

همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا و نقش آن در ایجاد تحول بنیادین و نوآوری های عصر انقلاب صنعتی پنجم

علیرضا جوشن

کارشناسی ارشد برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

چکیده

هدف: هدف این پژوهش، بررسی نقش محوری همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (AIoT) به عنوان موتور محرک و توانمندساز اصلی برای تحقق سه رکن بنیادین انقلاب صنعتی پنجم، یعنی انسان‌محوری، تاب‌آوری و پایداری است. **روش‌شناسی:** این مقاله با استفاده از روش مرور نظام‌مند (Systematic Review) انجام شده است. جستجو در پایگاه‌های داده معتبر علمی (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, Google Scholar) با کلیدواژه‌های کلیدی مرتبط با صنعت ۵.۰ و AIoT برای بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۵ صورت گرفت و مقالات منتخب بر اساس معیارهای ورود و خروج، غربالگری و تحلیل شدند.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان می‌دهد که AIoT به طور مستقیم به تحقق اهداف سه‌گانه صنعت ۵.۰ کمک می‌کند. در بعد انسان‌محوری، از طریق توسعه ربات‌های همکار (Cobots) و رابط‌های پیشرفته انسان-ماشین (HMI)، همکاری ایمن و مؤثر انسان و فناوری را ممکن می‌سازد. در حوزه تاب‌آوری، با پیاده‌سازی نگهداری پیش‌بینانه و زنجیره‌های تأمین هوشمند، ظرفیت صنایع را برای مقابله با اختلالات افزایش می‌دهد. در زمینه پایداری، از طریق مدیریت هوشمند انرژی و منابع و حمایت از اقتصاد چرخشی، به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند. چالش‌های کلیدی شناسایی شده شامل امنیت داده، حریم خصوصی و نیاز به مهارت‌های جدید است.

نتیجه‌گیری: همگرایی AI و IoT یک پارادایم فناورانه کلیدی است که پتانسیل تحول‌آفرینی در گذار به صنعت ۵.۰ را دارد. با این حال، بهره‌برداری کامل از این پتانسیل نیازمند یک رویکرد استراتژیک از سوی مدیران و سیاست‌گذاران برای مدیریت چالش‌های فنی، امنیتی و مهارتی است.

کلیدواژه‌ها: صنعت ۵.۰، هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، همگرایی (AIoT)، انسان‌محوری، تاب‌آوری، پایداری.

۱. مقدمه

جهان در آستانه یک دگرگونی صنعتی جدید قرار دارد. پس از انقلاب‌های صنعتی مبتنی بر بخار، برق، کامپیوتر و اتوماسیون (صنعت ۴.۰)، اکنون مفهوم انقلاب صنعتی پنجم^۱ در حال ظهور است. صنعت ۵.۰ برخلاف سلف خود که بر اتوماسیون کامل و دیجیتالی‌سازی تمرکز داشت، یک بازنگری عمیق در رابطه بین انسان، فناوری و جامعه صنعتی ارائه می‌دهد. این پارادایم جدید، فناوری را نه به عنوان جایگزین انسان، بلکه به عنوان ابزاری برای توانمندسازی او و تحقق اهداف گسترده‌تر اجتماعی و زیست‌محیطی می‌بیند. (Chander et al., ۲۰۲۲; Rabah, ۲۰۱۶a)

سه رکن اصلی این انقلاب عبارتند از: انسان‌محوری^۲ که بر رفاه و نقش کارگر در مرکز فرآیندهای تولیدی تأکید دارد؛ تاب‌آوری^۳ که به توانایی سیستم‌های صنعتی برای مقاومت در برابر بحران‌ها و اختلالات اشاره دارد؛ و پایداری^۴ که بر لزوم همسویی فعالیت‌های صنعتی با محدودیت‌های سیاره زمین و توسعه اقتصاد چرخشی تمرکز می‌کند (CCCb, ۲۰۱۱).

در قلب این تحول، همگرایی دو فناوری قدرتمند نهفته است: هوش مصنوعی^۵ و اینترنت اشیا. اینترنت اشیا با اتصال میلیاردها دستگاه و سنسور فیزیکی به شبکه، حجم عظیمی از داده‌های لحظه‌ای (Big Data) را از دنیای واقعی تولید می‌کند (Jagadish et al., ۲۰۱۴; Manyika et al., ۲۰۱۱)

هوش مصنوعی برای تحلیل، یادگیری و تصمیم‌گیری بر اساس این داده‌ها به کار گرفته می‌شود، یک سیستم عصبی هوشمند به نام AIoT شکل می‌گیرد. این مقاله به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه این همگرایی فناورانه می‌تواند به عنوان موتور محرک اصلی برای تحقق عملیاتی اهداف سه‌گانه صنعت ۵.۰ عمل کند.

۲. بیان مسئله و اهمیت موضوع

گذار از صنعت ۴.۰ به ۵.۰ یک ارتقاء صرفاً تکنولوژیک نیست، بلکه یک تغییر بنیادین در فلسفه و اهداف صنعت است. مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که چگونه می‌توان از پتانسیل‌های فناورانه موجود برای تحقق اهداف انسان‌محور، تاب‌آور و پایدار صنعت ۵.۰ بهره‌برداری کرد؟ به طور خاص، این مقاله به دنبال پاسخ به این پرسش است که همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (AIoT) چه نقشی به عنوان توانمندساز کلیدی این گذار ایفا می‌کند.

اهمیت این موضوع چندوجهی است:

اهمیت استراتژیک: درک مکانیزم‌های این گذار به صنایع و دولت‌ها کمک می‌کند تا استراتژی‌های موفق‌تری برای رقابت‌پذیری در اقتصاد جهانی آینده تدوین کنند (Ward, ۲۰۱۲).

اهمیت اقتصادی: پیاده‌سازی صحیح اصول صنعت ۵.۰ می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، ایجاد مدل‌های کسب‌وکار جدید و رشد اقتصادی پایدار شود (Gans, ۲۰۱۷ & Catalini).

اهمیت اجتماعی: تمرکز بر انسان‌محوری می‌تواند به بهبود شرایط کاری، افزایش ایمنی و رضایت شغلی و آموزش نیروی کار برای مشاغل آینده کمک کند (Hasak, ۲۰۱۶ & Sahlberg).

اهمیت علمی: این پژوهش با بررسی یکپارچه AIoT به عنوان زیربنای صنعت ۵.۰، به پر کردن شکاف موجود در ادبیات تحقیق و ارائه یک چارچوب مفهومی برای مطالعات آینده کمک می‌کند.

^۱ (Industry ۵.۰)
^۲ (Human-Centricity)
^۳ (Resilience)
^۴ (Sustainability)
^۵ (AI)
^۶ (IoT)

۳. پیشینه پژوهش

ادبیات موضوع را می‌توان در سه حوزه اصلی دسته‌بندی کرد:

۱. تعریف و مبانی صنعت ۵.۰: پژوهش‌های اولیه در این حوزه عمدتاً بر تمایز بین صنعت ۴.۰ و ۵.۰ و تعریف ارکان سه‌گانه آن متمرکز بوده‌اند. این تحقیقات صنعت ۵.۰ را پاسخی به محدودیت‌های صنعت ۴.۰، به ویژه نادیده گرفتن جنبه‌های انسانی و زیست‌محیطی، معرفی می‌کنند.
 ۲. کاربردهای هوش مصنوعی (AI): AI به عنوان یک فناوری توانمندساز در حوزه‌های مختلفی از جمله بهداشت و درمان (Batty, ۲۰۱۶) و کشاورزی (Wolfert et al., ۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات پتانسیل AI در تحلیل کلان‌داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیندها را نشان می‌دهند.
 ۳. کاربردهای اینترنت اشیا (IoT): IoT به عنوان زیرساخت جمع‌آوری داده از محیط فیزیکی، از تکامل اینترنت اولیه در ایجاد شهرهای هوشمند (Oguta, ۲۰۱۷ & Rabah), کشاورزی هوشمند (Mihail_agrohelper, ۲۰۱۸) و زنجیره تأمین (Sparapani, ۲۰۱۷) به طور گسترده مستند شده است.
- شکاف تحقیقاتی: با وجود مطالعات فراوان در هر یک از این حوزه‌ها، پژوهش‌های محدودی به بررسی یکپارچه همگرایی AI و IoT و AIoT به عنوان زیربنای فناورانه و موتور محرک صنعت ۵.۰ پرداخته‌اند. اکثر مقالات یا بر یک فناوری (AI یا IoT) یا یک رکن از صنعت ۵.۰ تمرکز دارند. این مقاله با ارائه یک مدل مفهومی یکپارچه و تحلیل "چگونگی" تحقق هر سه رکن توسط AIoT، به دنبال پر کردن این شکاف است.

۴. سوالات و فرضیات پژوهش

سوال اصلی:

- ❖ چگونه همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (AIoT) به عنوان موتور محرک برای تحقق انقلاب صنعتی پنجم عمل می‌کند؟

سوالات فرعی:

۱. نقش مشخص AIoT در تحقق رکن انسان‌محوری در صنعت ۵.۰ چیست؟
۲. نقش مشخص AIoT در تحقق رکن تاب‌آوری در صنعت ۵.۰ چیست؟
۳. نقش مشخص AIoT در تحقق رکن پایداری در صنعت ۵.۰ چیست؟

فرضیه اصلی:

- ❖ همگرایی AI و AIoT یک توانمندساز فناورانه کلیدی و زیربنایی برای گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۵.۰ است.

فرضیات فرعی:

۱. کاربرد AIoT در محیط‌های صنعتی منجر به افزایش ایمنی، کارایی و کیفیت همکاری انسان و ماشین می‌شود.
۲. پیاده‌سازی راه‌حل‌های مبتنی بر AIoT، تاب‌آوری سیستم‌های تولیدی و زنجیره‌های تأمین را در برابر اختلالات افزایش می‌دهد.
۳. استفاده از AIoT در مدیریت منابع و فرآیندها، به حرکت صنایع به سوی اهداف پایداری و اقتصاد چرخشی کمک می‌کند.

۵. نوآوری پژوهش

نوآوری این مقاله در چند جنبه قابل طرح است:

مدل مفهومی یکپارچه: ارائه مدلی که به وضوح ارتباط بین لایه‌های مختلف (فناوری، مکانیزم، هدف) را نشان می‌دهد. رویکرد بین‌رشته‌ای: ترکیب مفاهیم مهندسی، علوم کامپیوتر (۲۰۱۱، CCC)، مدیریت استراتژیک و علوم اجتماعی برای تحلیل یک پدیده پیچیده. تمرکز بر "چگونگی": این مقاله فراتر از بیان "چیستی" نقش AIoT رفته و بر مکانیزم‌های عملی که این همگرایی از طریق آن‌ها اهداف صنعت ۵.۰ را محقق می‌کند، تمرکز دارد. نگاه آینده‌نگرانه: بررسی چالش‌ها و ارائه پیشنهادات برای سیاست‌گذاران و مدیران، جنبه کاربردی و آینده‌پژوهانه به تحقیق می‌بخشد (Lazer et al., ۲۰۰۹; Singh et al., ۲۰۲۳).

۶. روش پژوهش

این پژوهش از نوع مرور نظام‌مند (Systematic Review) است و بر اساس پروتکل^۷ انجام شده است. هدف از این مرور نظام‌مند، بررسی نقش فناوری AIoT در تحقق ارکان سه‌گانه صنعت ۵.۰ شامل محور انسان‌محوری، تاب‌آوری و پایداری است. مراحل اجرای پژوهش به شرح زیر است:

۱. تعیین سوالات پژوهش

سوالات پژوهش به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم شدند:

- سوال اصلی: چگونگی نقش‌آفرینی AIoT در صنعت ۵.۰ و تحقق ارکان سه‌گانه آن.
- سوالات فرعی: بررسی شواهد موجود در رابطه با کاربردهای AIoT در صنایع مختلف و تأثیر آن بر محور انسان‌محوری، تاب‌آوری و پایداری.

۲. استراتژی جستجو

برای شناسایی مقالات مرتبط، جستجو در پایگاه‌های علمی معتبر انجام شد:

- پایگاه‌ها: Google Scholar و IEEE Xplore، Web of Science، Scopus
- کلیدواژه‌ها: "Industry ۵.۰"، "AIoT"، "Artificial Intelligence"، "Internet of Things"، "Sustainability"، "Resilience"، "Human-Centric"

- بازه زمانی: ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۵

- نوع مقالات: پژوهشی، کنفرانسی و مروری به زبان انگلیسی

۳. معیارهای ورود و خروج

- معیارهای ورود: مقالات انگلیسی که به طور مستقیم به ارتباط بین AIoT و صنعت ۵.۰ پرداخته باشند.
- معیارهای خروج: مقالاتی که صرفاً به صنعت ۴.۰ یا یکی از فناوری‌ها به تنهایی AI یا IoT می‌پرداختند، حذف شدند.

۴. فرآیند غربالگری و انتخاب بر اساس (PRISMA)

۱. شناسایی اولیه: در مرحله جستجو، ۲۶۵ مقاله مرتبط شناسایی شد.
۲. حذف مقالات تکراری: با حذف مقالات تکراری، ۲۱۲ مقاله باقی ماند.

^۷ PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)

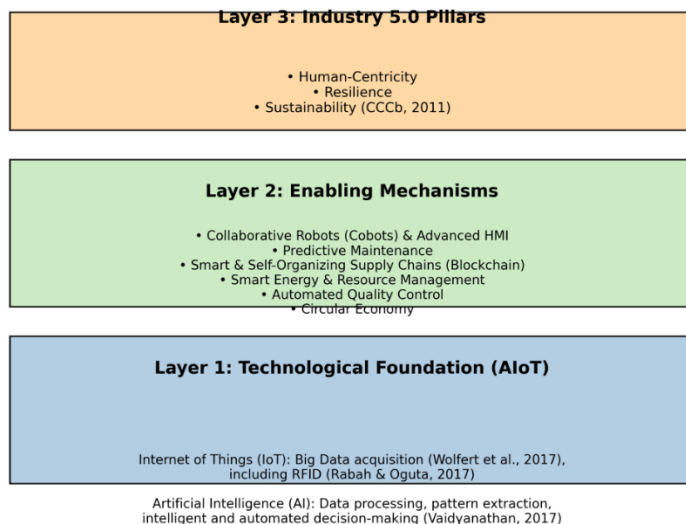
۳. غربالگری عنوان و چکیده: بررسی اولیه برای تطابق با معیارهای ورود/خروج، تعداد ۹۸ مقاله را برای مطالعه متن کامل انتخاب کرد.
۴. مطالعه متن کامل: ارزیابی دقیق محتوای مقالات، شامل کیفیت و ارتباط با سوالات پژوهش، منجر به انتخاب ۴۴ مقاله نهایی شد که تحلیل داده‌ها بر اساس آن‌ها انجام شد.
۵. استخراج و سنتز داده‌ها
- اطلاعات کلیدی از ۴۴ مقاله نهایی استخراج شد، شامل:
- نوع فناوری و کاربرد آن
 - زمینه صنعتی مورد بررسی
 - تأثیر بر ارکان سه‌گانه صنعت ۵.۰
 - تعداد استنادات و اعتبار علمی مقاله
- این داده‌ها سپس در چارچوب مدل مفهومی پژوهش تحلیل و سنتز شدند تا پاسخ مناسبی به سوالات اصلی و فرعی پژوهش ارائه شود.

جدول ۱. خلاصه روش پژوهش: مرور نظام‌مند

مرحله	فعالیت	تعداد مقالات
شناسایی اولیه	جستجو در پایگاه‌ها	۲۶۵
حذف تکراری	حذف مقالات تکراری	۲۱۲
غربالگری عنوان و چکیده	بررسی تطابق با معیارها	۹۸
مطالعه متن کامل	بررسی کیفیت و ارتباط با سوال پژوهش	۴۴
تحلیل و سنتز داده	استخراج اطلاعات کلیدی و تحلیل	۴۴

۷. مدل مفهومی پژوهش

مدل مفهومی شکل (۱) برای نمایش ارتباطات مورد بررسی در این مقاله طراحی شده است. این مدل نشان می‌دهد که چگونه AIoT به عنوان یک سیستم یکپارچه، از طریق مکانیزم‌های عملیاتی مشخص، سه رکن اصلی صنعت ۵.۰ را توانمند می‌سازد.



شکل ۱. مدل مفهومی

➤ لایه ۱: فناوری بنیادین^۸

اینترنت اشیا (IoT): جمع‌آوری داده‌های حجیم (Big Data) از سنسورها، ماشین‌آلات، محصولات و محیط (Wolfert et al., ۲۰۱۷). این لایه شامل فناوری‌هایی مانند RFID نیز می‌شود (Oguta, & Rabah, ۲۰۱۷).

هوش مصنوعی (AI): پردازش، تحلیل و استخراج الگو از داده‌های جمع‌آوری شده؛ تصمیم‌گیری هوشمند و خودکار (Waqas et al., ۲۰۲۰; Vaidyanathan, ۲۰۱۷).

➤ لایه ۲: مکانیزم‌های توانمندساز

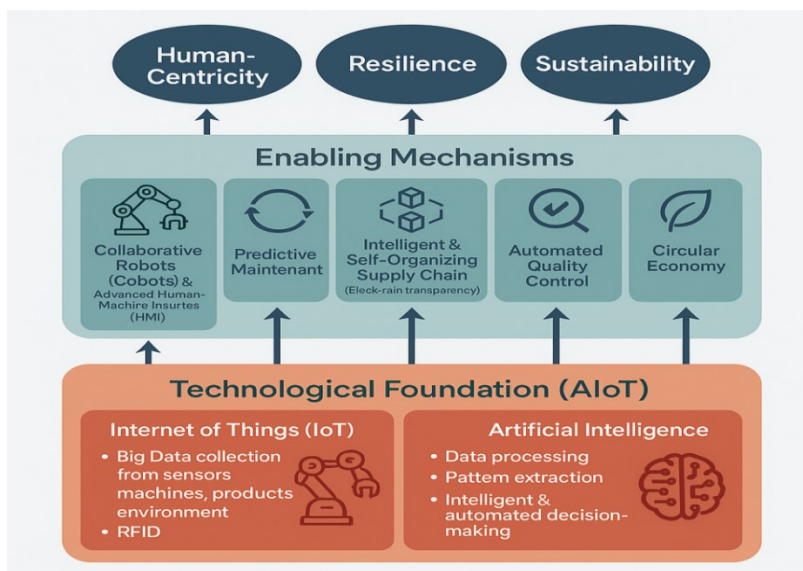
ربات‌های همکار (Cobots) و رابط‌های پیشرفته انسان-ماشین (HMI) نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه^۹ زنجیره تأمین هوشمند و خود-سازمان‌ده (با پشتیبانی فناوری‌هایی چون بلاک‌چین برای شفافیت) (McConaghy, ۲۰۱۶; Rabah, ۲۰۱۷a) مدیریت هوشمند انرژی و منابع
○ کنترل کیفیت خودکار و اقتصاد چرخشی

➤ لایه ۳: ارکان صنعت ۵.۰

انسان‌محوری
تاب‌آوری
پایداری (CCCb, ۲۰۱۱)

^۸ (AIoT)
^۹ (Predictive Maintenance)

این مدل نشان می‌دهد که AIoT تنها یک ابزار تکنولوژیک نیست، بلکه یک پلتفرم است که مکانیزم‌های لازم برای تحقق فلسفه صنعت ۵.۰ را فراهم می‌کند.



شکل ۲. ساختار سه‌لایه‌ای همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا

این مدل مفهومی که به انگلیسی طراحی شده، ساختار سه‌لایه‌ای همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (AIoT) است.

۱. لایه پایه - فناوری بنیادین (AIoT)

۱.۱ Internet of Things (IoT) - اینترنت اشیا): جمع‌آوری کلان‌داده از حسگرها، ماشین‌ها، محصولات و محیط،

همراه با فناوری‌هایی مانند RFID

۱.۲ Artificial Intelligence (هوش مصنوعی): پردازش داده‌ها، استخراج الگوها و تصمیم‌گیری هوشمند و خودکار بر

اساس داده‌ها

۲. لایه میانی - مکانیزم‌های توانمندساز

(عواملی که باعث می‌شوند فناوری‌های لایه پایه عملیاتی و نوآورانه شوند)

۲.۱ Collaborative Robots (Cobots) و رابط‌های پیشرفته انسان-ماشین (HMI)

۲.۲ Predictive Maintenance (نگهداشت پیش‌بینانه تجهیزات و سیستم‌ها)

۲.۳ Self-Organizing Supply Chain & Intelligent (زنجیره تأمین هوشمند و خودسازمان‌ده با شفافیت

بلاک‌چین)

۲.۴ Automated Quality Control (کنترل کیفیت خودکار)

۲.۵ Circular Economy (اقتصاد چرخشی برای استفاده پایدار از منابع)

۳. لایه بالایی - ارکان Industry ۵.۰

۳.۱ (انسان‌محوری)^{۱۰}

۳.۲ Resilience (تاب‌آوری)

۳.۳ Sustainability (پایداری)

^{۱۰} Human-Centricity

جدول ۲: مدل مفهومی از فناوری بنیادین تا ارکان صنعت ۵.۰

شرح و کارکرد	اجزا و مؤلفه‌ها	عنوان لایه	لایه
جمع‌آوری داده‌های حجیم از سنسورها، ماشین‌آلات و محیط با RFID (Wolfert et al., ۲۰۱۷; Rabah & Oguta, ۲۰۱۷).	۱. اینترنت اشیا (IoT)	فناوری بنیادین (AIoT)	لایه ۱
پردازش و تحلیل داده‌ها، شناسایی الگوها و تصمیم‌گیری هوشمند و (Waqas, ۲۰۲۰; Vaidyanathan, ۲۰۱۷).	۲. هوش مصنوعی (AI)		
انسان‌محوری ابزارهایی برای پیاده‌سازی اصل.	۱. ربات‌های همکار (Cobots) و رابط انسان-ماشین (HMI)	مکانیزم‌های توانمندساز	لایه ۲
در برابر اختلالات (با پشتیبانی فناوری تاب‌آوری مکانیزم‌هایی برای تحقق (McConaghy, ۲۰۱۶; Rabah, ۲۰۱۷a).	۲. نگهداری پیش‌بینانه و زنجیره تأمین هوشمند		
از طریق بهینه‌سازی مصرف و پایداری راهکارهایی برای دستیابی به کاهش ضایعات.	۳. مدیریت هوشمند انرژی و اقتصاد چرخشی		
تمرکز بر توانمندسازی، ایمنی و نقش خلاقانه انسان در کنار فناوری.	۱. انسان‌محوری (Human-Centricity)	اهداف و ارکان صنعت ۵.۰	لایه ۳
ایجاد سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر و مقاوم در برابر بحران‌ها.	۲. تاب‌آوری (Resilience)		
به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی و حرکت به سوی اقتصاد چرخشی (CCCb, ۲۰۱۱).	۳. پایداری (Sustainability)		

۸. یافته‌ها

ادبیات موجود پیرامون همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی به نقش فناوری‌های هوشمند، قابلیت‌های ارتباطی، مدل‌های داده‌محور، و الزامات تحول دیجیتال پرداخته‌اند، اما اغلب این مطالعات یا مفهومی و چارچوب‌محور بوده‌اند، یا بخش‌محور (سلامت، کشاورزی، انرژی)، و یا تنها یک مؤلفه از اکوسیستم فناوری Industry ۵.۰ را بررسی کرده‌اند. به‌ویژه، تعداد محدودی از پژوهش‌ها قادر بوده‌اند یک مدل منسجم، یکپارچه و قابل پیاده‌سازی ارائه کنند که در آن AI و IoT به‌صورت هم‌زمان در کنار الزامات انسان‌محوری، انعطاف‌پذیری، تاب‌آوری، و پایداری که در Industry ۵.۰ ضروری است، مورد تحلیل قرار گیرد.

بررسی سیستماتیک مطالعات پیشین نشان می‌دهد که هنوز خلأ قابل توجهی در حوزه یکپارچه‌سازی زیرساخت داده، معماری هوشمند، الگوریتم‌های تحلیلی، و کاربردهای صنعتی واقعی وجود دارد. در جدول ۳، ۲۰ مطالعه کلیدی به‌عنوان مهم‌ترین منابع مرتبط انتخاب شده و بر اساس معیارهای روش‌شناسی، دامنه، یافته‌ها، محدودیت‌ها و نوآوری مقاله حاضر به‌صورت مقایسه‌ای تحلیل شده‌اند.

جدول ۳. مقایسه ۲۰ مطالعه کلیدی و نوآوری مقاله حاضر

نوآوری مقاله حاضر	ارتباط با Industry ۵.۰	حوزه فناوری	محدودیت‌ها / نوع مطالعه	یافته‌های کلیدی	دامنه / روش‌شناسی	نویسنده / سال
ارائه مدل اجرایی + شاخص‌های سنجش	تحول هوشمند	AIoT	نظری، بدون داده عملی	معماری‌های AI+IoT و نقش AI در کنترل لبه	مرور مفهومی AIoT	Chander et al., ۲۰۲۲
پیوند انسان‌محوری با معماری AI+IoT	تعریف هویت Industry ۵.۰	رباتیک، IoT	توصیفی	انسان‌محوری و انعطاف‌پذیری تولید	معرفی Industry ۵.۰	Singh et al., ۲۰۲۳
ارائه مدل یکپارچه + سناریوی کاربردی	چشم‌انداز فناوری	IoT, AI, امنیت	مطالعه مروری	روندها، چالش‌ها و فناوری‌های Industry ۵.۰	مرور نظام‌مند	Rijwani et al., ۲۰۲۵
افزودن معیارهای سنجش‌پذیر پایداری در AIoT	پایداری	AI مسئول	تحلیلی	اهمیت پایداری و AI مسئول	مقایسه Industry ۴/۵	Waqas & Naseem, ۲۰۲۵
اتصال AI+IoT با ابزارهای اعتمادساز	زیرساخت اعتماد	Blockchain	نظری، غیرصنعتی	افزایش اعتماد داده	تحلیل بلاک‌چین	Iansiti & Lakhani, ۲۰۱۷
طراحی معماری داده سازگار با جریان IoT	الزامات داده	Big Data	فنی، عمومی	مشکلات مقیاس‌پذیری و کیفیت داده	چالش‌های بیگ‌دیتا	Jagadish et al., ۲۰۱۴
تبدیل دید اقتصاد داده به مدل عملی AIoT	پایه نظری داده‌محوری	Big Data	کلان‌نگر	ارزش‌آفرینی از داده	اقتصاد داده	Manyika et al., ۲۰۱۱
ترکیب تبادل داده امن با تحلیل AI در IoT	امنیت	Blockchain	مفهومی	ایده تبادل داده امن	بلاک‌چین و داده	McConaghy, ۲۰۱۶
ارائه چارچوب یکپارچه DLT+AIoT	زیرساخت نسل جدید	DLT	موردی، محدود	شفافیت و امنیت	بلاک‌چین در صنعت	Rabah, ۲۰۱۶a
تعمیم‌پذیری به صنایع ۵.۰	تولید هوشمند	BC, IoT	حوزه‌ای	ردگیری داده مبتنی بر IoT+BC	کشاورزی هوشمند	Rabah, ۲۰۱۷a

Rabah & Oguta, ۲۰۱۷	RFID + IoT	مدیریت هوشمند شهری	کاربردی، محدود	IoT.RFID	هوشمندسازی	اتصال IoT با لایه تحلیل AI و تصمیم‌سازی
Walsh, ۲۰۱۷	همگرایی AI+IoT+BC	آینده سلامت هوشمند	دیدگاهی	مجموعه فناوری	انسان‌محوری سلامت	ارائه مدل صنعتی، نه صرفاً سلامت
Wolfert et al., ۲۰۱۷	کشاورزی هوشمند	چالش‌های داده IoT در	مروری	IoT، بیگ‌دیتا	سیستم‌های آینده	انتقال مدل به صنایع تولیدی
Urrea, ۲۰۲۵	رباتیک هوشمند	کنترل مبتنی بر AI	مروری	AI, Robotics	رباتیک انسان‌محور	ترکیب رباتیک با جریان‌های IoT و تصمیم‌گیری
Shoaei et al., ۲۰۲۴	AI در انرژی	روش‌های پیش‌بینی و بهینه‌سازی	حوزه‌ای	AI انرژی	پایداری	افزودن لایه IoT + شاخص‌های عملکرد مشترک
Catalini & Gans, ۲۰۱۷	اقتصاد بلاک‌چین	اقتصاد داده	نظری	Blockchain	اقتصاد داده	کارکرد صنعتی بلاک‌چین در AIoT
Epstein, ۲۰۱۷	Big Data + BC	پیش‌بینی مزایا	خبری، غیرعلمی	BC + BD	آینده داده	ارائه مدل عملی، نه پیش‌بینی
Batty, ۲۰۱۶	داده‌های شهری	تصمیم‌سازی مبتنی بر داده	بخش‌محور	Big Data	سیستم‌های هوشمند	انتقال اصول به صنعت ۵.۰
Marr, ۲۰۱۵	داده در سلامت	کاربردهای هوشمند	غیرآکادمیک	Big Data	سلامت هوشمند	ارائه تحلیل سیستماتیک قابل تعمیم بین صنایع
Vaidyanathan, ۲۰۱۷	کاربردهای صنعتی داده	موارد تحلیل داده	توصیفی	Big Data	تحول دیجیتال	ادغام Big Data + AI + IoT Industry ۵.۰

بررسی ۲۰ مطالعه منتخب نشان می‌دهد که ادبیات موجود اگرچه به بلوک‌های فناوری مانند بیگ‌دیتا، بلاک‌چین، رباتیک، هوش مصنوعی یا IoT پرداخته‌اند، اما این مطالعات بیشتر بخش‌محور، موضوع‌محور یا مفهوم‌محور بوده‌اند و به‌ندرت چارچوبی ارائه کرده‌اند که این فناوری‌ها را در قالب یک سیستم یکپارچه در بستر Industry ۵.۰ تحلیل کند. علاوه بر این، بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها فاقد معیارهای سنجش عملکرد، مدل داده استاندارد، یا نمونه‌های پیاده‌سازی واقعی بوده و اغلب در سطح پیشنهادی و نظری باقی مانده‌اند. نوآوری مقاله حاضر دقیقاً در پر کردن این شکاف مشخص می‌شود؛ زیرا معماری یکپارچه‌ای ارائه می‌کند که جریان داده‌های IoT، الگوریتم‌های AI، مکانیسم‌های اعتماد، و شاخص‌های عملکرد را در قالب یک مدل قابل اجرا، ارزیابی و توسعه صنعتی

با محوریت اصول Industry ۵.۰ ارائه می‌دهد. این ویژگی سبب می‌شود مقاله حاضر نه تنها فراتر از مرورهای موجود باشد، بلکه به‌عنوان یک نقشه‌راه عملیاتی برای تحول صنعتی مبتنی بر AIoT نیز قابل استفاده باشد.

۹. تحلیل و بحث

در این بخش، نقش AIoT در تحقق هر یک از سه رکن صنعت ۵.۰ بر اساس مدل مفهومی و با ارجاع به ادبیات موضوع تحلیل می‌شود.

۹.۱. انسان‌محوری: همکاری انسان و ماشین

صنعت ۵.۰ انسان را به مرکز فرآیند تولید بازمی‌گرداند. AIoT این هدف را از دو طریق اصلی محقق می‌سازد:

جدول ۴. خلاصه نقش AIoT در صنعت ۵.۰

پیشنهادات کلیدی	چالش‌های اصلی	کاربرد کلیدی AIoT	رکن صنعت ۵.۰
سرمایه‌گذاری در: مدیران بازنگاری در: سیاست‌گذاران. آموزش برنامه‌های آموزشی	نیاز به نیروی کار: شکاف مهارتی متخصص	ربات‌های همکاری (Cobots): برای همکاری ایمن با انسان	انسان‌محوری
شروع با پروژه‌های کوچک: مدیران ارائه: سیاست‌گذاران. (آزمایشی) مشوق‌های مالی	افزایش ریسک: امنیت سایبری سرمایه‌گذاری: هزینه حملات. اولیه بالا	نگهداری پیش‌بینانه و زنجیره برای: تأمین هوشمند جلوگیری از توقف و بحران	تاب‌آوری
استفاده از پلتفرم‌های مدیران تدوین استانداردهای: سیاست‌گذاران. باز ملی	عدم یکپارچگی: نبود استاندارد سیستم‌ها	مدیریت هوشمند انرژی و برای کاهش: اقتصاد چرخشی مصرف و ضایعات	پایداری

ربات‌های همکاری^{۱۱}: برخلاف ربات‌های صنعتی سنتی که در قفس‌های ایمنی کار می‌کنند، Cobotها برای همکاری مستقیم و ایمن با انسان‌ها طراحی شده‌اند. سنسورهای IoT تعبیه‌شده در این ربات‌ها و محیط کار، داده‌های مربوط به موقعیت، حرکت و نیروی انسان را جمع‌آوری می‌کنند. الگوریتم‌های AI این داده‌ها را تحلیل کرده و به ربات اجازه می‌دهند تا حرکات خود را به صورت آنی تطبیق دهد، از برخورد جلوگیری کند و وظایف را به صورت مشترک با انسان انجام دهد. این امر نه تنها ایمنی را افزایش می‌دهد، بلکه وظایف تکراری و خطرناک را از دوش کارگر برداشته و به او اجازه می‌دهد بر فعالیت‌های خلاقانه و حل مسئله تمرکز کند (Fryer, ۲۰۱۳ & Dobbie).

رابطه‌های پیشرفته انسان-ماشین (HMI): AIoT به توسعه HMIهای هوشمندتر کمک می‌کند. برای مثال، با استفاده از عینک‌های واقعیت افزوده (AR) که به شبکه IoT متصل هستند، کارگران می‌توانند دستورالعمل‌های تعمیر یا مونتاژ را به صورت بصری و بر روی تجهیزات واقعی مشاهده کنند. دستیارهای صوتی مبتنی بر AI نیز می‌توانند به کارگران

^{۱۱} (Cobots)

اجازه دهند تا بدون استفاده از دست، با ماشین‌آلات تعامل کنند. این فناوری‌ها تجربه کاری را بهبود بخشیده و پیچیدگی کار با سیستم‌های پیشرفته را کاهش می‌دهند (CCCa, ۲۰۱۱).

۹.۲. تاب‌آوری: ساخت سیستم‌های صنعتی ضدشکننده

تاب‌آوری به معنای توانایی یک سیستم برای مقاومت، تطبیق و بهبودی سریع از اختلالات (مانند همه‌گیری‌ها، بحران‌های ژئوپلیتیکی یا بلایای طبیعی) است. AIoT از طرق زیر به افزایش تاب‌آوری کمک می‌کند:

نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه (Predictive Maintenance): سنسورهای IoT به طور مداوم وضعیت سلامت ماشین‌آلات (دما، لرزش، صدا و ...) را پایش می‌کنند. مدل‌های AI با تحلیل این داده‌ها می‌توانند الگوهای منجر به خرابی را شناسایی کرده و زمان احتمالی وقوع نقص را پیش‌بینی کنند. این امر به تیم‌های تعمیر و نگهداری اجازه می‌دهد تا قبل از وقوع خرابی، اقدامات لازم را انجام دهند، که این خود از توقف‌های برنامه‌ریزی نشده خط تولید جلوگیری کرده و تاب‌آوری عملیاتی را به شدت افزایش می‌دهد.

زنجیره تأمین هوشمند و خود-سازمان‌ده: IoT امکان ردیابی لحظه‌ای مواد اولیه، قطعات و محصولات را در سراسر زنجیره تأمین فراهم می‌کند. داده‌های جمع‌آوری شده توسط الگوریتم‌های AI تحلیل می‌شوند تا گلوگاه‌ها، تأخیرها و ریسک‌های احتمالی شناسایی شوند. در صورت وقوع یک اختلال (مثلاً بسته‌شدن یک بندر)، سیستم می‌تواند به صورت خودکار مسیرهای جایگزین را پیشنهاد دهد یا سفارش‌ها را به تأمین‌کنندگان دیگر منتقل کند. استفاده از فناوری بلاک‌چین در کنار AIoT می‌تواند با ایجاد یک دفتر کل توزیع‌شده و غیرقابل تغییر، شفافیت و اعتماد را در زنجیره‌های تأمین پیچیده افزایش دهد (Epstein, ۲۰۱۷; Rabah, ۲۰۱۷d; Smyth, ۲۰۱۶). این همگرایی، یک زنجیره تأمین پویا و تاب‌آور ایجاد می‌کند (Walsh, ۲۰۱۷).

۹.۳. پایداری: به سوی صنعت سبز

صنعت ۵.۰ بر مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی و حرکت به سوی اقتصاد چرخشی تأکید دارد. AIoT یک ابزار قدرتمند برای دستیابی به این هدف است (CCCb, ۲۰۱۱).

مدیریت هوشمند انرژی: سنسورهای IoT در سراسر کارخانه می‌توانند مصرف انرژی هر دستگاه، خط تولید و ساختمان را به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری کنند. الگوریتم‌های AI این داده‌ها را تحلیل کرده و الگوهای مصرف ناکارآمد را شناسایی می‌کنند. سیستم می‌تواند به صورت خودکار تجهیزات غیرضروری را خاموش کند، زمان‌بندی تولید را برای استفاده از برق در ساعات غیرپیک بهینه کند و فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی را به مدیران گزارش دهد. این رویکرد داده‌محور (Data-driven) به کاهش چشمگیر ردپای کربن صنایع کمک می‌کند (Knezevic, ۲۰۱۶; Urrea & Bronson, ۲۰۲۵). et al., ۲۰۲۵)

کاهش ضایعات و اقتصاد چرخشی: سیستم‌های کنترل کیفیت مبتنی بر بینایی ماشین (که با AI قدرت گرفته‌اند) می‌توانند نقص‌های محصولات را با دقتی فراتر از انسان تشخیص دهند. این امر منجر به کاهش تولید ضایعات می‌شود. علاوه بر این، AIoT با ردیابی محصولات در طول چرخه عمرشان، فرآیندهای بازیافت، استفاده مجدد و بازتولید را تسهیل می‌کند. برای مثال، سنسورهای تعبیه‌شده در یک محصول می‌توانند اطلاعاتی درباره وضعیت و اجزای قابل بازیافت آن را در پایان عمر محصول ارسال کنند و به این ترتیب، پیاده‌سازی مدل‌های اقتصاد چرخشی را عملیاتی سازند (Sparapani, ۲۰۱۷; Shoaei et al., ۲۰۲۴).

۱۰. چالش‌ها و ملاحظات

علی‌رغم پتانسیل عظیم AIoT، پیاده‌سازی آن با چالش‌های مهمی روبروست:

امنیت و حریم خصوصی: اتصال میلیاردها دستگاه به شبکه، سطح حمله را برای تهدیدات سایبری به شدت افزایش می‌دهد. حفاظت از داده‌های حساس صنعتی و شخصی کارگران یک اولویت است (Rabah, ۲۰۱۷c; Rabah, ۲۰۱۷b). فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین می‌توانند برای افزایش امنیت مورد توجه قرار گیرند (Rabah, ۲۰۱۸). استانداردهای و قابلیت همکاری: نبود استانداردهای یکپارچه برای دستگاه‌ها و پلتفرم‌های IoT می‌تواند منجر به ایجاد "سیلوهای داده" و مانع از همکاری بین سیستم‌های مختلف شود. هزینه سرمایه‌گذاری: پیاده‌سازی زیرساخت‌های AIoT نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی است که ممکن است برای صنایع کوچک و متوسط یک مانع باشد. شکاف مهارتی: نیاز به متخصصانی که هم در حوزه فناوری‌های دیجیتال (AI, Big Data, IoT) و هم در حوزه فرآیندهای صنعتی تخصص داشته باشند، روز به روز در حال افزایش است (Corrin et al., ۲۰۱۷).

۱۱. پیشنهادها

برای بهره‌برداری موفق از AIoT در راستای اهداف صنعت ۵.۰، اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود:
برای مدیران صنعتی:

تدوین نقشه راه AIoT: صنایع باید یک استراتژی مشخص برای پذیرش تدریجی و یکپارچه AIoT تدوین کنند که با اهداف کسب‌وکار همسو باشد.
سرمایه‌گذاری در مهارت‌ها: برگزاری دوره‌های آموزشی و بازآموزی (Upskilling/Reskilling) برای نیروی کار فعلی و همکاری با دانشگاه‌ها برای تربیت نسل جدید متخصصان ضروری است.
تمرکز بر پروژه‌های آزمایشی (Pilot): شروع با پروژه‌های کوچک و مقیاس‌پذیر برای اثبات مفهوم و ارزیابی بازگشت سرمایه قبل از پیاده‌سازی گسترده.
برای سیاست‌گذاران:

ایجاد زیرساخت‌های ملی: سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های ارتباطی پرسرعت (مانند 5G) که برای عملکرد AIoT حیاتی است.

تدوین استانداردها و مقررات: همکاری با نهادهای بین‌المللی برای تدوین استانداردهای فنی و همچنین چارچوب‌های قانونی برای حفاظت از داده‌ها و حریم خصوصی (Lofgren, ۲۰۱۶).
حمایت از تحقیق و توسعه: ارائه مشوق‌های مالی و مالیاتی به شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی که در زمینه AIoT و کاربردهای آن در صنعت ۵.۰ فعالیت می‌کنند (Eisenstein et al., ۲۰۱۱).

۱۲. محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است. اولاً، به دلیل ماهیت مروری، به داده‌های اولیه دسترسی نداشته و تحلیل‌ها بر اساس مطالعات منتشر شده است. ثانیاً، مفهوم صنعت ۵.۰ هنوز یک موضوع نوظهور است و ادبیات تحقیق در این زمینه در حال تکامل است. ثالثاً، این مقاله عمدتاً بر جنبه‌های فناورانه متمرکز شده و ابعاد اجتماعی، اخلاقی و سیاستی را به صورت مختصر پوشش داده است که هر یک می‌توانند موضوع پژوهش‌های مستقل باشند.

۱۳. نتیجه‌گیری

انقلاب صنعتی پنجم، یک تغییر پارادایم از تولید صرفاً کارآمد به تولیدی انسان‌محور، تاب‌آور و پایدار است. این پژوهش نشان داد که همگرایی هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (AIoT) نه تنها یک توانمندساز، بلکه موتور محرک بنیادین برای تحقق این گذار است. AIoT با ایجاد یک سیستم عصبی دیجیتال برای صنعت، مکانیزم‌های عملی لازم برای توانمندسازی کارگران، افزایش مقاومت سیستم‌های تولیدی در برابر بحران‌ها و همسوسازی فعالیت‌های صنعتی با اهداف زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد. این همگرایی پتانسیل ایجاد آینده‌ای را دارد که در آن فناوری به طور هماهنگ در خدمت بشریت و سیاره زمین

قرار می‌گیرد. با این حال، تحقق کامل این چشم‌انداز مستلزم غلبه بر چالش‌های مهمی در حوزه‌های امنیت، استانداردسازی، سرمایه‌گذاری و توسعه مهارت‌هاست. آینده صنعت به توانایی ما در هدایت هوشمندانه این همگرایی قدرتمند بستگی خواهد داشت.

منابع

۱. Chander, B., Pal, S., De, D., & Buyya, R. (۲۰۲۲). Artificial intelligence-based internet of things for industry ۵.۰. In *Artificial intelligence-based internet of things systems* (pp. ۳-۴۵). Cham: Springer International Publishing.
۲. Singh, T., Singh, D., Singh, C. D., & Singh, K. (۲۰۲۳). Industry ۵.۰. *Factories of the Future: Technological Advancements in the Manufacturing Industry*, ۲۱-۴۵.
۳. Rijwani, T., Kumari, S., Srinivas, R., Abhishek, K., Iyer, G., Vara, H., ... & Gupta, M. (۲۰۲۵). Industry ۵.۰: A review of emerging trends and transformative technologies in the next industrial revolution. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 19(۲), ۶۶۷-۶۷۹.
۴. Waqas, M., & Naseem, A. (۲۰۲۵). Artificial Intelligence in Sustainable Industrial Transformation: A Comparative Study of Industry ۴.۰ and Industry ۵.۰. *FinTech and Sustainable Innovation*, 1, A۲-A۲.
۵. Batty, M. (۲۰۱۶). *How Can Big Data Be Used in Urban Planning?*
۶. Bronson, K., & Knezevic, I. (۲۰۱۶). Big Data in food and agriculture. *Big Data & Society*, ۳(۱), ۲۰۵۳۹۵۱۷۱۶۶۴۸۱۷۴.
۷. Catalini, C., & Gans, J. S. (۲۰۱۷). *Some Simple Economics of the Blockchain*. MIT Sloan School Working Paper: ۵۱۹۱-۱۶.
۸. Computing Community Consortium. (۲۰۱۱). *Advancing Discovery in Science and Engineering*.
۹. Computing Community Consortium. (۲۰۱۱a). *Smart Health and Wellbeing*.
۱۰. Computing Community Consortium. (۲۰۱۱b). *A Sustainable Future*.
۱۱. Corrin, L., Kennedy, G., & de Barba, P. (۲۰۱۷). *Asking the Right Questions of Big Data in Education*.

۱۲. Dobbie, W., & Fryer Jr, R. G. (۲۰۱۳). Getting beneath the veil of effective schools: Evidence from New York City. *American Economic Journal: Applied Economics*, 5(۴), ۲۸-۶۰.
۱۳. Eisenstein, D. J., Weinberg, D. H., Agol, E., Aihara, H., Prieto, C. A., Anderson, S. F., ... & Barkhouser, R. (۲۰۱۱). SDSS-III: Massive spectroscopic surveys of the distant universe, the Milky Way, and extra-solar planetary systems. *The Astronomical Journal*, 142(۳), ۷۲.
۱۴. Epstein, J. (۲۰۱۷). *When blockchain meets big data, the payoff will be huge*.
۱۵. Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (۲۰۱۷). The Truth About Blockchain. *Harvard Business Review*, January–February ۲۰۱۷, ۱۱۸-۱۲۷.
۱۶. Jagadish, H. V., Gehrke, J., Labrinidis, A., Papakonstantinou, Y., Patel, J. M., Ramakrishnan, R., & Shahabi, C. (۲۰۱۴). Big data and its technical challenges. *Communications of the ACM*, ۵۷(۷), ۸۶-۹۴.
۱۷. Kahn, R., Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kleinrock, L., Lynch, D. C., & Wolff, S. (۱۹۹۷). The evolution of the Internet as a global information system. *The International Information & Library Review*, 29(۲), ۱۲۹-۱۵۱.
۱۸. Kayyali, B., Knott, D., & Van Kuiken, S. (۲۰۱۳). *The big-data revolution in US health care: Accelerating value and innovation*. McKinsey & Company.
۱۹. Lazer, D., Pentland, A., Adamic, L., Aral, S., Barabasi, A. L., Brewer, D., ... & Van Alstyne, M. (۲۰۰۹). Computational social science. *Science*, 323(۵۹۱۵), ۷۲۱-۷۲۳.
۲۰. Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., & Wolff, S. (۲۰۰۹). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(۵), ۲۲-۳۱.
۲۱. Lofgren, K. (۲۰۱۶). *Big data and public service delivery - big hype?*
۲۲. Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (۲۰۱۱). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
۲۳. Marr, B. (۲۰۱۵). *How Big Data Is Changing Healthcare*. Forbes/Tech.
۲۴. McConaghy, T. (۲۰۱۶). *Blockchains for Big Data from Data Audit Trails to a Universal Data Exchange*.

۲۵. Mihail_agrohelter. (۲۰۱۸). *Drones in agriculture: a tool for early pest detection*.
۲۶. Paradiso, J. A. (۲۰۱۴). The magazine archive includes every article published in Communications of the ACM for over the past ۵۰ years. *Communications of the ACM*, 46(۷), ۶۲-۶۹.
۲۷. Rabah, K. (۲۰۰۶). Review of Method for Integer Factorization Applied to Cryptography. *JAS*, 6(۲), ۴۵۸-۴۸۱.
۲۸. Rabah, K. (۲۰۱۶a). Overview of Blockchain as the Engine of the ۴th Industrial Revolution. *Mara Research Journal of Business Management*, 1(۱), ۱۲۵-۱۳۵.
۲۹. Rabah, K. (۲۰۱۶b). Digital Cryptoeconomics Powered by Digital Cryptocurrency. *Mara Research Journal of Computer Science & Information Security*, 1(۱), ۱۰۷-۱۳۱.
۳۰. Rabah, K. (۲۰۱۷a). Agricultural Food Supply Chain Powered by Big Data and Blockchain: A Review. *Mara International Journal of Scientific Research and Publications*, 1(۱), ۵۵-۶۴.
۳۱. Rabah, K. (۲۰۱۷b). Challenges & Opportunities for Blockchain Powered Healthcare Systems: A Review. *Mara Research Journal of Medical and Health Sciences*, 1(۱), ۴۵-۵۲.
۳۲. Rabah, K. (۲۰۱۷c). Challenges & Opportunities of Implementing Blockchain Security & Privacy. *Mara International Journal of Computer Science & Information Security*, 1(۱), ۱-۱۱.
۳۳. Rabah, K. (۲۰۱۷d). Blockchain and the Law: A Review. *Mara Research Journal of Law*, 1(۱), ۲۲-۳۰.
۳۴. Rabah, K. (۲۰۱۸). Overview of Distributed Ledger Technology: A Review. *Realm International Journal of Information Security*, 1(۱), ۱-۹.
۳۵. Rabah, K., & Oguta, J. (۲۰۱۷). Integrated RFID-IoT Powered Car Parking Management System for Smart Cities. *Mara Research Journal of Information Science and Technology*, 2(۱), ۱۰-۱۶.
۳۶. Sahlberg, P., & Hasak, J. (۲۰۱۶, May ۹). 'Big data' was supposed to fix education. It didn't. It's time for 'small data'. The Washington Post.
۳۷. Smyth, D. (۲۰۱۶). *Why blockchain? What can it do for big data?*

۳۸. Sparapani, T. (۲۰۱۷). *How Big Data And Tech Will Improve Agriculture, From Farm To Table*. Forbes.
۳۹. Vaidyanathan, S. (۲۰۱۷). *What are the industry applications of big data analytics?* ResearchGate. Retrieved , from July ۳, ۲۰۱۷
۴۰. Walsh, S. (۲۰۱۷). *Blockchain, IoT, AI Will Converge in Healthcare*.
۴۱. Ward, C. (۲۰۱۲, June). *Materials genome initiative for global competitiveness*. In *۳۳rd Advanced Aerospace Materials and Processes (AeroMat) Conference and Exposition*. ASM International.
۴۲. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (۲۰۱۷). *Big Data in Smart Farming—A review*. *Agricultural Systems*, 153, ۶۹-۸۰.
۴۳. Urrea, C. (۲۰۲۵). *Artificial Intelligence-Driven and Bio-Inspired Control Strategies for Industrial Robotics: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Sustainable Innovations Toward Industry ۴.۰*. *Machines*, 13(۸), ۶۶۶.
۴۴. Shoaee, M., Noorollahi, Y., Hajinezhad, A., & Moosavian, S. F. (۲۰۲۴). *A review of the applications of artificial intelligence in renewable energy systems: An approach-based study*. *Energy Conversion and Management*, 306, ۱۱۸۲۰۷.

The Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things and Its Role in Driving Fundamental Transformation and Innovation in the Era of the Fifth Industrial Revolution

Alireza Joshan

Master of Science in Electrical Power Engineering, Specialization in Power Electronics and Electric Machines, University of Guilan, Guilan, Iran

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

Abstract

Purpose: This research aims to investigate the pivotal role of the convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things (AIoT) as the primary driving engine and key enabler for realizing the three fundamental pillars of the Fifth Industrial Revolution: human-centricity, resilience, and sustainability.

Methodology: This paper was conducted using a Systematic Review methodology. A search was performed in reputable scientific databases (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, Google Scholar) with keywords related to Industry ۵.۰ and AIoT for the ۲۰۰۹-۲۰۲۵ period. Selected articles were screened and analyzed based on inclusion and exclusion criteria.

Findings: The findings indicate that AIoT directly contributes to achieving the triple objectives of Industry ۵.۰. In the human-centric dimension, it enables safe and effective human-technology collaboration through the development of Collaborative Robots (Cobots) and advanced Human-Machine Interfaces (HMI). In the realm of resilience, it enhances the capacity of industries to cope with disruptions by implementing predictive maintenance and smart supply chains. Regarding sustainability, it helps reduce environmental impact through intelligent energy/resource management and support for the circular economy. Key identified challenges include data security, privacy, and the need for new skills.

Conclusion: The convergence of AI and IoT is a key technological paradigm with transformative potential for the transition to Industry ۵.۰. However, fully harnessing this potential requires a strategic approach from managers and policymakers to address technical, security, and skill-related challenges.

Keywords: Industry ۵.۰, Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), AIoT, Human-Centricity, Resilience, Sustainability.