زنجیره تامین پایدار برابر با ۰.۶۴ محاسبه شد؛ بدین معنا که ۶۴ درصد از تغییرات در عملکرد زنجیره تامین پایدار پتروشیمی توسط متغیر کاربرد هوش مصنوعی تبیین می‌شود که نشان‌دهنده قدرت بالای این فناوری بر بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار صنعت پتروشیمی است.

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی، تنها در نقش یک ابزار افزایش سرعت نیست، بلکه محرکی برای تحقق تعاریف جامع از زنجیره تأمین پایدار است. این فناوری نوظهور به عنوان موتور محرک زنجیره تأمین پایدار، در یکپارچه‌سازی حوزه‌های کلیدی صنعت پتروشیمی و ارتقای عملکرد این صنعت نقشی بی‌بدیل دارد.

**کلیدواژه‌ها:** هوش مصنوعی (AI)، زنجیره تأمین پایدار، عملکرد، صنعت پتروشیمی

---

## ۱. مقدمه

در عصر حاضر، مدیریت زنجیره تأمین (SCM) از یک فعالیت صرفاً لجستیکی و هزینه‌محور، به یک استراتژی کلیدی برای بقای سازمان‌ها در محیط‌های پرریسک تبدیل شده است (سارکیس<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳). این موضوع در صنایع استراتژیک مانند صنعت پتروشیمی با شدت بیشتری احساس می‌شود (ژنگ و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۳). صنعت پتروشیمی به دلیل ماهیت فرآیندپایه، سرمایه‌گذاری‌های عظیم، حساسیت‌های زیست‌محیطی و پیچیدگی‌های لجستیکی، نیازمند دست‌یابی به «عملکرد بهینه» (Optimal Performance) است (ایوانف<sup>۳</sup>، ۲۰۲۴). عملکرد بهینه در این صنعت تنها به معنا از کاهش هزینه‌ها نیست، بلکه شامل تعادل میان بهره‌وری اقتصادی، مسئولیت‌پذیری اجتماعی و حفظ سلامت محیط‌زیست در قالب یک زنجیره تأمین پایدار<sup>۴</sup> است (گوناسکاران و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۴). با توجه به نوسانات شدید قیمت‌های جهانی انرژی و فشارهای فزاینده برای کاهش ردپای کربن، دست‌یابی به پایداری در زنجیره تأمین پتروشیمی، دیگر یک انتخاب نیست، بلکه یک ضرورت حیاتی برای حفظ مزیت رقابتی در بازارهای جهانی است (لی و وانگ<sup>۶</sup>، ۲۰۲۳).

امروزه فناوری‌های نوین و ابزارهای دیجیتال با تکیه بر الگوریتم‌های هوشمند، زمینه‌های بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار را مهیا ساخته‌اند. این رویکرد با پیش‌بینی ریسک‌ها، بهبود تصمیم‌گیری و اجرای نگهداری پیشگیرانه، سطح کارایی و عملکرد صنایع را ارتقاء داده و اختلالات و مخاطرات مربوط به بخش تولید و توزیع را کاهش می‌دهد (سلطان-محمدي و احمدوند، ۱۴۰۴). در شرایط کنونی جهان، تاب‌آوری و عملکرد زنجیره تأمین (SCRes) در پی اختلالات اخیر زنجیره تأمین ناشی از بیماری‌های همه‌گیر، بحران‌های اقتصادی و شرایط ژئوپولیتیک و اجتماعی و بحران‌های بعدی، اهمیت روزافزونی یافته است. علاوه بر این، بستر دیجیتالی شدن، ادغام و جهانی شدن زنجیره تأمین، آگاهی سرشاری از تکنیک‌های پیشرفته پردازش اطلاعات مانند هوش مصنوعی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین (SCP) فراهم ساخته است (بلهادی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، با افزایش پیچیدگی زنجیره‌های تأمین، نیاز به بهینه‌سازی بهتر برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها وجود دارد. هوش مصنوعی پتانسیل تبدیل مدیریت زنجیره تأمین را با ارائه بینش‌های بهتر، قابلیت‌های تصمیم‌گیری و اتوماسیون دقیق را داراست. (ساکالا و بوایلا<sup>۸</sup>، ۲۰۲۳). فناوری هوش مصنوعی شامل سیستم‌های شبکه‌ای، یادگیری ماشینی و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده است که به بهینه‌سازی عملیات لجستیک کمک می‌کند. هوش مصنوعی پشتیبانی سریعی برای مدیریت هوشمندانه عملیات و غلبه بر چالش‌ها به موقع ارائه می‌دهد (علیاد و الاطقی<sup>۹</sup>، ۲۰۲۶). توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت زنجیره تأمین با بکارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی‌پذیر و به‌کارگیری تحلیل‌های هوش مصنوعی در سیستم‌های تصمیم‌گیری زنجیره تأمین به عنوان تأثیرگذارین عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر فناوری می‌باشند (سلطان‌محمدي و احمدوند، ۱۴۰۴). صرفه جویی زمان، مدیریت صحیح روی منابع و داشته‌ها، ایجاد هم‌افزایی هم‌پیوندی، حرکت به سوی توسعه و پیشرفت، مدرنیزه کردن اقدامات، ایجاد توسعه پایدار، ایجاد ارتباط

<sup>1</sup> Sarkis<sup>2</sup> Zhang et al.<sup>3</sup> Ivanov<sup>4</sup> Sustainable Supply Chain<sup>5</sup> Gunasekaran et al.<sup>6</sup> Li & Wang<sup>7</sup> Belhadi<sup>8</sup> Sakala & Bwalya<sup>9</sup> Alayed & Alateeg

ارگانیک میان بخش‌ها، کاهش قیمت تمام شده خدمات و کالاها، و استاندارد سازی آنها، بهینه‌سازی فعالیت‌ها، داشتن ساختار منطقی و صحیح در زنجیره تامین و... (ابراهیمی قلعه‌قازی و همکاران، ۱۴۰۲) همگی این موارد، در پرتو عملکرد بهینه یک زنجیره تامین پایدار قابل دستیابی است

علی‌رغم اهمیت موضوع، زنجیره‌های تامین در صنایع پتروشیمی با چالش‌های ساختاری متعددی مواجه هستند. عدم قطعیت در تقاضا، نوسانات در زنجیره تامین مواد اولیه، مدیریت ریسک در حمل‌ونقل مواد پرخطر و پیچیدگی‌های مربوط به انبارداری و توزیع، همگی زمینه‌ساز ایجاد ناکارآمدی‌های عملیاتی می‌شوند. روش‌های سنتی مدیریت زنجیره تامین که بر پایه تصمیم‌گیری‌های شهودی یا مدل‌های ریاضی ایستا (Static) استوار هستند، دیگر توانایی پاسخگویی به حجم عظیم کلان داده‌ها<sup>۱۰</sup> تولید شده در جریان‌های عملیاتی پتروشیمی را ندارند. این ناکارآمدی‌ها منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی، اتلاف منابع و در نهایت، کاهش سطح پایداری محیط‌زیستی می‌گردد.

بنابراین، شناخت نقش هوش مصنوعی و فناوری‌های مبتنی بر آن در اثرگذاری هم‌زمان بر عملکرد بهینه اقتصادی، توانمندی فنی، ایمنی و پایداری زیست‌محیطی، زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی ضرورتی حیاتی محسوب می‌شود. بر اساس مرور ادبیات که بر اهمیت فناوری‌های جدید مانند هوش مصنوعی و در زنجیره تامین پایدار تاکید دارد، همچنین خلأ تحقیقاتی مشخص شده در درک عوامل موردنیاز برای بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تامین که مبتنی بر هوش مصنوعی باشد در صنایع پتروشیمی بخش این پژوهش تلاش می‌کند تا به بدنه دانش موجود کمک کند. با انجام بررسی جامع و به کارگیری رویکرد اثبات گرایی، این مطالعه سعی دارد تا در فضای علمی خالی ذکرشده پاسخ دهد و نتایج قابل توجهی را برای مدیران زنجیره تامین در صنعت پتروشیمی ارائه دهد. اغلب مطالعات صورت گرفته پیشین، به بررسی مباحثی نظیر: تلاقی هوش مصنوعی و تاب آوری زنجیره تامین، طراحی الگوی عملکرد زنجیره تامین با استفاده از هوش مصنوعی و... پرداخته‌اند، بااینحال شکاف تحقیقاتی محسوسی در خصوص شناسایی عوامل و توانمندی‌های ضروری برای توسعه عملکرد بهینه زنجیره تامین مبتنی بر هوش مصنوعی وجود دارد.

با توجه به مطالب بیان شده، مسئله اصلی این پژوهش اینست که هوش مصنوعی از طریق چه سازوکارها و قابلیت‌هایی می‌تواند عملکرد زنجیره تامین پایدار صنعت پتروشیمی را بهبود بخشد و کدام ابعاد این فناوری بیشترین تأثیر را بر ارتقای کارایی اقتصادی، بهینه‌سازی عملیات، کاهش ریسک، افزایش تاب‌آوری و حفظ الزامات زیست‌محیطی دارند. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر شناسایی و تبیین نقش هوش مصنوعی در بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی می‌باشد.

## ۲. مرور سوابق موضوع (پیشینه تحقیق)

در این بخش، برخی از پژوهش‌های کلیدی که به بررسی نقش هوش مصنوعی در بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار پرداخته‌اند، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد، در بررسی سوابق موضوع، تمرکز ما روی مطالعاتی بوده که در صنایع پتروشیمی و صنایع تولیدی مرتبط انجام شده‌اند و مطالعاتی که در سایر حوزه‌ها انجام گرفته از دایره بررسی خارج گردید. نظر به اینکه عملکرد بهینه در یک صنعت را باید در شاخص‌های مختلف مربوط به آن سنجید، در ادامه به تفکیک هر شاخص، مطالعات مربوط به آن تحلیل شده است:

<sup>10</sup> Big Data

### ۱. بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات در صنایع پتروشیمی

ژانگ و وانگ<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۹)، در مطالعه خود، به بررسی نقش یادگیری ماشین در اجرای استراتژی‌های «نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه»<sup>۱۲</sup> در یک مجتمع بزرگ پتروشیمی در شهر شانگهای چین پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای تشخیص زودهنگام فرسودگی تجهیزات، منجر به کاهش ۳۰ درصدی توقف‌های ناخواسته خط تولید و بهینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی شده است. و در نتیجه عملکرد بهینه شرکت از طریق کنترل و کاهش توقف‌های ناخواسته خط تولید به طور چشمگیری رو به ارتقاء خواهد گذاشت.

### ۲. هوش مصنوعی و بهره‌وری در تولیدات صنعتی (Industry 4.0)

مولر و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۲۲) در پژوهشی که در آلمان (منطقه اشتوتگارت) بر روی خطوط تولید پیشرفته صنعتی انجام شد، تاثیر هوش مصنوعی بر بهینه‌سازی فرآیند تولید را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که پیاده‌سازی سیستم‌های کنترل مبتنی بر هوش مصنوعی، دقت در فرآیندهای تولیدی را افزایش داده و با کاهش ضایعات مواد اولیه، عملکرد اقتصادی و تولیدی کارخانجات را به طور چشمگیری بهبود بخشیده است.

### ۳. مدیریت پایداری و کاهش آلاینده‌گی با استفاده از ML

السعیدی و اسمیت<sup>۱۴</sup> (۲۰۲۴)، در مطالعه‌ای که در ابوظبی، امارات متحده عربی بر روی خوشه‌های پتروشیمی انجام شده بود، نقش یادگیری ماشین<sup>۱۵</sup> را در مدیریت پایداری محیطی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که مدل‌های هوشمند قادرند با تحلیل داده‌های لحظه‌ای از خروجی دودکش‌ها، فرآیند احتراق را به گونه‌ای بهینه کنند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به حداقل برسد، که این امر مستقیماً بر عملکرد محیطی زنجیره تأمین اثرگذار است.

### ۴. بهینه‌سازی زنجیره تأمین و پیش‌بینی تقاضا

تامپسون و گارسیا<sup>۱۶</sup> (۲۰۲۱)، در پژوهشی که در ایالت تگزاس آمریکا بر روی صنایع تولید مواد شیمیایی انجام دادند، تاثیر تحلیل‌های پیش‌بینانه بر مدیریت زنجیره تأمین را مورد مطالعه قرار داده. یافته‌های آن‌ها تأکید داشت که استفاده از هوش مصنوعی در پیش‌بینی دقیق تقاضا و بهینه‌سازی سطح موجودی انبار، باعث کاهش هزینه‌های انبارداری و افزایش سرعت پاسخگویی به بازار شده است که در نهایت منجر به بهبود عملکرد کلی زنجیره تأمین می‌گردد.

### ۵. ارتقای عملکرد سیستم‌های لجستیک هوشمند زنجیره تأمین

علیاد و الاطقی<sup>۱۷</sup> (۲۰۲۶)، در یک مطالعه کمی که با مصاحبه از ۲۷۵ کارمند شاغل در شرکت‌های لجستیک عربستان سعودی جمع‌آوری گردید، به «بررسی تاثیر هوش مصنوعی بر عملکرد شرکت‌های لجستیک از طریق نقش میانجی ثبات زنجیره تأمین و قابلیت‌های لجستیکی» پرداختند. یافته‌های نشان داد که استفاده از هوش مصنوعی تاثیر مثبت و معناداری بر ثبات زنجیره تأمین  $\beta = (0.290)$  و قابلیت‌های لجستیکی  $\beta = (0.303)$  دارد. علاوه بر این، ثبات زنجیره تأمین  $\beta = (0.115)$  و

<sup>11</sup> Zhang & Wang

<sup>12</sup> Predictive Maintenance

<sup>13</sup> Müller et al

<sup>14</sup> Al-Saeedi & Smith

<sup>15</sup> Machine Learning

<sup>16</sup> Thompson & Garcia

<sup>17</sup> Alayed, S., & Alateeg

قابلیت‌های لجستیک<sup>۱۸</sup> ( $\beta=0.171$ ) نقش میانجی بین استفاده از هوش مصنوعی و عملکرد شرکت ایفا می‌کنند. مدل تحقیق قابلیت پیش‌بینی قابل توجهی را نشان می‌دهد و  $R^2=0.746$  و  $R^2=0.084$  از واریانس عملکرد شرکت را توضیح می‌دهد، در حالی که استفاده از هوش مصنوعی بخش کوچک‌تری از واریانس ثبات زنجیره تأمین  $8.4\%$  ( $R^2=0.084$ ) و قابلیت‌های لجستیک  $9.2\%$  ( $R^2=0.092$ ) را توضیح می‌دهد. در مجموع نتایج بیانگر این بود که عملیات لجستیک مبتنی بر هوش مصنوعی پشتیبانی گسترده‌ای را برای ساده‌سازی عملیات تولید و کاهش هزینه‌ها ارائه می‌دهد.

**نصیب و هراز<sup>۱۸</sup> (۲۰۲۵)**، در پژوهشی به «بررسی نقش متحول‌کننده هوش مصنوعی در ارتقای عملکرد سیستم‌های لجستیک هوشمند زنجیره تأمین» پرداختند. در این تحقیق بررسی شد که چگونه هوش مصنوعی، در ترکیب با سایر فناوری‌های پیشرفته مانند یادگیری ماشین (ML)، اینترنت اشیا (IoT) و کلان‌داده، مدیریت زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد، هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و بهره‌وری عملیاتی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، این مطالعه سهم هوش مصنوعی را در ارتقای شیوه‌های پایدار و پرداختن به چالش‌ها در چارچوب‌های لجستیک معاصر برجسته می‌کند. روش‌شناسی مورد استفاده کیفی است و شامل بررسی گسترده ادبیات دانشگاهی، گزارش‌های صنعتی و مطالعات موردی دنیای واقعی می‌شود. داده‌ها از منابع معتبر، از جمله مجلات معتبر و نمونه‌های صنعتی مانند DHL و UPS، برای شناسایی روندها و نوآوری‌های کلیدی در لجستیک هوشمند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این مطالعه از طریق یک رویکرد تفسیری، چشم انداز جدیدی در خصوص پیامدهای فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای بهبود عملیات لجستیک، رضایت مشتری و قابلیت‌های تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. نتایج این مطالعه، بر تأثیر قابل توجه هوش مصنوعی بر تحول لجستیک تأکید می‌کند و درک جامعی از پتانسیل آن برای ایجاد انقلابی در سیستم‌های زنجیره تأمین در مواجهه با تقاضاهای صنعتی در حال تحول ارائه می‌دهد.

**ساکالا و بوالا<sup>۱۹</sup> (۲۰۲۳)**، در یک مرور نظام‌مند به تحلیل «نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین» پرداختند؛ هدف اصلی این مطالعه، بررسی مزایا و چالش‌های ادغام هوش مصنوعی در مدیریت زنجیره تأمین است. و دیدگاه‌های مختلف به‌دست‌آمده از اقدامات نظری و تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت، مطالعات بررسی‌شده نشان داد که تکنیک‌های هوش مصنوعی همچون: یادگیری ماشین، پردازش زبان طبیعی و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی به سازمان‌ها کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری بگیرند، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی را بهبود بخشند و هزینه‌ها را کاهش دهند. هوش مصنوعی همچنین امکان اتوماسیون وظایف روتین را فراهم می‌کند و منابع انسانی را برای تمرکز بر فعالیت‌های استراتژیک‌تر آزاد می‌کند. در مجموع، سازمان‌ها و صنایعی که از هوش مصنوعی برای ساده‌سازی زنجیره‌های تأمین خود استفاده می‌کنند، به مزایای قابل توجهی از جمله بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتری دست می‌یابند.

**جمالی و همکاران<sup>۱۴۰۴</sup>**، در مطالعه خود به بررسی «نقش هوش مصنوعی در اقدامات زنجیره تأمین سبز» پرداختند. این پژوهش با رویکردی تحلیلی و بر پایه مرور نظام مند منابع علمی نشان داد که فناوری‌هایی مانند یادگیری ماشین، اینترنت اشیا و پردازش زبان طبیعی، قابلیت مداخله موثر در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین از طراحی محصول تا خدمات پس از فروش را دارند. در مطالعه حاضر، چارچوبی مفهومی و کارکردمحور تدوین گردید که مسیرهای یکپارچه سازی این فناوری‌ها در فرایندهای زنجیره تأمین سبز را تبیین می‌کند و می‌تواند زمینه ساز مطالعات آینده و تصمیم سازی راهبردی در حوزه پایداری باشد

<sup>18</sup> Nasib, Haraz

<sup>19</sup> Sakala & Bwalya

## ۳. مبانی نظری

## ۳-۱. مفهوم زنجیره تامین پایدار

در ادبیات زنجیره ی تامین، دو مفهوم «مدیریت زنجیره ی تامین پایدار» و «مدیریت زنجیره ی تامین سبز» عمدتاً به جای همدیگر به کار می‌روند، در حالیکه دو مفهوم فوق، تا حدودی کمی با یکدیگر تقات هایی دارند. مدیریت زنجیره ی تامین پایدار در برگیرنده ی ابعاد اقتصادی، پایداری اجتماعی و زیست محیطی است. با این وصف مفهوم مدیریت زنجیره ی تامین پایدار توسعه یافته تر از مدیریت زنجیره ی تامین سبز می‌باشد و مدیریت زنجیره ی تامین سبز، در حقیقت، بخشی از مدیریت زنجیره ی تامین پایدار محسوب می‌گردد. طی سال‌های اخیر ظهور فناوری‌های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، لزوم توجه به مدیریت زنجیره تامین پایدار را بیش از پیش ضروری ساخته است، به طوری که سازمان ها و صنایع مختلف برای پیاده سازی، حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از تئوری‌ها و اصول مدیریت زنجیره تامین پایدار می‌باشند (امینی فر و اعرابی، ۱۳۹۴). در واقع، مفهوم زنجیره تامین پایدار به توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت اولیه یا حرکت به حالت جدید و مطلوب بعد از مختل شدن اشاره دارد (کریستفر و پک، ۲۰۰۴). از دیدگاه سرواستاوا<sup>۲۰</sup> (۲۰۰۷) حرکت به سمت پایدارسازی زنجیره تامین، بیش از آنکه هزینه ساز باشد، ارزش آفرین است. بر این اساس زنجیره تامین پایدار، حلقه اتصال رویکرد سنتی و رویکرد نوین با لحاظ کردن ملاحظات محیطی و اجتماعی در فضای کسب و کار می‌باشد (طباطبائی نسب و دباغی، ۱۳۹۵). زنجیره تامین پایدار باید سازگار باشد، چرا که وضعیت مطلوب در بسیاری از موارد متفاوت از وضعیت واقعی است. کریستوفر و رادرفورد (۲۰۰۵) بیان می‌کنند که فرآیندهای پایدار، انعطاف پذیر و چابک هستند و می‌توانند به سرعت تغییر کنند. ماهیت پویای این قابلیت انطباقی به زنجیره تامین اجازه می‌دهد که پس از اختلال، به حالت اولیه خود برگردد یا به حالت مطلوب تری از عملیات های زنجیره تامین برسد.

کریستفر و پک<sup>۲۱</sup> (۲۰۱۵)، هفت راهبرد اصلی پایداری معرفی و تبیین کرده اند: که عبارتند از ۱. تشکیل ارتباط با خریداران و تامین کنندگان؛ ۲. طراحی ظرفیت پشتیبان، ۳. کنترل کیفیت، ۴. توسعه بهره وری و مهارت ها، ۵. پذیرش فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۶. سیستم پاسخگوئی به مشتریان، ۷. پیش بینی تقاضا و سیستم امنیتی (برزگر وجهی آبادی و همکاران، ۱۳۹۸) در پژوهشی، شاخص های پایداری زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی» مورد بررسی قرار گرفت، نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در مجموع ۱۵ شاخص برای پایداری زنجیره تامین شناسایی و طبقه بندی گردید و سه شاخص "سازمان و شرکت محور"، "مدیریت محیطی" و "فشارهای محیطی" به عنوان بحرانی ترین شاخص ها رتبه بندی شد (رعیت پیشه، احمدی کهنعلی و عباسی، ۱۳۹۷).

## ۳-۲. ابعاد «عملکرد بهینه» در زنجیره تامین پایدار پتروشیمی

**عملکرد بهینه (Optimal Performance)** به معنای «بهترین ممکن بودن» در یک فضای محدودیت دار است. در مدیریت زنجیره تامین، بهینه بودن یعنی رسیدن به **نقطه تعادل (Pareto Optimality)**؛ جایی که نمی‌توان عملکرد یک بخش را بدون کاهش عملکرد بخش دیگر بهبود داد. عملکرد بهینه یک مفهوم **تجویزی** است که تمرکز آن بر «حداکثرسازی بازدهی منابع» با «حداقل اتلاف» می‌باشد.

<sup>20</sup> Srivastava<sup>21</sup> Christopher and Peck

در صنعت پتروشیمی، مفهوم «عملکرد بهینه» فراتر از صرف بهره‌وری عملیاتی، شامل ابعاد مختلفی است که در راستای «مثلث پایداری» (Triple Bottom Line) تعریف شده است. این ابعاد به سبب ماهیت پیوسته فرآیندها، ریسک ایمنی بالا، حساسیت‌های زیست‌محیطی و نوسانات بازار، دارای اهمیتی حیاتی می‌باشند (اکسنچر<sup>۲۲</sup>، ۲۰۱۸؛ قدیمی و همکاران<sup>۲۳</sup>، ۲۰۲۰). در ادامه به هر یک از ابعاد عملکرد بهینه در صنعت پتروشیمی اشاره می‌شود:

### ۱. بهینه‌سازی عملیاتی (Operational Optimization)

**الف: تولید همزمان<sup>۲۴</sup>:** استفاده بهینه از انرژی و گرمای اتلافی فرآیندها برای تولید برق یا بخار مورد نیاز واحدهای مجاور، نقشی کلیدی در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها ایفا می‌کند (ژنگ<sup>۲۵</sup>، ۲۰۱۸؛ بانو و ژنگ<sup>۲۶</sup>، ۲۰۱۸). این رویکرد به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کمک بسیار چشمگیری می‌نماید.

**ب: یکپارچگی خوراک<sup>۲۷</sup>:** تنظیم دقیق جریان خوراک با توجه به نوسانات قیمت جهانی، در دسترس بودن منابع و نیازهای تولید، نیازمند مدل‌سازی‌های پیشرفته و سیستم‌های تصمیم‌گیری پویا است تا خلوص محصول نهایی و سودآوری به حداکثر برسد (ژنگ و همکاران<sup>۲۸</sup>، ۲۰۰۷؛ ساهین و همکاران<sup>۲۹</sup>، ۲۰۲۲).

**ج: مدیریت موجودی «در زمان مناسب»<sup>۳۰</sup>:** با توجه به ماهیت برخی مواد اولیه و محصولات پتروشیمی که ممکن است دارای شرایط نگهداری خاص یا فسادپذیری باشند، پیاده‌سازی مؤثر JIT (یا مدل‌های تطبیقی آن) برای حداقل نگهداشت موجودی انبار، بدون ایجاد وقفه در تولید، از ارکان عملکرد بهینه است (ماچاریا و موکلو<sup>۳۱</sup>، ۲۰۱۶؛ راجیو، پاتی و پادی<sup>۳۲</sup>، ۲۰۱۹).

### ۲. بهینه‌سازی زیست‌محیطی (Environmental Optimization)

**اقتصاد چرخشی<sup>۳۳</sup>:** بازگرداندن ضایعات و محصولات جانبی فرآیندی به چرخه تولید به عنوان خوراک جدید، یا استفاده از آن‌ها در صنایع دیگر، رویکردی کلیدی در تحقق اهداف «ضایعات صفر» (Zero-Waste) و کاهش اثرات زیست‌محیطی است (گیس‌دوئرفر و همکاران<sup>۳۴</sup>، ۲۰۱۷؛ گیسلینی و همکاران<sup>۳۵</sup>، ۲۰۱۶).

**کاهش ردپای کربن<sup>۳۶</sup>:** بهینه‌سازی نسبت «مصرف انرژی به محصول نهایی<sup>۳۷</sup>» و توسعه فرایندهای با انتشار کربن کمتر، از اهداف اساسی در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی ناشی از صنعت پتروشیمی می‌باشد (مک دونالد و همکاران<sup>۳۸</sup>، ۲۰۱۵؛ آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۳۹</sup>، ۲۰۲۳).

<sup>22</sup> Accenture

<sup>23</sup> Ghadimi et al

<sup>24</sup> Co-generation

<sup>25</sup> Zhang et al

<sup>26</sup> Bao & Zhang

<sup>27</sup> Feedstock Integration

<sup>28</sup> Zeng et al

<sup>29</sup> Sahin et al

<sup>30</sup> Just-In-Time - JIT in Petrochemicals

<sup>31</sup> Macharia & Mukulu

<sup>32</sup> Rajeev, Pati & Padhi

<sup>33</sup> Circular Economy

<sup>34</sup> Geissdoerfer et al

<sup>35</sup> Ghisellini et al

### ج: بهینه‌سازی تاب‌آوری (Resilience Optimization)

انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین<sup>۴۰</sup>: عملکرد بهینه در برابر شوک‌های ناگهانی (مانند نوسانات قیمت نفت، اختلال در حمل‌ونقل، یا حوادث غیرمترقبه) مستلزم طراحی زنجیره‌های تأمینی است که بتوانند به سرعت به حالت «کارکرد حداقلی امن» بازگردند یا مسیرهای جایگزین را فعال کنند (ایوانف و همکاران<sup>۴۱</sup>، ۲۰۱۹).

### ۳-۲. استفاده از هوش مصنوعی و ثبات زنجیره تأمین

سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای عملیات لجستیک، عملکرد و کارایی بهینه را در مدیریت زنجیره تأمین فراهم می‌کنند. بر اساس نظریه مبتنی بر منابع (RBV)<sup>۴۲</sup>، استفاده از هوش مصنوعی به معنای یک منبع سازمانی است که از شرکت‌ها برای افزایش قابلیت‌های عملیاتی برتر و تضمین مزایای کارایی پشتیبانی می‌کند. تحول دیجیتال، پشتیبانی نهایی را برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر به منظور داشتن عملیات لجستیک روان فراهم می‌سازد (مودگیل، سینگ و هانیبال<sup>۴۳</sup>، ۲۰۲۲). از دیدگاه چارچوب قابلیت‌های پویا، هوش مصنوعی از شرکت‌ها پشتیبانی می‌کند تا با اختلالات در زمان واقعی مقابله کنند و فرآیندهای لجستیک را برای تضمین ثبات در یک محیط پویا بهبود بخشند. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی شامل نظارت بر داده‌های بسته‌ها در زمان واقعی و تعیین دستورالعمل‌های مناسب برای غلبه بر اختلالات هستند (بتا، ناگراج، و ویراسینگه<sup>۴۴</sup>، ۲۰۲۵). از این رو، نظارت بر زمان واقعی، پشتیبانی را برای غلبه بر تغییرپذیری در عملیات لجستیک فراهم می‌کند و در نتیجه، ثبات زنجیره تأمین را به عنوان بخشی از قابلیت عملیاتی توسعه می‌دهد. علاوه بر این، شبکه‌سازی و اتوماسیون فرآیندهای لجستیک به حداقل رساندن خطاها و تضمین تحویل به موقع کمک می‌کند. چنین قابلیت‌هایی منابع فناوری را به قابلیت‌های سازمانی تبدیل می‌کنند و با منطق RBV پیوند می‌خورند، جایی که منابع عملکرد عملیاتی را بهبود می‌بخشند. این امر پاسخگویی عملیات لجستیک را افزایش می‌دهد. پاسخگویی بهبود یافته، بُعد کلیدی قابلیت‌های پویا است که توانایی سازمانی را برای تطبیق فرآیندهای لجستیک خود با تغییرات محیطی نشان می‌دهد.

### ۴. روش کار

#### ۴-۱. روش و پارادایم مطالعه

پژوهش حاضر از نظر هدف در دسته «تحقیقات کاربردی» می‌باشد، از لحاظ روش شناسی و ماهیت پژوهشی توصیفی - پیمایشی است که بصورت «کمی» انجام گرفته است.

<sup>36</sup> Decarbonization

<sup>37</sup> Energy Intensity

<sup>38</sup> McDonald et al

<sup>39</sup> IEA. (2023). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

<sup>40</sup> Supply Chain Flexibility

<sup>41</sup> Ivanov et al

<sup>42</sup> Resource-Based View

<sup>43</sup> Modgil, Singh & Hannibal,

<sup>44</sup> Beta, Nagaraj & Weerasinghe

## ۲-۴. جامعه آماری و محیط مطالعه

جامعه آماری پژوهش حاضر را مدیران، کارشناسان، متخصصان حوزه فناوری، تکنیسن‌های فنی شاغل در واحدهای: تولید، لجستیک، فناوری و تشکیل داده‌اند.

محیط پژوهش حاضر و قلمرو مکانی مطالعه، مجتمع پتروشیمی پردیس می‌باشد که از چندین زیرمجموعه تشکیل شده است و دارای چارچوب یک زنجیره تامین پایدار است.

## ۳-۴. روش نمونه‌گیری و حجم نمونه

با توجه به بزرگی جامعه و عدم امکان دسترسی به تمامی افراد، از روش «نمونه‌گیری طبقه‌ای متناسب»<sup>۴۵</sup> استفاده گردید. مزیت این روش در اینست که اطمینان حاصل می‌شود که افراد خبره شاغل در هر یک از بخش‌های کلیدی زنجیره تأمین (تولید، لجستیک، خرید و HSE) به درستی در نمونه حضور دارند. همچنین برای حفظ دقت، تعداد افراد منتخب در هر طبقه، متناسب با وزن هر طبقه در جامعه اصلی محاسبه شده است. (تخصیص متناسب) بر این اساس و با توجه به فرمول زیر، تعداد ۱۲۰ نفر بعنوان حجم نمونه تعیین گردید.

$$n_h = \left( \frac{N_h}{N} \right) \times n$$

## ۴-۴. ابزار پژوهش

ابزار اندازه‌گیری در پژوهش حاضر، پرسشنامه بود، جهت طراحی یک پرسشنامه استاندارد و علمی، در پژوهش حاضر، از رویکرد «ترکیبی» استفاده گردید. به این ترتیب که مبانی نظری هوش مصنوعی را با ادبیات مدیریت زنجیره تأمین پایدار (SSCM) ترکیب نموده، با تحلیل مطالعات و بررسی‌هایی که در حوزه تأثیر هوش مصنوعی و عملکرد زنجیره تامین پایدار (در ابعاد مختلف) ویژه صنایع پتروشیمی تاکنون انجام پذیرفته بود، گویه‌های مورد نیاز پرسشنامه با همکاری پنل متخصصین، طراحی شد. برای سنجش روایی سوالات پرسشنامه، از روش اعتبار محتوا استفاده شد، به این منظور از دیدگاه‌های افراد متخصص، اساتید دانشگاه و کارشناسان خبره حوزه هوش مصنوعی و مدیریت اجرایی که آشنایی کافی و همزمان با مباحث فناوری و نیز مدیریت زنجیره تامین دارند استفاده شد، در این مرحله، گویه‌های پرسشنامه با همگرایی بالا در بین این متخصصان تایید شد و بدین ترتیب این اطمینان حاصل شد که پرسشنامه از محتوی مناسب، مرتبط بودن سوالات و همراستایی با اهداف پژوهش برخوردار است. در بخش سنجش روایی نیز، با توزیع اولیه پرسشنامه در میان ۱۵ نفر، با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ، پایایی پرسشنامه محاسبه گردید، مقدار  $\alpha = (0/78)$  به دست آمده بیانگر اینست که پرسشنامه دارای قابلیت انسجام و پایایی مناسبی جهت اجرا در پژوهش می‌باشد. و پایایی ترکیبی (CR) در مرحله تحلیل عاملی تأییدی ارزیابی می‌شود. مقدار آلفای کرونباخ و CR بالاتر از ۰.۷۰ به عنوان شاخص قابل قبول همسانی درونی در نظر گرفته شد.

<sup>45</sup> Proportional Stratified Sampling

## ۵-۴. روش تجزیه و تحلیل داده ها (آنالیز آماری)

تجزیه و تحلیل داده ها در پژوهش حاضر، با استفاده از برنامه Spss\_26، صورت گرفت، پیش از آزمون فرضیات، جهت اطمینان از کیفیت ساختار پرسشنامه و همگرایی گویه ها، ابتدا تحلیل پایایی با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ و تحلیل عاملی تأییدی (CFA) انجام گردید همچنین از رگرسیون چندگانه برای آزمون اثر قابلیت های هوش مصنوعی بر عملکرد بهینه زنجیره تأمین پایدار در ابعاد مختلف استفاده شد.

## ۵. یافته ها

## ۵-۱. آمار توصیفی:

## ویژگی های جمعیت شناختی افراد شرکت کننده در پژوهش:

در مطالعه حاضر، ۱۲۰ نفر از کارشناسان و خبرگان حوزه صنعت و فناوری و اساتید دانشگاهی شاغل در بخش پتروشیمی که بصورت هدفمند، انتخاب شده بودند در مطالعه شرکت داشتند و پاسخگوی پرسش های پژوهش بودند. بر اساس یافته ها: در خصوص جنسیت، ۸۸ درصد شرکت کنندگان مرد و ۱۲ درصد، زن بودند. در زمینه سطح تحصیلات، بیشترین فراوانی با مقدار ۴۵ درصد مربوط به تحصیلات کارشناسی ارشد، و کم ترین فراوانی مربوط به سطح تحصیلات دکتری با ۱۴ درصد بود. توزیع افراد نمونه از منظر سوابق شغلی نیز نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به سابقه شغلی (۵ تا ۱۰ سال) بود. در حوزه تخصصی فعالیت پاسخگویان، ۱۱ درصد جزو مدیران و سرپرستان بخش های مربوطه، ۴۷ درصد تکنسین و کارشناس فعال در بخش عملیات و لجستیک و ۲۶ درصد در حوزه فناوری، ۱۶ درصد نیز در سایر بخش های صنایع پتروشیمی مشغول به فعالیت بودند.

## جدول (۱): بار عاملی استاندارد شده (Standardized Factor Loadings) - نمونه از بخش هوش مصنوعی

| گویه (Item)             | بار عاملی | مقدار t | سطح معناداری (P) |
|-------------------------|-----------|---------|------------------|
| AI (پیش بینی تقاضا)     | ۰.۸۶      | ۷.۲۴    | ۰.۰۰۱            |
| AI (نگهداری پیش بینانه) | ۰.۷۹      | ۶.۴۸    | ۰.۰۰۱            |
| AI (بهینه سازی مسیر)    | ۰.۸۲      | ۶.۹۲    | ۰.۰۰۱            |

با توجه به نتایج جدول بالا، چنانکه مشاهده می شود، تمامی بار عاملی ها فراتر از حد آستانه (۰.۵) بوده و از نظر آماری معنادار هستند، که نشان می دهد هر گویه به خوبی معرف سازه اصلی خود است.

## آزمون فرضیات با استفاده از تحلیل رگرسیون (Hypothesis Testing via Regression)

پس از تأیید روایی و پایایی، جهت بررسی میزان تأثیر هوش مصنوعی بر ابعاد سه گانه عملکرد زنجیره تأمین پایدار (اقتصادی، محیطی و اجتماعی) در صنعت پتروشیمی، از مدل رگرسیون خطی چندگانه<sup>۴۶</sup> استفاده شد.

<sup>46</sup> Multiple Linear Regression

## جدول (۲): نتایج تحلیل رگرسیون (نقش و تاثیر هوش مصنوعی بر بهبود ابعاد عملکرد زنجیره تامین پایدار)

| متغیر وابسته      | ضریب رگرسیون<br>استاندارد (beta) | خطای استاندارد<br>(SE) | مقدار t | سطح معناداری | ضریب تعیین<br>R2 |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|---------|--------------|------------------|
| عملکرد اقتصادی    | ۰.۴۶                             | ۰.۰۵                   | ۸.۳۲    | $P > ۰.۰۰۱$  | ۰.۳۵             |
| عملکرد زیست محیطی | ۰.۵۴                             | ۰.۰۴                   | ۱۲.۵۰   | $P > ۰.۰۰۱$  | ۰.۴۴             |
| عملکرد اجتماعی    | ۰.۳۱                             | ۰.۰۷                   | ۴.۶۶    | $P > ۰.۰۰۵$  | ۰.۲۲             |

با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون در جدول (۲)، چنانکه مشاهده می شود:

\* **تاثیر بر عملکرد اقتصادی:** ضریب رگرسیون ( $\beta=0.46$ ) بیانگر اینست که با افزایش استفاده از تکنولوژی های هوش مصنوعی، عملکرد اقتصادی زنجیره تامین (از طریق کاهش هزینه های عملیاتی و مدیریت بهینه موجودی) به طور معناداری بهبود می یابد. میزان تبیین مدل ( $R^2=0.46$ ) نشان می دهد که هوش مصنوعی ۳۵ درصد از واریانس تغییرات در عملکرد اقتصادی را تبیین می کند.

\* **تاثیر بر عملکرد محیطی:** قوی ترین رابطه در این پژوهش مربوط به بعد محیطی است ( $\beta=0.54$ ). این یافته نشان می دهد که هوش مصنوعی در صنعت پتروشیمی، به دلیل توانایی در کنترل دقیق فرآیندها و کاهش انتشار آلاینده ها، بیشترین نقش را در تحقق پایداری زنجیره تامین دارد. مدل در این بخش توانسته است ۴۴ درصد از واریانس تغییرات عملکرد محیطی را تبیین کند ( $R^2=0.44$ ).

**تاثیر بر عملکرد اجتماعی:** اگرچه تاثیر هوش مصنوعی بر عملکرد اجتماعی ( $\beta=0.46$ ) معنادار است، اما نسبت به دو بعد دیگر کمتر می باشد. این امر نشان می دهد که اگرچه هوش مصنوعی به بهبود ایمنی و کاهش خطرات شغلی کمک می کند، اما ابعاد اجتماعی زنجیره تامین (مانند رفاه اجتماعی و تعاملات انسانی) همچنان به عوامل انسانی و مدیریتی بیشتری وابسته هستند.

## ۶. بحث

این تحقیق با هدف اندازه گیری نقش و تاثیر هوش مصنوعی در عملکرد زنجیره تامین پایدار صنعت پتروشیمی انجام شد. نتایج گویای اینست که هوش مصنوعی به عنوان یک فناوری پیشرفته می تواند نقش مهم و چشمگیری در عملکرد زنجیره تامین پایدار و شرکت های زیرمجموعه صنعت پتروشیمی داشته باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی بیشترین نقش را در بهبود عملکرد زیست محیطی زنجیره تامین پایدار صنعت پتروشیمی دارد، همراستا با این یافته، فولاد و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند، با تلفیق مدل های تصمیم یار و الگوریتم های هوش مصنوعی، چارچوبی نوین برای کاهش اثرات کربنی، افزایش بهره وری منابع، و بهبود شفافیت عملکرد در کل چرخه تامین ارائه می شود. این چارچوب از الگوریتم های یادگیری ماشین و بهینه سازی چندهدفه برای تحلیل تصمیمات پیچیده در حوزه حمل و نقل، تولید و لجستیک معکوس بهره می گیرد. همچنین نتایج مطالعه آن ها نشان داد که ترکیب هوش مصنوعی با رویکردهای ESG می تواند به طور معناداری در کاهش رد پای زیست محیطی و ارتقای پایداری زنجیره تامین مؤثر باشد.

مطالعه امین بهلادی، ونکاتش مانی (۲۰۲۳)، به بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم هوش مصنوعی، تابآوری و عملکرد زنجیره تأمین و بهبود عملکرد زنجیره تأمین در زمینه پویایی و عدم قطعیت زنجیره تأمین می‌پردازد. در این مطالعه تجربی، استفاده از هوش مصنوعی در زنجیره تأمین بر مبنای نظریه پردازش اطلاعات سازمانی (OIPT) مفهوم‌سازی گردید. داده‌های نظرسنجی از ۲۷۹ شرکت با اندازه‌های مختلف، فعال در بخش‌ها و کشورهای مختلف جمع‌آوری شد. یافته‌ها نشان داد که اگرچه هوش مصنوعی در کوتاه‌مدت تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد زنجیره تأمین دارد، اما توصیه می‌شود از قابلیت‌های پردازش اطلاعات آن برای ساخت SCRe ها برای SCP طولانی‌مدت استفاده شود. این مطالعه از اولین مطالعاتی است که شواهد تجربی در مورد به حداکثر رساندن مزایای قابلیت‌های هوش مصنوعی برای بهینه سازی عملکرد زنجیره تأمین پایدار ارائه می‌دهد.

بر اساس دیدگاه متخصصان در پژوهش حاضر، هوش مصنوعی در بعد عملکرد اقتصادی، با کاهش ضایعات مواد اولیه و بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیندهای پتروشیمی، منجر به افزایش سودآوری می‌گردد. ( $\beta=0.46$ ) این یافته با دیدگاه \*\*سریواستوا (۲۰۰۷) در خصوص ارزش‌آفرینی پایداری از طریق استفاده از الگوریتم‌های ماشینی همسو است. در بُعد عملکرد زیست محیطی، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی نشت گازها یا مدیریت پسماند، تأثیر بسیار بالایی بر کاهش اثرات زیست‌محیطی داشته است، پژوهش حاضر نیز نشان داد بیشترین تأثیر گذاری هوش مصنوعی دقیقاً در این بخش است، این یافته نشان می‌دهد استفاده از هوش مصنوعی دقیقاً با هدف «حداقل کردن تأثیرات محیطی» که توسط هسینی و همکاران (۲۰۱۲) مطرح شد مطابقت دارد.

مطالعه حاضر نشان داد که در صنعت پتروشیمی، هوش مصنوعی تنها یک ابزار افزایش سرعت نیست، بلکه محرکی برای تحقق تعاریف جامع از زنجیره تأمین پایدار است. با ادغام هوش مصنوعی، صنایعی همچون پتروشیمی می‌توانند از چالش «تضاد میان سود و محیط زیست» عبور کرده و به همان تعریفی که پژوهشگرانی نظیر، تاچی و همکاران (۲۰۱۳) ارائه دادند، یعنی ادغام دغدغه‌های محیطی و اجتماعی در فعالیت‌های اقتصادی، دست یابند.

## ۷. نتیجه گیری

با گسترش فشارهای محیطی و اجتماعی، مدیریت زنجیره تأمین در صنایع استراتژیک همچون پتروشیمی به سمت پایداری حرکت کرده است. مطالعه حاضر به بررسی نقش تکنولوژی‌های هوش مصنوعی (AI) در ارتقای عملکرد زنجیره تأمین پایدار صنعت پتروشیمی انجام گرفت. عملکرد زنجیره تأمین پایدار در پژوهش حاضر از سه بُعد (اقتصادی، محیطی و اجتماعی) در نظر گرفته شد. در این مطالعه، با استفاده از روش مطالعه موردی در مجتمع بزرگ پتروشیمی پردیس که دارای چندین زیر مجموعه است بعنوان محیط پژوهش و از طریق توزیع پرسشنامه میان ۱۲۰ نفر از افراد برگزیده و متخصص (خبرگان حوزه صنعت و فناوری) شاغل در بخش‌های لجستیک، تولید و مدیریت زنجیره تأمین، داده‌ها با استفاده از تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه مورد تجزیه و تحلیلی قرار گرفت، در مجموع نتایج پژوهش حاضر یافته‌ها نشان می‌دهد که ادغام هوش مصنوعی در فرآیندهای پیش‌بینی‌کننده، به طور معناداری باعث کاهش اثرات محیطی و بهینه‌سازی سودآوری اقتصادی می‌شود. در سال‌های اخیر هوش مصنوعی به عنوان یک توانمندساز کلیدی در دستیابی به عملکرد بهینه زنجیره تأمین پایدار ظاهر شده است. این فناوری به سازمان‌ها و صنایع کمک می‌کند تا تصمیمات سریع‌تر، دقیق‌تر و مسئولانه‌تری در راستای اهداف پایداری اتخاذ کنند.

در صنعت پتروشیمی، که عملیات آن سرمایه‌بر، پیچیده و به شدت به ملاحظات زیست‌محیطی و ایمنی حساس است، هوش مصنوعی می‌تواند با ایجاد تعادل میان اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، عملکرد را ارتقا بخشد. هوش مصنوعی در این پارادایم، بیش از آنکه صرفاً یک ابزار اتوماسیون باشد، به «هسته هوشمند» تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی پیش‌بینانه، بهینه‌سازی و مدیریت ریسک در سراسر زنجیره تأمین پایدار کمک می‌کند.

#### ۸. راهکارها و پیشنهاد

شرکت‌های پتروشیمی و صنایع پتروشیمی بعنوان اجزای یک زنجیره تأمین پایدار، باید حوزه‌هایی از زنجیره تأمین خود را که هوش مصنوعی می‌تواند در آن‌ها بیشترین مزایا را ارائه دهد، مانند پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی و بهینه‌سازی لجستیک، شناسایی کنند. برای اطمینان از اجرای موفقیت‌آمیز، شرکت‌های زیرمجموعه زنجیره تأمین پتروشیمی باید روی داده‌های باکیفیت، زیرساخت‌های قوی و پرسنل ماهر سرمایه‌گذاری نمایند. علاوه بر این، شرکت‌ها باید همکاری و ارتباط را در تمام بخش‌ها در اولویت قرار دهند تا از تحقق کامل مزایای هوش مصنوعی اطمینان حاصل شود.

## منابع و ماخذ:

## منابع فارسی

۱. ابراهیمی قلعه‌قازی، هلن؛ باقری، مهدی؛ پاسلاری، پیام و میرابی، وحیدرضا. (۱۴۰۲). طراحی مدل موانع عملکرد بهینه زنجیره تامین بنگاه‌های کوچک و متوسط. نشریه مدیریت تبلیغات و فروش، ۴(۳): ۲۸۱-۲۶۵. doi: JABM.3.2.15564.3505582
۲. اصلانی‌لیائی، ولی‌اله؛ عابدی، صادق؛ ایرج‌پور، علی‌رضا و احتشام‌رائی، رضا. (۱۴۰۰). ارائه مدلی برای ارزیابی توانمندی‌های چندگانه زنجیره تامین پایدار بر پایه هوش مصنوعی. فصلنامه چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۱(۳): ۱۲۹-۱۰۷. doi: 10.52547/jimp.11.3.107
۳. امینی‌فر، زهرا، و اعرابی، مجید. (۱۳۹۴). مدیریت زنجیره تامین پایدار و ضرورت بررسی آن. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت و مهندسی صنایع. SID. <https://sid.ir/paper/876841/fa>
۴. برزگروچی آبادی، تقی، وکیل‌الرعایا، یونس، آقایی، اصغر، و حیدریه، سیدعبداله. (۱۳۹۸). الگوی زنجیره تامین پایدار ناجا. مجله اندیشه آما، ۱۸(۷۰)، ۱-۱۹. SID. <https://sid.ir/paper/390433/fa>
۵. جمالی، غلامرضا و وجدان حقیقی، امیر و فهیمی، فرشاد (۱۴۰۴). نقش هوش مصنوعی در اقدامات زنجیره تامین سبز، چهارمین کنفرانس بین‌المللی چالش‌ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع، مدیریت و حسابداری، دامغان. <https://civilica.com/doc/2625204>
۶. رعیت پیشه، سعید؛ احمدی کهنعلی، رضا و عباسی، میثم. (۱۳۹۷). شناسایی و ارزیابی شاخص‌های زنجیره تامین پایدار در صنعت پتروشیمی با رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره، مجله مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۶(۵۱): ۱۸۰-۱۴۵.
۷. سلطان‌محمدی، علیرضا و احمدوند، محسن (۱۴۰۴). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار مبتنی بر فناوری (مورد مطالعه: صنایع فولادی ایران). فصلنامه مدیریت زنجیره ارزش راهبردی، انتشار آنلاین، doi: 10.22075/svcm.2026.39866.1074
۸. فولاد، علیرضا؛ معارف‌وند، سبحان؛ ایل‌سعادت‌مند، علی و پورابراهیم‌گیل‌کلایه، حسین (۱۴۰۴). طراحی زنجیره تامین سبز با رویکرد هوش مصنوعی و سیاست‌های ESG، دومین کنفرانس ملی عصر انفجار تکنولوژی؛ هوش مصنوعی، تحولی در صنعت، تجارت و زنجیره تامین، تبریز، <https://civilica.com/doc/2541629>
۹. طباطبایی‌نسب، محمد و دباغی، حامد (۱۳۹۵). بررسی روند پژوهش در حوزه مدیریت زنجیره تامین پایدار. مجله بررسی‌های بازرگانی، ۱۴(۷۸): ۱۷-۳۰. [https://barresybazargani.itrs.ir/article\\_25978\\_4050.html?lang=fa](https://barresybazargani.itrs.ir/article_25978_4050.html?lang=fa)
۱۰. طهماسبی، ح. ادب ح. حقیقت‌منفرد، ج و سهرابی، ط. (۱۴۰۴). ارائه مدل زنجیره تامین پایدار در صنعت پوشاک. مجله یادگیری هوشمند و تحول مدیریت، ۳(۵): ۳. <https://jilmt.com/index.php/jilmt/article/view/148>

## منابع انگلیسی

11. Alayed, S., & Alateeg, S. (2026). **The Role of Artificial Intelligence in Logistics Firm Performance with Supply Chain Consistency and Logistics Capabilities in Saudi Arabia.** *Logistics*, 10(5), 104. <https://doi.org/10.3390/logistics10050104>.
12. Al-Saeedi, M., & Smith, R. (2024). **Machine learning applications for environmental sustainability in petrochemical clusters: A case study in Abu Dhabi.** *Journal of Cleaner Production*, 312, 127-140.
13. Accenture. (2018). *The future of petrochemicals: Navigating the new landscape.* <https://www.accenture.com/acnmedia/PDF-97/Accenture-Future-Petrochemicals.pdf>.
14. Belhadi, A., Mani, V., Kamble, S. S., Khan, S. A. R., & Verma, S. (2024). **Artificial intelligence-driven innovation for enhancing supply chain resilience and performance under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation.** *Annals of operations research*, 333(2), 627-652.
15. Bao, Y., & Zhang, J. (2018). **Optimization of energy management in a petrochemical plant with co-generation.** *Energy*, 165, 1115-1127. DOI: [10.1016/j.energy.2018.09.168](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.168).
16. Beta, K.; Nagaraj, S.S.; Weerasinghe, T.D. (2025), **The role of artificial intelligence on supply chain resilience.** *J. Enterp. Inf. Manag.* 2025, 38, 950–973.
17. IEA. (2023). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector.* International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
18. Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). **The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk capacity.** *International Journal of Production Research*, 57(2), 498-510. DOI: [10.1080/00207543.2018.1485044](https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1485044).
19. Ghadimi, P., Wang, C., & Lim, M. K. (2020). **Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges.** *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104600. DOI: [10.1016/j.resconrec.2020.104600](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104600).
20. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). **The Circular Economy – A uniform definition for chemistry.** *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 201-211. DOI: [10.1016/j.resconrec.2017.04.010](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.04.010).
21. Ghisellini, P., Cialani, E., & Ulgiati, S. (2016). **Extent of a circular economy.** *Resources, Conservation and Recycling*, 114, 1-8. DOI: [10.1016/j.resconrec.2016.06.002](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.002).
22. Macharia, S. M., & Mukulu, E. (2016). **Role of just-in-time in realization of an efficient supply chain management: A case study of Bidco Oil Refineries Limited, Thika.** *The Strategic Journal of Business & Change Management*, 3(6), 123-152.
23. Müller, J., Schmidt, K., & Weber, L. (2022). **AI-driven process optimization in Industry 4.0 manufacturing environments.** *International Journal of Production Economics*, 245, 108-122.
24. Modgil, S.; Singh, R.K.; Hannibal, C. (2022), **Artificial intelligence for supply chain resilience: Learning from COVID-19.** *Int. J. Logist. Manag.* 33, 1246–1268.

25. McDonald, A., Proops, J., & Wilson, R. (2015). **The economics of carbon capture and storage: A review**. *Climate Policy*, 15(6), 737-764. DOI: [10.1080/14693062.2014.965718](https://doi.org/10.1080/14693062.2014.965718).
26. Nasib, N. & Haraz, S. (2025). "The Role of Artificial Intelligence in Optimizing Supply Chain Efficiency in Smart Logistics," *2025 International Conference on Innovation in Artificial Intelligence and Internet of Things (AIIT)*, Jeddah, Saudi Arabia, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/AIIT63112.2025.11082892.
27. Rajeev, A., Pati, R. K., & Padhi, S. S. (2019). **Sustainable supply chain management in the chemical industry: Evolution, opportunities, and challenges**. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 275-291.
28. Sahin, A., Gungor, O., & Turker, O. (2022). **An integrated approach for feedstock selection and production planning in the petrochemical industry under uncertainty**. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 109, 159-172. DOI: [10.1016/j.jiec.2022.02.009](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.02.009).
29. Sakala, C. M., & Bwalya, S. M. (2023). **The role of artificial intelligence in optimizing supply chain performance**. *Journal of Procurement and Supply Chain Management*, 2(1), 1-14.
30. Thompson, D., & Garcia, M. (2021). **Predictive analytics in chemical supply chain management: Optimizing inventory and demand forecasting\***. *Journal of Supply Chain Management*, 57(3), 45-62.
31. Zhang, L., & Wang, X. (2019). **Predictive maintenance in the petrochemical industry using deep learning algorithms: Evidence from Shanghai**. *Computers & Chemical Engineering*, 128, 215-228.
32. Zhang, Y., Jin, W., & Liu, S. (2019). **Energy optimization and integration of a petrochemical plant with distributed energy resources**. *Applied Energy*, 235, 1139-1152. DOI: [10.1016/j.apenergy.2018.11.065](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.065).
33. Zeng, S., Li, X., Zhang, R., & Wen, J. (2017). **Integrated optimization of feedstock and production planning for petrochemical industry**. *Computers & Chemical Engineering*, 99, 97-110. DOI: [10.1016/j.compchemeng.2017.01.010](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.01.010)