

بهبود سازی داده‌های محاسبات لبه برای مدیریت کیفیت هوشمند:

چشم‌انداز انقلاب صنعتی ۵.۰

آرش آپرناک

دکتری مهندسی صنایع دانشگاه تهران و استاد یار دانشگاه معماری و هنر پارس :تهران : ایران

[Arash.apornak@ut.ac.ir](mailto:Arash.apornak@ut.ac.ir)

پوریا غلامحسین آجیلی

مهندسی صنایع ؛ دانشگاه معماری و هنر پارس ،تهران ،ایران

[Pouria.ajili@protonmail.com](mailto:Pouria.ajili@protonmail.com)

نگین رخساری اوغانی

مهندسی صنایع؛ دانشگاه معماری و هنر پارس ،تهران ،ایران

محمد آرین ستوده

مهندسی صنایع ؛ دانشگاه معماری و هنر پارس ،تهران ،ایران

#### چکیده:

در دهه گذشته، محققان بر روی فناوری‌های دیجیتال درانقلاب انقلاب صنعتی ی ۴.۰ تمرکز کرده‌اند. با این حال، به نظر می‌رسد که هیاهوی انقلاب صنعتی ۴.۰ انتظارات انقلاب صنعتی را به دلیل چالش‌های متعدد در پیاده‌سازی برآورده نکرده است. امروزه، انقلاب انقلاب صنعتی ی ۵.۰ یک رویکرد انسان‌محور را برای پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال پایدار به منظور بهبود کیفیت هوشمند ارائه می‌دهد. یکی از جنبه‌های مهم پایداری دیجیتال، کاهش مصرف انرژی فناوری‌های دیجیتال است. این کار می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی مانند بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف برق مراکز داده انجام شود. این تحقیق با توسعه یک مدل مفهومی برای ترویج انقلاب انقلاب صنعتی ی ۵.۰، ویژگی‌های انقلاب صنعتی ۴.۰ را تکمیل و گسترش می‌دهد. هدف این مدل، بهینه‌سازی داده‌ها بدون از دست دادن اطلاعات مهم موجود در داده‌های کلان است. این مدل با بهره‌گیری از محاسبات لبه، به عنوان یک عامل فعال در انقلاب صنعتی ۵.۰، بینش‌های به موقع و معناداری به سیستم ارائه می‌دهد و به دستیابی به تصمیم‌گیری در زمان واقعی کمک می‌کند. بدین ترتیب، ما به دنبال بهینه‌سازی ذخیره‌سازی داده‌ها و ایجاد شرایطی برای عقلانی‌سازی بیشتر منابع قدرت و پردازش هستیم. علاوه بر این، مدل پیشنهادی از جنبه اجتماعی به انقلاب صنعتی ۵.۰ کمک می‌کند و دانش نه تنها مهندسان با تجربه، بلکه کارگرانی که با ماشین‌ها کار می‌کنند را نیز در نظر می‌گیرد. در نهایت، پیاده‌سازی انقلاب صنعتی از طریق یک اثبات مفهوم با استفاده از داده‌های تولیدی از انقلاب صنعتی فرآیند انجام شد که در آن مقدار داده‌ها بدون از دست دادن اطلاعات قابل توجه موجود در داده‌های کلان، ۹۹.۷۳٪ کاهش یافت.

کلیدواژه: سیستم‌های سایبر-فیزیکی انسانی (HCPS) - تجزیه و تحلیل داده‌های کلان (BDA) - اینترنت اشیاء انقلاب صنعتی (IIoT)

- مدیریت کیفیت هوشمند - پایداری دیجیتال - بهینه‌سازی داده‌ها

**Keywords:** human-cyber-physical systems (HCPS); big data analytics (BDA); Industrial Internet of Things (IIoT); smart quality management; digital sustainability; data optimization.

## ۱- مقدمه:

در دهه گذشته، هيجانی جهانی پيرامون ايجاد سيستم‌های توليد هوشمند و متصل مبتنی بر انقلاب صنعتی ۴.۰ شکل گرفته است که بر نقش سيستم‌های ساير-فيزيکی تأکيد می‌کند [۱،۲]. به نوبه خود، محیط‌های که در آن اشیاء فیزیکی و نرم‌افزارها به‌طور نزدیک از طريق اینترنت اشیاء انقلاب صنعتی یکپارچه شده‌اند [۳،۴]، تعامل انسان و ماشین را بهبود بخشیده اما جنبه‌های پایداری اجتماعی را محدود کرده‌اند [۵]. علاوه بر این، ادبیات مربوطه چالش‌های اجرایی مدیریتی را گزارش می‌دهد [۶]. این چالش‌ها، کمبود منابع انسانی را به‌عنوان بزرگ‌ترین مانع در راه اجرای انقلاب صنعتی ۴.۰ معرفی کرده‌اند. به این ترتیب، تحولات فناوری انقلاب صنعتی ۴.۰ به‌دقت به انسان‌ها به‌عنوان نقطه مرکزی در محیط‌های توليدي توجه نکرده‌اند [۷]. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که رویکرد متمرکز بر فناوری انقلاب صنعتی ۴.۰ ناکافی بوده است، زیرا عدم تأثیر انسانی در کاربرد انقلاب صنعتی ۴.۰ گزارش شده است [۶،۸]. مفهوم جدید انقلاب صنعتی ۵.۰ به‌منظور قرار دادن جنبه انسانی در مرکز توجه در نظر گرفته شده است.

فرآیندهای توليد [۵،۹]، با تأکید بر جنبه‌های اجتماعی و دیجیتال پایدار، با هدف توسعه سيستم‌های ساير-فيزيکی انسانی [۱،۱۰] صورت می‌گیرد. با درک این نیاز به تغییر تمرکز، انقلاب صنعتی ۵.۰ بر هم‌افزایی بین انسان‌ها و ماشین‌های خودکار با ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی تأکید می‌کند [۷،۱۱]. به‌طور خاص، انقلاب صنعتی ۵.۰ به یک انقلاب صنعتی دیجیتال پایدار، متمرکز بر انسان و مقاوم اشاره دارد [۵،۹]. این انتقال، ايجاد را تقویت می‌کند. به‌عنوان بخشی از مفهوم انقلاب صنعتی ۵.۰، نمایانگر یک سيستم هوشمند پیچیده است که شامل انسان‌ها (یعنی مهندسان [۱۲،۱۳]، کارگران [۱۱،۱۴] و محققان داده) می‌باشد—که جنبه‌های اجتماعی، دانش و تجربه، سيستم‌های سايری و اشیاء فیزیکی متصل از طريق را در نظر می‌گیرد [۱۵]— با هدف دستیابی به مدیریت کیفیت هوشمند [۱۶] با قابلیت‌های «خودآگاهی»، «خودپیش‌بینی» و «خودنگهداری» [۴،۱۷]. با این حال، تعدادی چالش برای پیاده‌سازی در انقلاب صنعتی باقی مانده است [۱۸]. به‌طور خاص، سيستم‌های ساير-فيزيکی انسانی نیاز به توليد حجم زیادی از داده‌های توليدي دارند که به آن کلان داده می‌گویند [۱۹]. کلان داده در توليد [۲۰] شامل داده‌های خام بسیار توزیع شده، ساختاریافته، نیمه‌ساختاریافته و غیرساختاریافته است که توسط حسگرهای چندمنبع از طريق ارتباطات درون‌سیستمي و ارتباطات مرتبط با خارج توليد می‌شود [۲۱-۲۳]. با استفاده از فناوری‌های دیجیتال جدید و روش‌های تحلیلی هوشمند، کلان داده راه‌حل‌های جدیدی را برای بهبود قابلیت اطمینان و اثرگذاری سيستم‌های توليد ارائه می‌دهد [۲۱-۲۴]. برای مقابله با حجم کلان داده، منابع گسترده‌ای از ذخیره‌سازی، قدرت و پردازش مورد نیاز است که رایانش ابری و لبه (را به فناوری‌های اصلی انتخاب تبدیل می‌کند [۲۵،۲۶]. رایانش ابری و رایانش لبه هرکدام مزایا و معایبی برای دارند. از یک سو، رایانش ابری عملکرد بالایی در ذخیره‌سازی، پردازش و تحلیل کلان داده‌های توليد شده از طريق ارائه می‌دهد. چالش‌های استفاده از رایانش ابری شامل هزینه‌های بالا، مصرف انرژی بالا، مسائل امنیتی و زمان‌های پاسخ طولانی است [۲۷]. از سوی دیگر، رایانش لبه امنیت بیشتری و پردازش داده‌ها در زمان واقعی را با هزینه و مصرف انرژی کمتر ارائه می‌دهد. با این حال، راه‌حل‌های رایانش لبه از نظر ذخیره‌سازی و قدرت پردازش محدود هستند [۲۷،۲۸] و بهینه‌سازی داده‌ها برای کاهش تعداد نمونه‌های داده لازم است. تا آنجا که ما می‌دانیم، ادبیات مرتبط راه‌حلی برای ارائه نمی‌دهد که معیارهای تحلیل و بهینه‌سازی کلان داده‌ها را به‌طور مؤثر و پایدار و با هزینه‌های پایین برآورده کند. تحقیق حاضر هدف دارد تا این شکاف را با بهینه‌سازی کارآمد کلا داده و همچنین عقلانی‌سازی منابع قدرت و پردازش با استفاده از فناوری رایانش لبه برای توليد مقاوم پر کند. به‌طور خاص، با استفاده از رایانش لبه، تحقیق حاضر پیشنهاد می‌دهد که داده‌های کوچک ذخیره‌شده درون سيستم توليد به‌دست آید و از آن برای پیاده‌سازی

استفاده شود. بنابراین، ما استدلال می‌کنیم که با بهینه‌سازی کلان داده‌ها، می‌توان مجموعه داده‌های کوچک‌تری تهیه کرد که شامل نمونه‌های داده‌ای به‌طور دقیق انتخاب‌شده است که برای استفاده‌های بعدی در مدیریت کیفیت هوشمند ارزش افزوده دارد. مجموعه داده‌های کوچک‌تری که به این ترتیب ایجاد می‌شود می‌تواند به‌عنوان مجموعه داده‌های کوچک به‌دقت انتخاب‌شده تعریف شود که از کلان داده از طریق بهینه‌سازی به‌دست آمده و بدون از دست دادن اطلاعات مهم موجود در کلان داده در ابتدا است. عدم از دست دادن اطلاعات مهم به این معنی است که استفاده از داده‌های کوچک کیفیت قابلیت‌های خودپیش‌بینی سیستم را کاهش نخواهد داد، زیرا تنها شامل نمونه‌های داده‌ای با ارزش افزوده است. بنابراین، تحقیق حاضر یک مدل مفهومی جدید برای بهینه‌سازی داده‌های رایانش لبه با ایجاد داده‌های کوچک توسعه می‌دهد که بینش‌های به‌موقع و معنادار به سیستم‌های تولید ارائه می‌دهد و به‌صورت قابل دسترسی و قابل درک سازماندهی شده‌اند و به این ترتیب کارایی منابع را بهینه کرده و به پایداری سیستم‌های تولید بدون کاهش کیفیت قابلیت‌های خودپیش‌بینی سیستم کمک می‌کند. مدل مفهومی —الهام‌گرفته از روش‌شناسی داده‌کاوی در چارچوب مفهوم انقلاب صنعتی ۵.۰ که بر جنبه دانش انسانی، تاب‌آوری تقویت‌شده توسط رایانش لبه و پایداری از طریق بهینه‌سازی منابع تأکید دارد— شامل سه مرحله اصلی است که به چندین مرحله تقسیم می‌شود. در نهایت، یک اثبات مفهوم با استفاده از داده‌های تولیدی از یک شرکت انقلاب صنعتی ی انجام می‌شود. تحقیق حاضر به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است. بخش ۲ زمینه نظری انقلاب صنعتی ۵.۰، داده‌های تولیدی و رایانش لبه را ارائه می‌دهد. بخش ۳ به روش تحقیق و جزئیات توسعه و اعتبارسنجی مدل مفهومی را ارائه می‌دهد. بخش ۴ نتایج توسعه مدل مفهومی و همچنین اثبات مفهوم را با استفاده از داده‌های تولیدی ارائه می‌دهد. در نهایت، بخش ۵ به بحث درباره نتایج، جمع‌بندی مشارکت‌ها و استنتاج نتایج می‌پردازد.

## ۲- زمینه:

مدیریت کیفیت هوشمند در انقلاب صنعتی ۵.۰ در سال‌های اخیر، تمرکز بر سیستم‌های تولید هوشمند، انقلاب صنعتی را به سمت تنوع جدیدی از راه‌حل‌های فنی پیشرفته سوق داده است. در واقع، سیستم‌های تولید هوشمند غالباً شامل قابلیت‌های بهینه‌سازی مدیریت کیفیت هوشمند [۲۹] برای کاهش زمان و هزینه بهبود کل کارایی تولید با استفاده از رویکردی متمرکز بر فناوری مانند انقلاب صنعتی ۴.۰ هستند. با این حال، انقلاب صنعتی ۵.۰ مرحله جدیدی از توسعه انقلاب صنعتی را پیشنهاد می‌دهد که بر پایه مراحل قبلی انقلاب صنعتی ی‌سازی بنا شده و بر پایداری دیجیتال و رویکردهای متمرکز بر انسان [۳۰] به فناوری تأکید دارد. از یک سو، انقلاب صنعتی ۵.۰ ارتباط قوی با پایداری دیجیتال [۳۱] دارد. یکی از جنبه‌های کلیدی انقلاب صنعتی ۵.۰، ادغام فناوری‌های دیجیتال پیشرفته در فرآیندهای تولید است. این فناوری‌ها می‌توانند برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، کاهش ضایعات و مصرف انرژی و بهبود کلی کارایی استفاده شوند. از سوی دیگر، کمیسیون اروپا تأکید کرده است که انسان‌ها هنوز هم مهم‌ترین دارایی هر شرکتی هستند: آن‌ها ماهر، هوشمند، انعطاف‌پذیر و خلاق هستند و در اکثر موارد بر ماشین‌ها یا ربات‌ها برتری دارند (کمیسیون اروپا ۲۰۱۹). در پاسخ به این تغییر تمرکز، مدیریت کیفیت هوشمند در مفهوم انقلاب صنعتی ۵.۰ معرفی شده است که نقش اصلی بخش تحقیق و نوآوری را در حمایت از انقلاب صنعتی در خدمات بلندمدت به بشریت تأکید می‌کند [۵]. بنابراین، مهم است که تأکید شود که ایجاد مدیریت کیفیت هوشمند در انقلاب صنعتی ۵.۰ نه تنها یک گزینه جایگزین، بلکه ادامه‌ای زمان‌بندی‌شده از مفهوم فعلی انقلاب صنعتی ۴.۰ [۷] نیست. بلکه نتیجه‌ای از یک دیدگاه آینده‌نگر برای نیاز به مهارت‌ها، دانش و توانایی‌های مهندسان و کارگران برای همکاری با ماشین‌ها و ربات‌ها از یک سو و انعطاف‌پذیری در فرآیندهای تولید و تأثیرات زیست‌محیطی از سوی دیگر است. از این رو، مدیریت کیفیت

هوشمند در انقلاب صنعتی ۵۰ به عنوان مکمل و توسعه دهنده انقلاب صنعتی ۴۰ به شمار می آید [۵،۷]. از آن جا که انقلاب صنعتی ۵۰ یک مفهوم جدید است، تعاریف رسمی هنوز ایده های انتزاعی را که از عمل تعمیم داده شده اند، نمایان می سازند و عمدتاً بر جنبه های انسانی [۱۱،۳۲] و تولید هوشمند پایدار و مقاوم [۵،۳۳] تمرکز دارند. به این ترتیب، تعاریف اولیه انقلاب صنعتی ۵۰ به حوزه تحقیق بستگی دارد. از این رو، ما تصمیم گرفتیم تعریفی از انقلاب صنعتی ۵۰ ارائه دهیم که بر مدیریت کیفیت هوشمند تأکید داشته و بر محیط انقلاب صنعتی متمرکز بر انسان تمرکز کند. به طور مشخص، تعریف انقلاب صنعتی ۵۰ که از منابع ذکر شده استخراج شده به صورت زیر است: انقلاب صنعتی ۵۰ نمایانگر مفهوم انتقال به یک انقلاب صنعتی متمرکز بر انسان، پایدار و مقاوم [۵،۹،۳۴] برای بهبود کیفیت فرآیندها، محصولات و سیستم ها است که توسط فناوری های پیشرفته، گروه بندی شده در دسته های زیر (طبق [۳۵]) هدایت می شود: • تعامل فردی انسان و ماشین (شامل رباتیک هوش مصنوعی و واقعیت افزوده و مجازی)؛ • شبیه سازی سیستم های تولید) شامل CPS، دوقلوهای دیجیتال محصولات، فرآیندها و کل سیستم ها) فناوری های انتقال، ذخیره سازی و تحلیل داده) شامل، امنیت سایبری، تحلیل کلان داده و رایانش لبه.

## ۲-۲- داده های تولید:

کلان داده در تولید (که به اختصار به آن کلان داده می گویند) به داده های کف کارگاه اشاره دارد که در طول فرآیند تولید جمع آوری می شوند. کلان داده به حجم زیادی از داده های خام، ساختاریافته و غیرساختاریافته بسیار توزیع شده اشاره دارد که توسط حسگرهای چندمنبع [۲۱،۲۲]، ارتباطات درون سیستمی و اطلاعات خارجی مرتبط تولید می شود و با استفاده از فناوری و روش های تحلیلی جدید به ارزش تبدیل می گردد [۱۹،۲۳]. بنابراین، کلان داده های تبدیل شده به اطلاعات ارزشمند، راه حل های جدیدی را برای بهبود تولید سیستم های تولید ارائه می دهند.

## ۲-۳- رایانش لبه:

رایانش لبه نحوه مدیریت، پردازش و استفاده از داده ها را از منابع مختلف تولید (یعنی ماشین ها و دستگاه ها) تغییر می دهد [۳۹]. اخیراً، انقلاب صنعتی به طور فزاینده ای به فناوری رایانش لبه تمایل پیدا کرده است [۴۰]. این انتخاب به دلیل رشد منابع تولید متصل به، کاربرد روش های تحلیلی داده که نیاز به فناوری محاسباتی با مصرف انرژی کمتر دارند، و نیاز به تصمیم گیری در زمان واقعی است [۲۷،۳۹]. این روند همچنین در افزایش تعداد مقالات علمی که به کاربرد رایانش لبه در سیستم های تولید می پردازند، ثبت شده است [۴۱،۴۲]. دلیل این روند این است که محاسبات توزیع شده رایانش لبه امکان پردازش و ذخیره داده ها را در نزدیکی منابع تولید فراهم می کند که از تولید پایدار و مقاوم پشتیبانی می کند [۲۶]. با این حال، رایانش لبه محدودیت هایی در زمینه استفاده از منابع انرژی و پردازش و اندازه فضای ذخیره سازی دارد [۲۷،۲۸]. به همین دلیل، کار با مجموعه داده های کوچک مقیاس [۴۳] منجر به استفاده بهینه از منابع برای انرژی و پردازش می شود، در حالی که فضای ذخیره سازی و هزینه های تحلیل مورد نیاز را کاهش می دهد [۴۳]. بنابراین، نیاز به جایگزینی کلان داده با مجموعه های کوچک داده های دقیقاً انتخاب شده برای استفاده در سیستم های مدیریت کیفیت هوشمند بدون از دست دادن اطلاعات کلان داده های مهم وجود دارد [۱۴].

## ۳- روش تحقیق:

طبق گفته و همکاران [۴۴]، اصطلاح «مفهومی» به معنای «مرتبط با انتزاع یا درک یک وضعیت» است. و همکاران [۴۵] مدل سازی و استدلال بر روی مدل ها را به عنوان «قابلیت های اساسی انسانی برای کنار آمدن با محیط، درک آن و تأثیرگذاری بر

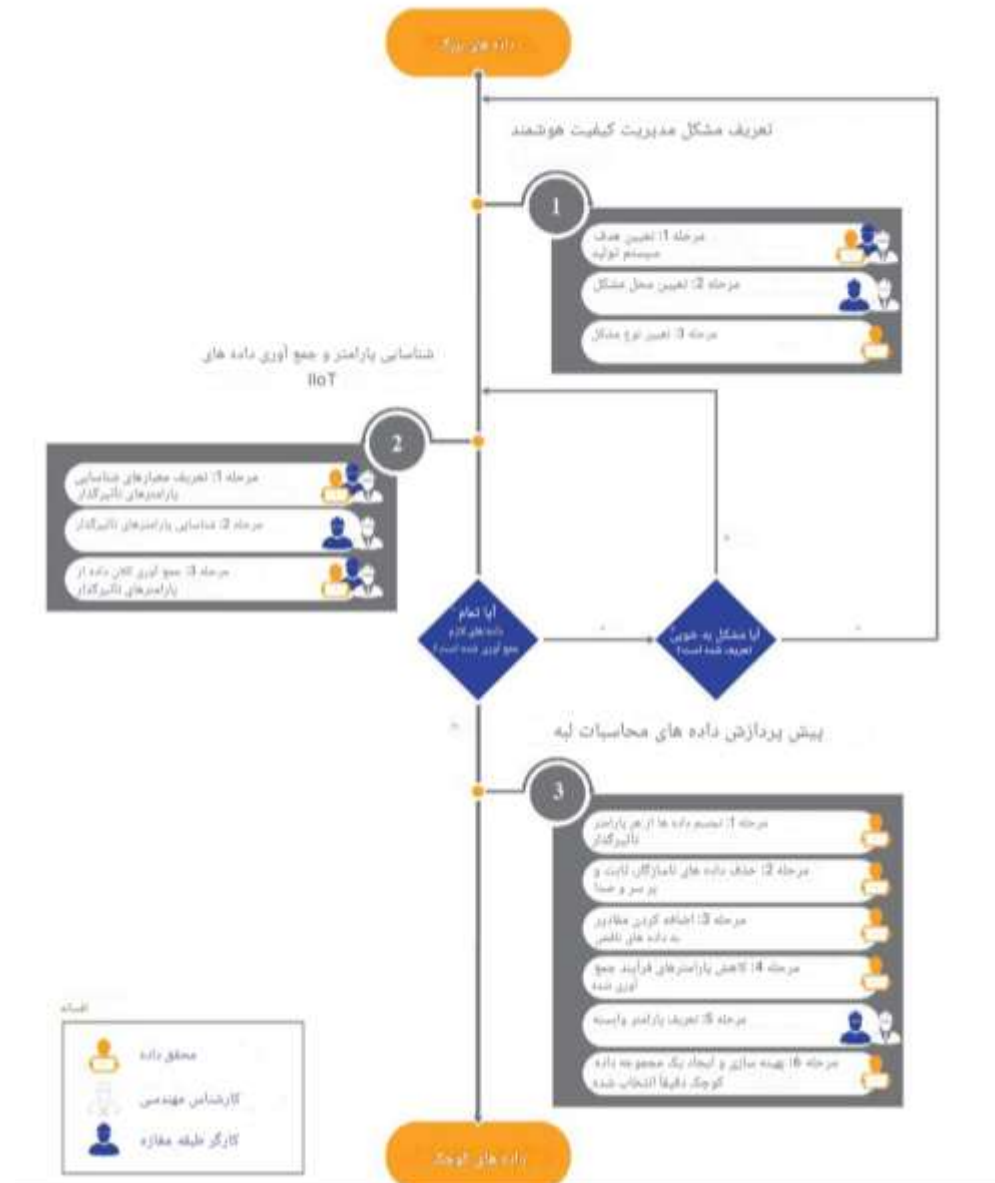
آن» توصیف می‌کنند. مدل‌سازی مفهومی، به‌عنوان یک فعالیت تحقیقاتی، «به‌طور رسمی برخی جنبه‌های دنیای فیزیکی و اجتماعی اطراف ما را به‌منظور درک و ارتباط توصیف می‌کند» [۴۶]. بنابراین، مدل‌سازی مفهومی یکی از فعالیت‌های اصلی در مهندسی سیستم‌های اطلاعاتی [۴۵] به‌شمار می‌آید. تحقیق حاضر از مدل‌سازی مفهومی [۴۷-۴۹] برای توسعه مدلی برای بهینه‌سازی داده‌های رایانش لبه در انقلاب صنعتی ۵.۰ استفاده می‌کند. مدل توسعه‌یافته الهام‌گرفته از یکپارچگی انسان-سایبر-فیزیکی برای داده‌کاوی در چارچوب اکوسیستم انقلاب صنعتی ۵.۰ [۵۰-۵۲] است. به‌طور مشخص، توسعه مدل با تجربه عملی تیم تحقیقاتی در پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت کیفیت هوشمند در انقلاب صنعتی آشنا شد. سپس، یک روش اثبات مفهوم [۵۳،۵۴] برای مدل توسعه‌یافته به‌منظور بهینه‌سازی داده‌های رایانش لبه ارائه می‌شود که در انقلاب صنعتی با استفاده از داده‌های تولیدی درباره کیفیت محصول به کار می‌رود. طبق گفته [۵۵]، اثبات مفهوم به‌عنوان یک عمل تحقیقاتی، به‌عنوان ابزاری برای ساخت دانش در مطالعه خدمت می‌کند که شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها (یعنی اقدامات، حرکات، تحلیل‌ها، شبیه‌سازی‌ها، تکنیک‌ها و آزمایش‌ها و غیره) برای ارزیابی، درک، اعتبارسنجی، اکتشاف و یادگیری مدل‌های توسعه‌یافته در یک حوزه خاص از دانش به‌طور خاص، با استفاده از روش اثبات مفهوم، مدل توسعه‌یافته در شرایط واقعی انقلاب صنعتی ی بر روی داده‌های تولیدی جمع‌آوری شده در انقلاب صنعتی فرآوری، یعنی در خط تولید یک شرکت کفپوش وینیلی آزمایش شد. تجهیزاتی که برای اثبات مفهوم استفاده شد، کامپیوتر انقلاب صنعتی ۵۰۰۰ بود که توسط شرکت میتسوبیشی الکتریک توسعه یافته است. ۵۰۰۰ مبتنی بر رایانش لبه برای جمع‌آوری، تحلیل، تشخیص و بازخورد داده‌ها در زمان واقعی طراحی شده است و به همین دلیل مناسب برای اعتبارسنجی مدل مفهومی توسعه‌یافته با استفاده از داده‌های واقعی انقلاب صنعتی است. برای اجرای اثبات مفهوم، تیم تحقیقاتی، مهندسان شرکت و کارگران خط تولید همکاری کردند. تیم تحقیقاتی متشکل از ۵ دانشمند از حوزه‌های چندرشته‌ای مهندسی صنایع و علوم کامپیوتر بود. تیم متخصص شرکت شامل ۲ نفر از مدیریت ارشد، ۳ مهندس ارشد و ۵ کارگر از بخش تولید بود. به‌عبارت دیگر، مجموعاً ۱۵ متخصص در این پروژه همکاری کردند. اجرای اثبات مفهوم به مدت شش ماه به طول انجامید که این مدت شامل جمع‌آوری داده‌ها تا بهینه‌سازی نهایی مجموعه داده‌های کلان به مجموعه داده‌های کوچک دقیقاً انتخاب‌شده بود و در طی این مدت، جلسات مصاحبه به فاصله‌های دو هفته یکبار برگزار شد.

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- توسعه مدل مفهومی

در این زیر بخش، مدل مفهومی بهینه‌سازی داده‌های رایانش لبه توسعه‌یافته (شکل ۱) ارائه و توضیح داده می‌شود. این مدل متشکل از سه فاز است: • فاز ۱: تعریف مسئله مدیریت کیفیت هوشمند؛ • فاز ۲: شناسایی پارامترها و جمع‌آوری داده‌های • فاز ۳: پیش‌پردازش داده‌های رایانش لبه. جزئیات مراحل و فازهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است تا از تکرار جلوگیری شده و مطالعه مقاله تسهیل گردد. بهینه‌سازی داده برای مدیریت کیفیت هوشمند که توسط رایانش لبه در چارچوب انقلاب صنعتی ۵.۰ پشتیبانی می‌شود، شامل مدل مفهومی توسعه‌یافته است که در شکل ۲ ارائه شده است.

شکل ۱. مدل مفهومی برای بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه در مدیریت کیفیت هوشمند



جدول ۱. مراحل و گام‌های مدل مفهومی بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه توسعه‌یافت

| داده‌ها | شرکت<br>کنندگان | اجرای گام                                              | تعریف گام                                                                                                                                            | گام                                                            | مرحله                                          |
|---------|-----------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| X       | X               | مصاحبه با<br>کارشناسان<br>مهندسی و<br>کارگران خط تولید | تعیین هدف سیستم تولید بر<br>اساس هدف تجاری شرکت                                                                                                      | ۱. تعیین هدف<br>سیستم تولید                                    | ۱- تعریف مشکل<br>مدیریت کیفیت<br>هوشمند        |
| X       | X               | تحلیل کارشناسان<br>و کارگران                           | بررسی تمام مکان‌های بالقوه<br>(مشکل) با احتمال اینکه<br>محل مشکل ممکن است<br>شامل یک یا چند ماشین در<br>سیستم تولید باشد)                            | ۲. تعیین محل<br>مشکل                                           | ۱- تعریف مشکل<br>مدیریت کیفیت<br>هوشمند        |
|         | X               | داده‌کاوی                                              | تعیین هدف داده‌کاوی بر<br>اساس هدف تجاری شرکت،<br>با تأکید بر روش‌شناسی داده<br>کاوی (نوع مشکل داده‌کاوی،<br>به عبارت دیگر، طبقه‌بندی یا<br>رگرسیون) | ۳. تعیین نوع<br>مشکل                                           | ۱- تعریف مشکل<br>مدیریت کیفیت<br>هوشمند        |
| X       | X               | مصاحبه با<br>کارشناسان<br>مهندسی و<br>کارگران خط تولید | تعریف معیارها برای<br>شناسایی پارامترهای فرآیند<br>بر اساس هدف تجاری<br>شرکت                                                                         | ۱. تعریف<br>معیارها برای<br>شناسایی<br>پارامترهای<br>تأثیرگذار | ۲- شناسایی<br>پارامترها و جمع‌آوری<br>داده‌های |
| X       | X               | تحلیل کارشناسان<br>و کارگران                           | انتخاب پارامترهای تأثیرگذار<br>فرآیند بر اساس معیارهای<br>تعیین شده                                                                                  | ۲. شناسایی<br>پارامترهای<br>تأثیرگذار                          | ۲- شناسایی<br>پارامترها و جمع‌آوری<br>داده‌های |
| X       | X               | محاسبات لبه                                            | جمع‌آوری داده‌ها برای<br>پارامترهای فرآیند شناسایی                                                                                                   | ۳. جمع‌آوری<br>داده‌های کلان                                   | ۲- شناسایی<br>پارامترها و جمع‌آوری             |

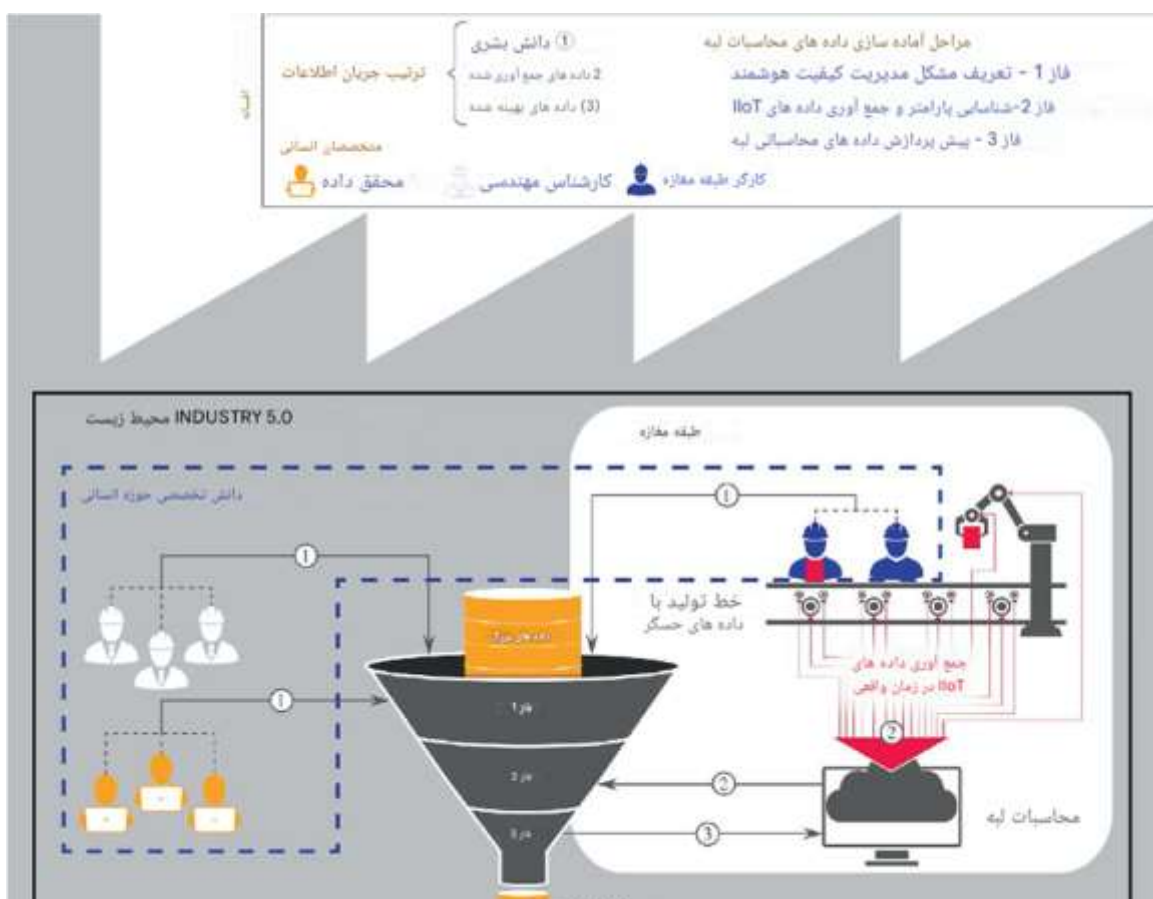
|                                         |                                                       |                                                                                                                                                                                       |                                                                                               |   |   |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| داده‌های                                | از پارامترهای<br>تأثیرگذار                            | شده در فرمت استاندارد) ، ،<br>، و غیره (به صورت بلادرنگ<br>برای یک دوره مشخص از<br>طریق شبکه                                                                                          |                                                                                               |   |   |
| ۳—پیش‌پردازش<br>داده‌های محاسبات<br>لبه | ۱. تجسم داده<br>های هر پارامتر<br>تأثیرگذار           | ارائه بصری داده‌های جمع<br>آوری شده برای پارامترهای<br>تأثیرگذار فرآیند که<br>اطلاعاتی درباره ماهیت آن‌ها<br>(وجود انحرافات معنادار یا<br>عدم وجود انحرافات معنادار )<br>ارائه می‌دهد | تحلیل بصری                                                                                    | X | X |
| ۳—پیش‌پردازش<br>داده‌های محاسبات<br>لبه | ۲. حذف داده<br>های ناسازگار،<br>ثابت و پر سر و<br>صدا | حذف دستی داده‌هایی که<br>دارای عیوب معنادار در نظر<br>گرفته می‌شوند) مقادیر ثابت<br>یا پر سر و صدا به دلیل نقص<br>در وسایل اندازه‌گیری)                                               | حذف ردیف‌های<br>دستی—داده‌های<br>زمان‌دار حذف<br>ستون‌های<br>دستی—داده‌های<br>عددی یا دسته‌ای | X |   |

|   |                                       |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                    |                                           |   |
|---|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---|
| ۱ | اضافه کردن مقادیر به داده<br>های ناقص | افزودن مقادیر به داده‌های<br>ناقص در فضای خالی یک<br>ماتریس دوبعدی با استفاده<br>از روش‌های تحلیلی مناسب<br>برای افزودن مقادیر بر اساس<br>نوع داده | میانگین /میانه /مد<br>—برای داده‌های<br>عددی گم‌شده یا<br>جایگذاری<br>چندگانه — برای<br>داده‌های عددی یا<br>دسته‌بندی شده یا<br>تنظیم فصلی +<br>درونیابی خطی —<br>برای داده‌های<br>زمانی با روند و | بسته به نوع داده،<br>روش انتخاب می<br>شود | X |
|---|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---|

|   |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                          |                                                |   |
|---|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---|
|   |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | فصلی                                                                                                     |                                                |   |
| ۲ | کاهش پارامترهای فرایند<br>جمع آوری شده        | کاهش ابعاد داده‌ها با<br>استفاده از تحلیل همبستگی<br>یا رگرسیون خطی چندگانه<br>برای کاهش تعداد<br>پارامترهای مستقل فرایند و<br>ساده‌سازی مجموعه داده‌ها                                                                                                                                                              | تحلیل همبستگی<br>- نوع داده کاوی<br>دسته‌بندی یا<br>رگرسیون خطی<br>چندگانه - نوع<br>داده کاوی<br>رگرسیون | بسته به نوع داده<br>کاوی، روش<br>انتخاب می‌شود | X |
| ۳ | تعریف پارامتر وابسته                          | انتخاب مقدار خروجی<br>پارامترهای فرایند بر اساس<br>هدف تعیین شده داده کاوی                                                                                                                                                                                                                                           | تحلیل کارشناسان<br>و کارگران                                                                             | X                                              | X |
| ۴ | بهینه‌سازی و ایجاد مجموعه<br>داده‌ی دقیق کوچک | پیش‌پردازش مجموعه داده<br>های جمع‌آوری شده که<br>شامل پارامترهای تأثیرگذار<br>فرایند است، با استفاده از<br>تحلیل محدوده برای<br>محاسبه تفاوت بین مقادیر<br>بیشینه و کمینه با کاهش<br>تمام فایل‌های جمع‌آوری<br>شده به یک فایل با ابعاد<br>یکسان. سپس مجموعه داده<br>های پیش‌پردازش شده به<br>پارامتر وابسته مرتبط می | تحلیل محدوده                                                                                             | X                                              |   |

|  |  |       |  |  |  |
|--|--|-------|--|--|--|
|  |  | شوند. |  |  |  |
|  |  |       |  |  |  |

شکل ۲. بهینه سازی داده ها برای مدیریت کیفیت هوشمند که با محاسبات لبه ای از منظر انقلاب صنعتی ۵.۰ توانمندسازی شده است.



#### ۱-۴-۱-۱- تعریف مشکل مدیریت کیفیت هوشمند:

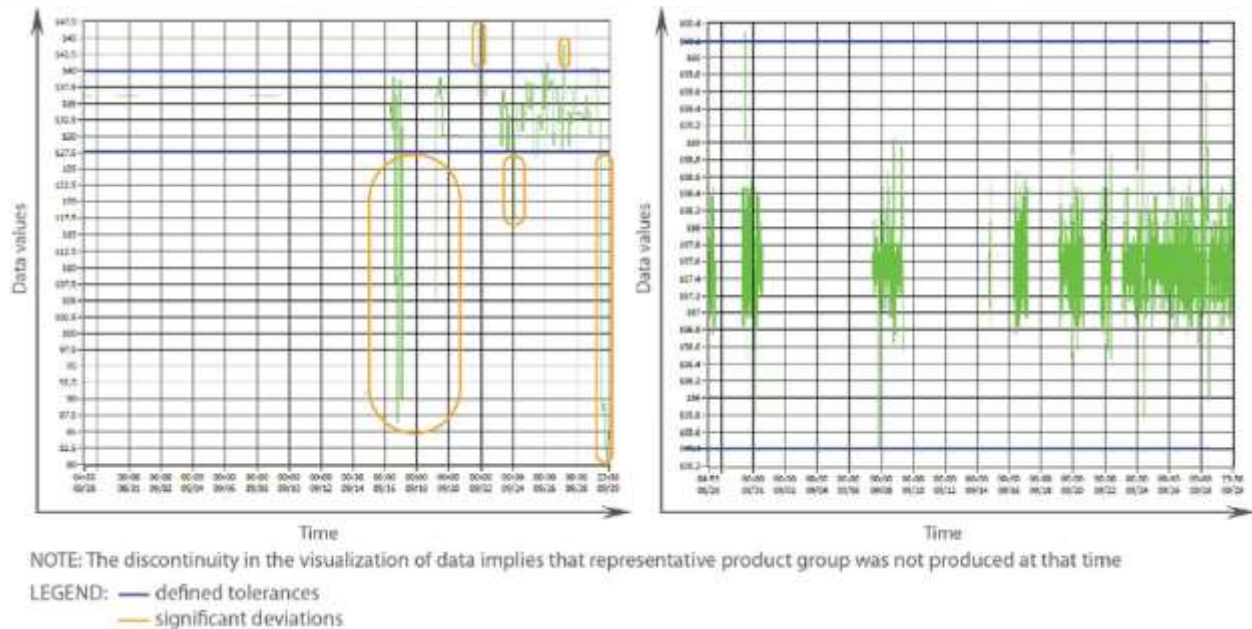
فاز ۱ به هدف تعریف سیستماتیک مشکل در سیستم تولید خاص می‌پردازد. این به معنای درک کافی از فرآیندها و فعالیت‌ها در آن سیستم تولید است. به‌ویژه، برای تبدیل یک سیستم تولید به یک سیستم تولید هوشمند در انقلاب صنعتی ۵.۰،

ضروری است که محققان داده به‌طور کامل درک کنند که چگونه فرآیندهای خاص در شرکت کار می‌کنند، که این امر به آن‌ها این امکان را می‌دهد که آگاهی یابند کدام داده‌ها باید تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی شوند و از کدام روش‌های تحلیلی پیشرفته باید استفاده شود. دستیابی به درک صحیح از یک سیستم تولید کامل یک کار پیچیده است، زیرا نیاز به کسب دانش درباره تمام فرآیندها و همچنین برقراری همکاری با کارشناسان مهندسی و کارگران خط تولید دارد که آن دانش را به محققان داده ارائه می‌دهند. مدل مفهومی توسعه‌یافته سه مرحله برای تعریف مشکل مدیریت کیفیت هوشمند (فاز ۱) پیشنهاد می‌کند: (۱) تعیین اهداف سیستم تولید؛ (۲) تعیین موقعیت مشکل؛ و (۳) تعیین نوع مشکل (برای جزئیات بیشتر به جدول ۱ مراجعه کنید).

#### ۴-۱-۲- مرحله ۲- شناسایی پارامترها و جمع‌آوری داده‌های:

این فاز امکان جمع‌آوری داده‌های واقعی در زمان واقعی را که در طول فرآیند تولید می‌شوند، فراهم می‌آورد. قابل‌توجه است که برای اطمینان از جمع‌آوری سیستماتیک داده‌ها، لازم است ارتباط و بحث مستمر بین کارشناسان مهندسی، کارگران خط تولید و محققان داده برقرار شود. پس از آن، محققان داده داده‌ها را بر اساس دانش و تجربه کارشناسان و کارگران آماده می‌کنند. به‌ویژه، هنگام استفاده از بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه‌ای در انقلاب صنعتی ۵.۰، لازم است اطمینان حاصل شود که از فضای پایگاه داده موجود به‌طور بهینه استفاده می‌شود. جمع‌آوری داده‌های مرتبط به‌طور انحصاری با پارامترهای فرآیندی تأثیرگذار شناسایی شده که به‌طور مستقیم بر وقوع یک مشکل تعریف‌شده در سیستم تولید تأثیر می‌گذارند، امکان استفاده بهینه از فضای پایگاه داده را فراهم می‌آورد. مدل مفهومی توسعه‌یافته سه مرحله برای شناسایی پارامترها و جمع‌آوری داده‌های پیشنهاد می‌کند

(مرحله ۲): (۱) تعریف معیارها برای شناسایی پارامترهای تأثیرگذار؛ (۲) شناسایی پارامترهای تأثیرگذار؛ و (۳) جمع‌آوری داده‌های کلان از پارامترهای تأثیرگذار (به جدول ۱ مراجعه کنید) که برای تعیین کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده به تصویر کشیده شده‌اند (شکل ۳)



"انحرافات معنی داری وجود دارد (مقادیر داده‌ها در محدوده‌های تعریف شده نیستند)؛ (ب) هیچ انحراف معنی داری وجود ندارد (مقادیر داده‌ها در محدوده‌های تعریف شده هستند). شکل ۳. ارائه بصری پارامترهای فرآیند تأثیرگذار جمع‌آوری شده در شرکت مورد مطالعه: (الف) انحرافات معنی داری وجود دارد (مقادیر داده‌ها در محدوده‌های تعریف شده نیستند)؛ (ب) هیچ انحراف معنی داری وجود ندارد (مقادیر داده‌ها در محدوده‌های تعریف شده هستند)".

### ۳-۱-۴- مرحله ۳- پیش پردازش داده‌های محاسبات لبه‌ای:

مرحله پیش‌پردازش داده‌های محاسبات لبه‌ای تمام فعالیت‌ها را برای ساخت مجموعه داده‌های نهایی بهینه‌شده کوچک که آماده ورود به ابزارهای مدل‌سازی ریاضی است، پوشش می‌دهد تا تحلیلی از داده‌های فرآیند انجام شود و یک مدل ریاضی برای پردازش داده‌ها توسعه یابد. وظایف شامل تحلیل سوابق جدول و انتخاب ویژگی‌ها، همچنین تبدیل و پاک‌سازی داده‌ها برای ابزارهای مدل‌سازی است. بنابراین، نقطه شروع مرحله ۳، درک مناسب از داده‌های خام جمع‌آوری شده (مرحله ۲) است. درک مجموعه‌های داده خام به معنای تفسیر مقادیر داده‌های کلان جمع‌آوری شده است. مدل مفهومی توسعه یافته شش مرحله برای پیش‌پردازش داده‌های محاسبات لبه‌ای (مرحله ۳) پیشنهاد می‌دهد: (۱) تجسم داده‌ها از هر پارامتر تأثیرگذار، (۲) حذف داده‌های ناسازگار، ثابت و نویزی، (۳) اضافه کردن مقادیر به داده‌های ناقص، (۴) کاهش پارامترهای فرآیند جمع‌آوری شده، (۵) تعریف پارامتر وابسته، و (۶) بهینه‌سازی و ایجاد یک مجموعه داده کوچک به دقت انتخاب شده. شایان ذکر است که نیازی به اجرای همه مراحل تعریف شده از مرحله پیش‌پردازش داده‌ها هنگام اعمال مدل در یک محیط تولیدی نیست. اجرای مراحل تعریف شده در قابلیت تعمیم مدل مفهومی توسعه یافته منعکس می‌شود که به‌طور انحصاری به ماهیت داده‌های کلان جمع‌آوری شده و مشکلی که در مرحله ۱ تعریف شده است، بستگی دارد (به جدول ۱ مراجعه کنید).

## ۲-۴- اثبات مفهوم:

این بخش اثبات مفهوم مدل مفهومی بهینه سازی داده های محاسبات لبه ای توسعه یافته را ارائه می دهد. اثبات مفهوم با اعمال مدل مفهومی بر روی داده های تولید زمان دار جمع آوری شده از یک انقلاب صنعتی در یک محیط سایبر-فیزیکی انسانی از انقلاب صنعتی ۵۰ به دست آمد (شکل ۲). هدف اصلی شرکت مورد مطالعه در پیاده سازی مدل مفهومی توسعه یافته، شناسایی محصولات با کیفیت پایین در تولید به منظور افزایش کارایی شرکت بود. به طور خاص، ما مدل مفهومی توسعه یافته را بر روی داده های تولید جمع آوری شده از انقلاب صنعتی کفپوش وینیل اعمال کردیم. کفپوش وینیل در قالب رول تولید و تحویل داده می شود، که وجود یک خط تولید پیوسته را ضروری می سازد. خط تولید خاص شامل ۱۲ دستگاه و ۸۵۰ متر طول است. از آنجا که تعداد ماشین آلات پیچیدگی فرآیند تولید و برنامه ریزی و کنترل تولید را افزایش می دهد، عملیات تولید خط را به ۵ خوشه تقسیم کرده است. یک خوشه بخشی از خط تولید است که شامل یک یا چند دستگاه است، جایی که تجربه نشان داده است که عدم سازگاری در پارامترهای فرآیند بر روی یک ماشین می تواند منجر به تولید محصول با کیفیت پایین بر روی ماشین بعدی شود. علاوه بر این، ماشین ها باید در ترتیب عملیات تولید گروه بندی شوند.

تجهیزاتی که برای اعتبارسنجی مدل مفهومی توسعه یافته استفاده شده، یک رایانه انقلاب صنعتی مبتنی بر محاسبات لبه ای برای جمع آوری و تحلیل داده ها به صورت بلادرنگ است. فناوری محاسبات لبه ای اعمال شده، ۵۰۰۰ است، راه حلی که توسط میتسوبیshi الکتریک توسعه یافته است. هدف از استفاده از ۵۰۰۰، کاهش سیستماتیک داده های کلان با بهینه سازی آن به یک مجموعه داده کوچک به دقت انتخاب شده است که آماده استفاده برای مدل سازی داده ها باشد. نتایج اثبات مفهوم مبتنی بر داده های تولید در جدول ۲ ارائه شده است.

## جدول ۲. نتایج اثبات مفهوم بر اساس داده های سیستم تولید مورد مطالعه

| فاز                                       | مرحله                                                  | مرحله اجرای روش                                       | نتایج                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مدیریت مشکل تعریف—۱<br>هوشمند کیفیت       | سیستم هدف تعیین ۱۰<br>تولید                            | کارشناسان با مصاحبه<br>کف کارگران و مهندسی<br>کارخانه | بهبود: تولید سیستم شده تعیین هدف<br>گروه (از) انتخابی محصول کیفیت<br>تعداد کاهش برای (نماینده)<br>را نیاز مورد کیفیت که محصولاتی<br>ندارند                                 |
|                                           | مشکل مکان تعیین ۲۰                                     | و کارشناسان تحلیل<br>کارگران                          | دستگاه: مشکل شده تعیین مکان<br>۱ خوشه دوم، دهی پوشش                                                                                                                        |
|                                           | مشکل نوع تعیین ۳۰                                      | کاوی داده                                             | بندی دسته: شده تعیین مشکل نوع                                                                                                                                              |
| آوری جمع و پارامتر شناسایی—۲<br>داده IIOT | برای معیار تعریف ۱۰<br>پارامترهای شناسایی<br>تأثیرگذار | کارشناسان با مصاحبه<br>کف کارگران و مهندسی<br>کارخانه | پارامترهای انتخاب: شده تعیین معیار<br>مشابه های تفرانس اساس بر فرآیند<br>گروه) محصولات نماینده گروه برای<br>محصولاتی شامل محصولات نماینده<br>سیستم در تعداد بیشترین که است |

|  |                                                  |                                    |                                                                                                                                                                     |
|--|--------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                  |                                    | (سالانه تولید لحاظ از دارند تولیدی                                                                                                                                  |
|  | پارامترهای شناسایی ۲۰<br>تأثیرگذار               | و کارشناسان تحلیل<br>کارگران       | شناسایی تأثیرگذار پارامترهای تعداد<br>۱۵ شده<br>ویسکوزیته درام، دمای خط، سرعت)<br>(غیره و                                                                           |
|  | از بزرگ داده آوری جمع ۳۰<br>تأثیرگذار پارامترهای | ای لبه محاسبات (Edge<br>computing) | روز ۳۳: داده آوری جمع دوره<br>CSV فایل: داده فرمت<br>شده آوری جمع های فایل تعداد<br>۶۵۳۴<br>۳۰۰: فایل هر در هاداده تعداد<br>داده: واحدهای تعداد مجموع<br>۲۹,۴۰۳,۰۰۰ |

جدول ۲. ادامه

| نتایج                                                                                              | مرحله اجرای روش                     | مرحله                                           | فاز                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| نامتوازن داده مجموعه                                                                               | بصری تحلیل                          | پارامتر هر داده تجسم ۱۰<br>تأثیرگذار            | داده پردازش پیش —۳<br>ای لبه محاسبات |
| ۳۸۰۲: یافته کاهش های فایل تعداد<br>داده: واحدهای تعداد مجموع<br>۱۷,۱۰۹,۰۰۰                         | داده های ردیف دستی حذف<br>زمانی های | ناسازگار، های داده حذف ۲۰<br>نویز دارای و ثابت، |                                      |
| داده وجود عدم دلیل به نشده اجرا<br>ناقص های                                                        | بصری تحلیل                          | به مقادیر کردن اضافه ۳۰<br>ناقص های داده        |                                      |
| باقی تأثیرگذار پارامترهای تعداد<br>۱۲: کاهش از پس مانده<br>داده: واحدهای تعداد مجموع<br>۱۳,۶۸۷,۲۰۰ | همبستگی تحلیل                       | فرایند پارامترهای کاهش ۴۰<br>شده آوری جمع       |                                      |

|                                                |                           |                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵. وابسته پارامتر تعریف                        | و کارشناسان تحلیل کارگران | ‘۰’ مقدار) دودویی: وابسته پارامتر بدون نهایی محصول دهنده نشان دهنده نشان ‘۱’ مقدار و نقص صورت به نقص با نهایی محصول (پایین کیفیت کیفیت با نهایی محصولات کل تعداد ۵: پایین |
| یک ایجاد و سازی بهینه ۶. دقیق کوچک داده مجموعه | محدوده تحلیل              | CSV فایل یک به CSV فایل ۳۸۰۲ نمونه ۳۸۰۲ شامل فرد منحصربه شدند تبدیل داده داده واحدهای تعداد مجموع ۴۵,۶۲۴                                                                  |

### مرحله ۱- تعریف مشکل مدیریت کیفیت هوشمند (جدول ۲):

اولین مرحله مدل مفهومی یکی از چالش برانگیزترین مراحل برای تأیید مدل مفهومی بود. دلیل این امر دشواری در تعریف مشکل در زمانی است که فرآیند تولید پیچیده است. پیچیدگی فرآیند تولید در وابستگی متقابل تمام پارامترهای فرآیند برای گروه نماینده‌ای از محصولات (گروه نماینده محصولات از محصولاتی تشکیل شده است که پیکربندی پارامتری یکسانی برای خوشه مشاهده شده ماشین‌ها—خوشه ۱—دارند) در تمام خط تولید منعکس می‌شود. وابستگی متقابل تمام پارامترهای فرآیند به این معنی است که عدم سازگاری‌ها و عدم تطابق‌ها در پارامترهای فرآیند که به عنوان مثال در ابتدای خط تولید رخ می‌دهد، منجر به بروز محصول با کیفیت پایین در یکی از عملیات‌های بعدی می‌شود. این موضوع باعث بروز نادرستی‌هایی در استنباط محل دقیق یک عدم انطباق خاص می‌شود. در فرآیندهای تولید بسیار پیچیده، در نظر گرفتن تمام خط تولید برای شناسایی محل وقوع مشکل دشوار است. به همین دلیل، از طریق تحلیل کارشناسی، خوشه ۱ به عنوان دارای بیشترین احتمال شناسایی شد که عدم تطابق در پارامترهای فرآیند بر روی یک ماشین می‌تواند منجر به تولید محصولات با کیفیت پایین در یکی از ماشین‌های بعدی شود. علاوه بر این، تحلیل نشان داد که جلوگیری از خروج محصولات با کیفیت پایین از خوشه ۱ منجر به کاهش قابل توجه زباله در کل خط فرآیند می‌شود. شایان ذکر است که خوشه ۱ شامل سه ماشین است: پوشش اول، پوشش دوم و چاپ. همچنین با تحلیل داده‌های تولید، مشخص شد که بالاترین تعداد محصولات با کیفیت پایین در دوره تولید قبلی در خوشه ۱، به‌ویژه بر روی ماشین پوشش دوم شناسایی شده است. بنابراین، مشخص شد که وابستگی متقابل پارامترهای فرآیند در ماشین انتخاب شده به حداقل می‌رسد، زیرا این ماشین در ابتدای خط تولید قرار دارد که بروز محصولات با کیفیت پایین به‌طور انحصاری با خوشه ۱ مرتبط است. بنابراین، محل مشکل در شرکت مورد مطالعه، ماشین پوشش دوم است، که بر اساس آن مشکل مدیریت کیفیت هوشمند به عنوان یک نوع طبقه‌بندی در داده‌کاوی تعریف می‌شود.

### مرحله ۲- شناسایی پارامترها و جمع‌آوری داده‌های (جدول ۲):

در این مرحله، پارامترهای تأثیرگذار فرآیند تعریف شدند. پانزده پارامتر تأثیرگذار برای گروه نماینده‌ای از محصولات بر روی ماشین پوشش دوم شناسایی شد. سپس داده‌هایی برای پارامترهای تأثیرگذار فرآیند به‌صورت بلادرنگ جمع‌آوری شد که این

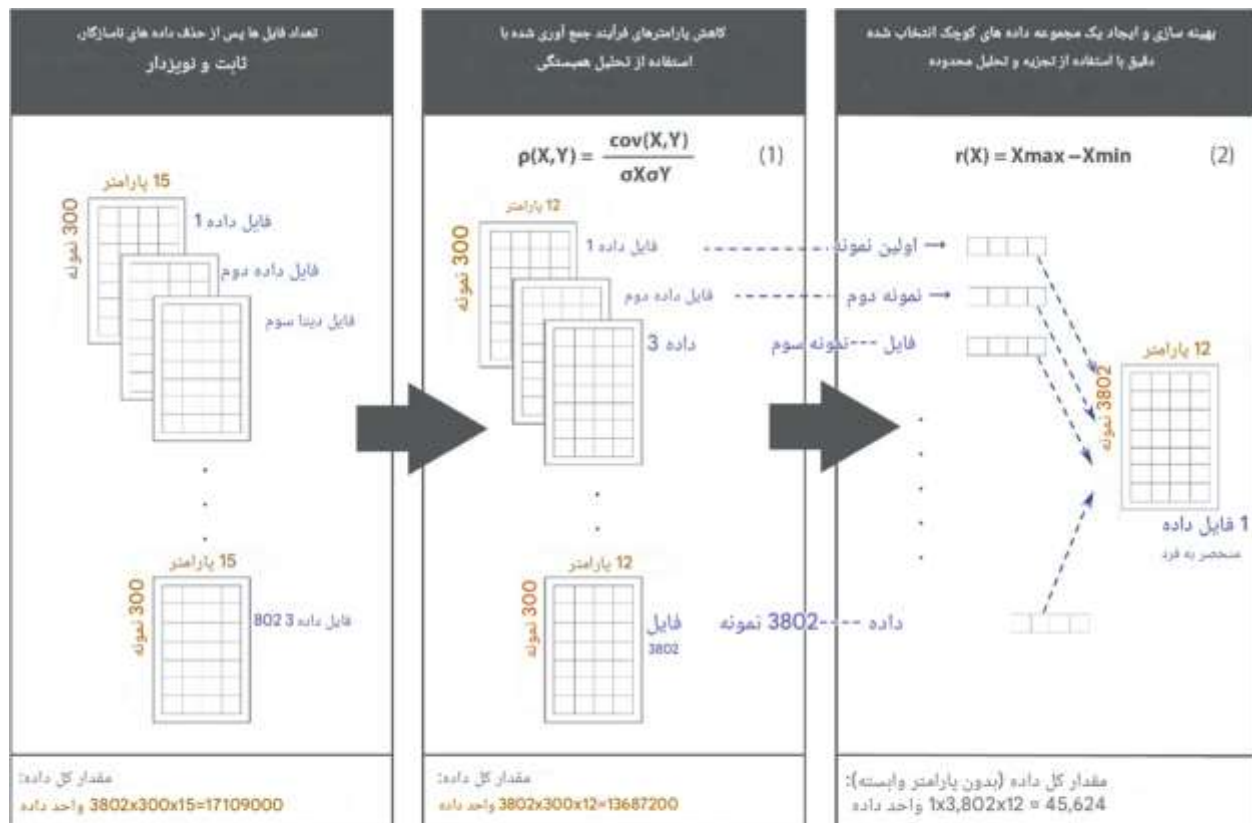
امر با استفاده از محاسبات لبه‌ای امکان‌پذیر شد. محاسبات لبه‌ای در سیستم تولید استفاده شد، جایی که داده‌ها در نقطه‌ای از فرآیند تولید که تولید می‌شدند، جمع‌آوری شدند. این امر امکان تحلیل بعدی داده‌های فرآیند را از زمان جمع‌آوری آن‌ها فراهم کرد. همچنین، کاربرد محاسبات لبه‌ای نیازمند توسعه مدل‌سازی داده‌ها بر روی یک مجموعه داده کوچک بهینه و به‌دقت انتخاب‌شده بود. بنابراین، یک دوره زمانی ۳۳ روزه برای جمع‌آوری پارامترهای فرآیند انتخاب شد که به دو دلیل بود: اول، به دلیل محدودیت‌های ذخیره‌سازی فناوری محاسبات لبه‌ای و دوم، چون بیشتر محصولات مربوط به گروه محصول مرتبط در آن دوره زمانی تولید شده بودند (طبق برنامه تولید). در این مرحله، با استفاده از محاسبات لبه‌ای در دوره زمانی تعریف‌شده، ۲۹,۴۰۳,۰۰۰ واحد داده جمع‌آوری شد. مقدار داده‌های جمع‌آوری‌شده نشان می‌دهد که محدودیت‌های فضای ذخیره‌سازی محاسبات لبه‌ای تأثیر منفی بر تعداد واحدهای داده جمع‌آوری‌شده نداشته است.

مرحله ۳—پیش‌پردازش داده‌های محاسبات لبه‌ای (جدول ۲): این مرحله با استفاده از فناوری محاسبات لبه‌ای انجام شد. بر اساس ارائه بصری داده‌ها، مشخص شد که بیشتر مقادیر پارامترهای فرآیند در محدوده‌های تعریف‌شده برای پارامترهای فرآیند قرار دارند. بنابراین، مقادیر جمع‌آوری‌شده از پارامترهای فرآیند نمایانگر یک مجموعه داده نامتعادل است که عمدتاً شامل داده‌های مربوط به تولید محصولات نهایی کلاس (یعنی داده‌های 'خوب') و تعداد بسیار کمی از داده‌های 'بد' است که اطلاعاتی در مورد کیفیت پایین یا ناکافی محصول ارائه می‌دهند. با ادامه نظارت و تشریح مراحل در این مرحله، تعداد کل واحدهای داده جمع‌آوری‌شده به طور قابل توجهی کاهش یافت. دلایل این امر به شرح زیر است:

- حذف داده‌های ناسازگار، ثابت و نویزی بر اساس دانش کارشناسان انجام شد که شامل حذف دستی سطریهای داده‌های زمان‌دار بود. این امر منجر به کاهش تقریبی ۵۰٪ در تعداد کل واحدهای داده جمع‌آوری‌شده شد و مجموع ۱۷,۱۰۹,۰۰۰ واحد داده باقی ماند (به شکل ۴ و جدول ۲ مراجعه کنید).
- کاهش تعداد پارامترهای فرآیند جمع‌آوری‌شده با استفاده از تحلیل همبستگی، که منجر به کاهش تعداد کل پارامترهای تأثیرگذار از ۱۵ به ۱۲ شد، بر اساس ضریب همبستگی پیرسون [۵۶، ۵۷] (جدول ۲)، با حذف پارامترهایی که به شدت همبسته هستند (مقدار آن بیشتر از ۰.۸ و کمتر از -۰.۸ است، که مقادیر بر اساس معادله (۱) از شکل ۴ محاسبه شده‌اند).

سپس، یک پارامتر وابسته با ویژگی دوتایی تعریف می‌شود که اطلاعاتی را زمانی که خطاهای کیفیت در مجموعه داده جمع‌آوری‌شده رخ می‌دهد، ارائه می‌دهد. ویژگی دوتایی پارامتر وابسته برای سهولت در طبقه‌بندی محصولات انتخاب شده است. علاوه بر این، برای تعیین تغییرپذیری پارامترها از تحلیل دامنه [۵۸، ۵۹] استفاده شد، که در آن هر فایل جداگانه تحلیل شد و پس از آن مقدار تفاوت بین حداکثر و حداقل مقادیر به‌دست آمد. به عبارت دیگر، تحلیل دامنه برای بهینه‌سازی ۳۸۰۲ فایل به یک فایل منحصر به فرد واحد استفاده شد (شکل ۴). شایان ذکر است که این فایل منحصر به فرد حاوی اطلاعات مربوط به تمام ۳۸۰۲ فایل است. بنابراین، مجموع داده‌ها به ۴۵,۶۲۴ واحد داده کاهش یافت (شکل ۴). پس از بهینه‌سازی، مقادیر پارامترهای فرآیند جمع‌آوری‌شده و مقادیر پارامتر وابسته به‌صورت دستی جفت‌سازی شدند تا یک مجموعه داده کوچک به‌دقت انتخاب‌شده برای بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه‌ای برای مدیریت کیفیت هوشمند از منظر انقلاب صنعتی ۵.۰ ایجاد شود.

شکل ۴. ارائه بصری اثبات مفهوم برای مرحله پیش‌پردازش داده‌های محاسبات لبه‌ای از مراحل ۲، ۴ و ۶ برای بهینه‌سازی فایل‌های داده جمع‌آوری شده بدون از دست دادن اطلاعات قابل توجه.



توجه:

معادله (1) نشان دهنده محاسبه ضریب همبستگی پیرسون ( $\rho$ ) در تحلیل همبستگی است که بر اساس آن کاهش پارامتر انجام شد.

معادله (2) محاسبه محدوده ( $r$ ) هر پارامتر فرایند را برای کاهش هر فایل داده به یک نمونه واحد، با هدف ایجاد یک فایل داده منحصر به فرد بدون از دست دادن اطلاعات قابل توجه، نشان می‌دهد.

برای داده‌کاوی در اکوسیستم انقلاب صنعتی ۵.۰ پیشنهاد شده است. به تازگی، محققان به مزایای داده‌های کوچک اشاره کرده‌اند [۶۰، ۶۱]، که به عنوان 'سرنخ‌های کوچک که روندهای بزرگ را کشف می‌کنند' [۶۲] توصیف می‌شوند. ما معتقدیم که داده‌های کوچک بهینه‌شده (مجموعه‌ها) بینش‌های به‌موقع و معناداری در سیستم تولید ارائه می‌دهند که به صورت سازمان‌یافته و قابل‌فهم ترتیب داده شده‌اند و در عین حال تصمیم‌گیری بلادرنگ را ممکن می‌سازند. بنابراین، تحقیق حاضر نشان داد که با شروع از داده‌های کلان و بهینه‌سازی آن‌ها و با استفاده از فناوری محاسبات لبه‌ای، می‌توان یک مجموعه داده کوچک به‌دقت انتخاب‌شده برای استفاده در مدیریت کیفیت هوشمند بدون از دست دادن اطلاعات قابل توجه موجود در داده‌های کلان آماده کرد. در پاراگراف‌های زیر، اصلی‌ترین مشارکات‌های تحقیق حاضر ارائه می‌شود. مدل مفهومی پیشنهاد شده یک روش بهینه‌سازی نوآورانه داده‌های کلان است. مدل مفهومی پیشنهادی به عنوان یک روش بهینه‌سازی داده‌های کلان نوآورانه برای محاسبات لبه‌ای با هم‌راستایی با جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ و تعریف مشکل مدیریت کیفیت هوشمند، و

الهام گرفته از رویکرد داده کاوی انقلاب صنعتی ی توسعه یافته است. مدل توسعه یافته شامل سه مرحله اصلی است (شکل ۱):

تعریف مشکل مدیریت کیفیت هوشمند، شناسایی پارامترها و جمع آوری داده های ، و پیش پردازش داده های محاسبات لبه ای.

هر مرحله به تعدادی از گام ها تقسیم شده است که برای اجرای مناسب و بدون ابهام مدل تعریف شده اند. توسعه مدل مفهومی به واسطه عدم وجود یک روش شناسی مناسب برای پیش پردازش داده های تولیدی ایجاد شده است. در عین حال، تحقیق [۶۳] بر اهمیت پیش پردازش داده ها تأکید می کند زیرا: (۱) داده های واقعی ناخالص هستند؛ (۲) سیستم های داده کاوی با عملکرد بالا به داده های با کیفیت نیاز دارند؛ و (۳) داده های با کیفیت الگوهای متمرکز تولید می کنند. علاوه بر این، بسیاری از تکنیک های پیش پردازش در ادبیات علمی بررسی شده اند [۶۴-۶۶]، اما هنوز کمبود روش شناسی های پیش پردازش داده ها باقی مانده است. علاوه بر این، در ادبیات علمی بررسی شده، روش شناسی فرایند استاندارد بین انقلاب صنعتی ی برای داده کاوی [۶۷، ۶۸] که در آن محققان بر روی داده های کلان تمرکز می کنند [۶۹-۷۱]، اغلب به عنوان مبنای پیش پردازش داده ها استفاده می شود [۷۲، ۷۳]. با این حال، نیاز و چالش های احتمالی برای بهینه سازی داده های کلان جمع آوری شده در سیستم های تولید به یک مجموعه داده کوچک در - در نظر گرفته نمی شود. بنابراین، مدل مفهومی حاضر با استفاده از محاسبات لبه ای با هدف کاهش سیستماتیک و بهینه سازی داده های کلان به یک مجموعه داده کوچک و به دقت انتخاب شده که آماده استفاده برای مدل سازی، تست و به کارگیری مدل پیش بینی توسعه یافته باشد، ایجاد شد. با برآورده کردن این هدف، ما به طور موفقیت آمیزی به شکاف در روش شناسی های پیش پردازش داده ها در ادبیات موجود پاسخ داده ایم. مدل مفهومی پیشنهاد شده، ادغام دانش کارگران با لباس کار (کارگران خط تولید) و کارگران با لباس اداری (متخصصان مهندسی) با محققان داده را ترویج می دهد. دانش انسانی نقش مرکزی را در مدل مفهومی توسعه یافته ایفا می کند، همان طور که باید در سیستم های تولیدی باشد [۵، ۹]. ادغام دانش از طریق هم افزایی انقلاب صنعتی و دانشگاه به دست می آید، جایی که دانش متخصصان انسانی همراه با فناوری های پیشرفته انقلاب صنعتی ۵.۰ (یعنی ، محاسبات لبه ای و روش های تجزیه و تحلیل پیشرفته) مبنای ایجاد سیستم های مدیریت کیفیت است [۲۹]. بر اساس بررسی اثبات مفهوم انجام شده، انتظار می رود که پیاده سازی مدل مفهومی توسعه یافته در انقلاب صنعتی : (۱) هزینه های ذخیره سازی داده های کلان را کاهش دهد، زیرا می توان از یک مجموعه داده بسیار کوچک استفاده کرد؛ (۲) فرآیندهای ایمن تری را با استفاده از محاسبات لبه ای به دست آورد؛ و (۳) امکان گنجاندن دانش متخصص انسانی را برای ایجاد سیستم های مدیریت کیفیت هوشمند فراهم کند. مدل مفهومی توسعه یافته امکان پیاده سازی مدیریت کیفیت هوشمند را از دیدگاه انقلاب صنعتی ۵.۰ فراهم می کند. مدل مفهومی توسعه یافته به موقعیت مرکزی عامل انسانی [۵، ۹] در سیستم های مدیریت کیفیت هوشمند اشاره می کند. دانش متخصص انسانی، اجزای فیزیکی و مجازی از طریق مدل توسعه یافته ادغام شده اند (شکل ۲). این ادغام با استفاده از مفهوم انسانی محور انقلاب صنعتی ۵.۰ و فناوری های پیشرفته [۳۵]—برای مثال ، محاسبات لبه ای و روش های تجزیه و تحلیل پیشرفته—از طریق مدل مفهومی توسعه یافته امکان پذیر است. علاوه بر این، اثبات مفهوم انجام شده با داده های تولیدی، امکان ایجاد سیستم های سایبر-فیزیکی انسانی را در مورد تولیدکننده کفپوش وینیلی تأیید کرد. بنابراین، روش شناسی پیشنهاد شده (یعنی مدل مفهومی توسعه یافته) از توسعه حمایت می کند و به پایداری دیجیتال و تحقیقات بیشتر در مورد مفهوم انقلاب صنعتی ۵.۰ کمک می کند (شکل ۲). اثبات مفهوم با استفاده از داده های واقعی انقلاب صنعتی انجام شد. مدل مفهومی توسعه یافته بر اساس کاربرد انقلاب صنعتی ی از طریق بهینه سازی داده های تولید در یک شرکت از بخش کفپوش وینیلی آزمایش شد. در زمان این مطالعه، شکاف شواهد عملی در ادبیات مربوط به چارچوب های نظری توسعه یافته برای هر دو انقلاب صنعتی ۴.۰ و انقلاب صنعتی ۵.۰ [۶، ۷۴-۷۶] وجود دارد. به طور خاص، شواهدی از پیاده سازی تجزیه و تحلیل داده ها، مانند فناوری های انقلاب صنعتی ۴.۰ و انقلاب صنعتی ۵.۰، کمیاب است [۶۸، ۷۷-۷۹]. برای رفع این شکاف، تحقیق حاضر نشان داد که با استفاده از مدل

مفهومی توسعه یافته برای بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه‌ای برای مدیریت کیفیت هوشمند از دیدگاه انقلاب صنعتی ۵.۰، امکان آماده‌سازی یک مجموعه داده کوچک به دقت انتخاب شده بدون از دست دادن اطلاعات قابل توجه موجود در داده‌های کلان وجود دارد. به‌ویژه، اهداف سیستم تولید در مدل مفهومی توسعه یافته هنگام بهینه‌سازی داده‌های تولیدی در نظر گرفته شده است. اثبات مفهوم با استفاده از داده‌های کوچک تولیدی انجام شد. مدل مفهومی با اثبات مفهوم با داده‌های تولیدی از شرکت مورد بررسی که به داده‌های کوچک بهینه‌سازی شده بود، اعتبارسنجی شد [۳۸، ۸۰، ۸۱]. اثبات مفهوم با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مدل مفهومی پیشنهادی (شکل ۱) بر اساس دانش تخصصی انجام شد (شکل ۲). به‌طور خاص، مشکل تولید تعریف شد، پارامترهای تأثیرگذار شناسایی شدند و داده‌ها با استفاده از شبکه جمع‌آوری شدند. در نتیجه، با استفاده از بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه‌ای، ۲۹,۴۰۳,۰۰۰ واحد داده (یعنی داده‌های کلان) به ۴۵,۶۲۴ واحد داده (یعنی داده‌های کوچک) کاهش یافت بدون اینکه اطلاعات موجود در داده‌های کلان برای تصمیم‌گیری از دست برود. حفظ اطلاعات با کاهش تعداد پارامترهای فرآیند تأثیرگذار از طریق حذف پارامترهایی که به شدت همبسته بودند با استفاده از تحلیل همبستگی، و کاهش فایل‌های داده جمع‌آوری شده به نمونه‌های تک برای هر فایل از طریق تحلیل دامنه حاصل شد (به شکل ۴ و جدول ۲ مراجعه کنید) [۶۰، ۶۱]. سپس نمونه‌ها به یک فایل منحصر به فرد حاوی ۳,۸۰۲ نمونه برای ۱۲ پارامتر تأثیرگذار فرآیند ادغام شدند (شکل ۴). به‌ویژه، تعداد واحدهای داده به میزان ۹۹.۷۳٪ کاهش یافت. ما از این موضوع آگاه هستیم که توسعه یک مدل مفهومی برای بهینه‌سازی داده‌های محاسبات لبه‌ای، فرصت‌های تحقیقاتی اضافی در زمینه مدیریت کیفیت هوشمند را باز می‌کند، با توجه به اینکه مجموعه داده‌های کوچک بهینه‌شده نیاز به تجزیه و تحلیل و پردازش بیشتر دارند. این همچنین این سوال را مطرح می‌کند که آیا داده‌های کوچک بهینه‌شده برای دستیابی به دقت بالا در مراحل باقی‌مانده داده‌کاوی (یعنی مدل‌سازی داده‌ها، آموزش و آزمایش، و اعتبارسنجی و استقرار) کافی خواهد بود یا خیر. با این حال، این سوالات فراتر از دامنه تحقیق حاضر است. در این مرحله از تحقیق، مجموعه داده برای محاسبات لبه‌ای با توجه به روش‌های آماری پیشرفته بهینه‌سازی شده و برای مراحل بعدی داده‌کاوی آماده شده است با در نظر گرفتن مهم‌ترین جنبه‌های انقلاب صنعتی ۵.۰؛ یعنی فرآیندهای تولیدی دیجیتال پایدار، انسانی‌محور و مقاوم. تحقیقات آینده بر روی مراحل باقی‌مانده داده‌کاوی بر اساس مجموعه داده‌های کوچک بهینه‌شده برای پیشرفت بیشتر برنامه‌های خودپیش‌بینی محاسبات لبه‌ای از دیدگاه انقلاب صنعتی ۵.۰ متمرکز خواهد شد.



**Author Contributions:** Methodology, B.B., S.M., M.S., M.J. and A.R.; Software, B.B.; Validation, N.S., M.S., M.J. and A.R.; Formal analysis, B.B., N.S. and A.R.; Investigation, B.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The data are not publicly available due to privacy restrictions.

**Acknowledgments:** This paper has been published as a part of the project that is financed by the

Science Fund of the Republic of Serbia within its program “IDEAS”—Management of New Security

Risks—Research and Simulation Development, NEWSIMR&D, #7749151.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References:

1. Khalid, A.; Khan, Z.H.; Idrees, M.; Kirisci, P.; Thoben, K.; Pannek, J. Understanding vulnerabilities in cyber physical production systems. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* **2022**, *35*, 569–582. [CrossRef]
2. Xu, X.; Lu, Y.; Vogel-heuser, B.; Wang, L. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *J. Manuf. Syst.* **2021**, *61*, 530–535. [CrossRef]
3. Saniuk, S.; Saniuk, A.; Cagáňová, D. Cyber Industry Networks as an environment of the Industry 4.0 implementation. *Wirel. Netw.* **2021**, *27*, 1649–1655. [CrossRef]
4. Nikolic, B.; Ignjatic, J.; Suzic, N.; Stevanov, B.; Rikalovic, A. Predictive manufacturing systems in industry 4.0: Trends, benefits and challenges. In *Proceedings of the Annals of DAAAM and International DAAAM Symposium, Zadar, Croatia, 8–11 November 2017*; pp. 796–802.
5. European Commission. Industry 5.0—Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry; European Commission: Brussels, Belgium, 2021.
6. Bajic, B.; Rikalovic, A.; Suzic, N.; Piuri, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. *IEEE Syst. J.* **2021**, *15*, 546–559. [CrossRef]
7. Zizic, M.C.; Mladineo, M.; Gjeldum, N.; Celent, L. From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. *Energies* **2022**, *15*, 5221. [CrossRef]
8. Rikalovic, A.; Suzic, N.; Bajic, B.; Piuri, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective. *IEEE Syst. J.* **2022**, *16*, 2797–2810. [CrossRef]



9. European Commission. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe; European Commission: Brussels, Belgium, 2022.

## References

1. Khalid, A.; Khan, Z.H.; Idrees, M.; Kirisci, P.; Thoben, K.; Pannek, J. Understanding vulnerabilities in cyber physical production systems. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* **2022**, *35*, 569–582. [CrossRef]
2. Xu, X.; Lu, Y.; Vogel-heuser, B.; Wang, L. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *J. Manuf. Syst.* **2021**, *61*, 530–535. [CrossRef]
3. Saniuk, S.; Saniuk, A.; Cagáňová, D. Cyber Industry Networks as an environment of the Industry 4.0 implementation. *Wirel. Netw.* **2021**, *27*, 1649–1655. [CrossRef]
4. Nikolic, B.; Ignjatic, J.; Suzic, N.; Stevanov, B.; Rikalovic, A. Predictive manufacturing systems in industry 4.0: Trends, benefits and challenges. In *Proceedings of the Annals of DAAAM and International DAAAM Symposium*, Zadar, Croatia, 8–11 November 2017; pp. 796–802.
5. European Commission. Industry 5.0—Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry; European Commission: Brussels, Belgium, 2021.
6. Bajic, B.; Rikalovic, A.; Suzic, N.; Piuri, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. *IEEE Syst. J.* **2021**, *15*, 546–559. [CrossRef]
7. Zizic, M.C.; Mladineo, M.; Gjeldum, N.; Celent, L. From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. *Energies* **2022**, *15*, 5221. [CrossRef]
8. Rikalovic, A.; Suzic, N.; Bajic, B.; Piuri, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective. *IEEE Syst. J.* **2022**, *16*, 2797–2810. [CrossRef]
9. European Commission. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe; European Commission: Brussels, Belgium, 2022.
39. Hafeez, T.; Xu, L.; McArdle, G. Edge intelligence for data handling and predictive maintenance in IIoT. *IEEE Access* **2021**, *9*, 49355–49371. [CrossRef]