

باسمه تعالی

نقش حکمرانی داده در ارتقای بهره‌وری صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران: تحلیل سیاستی و الگوی اجرایی

✍ محسن یادبروقی - تحلیلگر راهبردی هوش مصنوعی، فناوری و نوآوری mohsenborooghi@gmail.com

۱. چکیده

صنعت ماشین‌سازی و تولید تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران، به‌عنوان یکی از صنایع مادر و زیربنایی، نقش کلیدی در توسعه صنعتی کشور، افزایش بهره‌وری صنایع وابسته و توان صادراتی دارد [۱-۳]. با وجود ظرفیت‌های بالقوه فنی؛ بهره‌وری پایین، ضایعات بالا، کیفیت متغیر، محدودیت نوآوری و ضعف حضور در بازارهای بین‌المللی، از جمله چالش‌های اصلی این صنعت محسوب می‌شوند [۲، ۳، ۶]. شواهد نشان می‌دهد که مشکل اصلی نه کمبود فناوری یا دانش مهندسی، بلکه فقدان نظام حکمرانی داده صنعتی است؛ داده‌ها به‌صورت پراکنده جمع‌آوری می‌شوند، کیفیت آنها تضمین نمی‌شود و در فرآیندهای طراحی، تولید، نگهداری و تصمیم‌گیرهای راهبردی، به‌صورت نظام مند مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. [۴، ۵، ۷]

این مقاله با رویکرد تحلیلی و تطبیقی، به بررسی وضعیت فعلی صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران، تجارب موفق جهانی (آلمان، چین، هند) و شاخص‌های کلیدی حکمرانی داده در صنایع تجهیزات پیشرفته پرداخته و مدل راهبردی سه‌سطحی برای پیاده‌سازی نظام حکمرانی داده در ایران ارائه می‌نماید [۷-۹، ۱۴، ۱۷]. مدل پیشنهادی شامل سطوح بنگاه، خوشه صنعتی و ملی و نقشه راه سه مرحله‌ای (شناسایی و دیجیتالی‌سازی داده، استانداردسازی و یکپارچه‌سازی، خلق ارزش افزوده داده) است که می‌تواند بهره‌وری خطوط تولید را تا ۲۵-۳۵ درصد افزایش دهد، امکان ورود به بازارهای صادراتی منطقه‌ای و جهانی را فراهم کند و چرخه نوآوری مبتنی بر داده را ایجاد نماید [۷، ۸، ۱۱، ۱۹].

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بدون استقرار نظام حکمرانی داده، سرمایه‌گذاری در سخت‌افزار و فناوری‌های دیجیتال، به دلیل عدم بهره‌گیری سیستماتیک از داده‌های عملکرد ماشین‌آلات و

فرآیندهای تولید، به نتایج بهینه منجر نمی‌شود و صنعت ماشین‌سازی ایران در معرض تنزل از «تولیدکننده ماشین» به «مونتاژکار ماشین» قرار می‌گیرد. در مقابل، اجرای نظام داده‌محور می‌تواند شرط لازم برای ورود به زنجیره ارزش جهانی، افزایش بهره‌وری و توسعه پایدار صنعتی باشد [۷, ۹, ۱۴, ۲۰].

واژگان کلیدی: حکمرانی داده؛ صنعت ماشین‌سازی؛ تولید تجهیزات پیشرفته؛ بهره‌وری صنعتی؛ انقلاب صنعتی چهارم؛ داده‌محوری صنعتی.

۲. مقدمه

صنعت ماشین‌سازی و تولید تجهیزات پیشرفته صنعتی، به‌عنوان یکی از صنایع مادر و زیربنای توسعه اقتصادی و صنعتی هر کشور، نقش محوری در تأمین ماشین‌آلات و تجهیزات تخصصی سایر صنایع، از جمله نفت و گاز، پتروشیمی، فولاد، خودروسازی، صنایع غذایی و تجهیزات پزشکی دارد [۱-۳]. علاوه بر نقش اقتصادی، **این صنعت به‌عنوان موتور نوآوری و توسعه فناوری** نیز شناخته می‌شود؛ چرا که پیشرفت در طراحی، تولید و نگهداری ماشین‌آلات، ظرفیت ارتقای بهره‌وری سایر صنایع را فراهم آورده و امکان خلق محصولات نسل جدید و خدمات مبتنی بر داده را مهیا می‌کند. [۲, ۶]

با وجود ظرفیت‌های فنی و نیروی انسانی متخصص، وضعیت بهره‌وری صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران هنوز با چالش‌های جدی مواجه است. مطالعات نشان می‌دهند که بهره‌وری پایین، ضایعات بالا، کیفیت متغیر، محدودیت نوآوری و ضعف حضور در بازارهای بین‌المللی، از مشکلات اصلی این صنعت هستند [۲, ۳, ۶]. بسیاری از شرکت‌های تولیدکننده ماشین‌آلات، حتی در صورت برخورداری از فناوری‌های پیشرفته مانند دستگاه‌های CNC و خطوط اتوماسیون، به دلیل جمع‌آوری پراکنده داده‌های عملکردی و عدم تحلیل نظام مند آنها، قادر به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید نیستند و خطاها و توقف‌های غیرضروری به‌طور مکرر رخ می‌دهند. [۷-۹]

تحولات جهانی نشان می‌دهند که گذاره صنعتی از تولید مهندسی محور به تولید داده‌محور، شاخص اصلی ارتقای بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت است [۷, ۸, ۱۴]. کشورهایی مانند آلمان، چین و ژاپن با ایجاد **پلتفرم‌های ملی داده صنعتی**، استانداردسازی تبادل داده، و اتصال چرخه عمر محصول به تحلیل‌های داده‌ای (AI/ML, IoT, Digital Twin) توانسته‌اند بهره‌وری و کیفیت تولید را به شکل چشمگیری افزایش داده و محصولات خود را در بازارهای جهانی رقابتی کنند. [۱۷-۱۹]

در ایران، مشکل اصلی نه فناوری یا دانش مهندسی، **بلکه فقدان نظام حکمرانی داده صنعتی** است؛ داده‌های تولید، کیفیت، عملکرد و نگهداری ماشین‌آلات، به‌صورت جزیره‌ای و غیرسازگار جمع‌آوری می‌شوند،

مدل مالکیت داده‌ها مشخص نیست، و هیچ نهاد ملی مرجع برای استانداردسازی و یکپارچه‌سازی داده صنعتی وجود ندارد [۴، ۵، ۷]. این امر باعث شده است که نوآوری‌ها مبتنی بر تجربه فردی و آزمون و خطا باشند و تصمیم‌گیری‌های راهبردی مدیران فاقد پشتوانه داده‌ای معتبر و سیستماتیک باشند [۸، ۹، ۲۰].

با توجه به اهمیت بهره‌وری، کیفیت و رقابت‌پذیری بین‌المللی، و همچنین ضرورت ورود ایران به زنجیره جهانی تولید ماشین‌آلات هوشمند، نیاز به استقرار نظام حکمرانی داده صنعتی بیش از پیش احساس می‌شود. حکمرانی داده نه تنها امکان تحلیل داده‌های چرخه عمر ماشین‌آلات، کاهش ضایعات و توقف خطوط تولید، بلکه ایجاد مدل‌های کسب‌وکار نوین مبتنی بر داده، توسعه صادرات و افزایش نوآوری را فراهم می‌کند. [۷-۹، ۱۴، ۱۹]

هدف این مقاله ارائه یک چارچوب علمی و کاربردی برای حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران است. این چارچوب شامل تحلیل وضعیت فعلی ایران، بررسی تجارب موفق جهانی، شناسایی چالش‌ها و فرصت‌ها و در نهایت ارائه مدل پیشنهادی سه‌سطحی حکمرانی داده همراه با نقشه راه عملیاتی می‌باشد. اجرای این چارچوب می‌تواند بهره‌وری خطوط تولید را تا ۲۵-۳۵ درصد افزایش دهد، ورود به بازارهای صادراتی منطقه‌ای و جهانی را ممکن سازد و چرخه نوآوری مبتنی بر داده را در صنعت ایران فعال نماید. [۷-۹، ۱۴، ۱۹]

۳. وضعیت صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی در ایران

صنعت ماشین‌سازی و تولید تجهیزات پیشرفته، یکی از صنایع مادر و زیرساختی ایران محسوب می‌شود و نقش کلیدی در توسعه صنعتی کشور، افزایش بهره‌وری صنایع وابسته و ارتقای قابلیت صادراتی دارد [۱-۳]. با وجود ظرفیت‌های فنی و نیروی انسانی متخصص، وضعیت بهره‌وری در این صنعت هنوز با محدودیت‌های جدی مواجه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهره‌وری پایین، ضایعات بالا، کیفیت متغیر، ضعف نوآوری و حضور محدود در بازارهای بین‌المللی، همچنان چالش‌های اساسی محسوب می‌شوند. [۲، ۳، ۶]

وابستگی فناورانه و سطح فناوری

سطح فناوری ماشین‌آلات در ایران به‌طور میانگین متوسط تا بالا ارزیابی می‌شود، اما وابستگی قابل توجه به واردات قطعات کلیدی و عدم وجود استانداردهای تبادل داده صنعتی، بهره‌وری و نوآوری را

محدود کرده است [۶-۸]. بیشتر شرکت‌ها توانایی طراحی و تولید کامل ماشین‌آلات و تجهیزات پیشرفته را ندارند و بخش قابل توجهی از قطعات و ماژول‌های حساس را از خارج کشور تأمین می‌کنند. این امر موجب می‌شود که شرکت‌ها غالباً تنها فروشنده دستگاه و تجهیزات باشند و مالک داده چرخه عمر محصول نباشند. [۴, ۵]

جدول ۱: دسته‌بندی ماشین‌آلات صنعتی در ایران [۶, ۸, ۱۱]

رده	نمونه محصولات	سهم تقریبی از بازار داخلی	سطح فناوری	وابستگی به واردات
ماشین‌آلات عمومی و CNC	تراش، فرز، پانچ، پرس	۳۰٪	متوسط	بالا
ماشین‌آلات صنایع معدنی و فولاد	ریخته‌گری، نورد، کوره	۱۲٪	متوسط-بالا	متوسط
ماشین‌آلات صنایع غذایی، بسته‌بندی	پُرکن، لیبل‌زن، خطوط تولید	۱۸٪	متوسط	پایین-متوسط
تجهیزات دوار و پمپ‌ها	توربین، کمپرسور، پمپ	۱۵٪	بالا در برخی موارد	بالا
تجهیزات نفت، گاز، پتروشیمی	ولو، مبدل، مخازن	۲۵٪	متوسط-بالا	متوسط

وضعیت داده و زنجیره اطلاعات

در ایران، بخش قابل توجهی از شرکت‌ها فاقد زنجیره داده یکپارچه از طراحی، تولید، خدمات و نگهداری هستند. داده‌های عملکرد ماشین‌آلات و خطوط تولید یا جمع‌آوری نمی‌شوند یا در قالب

فرم‌های کاغذی و جزیره‌ای ثبت می‌شوند. نرم‌افزارهای ERP، MES و PLM غالباً مستقل و ناسازگار هستند و تبادل داده بین بخش‌ها و فرآیندها امکان‌پذیر نیست. [۴، ۷-۹]

جدول ۲: نمونه مسائل داده‌ای در صنعت ماشین‌سازی ایران [۴، ۵، ۷]

لایه	مسئله	نمونه‌های واقعی
سطح بنگاه (Factory)	داده تولید جمع‌آوری نمی‌شود	ایراتور فرم کاغذی پر می‌کند
سطح زنجیره ارزش (Value Chain)	شرکت‌ها به‌جای همکاری داده‌ای، جزیره‌ای عمل می‌کنند	PLM، ERP، MES مستقل و ناسازگار
سطح حکمرانی (National)	دولت هیچ پایگاه داده رسمی از توانمندی صنعتی ندارد	آمار تولید ماشین‌آلات پراکنده و غیرقابل استناد

چالش‌های کلیدی صنعت

چالش‌های اصلی صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران را می‌توان در هشت حوزه زیر دسته‌بندی کرد. هر یک از این چالش‌ها، با حکمرانی داده ارتباط مستقیم دارد و نبود یک نظام داده‌ای منسجم، شدت اثر آنها را افزایش می‌دهد: [۴، ۵، ۷، ۹]

جدول ۳: دسته‌بندی چالش‌های صنعت ماشین‌سازی ایران و ارتباط با حکمرانی داده [۴، ۵، ۷، ۹]

دسته چالش	شرح مسئله	ارتباط با حکمرانی داده
فناورانه	عدم مستندسازی دانش طراحی و BOM	فقدان بانک داده فنی ملی
کیفیت و رقابت	ناتوانی در ارائه استاندارد ISO، API، CE	فقدان ردیابی و داده کیفیت
صادرات	عدم ارائه Data Sheet مطابق استاندارد بین‌المللی	نبود سیستم مستندسازی دیجیتال

دسته چالش	شرح مسئله	ارتباط با حکمرانی داده
تولید	ضایعات بالا، توقف زیاد، عدم تحلیل خط تولید	نبود MES و پایش داده لحظه‌ای
خدمات پس از فروش	تعمیرات واکنشی، نه پیش‌بینانه	عدم جمع‌آوری داده عملکرد تجهیز
نوآوری	R&D مبتنی بر تجربه فردی نه داده عملکرد	نبود چرخه بازخورد داده از مشتری
زنجیره تأمین	خرید قطعه بر اساس رابطه، نه داده قیمت/کیفیت	فقدان پلتفرم شفاف داده تأمین
سیاست‌گذاری	نبود آمار رسمی از ظرفیت واقعی تولید کشور	نبود سامانه داده ملی صنعت ماشین‌سازی

مقایسه بین‌المللی و پیامدها

مقایسه وضعیت ایران با کشورهای پیشرو مانند آلمان و چین نشان می‌دهد که نبود نقشه ملی داده صنعتی و پلتفرم داده ماشین‌سازی، محدودیت اساسی در بهره‌وری، کیفیت و صادرات ایجاد می‌کند. [۱۴-۱۷]. اثر کوتاه‌مدت شامل هزینه تولید بالا، ضایعات و توقف‌های غیرضروری و اثر بلندمدت شامل عقب‌ماندگی صنعتی، کاهش توان رقابت بین‌المللی و از دست رفتن فرصت‌های صادراتی است. [۷، ۱۹]

جدول ۴: پیامدهای فقدان حکمرانی داده در صنعت ایران [۷, ۹, ۱۹]

پیامد	اثر کوتاه مدت	اثر بلندمدت
تولید بدون داده	هزینه تولید بالا، ضایعات زیاد	عقب ماندگی بهره‌وری
محصول بدون داده عملکرد	عدم امکان نگهداری پیش‌بینانه	ناتوانی در رقابت صادراتی
فقدان داده کیفیت	عدم اخذ CE و API	حذف از زنجیره جهانی
سیاست بدون داده	تصمیم‌گیری غلط، تخصیص بد منابع	توقف توسعه صنعتی کشور
نوآوری بدون داده	R&D ناکارآمد، تکرار آزمون و خطا	توقف رشد فناوری داخلی

تحلیل کلان و ضرورت حکمرانی داده

با توجه به تحلیل‌های بالا، مشخص می‌شود که نبود زیرساخت داده‌ای یکپارچه و نظام حکمرانی داده، نه تنها تولید و خدمات را محدود می‌کند، بلکه اثرات بلندمدت راهبردی نیز بر صنعت دارد. **بدون داده قابل اعتماد و مدیریت شده**، نوآوری مبتنی بر تجربه محدود می‌شود، تصمیم‌گیری راهبردی دچار خطا می‌گردد و ایران از فرصت‌های حضور در زنجیره ارزش جهانی محروم می‌ماند. [۷-۹, ۱۴, ۱۹]

بنابراین، ایجاد نظام حکمرانی داده صنعتی، پیش‌نیاز توسعه بهره‌وری، نوآوری و توان صادراتی صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته در ایران است و پایه‌ای برای مدل پیشنهادی سه‌سطحی این مقاله خواهد بود.

۴. حکمرانی داده چیست و چرا برای ماشین سازی حیاتی است

تعریف علمی و صنعتی

حکمرانی داده (Data Governance) مجموعه‌ای از سیاست‌ها، فرآیندها، استانداردها و نهادهای سازمانی است که تضمین می‌کنند داده‌ها صحیح، قابل اعتماد، قابل دسترس، امن و ارزش آفرین باشند [۲۰-۲۲].

در صنایع ماشین سازی و تجهیزات پیشرفته، داده‌ها تنها اطلاعات نیستند؛ بلکه سرمایه‌های راهبردی و ابزار افزایش بهره‌وری و نوآوری هستند. داده چرخه عمر محصول (Product Lifecycle Data)، داده عملکرد ماشین آلات و داده تولید، در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی و توسعه محصول نسل بعد حیاتی‌اند. [۲۱-۲۳]

تفاوت کلیدی با مدیریت داده:

مدیریت داده (Data Management) بیشتر بر ذخیره سازی و نگهداری داده‌ها تمرکز دارد، در حالی که حکمرانی داده شامل تعیین مالکیت، سیاست‌های دسترسی، امنیت، کیفیت، تبادل پذیری و ایجاد ارزش واقعی از داده‌ها است. [۲۰, ۲۳-۲۵]

اجزای کلیدی حکمرانی داده در صنایع ماشین سازی

در صنایع پیشرفته، پنج حوزه اصلی حکمرانی داده اهمیت ویژه دارند: [۲۰-۲۴, ۲۶]

۱. مالکیت داده (Data Ownership)

- تعیین مالکیت داده: تولیدکننده، مشتری یا پلتفرم صنعتی.
- مثال: ثبت مالکیت داده عملکرد ماشین آلات فروخته شده برای تحلیل بهره‌وری و توسعه محصول نسل بعد. [۷, ۹]

۲. استاندارد داده (Data Quality Standards)

- استاندارد سازی داده‌های طراحی، تولید، کیفیت و عملکرد.

- استانداردهای بین‌المللی ISO ۸۰۰۰: کیفیت داده ISO ۱۰۳۰۳/STEP تبادل داده CAD/CAM، (Digital Twin) ISO ۲۳۲۴۷، (ISA-۹۵ یکپارچه‌سازی MES و ERP [۱۱، ۱۴، ۲۶].

۳. امنیت و محرمانگی داده

- حفاظت از داده‌ها در برابر دسترسی غیرمجاز، تغییر یا سرقت.
- ارزش داده‌های طراحی و عملکرد در صنعت ماشین‌سازی بسیار بالاست. [۲۰، ۲۳، ۲۷]

۴. تبادل‌پذیری داده صنعتی (Interoperability)

- توانایی اشتراک‌گذاری داده‌ها بین سیستم‌ها و شرکت‌ها.
- مثال: اتصال MES کارخانه به ERP و PLM و همچنین به پلتفرم ملی داده. [۷، ۹، ۲۴]

۵. سیاست داده و چارچوب حقوقی

- قوانین مالکیت و اشتراک داده، انطباق با GDPR صنعتی، سیاست‌های ملی و بین‌المللی [۲۰-۲۲، ۲۸].

اهمیت حکمرانی داده در افزایش بهره‌وری

حکمرانی داده به‌صورت مستقیم در بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت و توسعه نوآوری اثر می‌گذارد:

- تحلیل داده‌های عملکرد ماشین‌آلات ← طراحی نسل بعد با کارایی بالاتر. [۷، ۹]
- پایش هوشمند خطوط تولید ← کاهش توقف و ضایعات. [۴، ۷] (Predictive Maintenance)
- کنترل کیفیت مبتنی بر داده ← استانداردسازی محصول و کاهش عدم انطباق. [۵، ۷]
- خدمات پس از فروش داده‌محور ← افزایش رضایت مشتری و ایجاد مدل درآمدی سرویس محور. [۹، ۲۰]

- تبادل داده استاندارد بین شرکت‌ها ← تقویت همکاری زنجیره ارزش و صادرات. [۱۴, ۱۶]
- بدون حکمرانی داده، داده‌های جمع‌آوری شده تنها اطلاعات خام هستند و نمی‌توانند ارزش افزوده واقعی برای تولید و نوآوری ایجاد کنند. [۲۰-۲۴]

تجربه جهانی در حکمرانی داده صنعتی

اروپا

- آلمان ۴,۰ RAMI و ۴,۰ Plattform Industrie، با پلتفرم‌های داده ۴,۰ Industry، امکان تبادل داده امن و استاندارد بین شرکت‌ها و تولیدکنندگان را فراهم کرده است. [۱۴, ۱۵]
- فرانسه و ایتالیا: پروژه‌های Digital Twin Factory و Smart Industry Alliance، تمرکز بر یکپارچگی داده‌ها در زنجیره تأمین و پایش هوشمند خطوط تولید دارند. [۲۱, ۲۹]
- اروپا: Gaia-X – ایجاد یک اکوسیستم داده صنعتی با مالکیت شفاف و قوانین یکسان برای کشورهای عضو اتحادیه اروپا. [۱۱, ۲۶]

آسیا

- چین: پایگاه داده ملی صنعت ماشین‌سازی، داده چرخه عمر محصول و کیفیت را متمرکز کرده است. [۱۶]
- کره جنوبی: K-Smart Manufacturing Data Hub، استانداردسازی داده‌های تولید و توسعه مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر داده واقعی. [۲۴]
- ژاپن: AIRI Japan، تأکید بر نیاز به حکمرانی داده برای اجرای AI صنعتی. [۱۹, ۲۳]
- سنگاپور: Digital Factory Governance Model، مدیریت داده کارخانه‌ها با ترکیب IoT و Cloud Analytics [۱۵, ۲۱]

آمریکا و کانادا

- ایالات متحده: چارچوب NIST برای Smart Manufacturing، استانداردسازی داده صنعتی، امنیت و حاکمیت داده در صنایع ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته. [۲۰, ۱۷]
- کانادا: برنامه Canadian Smart Manufacturing Data Governance، تمرکز بر امنیت داده و افزایش شفافیت در زنجیره تأمین. [۲۷]

خاورمیانه و هند

- هند: سیاست Smart Manufacturing India، ایجاد زیرساخت داده ملی و پایگاه‌های داده عملکرد کارخانه‌ها. [۲۴]
- امارات متحده عربی: پروژه Data Hub، جمع‌آوری داده خطوط تولید و استانداردسازی داده برای افزایش صادرات. [۲۸]

نتیجه‌گیری از تجارب جهانی:

کشورهای پیشرو در صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی، حکمرانی داده را به عنوان پیش‌شرط راهبردی بهره‌وری، نوآوری و رقابت‌پذیری بین‌المللی تعریف کرده‌اند. تجارب نشان می‌دهد که پلتفرم ملی داده + استانداردسازی + مالکیت داده شفاف، کلید موفقیت در ایجاد چرخه ارزش داده‌محور است. [۲۹, ۲۶, ۲۴, ۲۰-۱۴]

۵. نقش حکمرانی داده در افزایش بهره‌وری صنعتی

حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی، نقش چشم‌انداز راهبردی برای بهبود بهره‌وری، کاهش ضایعات و افزایش قابلیت رقابت بین‌المللی را ایفا می‌کند. داده‌ها تنها اطلاعات خام نیستند، بلکه منابع تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی و نوآوری محسوب هستند. [۲۵, ۲۲, ۲۰]

طراحی محصول مبتنی بر داده

در طراحی نسل بعد ماشین آلات و تجهیزات صنعتی، داده‌های عملکرد محصول و تجربه کاربری واقعی به جای فرضیات طراحی، مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند:

- تحلیل داده عملکرد ماشین‌ها در خطوط تولید مشتریان ← طراحی قطعات با دوام بالاتر و قابلیت اطمینان بیشتر. [۷, ۹]
- جمع‌آوری داده‌های خطا و تعمیرات ← کاهش شکست طراحی و افزایش عمر مفید تجهیزات. [۴, ۷].
- استفاده از ← Digital Twin شبیه‌سازی دقیق کارکرد تجهیزات قبل از تولید فیزیکی. [۱۱, ۲۶].

جدول ۵: نقش داده در طراحی محصول و اثر آن بر بهره‌وری

حوزه اثر	مثال کاربردی	نتیجه بهره‌وری
طراحی محصول	تحلیل داده عملکرد ماشین برای نسل بعد	کاهش شکست قطعات و افزایش عمر مفید
نوآوری محصول	Digital Twin و مدل‌سازی پیش‌بینانه	کاهش هزینه آزمون و خطا، تسریع R&D
توسعه چرخه عمر محصول	ثبت داده چرخه عمر ماشین در کارخانه مشتری	افزایش قابلیت ارتقا و سفارشی‌سازی

تولید و عملیات

حکمرانی داده باعث می شود خطوط تولید هوشمند، پایدار و بهینه شوند:

- پایش هوشمند خطوط تولید با IoT و ←MES کاهش توقف و ضایعات. [۵, ۷]
- نگهداری پیش بینانه (Predictive Maintenance) با داده عملکرد واقعی ← کاهش هزینه تعمیرات اضطراری و افزایش. [۲۰, ۲۳] OEE
- کنترل کیفیت لحظه ای و خودکار مبتنی بر داده ← کاهش محصولات معیوب و استانداردسازی فرآیند تولید. [۴, ۷]

جدول ۶: نقش داده در تولید و اثر بر بهره‌وری

حوزه اثر	مثال کاربردی	نتیجه بهره‌وری
تولید هوشمند	پایش IoT و MES	کاهش توقف تولید ۱۵-۲۵٪
نگهداری پیش بینانه	تحلیل داده عملکرد تجهیزات	کاهش هزینه تعمیرات ۲۰-۳۰٪
کیفیت	کنترل لحظه ای داده کیفیت	کاهش محصولات معیوب ۱۰-۲۰٪

کیفیت و استاندارد

صنعت ماشین سازی برای رقابت بین المللی نیازمند رعایت استانداردهای CE ، API و ISO است. حکمرانی داده باعث می شود:

- داده های کیفیت قابل اعتماد و مستندسازی شده در دسترس باشند. [۱۱, ۲۶]
- امکان ردگیری کامل محصولات از طراحی تا خدمات پس از فروش فراهم شود. [۲۰, ۲۴]
- کاهش اختلافات با مشتریان بین المللی و اخذ گواهی نامه های استاندارد امکان پذیر شود. [۷, ۹]

خدمات پس از فروش و مدل‌های درآمدی

خدمات پس از فروش به شکل داده‌محور و پیش‌بینانه ارائه می‌شود:

- جمع‌آوری داده عملکرد ماشین در محل مشتری → برنامه نگهداری پیش‌بینانه. [۷, ۴]
- ایجاد مدل‌های درآمدی جدید (PaaS) و Data-as-a-Service و (DaaS) [۲۰, ۲۲].
- افزایش رضایت مشتری و کاهش هزینه‌های عملیاتی. [۷, ۲۳]

جدول ۷: نقش داده در خدمات پس از فروش و اثر بر بهره‌وری

حوزه اثر	مثال کاربردی	نتیجه بهره‌وری
نگهداری پیش‌بینانه	ثبت داده عملکرد ماشین	کاهش خرابی و توقف تولید مشتری
خدمات داده‌محور	پلتفرم PaaS و DaaS	افزایش رضایت و درآمد
تحلیل داده بازخورد مشتری	جمع‌آوری و تحلیل داده خطا و درخواست	بهبود طراحی نسل بعد و کاهش R&D

صادرات و رقابت بین‌المللی

حکمرانی داده امکان حضور در بازارهای خارجی را فراهم می‌کند:

- ارائه Data Sheet و اطلاعات عملکرد مطابق استانداردهای جهانی. [۱۶, ۱۴]
- ایجاد ردپای دیجیتال محصول → اثبات کیفیت و عملکرد برای مشتریان بین‌المللی. [۲۴, ۲۰]

- افزایش اعتماد مشتریان در بازار L/GCC و CIS و کاهش وابستگی به محصولات وارداتی [۹, ۲۸].

نوآوری و توسعه محصول نسل بعد

- حکمرانی داده چرخه بازخورد مستمر از مشتری ← R&D ← محصول نسل بعد را امکان پذیر می سازد:
- داده واقعی عملکرد محصولات ← بهینه سازی طراحی. [۷, ۹]
- تحلیل داده پیش بینانه ← کاهش هزینه و زمان توسعه محصول. [۱۱, ۲۶]
- ایجاد محصولات هوشمند و سرویس محور ← افزایش رقابت پذیری و ارزش افزوده. [۲۰, ۲۳]

تجربه جهانی در حوزه بهره‌وری داده محور

- آلمان ۴,۰ Industrie: پلتفرم Catena-X برای اشتراک داده بین شرکت ها ← افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین ۲۰-۳۰٪. [۱۴, ۱۵]
- چین: پایگاه داده ملی صنعت ماشین سازی، کاهش ضایعات و بهینه سازی تعمیرات پیش بینانه [۱۶].
- ژاپن: شرکت های تولید ماشین CNC، استفاده از Digital Twin و داده واقعی ← کاهش R&D تا ۲۵٪. [۱۹, ۲۳]
- ایالات متحده → NIST Smart Manufacturing Framework: افزایش OEE و کاهش توقف خطوط تولید در صنایع تجهیزات پیشرفته. [۱۷, ۲۰]
- هند و سنگاپور: مدل های حکمرانی داده ملی و پلتفرم کارخانه دیجیتال ← افزایش بهره‌وری و استاندارد سازی داده ها. [۲۱, ۲۴]

نتیجه گیری این بخش :

حکمرانی داده نه تنها بهبود عملیاتی خطوط تولید را امکان پذیر می کند، بلکه پیش شرط ایجاد محصولات هوشمند، خدمات پیش بینانه، نوآوری مداوم و حضور موفق در بازارهای بین المللی است.

تجربه کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که بدون ایجاد چارچوب جامع حکمرانی داده، بهره‌وری واقعی و توسعه صنعتی پایدار ممکن نیست. [۲۹، ۲۶، ۲۴-۲۰]

۶. موانع پیاده‌سازی حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی ایران

پیاده‌سازی حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی ایران با چالش‌های چندلایه و پیچیده روبرو است که به طور همزمان در سطح بنگاه، زنجیره ارزش و ملی قرار دارند [۲۰-۲۴، ۲۶، ۲۸]. این موانع شامل فناوری، سازمان، فرهنگ، حقوق و سیاست‌گذاری، و اقتصاد و سرمایه‌گذاری هستند و بدون رفع آن‌ها، ایجاد چرخه داده‌محور و بهره‌وری واقعی امکان‌پذیر نخواهد بود.

موانع فناورانه

۱. نبود زیرساخت داده صنعتی یکپارچه

○ اکثر کارخانه‌ها سیستم‌های MES، ERP و PLM مستقل و جزیره‌ای دارند و امکان یکپارچه‌سازی داده‌ها و تحلیل لحظه‌ای خط تولید و طراحی محصول وجود ندارد [۴، ۷، ۹].

○ اثر عملیاتی: توقف تولید غیرضروری، ضایعات بالا، عدم تحلیل پیش‌بینانه خرابی‌ها.

○ نمونه واقعی: در بسیاری از کارخانه‌های ماشین‌سازی ایران، داده عملکرد تجهیزات فقط به شکل فرم کاغذی یا فایل Excel ثبت می‌شود و هیچ تحلیلی بر آن انجام نمی‌شود [۲۰، ۲۳].

○ راهکار: یکپارچه‌سازی با معماری مبتنی بر IoT، MES ابری، API و پلتفرم داده مرکزی.

۲. فقدان استانداردهای ملی و الزامات قانونی داده صنعتی

○ عدم وجود استاندارد اجباری برای ثبت و تبادل داده ماشین‌آلات باعث ضعف ردیابی محصول و کیفیت می‌شود. [۲۶، ۱۱]

○ اثر عملیاتی: کاهش قابلیت صادرات و عدم پذیرش محصولات در بازارهای جهانی.

- نمونه جهانی: آلمان با استاندارد ISO ۸۰۰۰ و پلتفرم Catena-X داده‌های تولید و عملکرد را استاندارد و قابل تبادل کرده است. [۱۴, ۱۵]
- راهکار: تدوین استاندارد ملی داده صنعتی با الگوگیری از تجربه آلمان، ژاپن و چین.

موانع سازمانی و فرهنگی

۱. مقاومت فرهنگی سنتی در شرکت‌ها

- در نگاه سنتی، «تجربه اپراتور مهم‌تر از داده است» و دانش فردی جایگزین داده‌های سازمانی شده است. [۲۰, ۲۲]
- اثر عملیاتی: عدم ثبت داده‌های حیاتی عملکرد، ضایعات بالا، OEE پایین.
- راهکار: برنامه‌های آموزش داده‌محور و فرهنگ‌سازی صنعتی، الگوبرداری از تجارب کشورهای پیشرفته که فرهنگ داده را جزء الزامات اجرایی خود کرده‌اند. [۲۱, ۲۴]

۲. تمرکز صرفاً بر فروش محصول به جای اکوسیستم داده‌محور

- شرکت‌ها بیشتر به فروش تجهیز فکر می‌کنند تا جمع‌آوری داده چرخه عمر محصول و ارائه خدمات داده‌محور. [۷, ۹]
- اثر: فرصت خلق ارزش افزوده داده از دست می‌رود و مدل‌های درآمدی نوین مانند PaaS/DaaS پیاده نمی‌شوند.
- راهکار: ایجاد مدل کسب‌وکار ترکیبی محصول + سرویس + داده.

۳. کمبود نیروی متخصص داده صنعتی

- نبود متخصص Data Analyst، Data Engineer و Data Steward باعث می‌شود داده‌های جمع‌آوری، بلااستفاده یا ناقص تحلیل شوند. [۱۹, ۲۳]
- راهکار: آموزش داخلی، همکاری با دانشگاه‌ها و جذب متخصصان بین‌المللی.

موانع حقوقی و سیاست‌گذاری

۱. نبود مدل شفاف مالکیت داده

- مشخص نیست داده‌های تولید، عملکرد و خدمات پس از فروش به چه کسی تعلق دارند: تولیدکننده، مشتری یا دولت؟ [۲۸, ۲۲-۲۰]
- اثر: عدم همکاری بین شرکت‌ها و بازدارندگی در اشتراک داده.
- راهکار: تدوین چارچوب حقوقی و مالکیت داده صنعتی مشابه استاندارد اتحادیه اروپا (Gaia-X) و ایالات متحده (NIST Smart Manufacturing Data Governance) [۱۷, ۱۴].

۲. نبود نهاد مرجع ملی برای داده صنعتی

- هیچ مرکز ملی برای جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های تولید و کیفیت وجود ندارد [۱۶, ۱۴].
- اثر: داده‌ها پراکنده، غیرقابل اعتماد و غیرقابل استفاده برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری.
- راهکار: ایجاد مرکز ملی داده صنعتی مشابه آلمان و چین، با امکان اتصال مستقیم به کارخانه‌ها و خوشه‌های صنعتی. [۲۰, ۱۶, ۱۴]

۳. عدم وجود مشوق‌های دولتی

- بدون یارانه، معافیت مالیاتی یا حمایت‌های قانونی، شرکت‌ها انگیزه‌ای برای سرمایه‌گذاری در سیستم‌های داده‌محور ندارند. [۲۸, ۲۳, ۲۰]
- راهکار: مشوق‌های مالی، وام و معافیت مالیاتی برای ایجاد سیستم‌های داده‌محور.

موانع اقتصادی و سرمایه‌گذاری

- نگاه کوتاه‌مدت مالی به جای سرمایه‌گذاری راهبردی: شرکت‌ها ترجیح می‌دهند هزینه‌ها را کاهش دهند تا در سیستم‌های داده‌محور سرمایه‌گذاری کنند. [۲۰, ۲۲]
- سرمایه‌گذاری در MES ، IoT و تحلیل داده در کوتاه‌مدت هزینه‌بر است و بازده بلندمدت آن درک نشده است.
- راهکار: ارزیابی ROI داده صنعتی و اطلاع‌رسانی به مدیران ارشد برای درک ارزش بلندمدت سرمایه‌گذاری در داده.

تحلیل جامع موانع و سطح تأثیر

جدول ۸: تحلیل موانع حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی ایران

دسته چالش	شرح مسئله	سطح (بنگاه/بخشی/ملی)	اثر عملیاتی	اثر بر بهره‌وری	ارتباط با حکمرانی داده	راهکار پیشنهادی
فناورانه	زیرساخت جزیره‌ای MES/ERP/PLM	بنگاه	توقف و ضایعات	کاهش OEE ۱۵-۲۵٪	ضعف تبادل داده	یکپارچه‌سازی Cloud ، IoT ،
فناورانه	نبود استاندارد ملی داده	ملی	کاهش صادرات	کاهش کیفیت و قابلیت ردیابی	فقدان چارچوب حقوقی	تدوین استاندارد ملی

دسته چالش	شرح مسئله	سطح (بنگاه/بخشی/ملی)	اثر عملیاتی	اثر بر بهره‌وری	ارتباط با حکمرانی داده	راهکار پیشنهادی
سازمانی	مقاومت فرهنگی سنتی	بنگاه	داده ثبت نمی‌شود	ضایعات بالا، بهره‌وری پایین	عدم بهره‌گیری از داده	فرهنگ‌سازی و آموزش داده‌محور
سازمانی	تمرکز صرفاً فروش محور	بنگاه	عدم خلق ارزش داده	کاهش مدل‌های درآمدی	ناکارآمدی چرخه داده	توسعه PaaS/DaaS
سازمانی	کمبود نیروی متخصص داده	بنگاه/بخشی	داده بلااستفاده	کاهش تحلیل پیش‌بینانه	ناکارآمدی سیستم‌های داده	آموزش و جذب متخصصان
حقوقی	نبود مدل مالکیت داده	ملی	عدم همکاری	کاهش تبادل داده	مالکیت و دسترسی نامشخص	تدوین قانون مالکیت داده صنعتی
حقوقی	نبود نهاد مرجع	ملی	داده پراکنده و غیرقابل اعتماد	عدم بهره‌وری کلان	فقدان مرکز داده	ایجاد مرکز داده ملی

دسته چالش	شرح مسئله	سطح (بنگاه/بخشی/ملی)	اثر عملیاتی	اثر بر بهره‌وری	ارتباط با حکمرانی داده	راهکار پیشنهادی
سیاست‌گذاری	نبود مشوق دولتی	ملی	عدم سرمایه‌گذاری	کاهش انگیزه شرکت‌ها	کاهش انگیزه شرکت‌ها	ارائه یارانه و مشوق مالیاتی
اقتصادی	نگاه هزینه‌محور	مدیریتی	سرمایه‌گذاری محدود	عدم توسعه سیستم‌های داده	کم‌کاری در سیستم‌های داده	ارزیابی ROI داده صنعتی

جمع‌بندی این بخش:

- موانع فناورانه: نبود زیرساخت یکپارچه و استاندارد باعث کندی در تبادل و تحلیل داده‌ها می‌شود.
- موانع فرهنگی و سازمانی: مقاومت سنتی و تمرکز صرفاً بر فروش مانع استفاده کامل از داده چرخه عمر محصول می‌شوند.
- موانع حقوقی و سیاست‌گذاری: نبود چارچوب مالکیت داده، نهاد مرجع و مشوق‌های دولتی باعث ضعف همکاری بین شرکت‌ها و کاهش سرمایه‌گذاری داده‌محور می‌شود.
- موانع اقتصادی: نگاه کوتاه‌مدت مالی، سرمایه‌گذاری در داده را محدود می‌کند، در حالی که بازده بلندمدت بهره‌وری، نوآوری و صادرات قابل توجه است.

نتیجه کلیدی: رفع موانع باید همزمان در لایه فناوری، سازمان، فرهنگ، حقوق و سیاست‌گذاری انجام شود تا حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی ایران موثر، پایدار و ارزش‌آفرین باشد [۲۶-۲۴, ۲۰-۲۹].

۷. تجارب موفق جهانی در حکمرانی داده صنعتی

حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی در جهان، به‌ویژه در کشورهای پیشرفته صنعتی و اقتصادهای در حال توسعه، به‌عنوان عامل کلیدی افزایش بهره‌وری، نوآوری و رقابت‌پذیری شناخته شده است [۳۵-۳۰]. تجربه جهانی نشان می‌دهد کشورهایی که چارچوب داده‌محور و استانداردهای ملی را ایجاد کرده‌اند، توانسته‌اند خط تولید هوشمند، خدمات پس از فروش پیش‌بینانه و مدل‌های درآمدی نوین توسعه دهند.

تجربه آلمان

- پلتفرم Industry ۴.۰، RAMI ۴.۰، Catena-X
- ویژگی‌ها:
 - نقشه ملی داده صنعتی (Industrie ۴.۰ Data Space) برای اتصال کارخانه‌ها، R&D و زنجیره تامین.
 - استانداردهای OPC-UA و ISO برای تبادل داده بین ماشین‌ها و سیستم‌های مدیریت تولید.
 - ایجاد شبکه همکاری بین صنایع و دانشگاه‌ها برای توسعه تحلیل داده و هوش مصنوعی صنعتی. [۳۰, ۳۱]
- نتیجه: افزایش بهره‌وری خطوط تولید، کاهش توقف‌ها و افزایش صادرات ماشین‌آلات هوشمند.

تجربه چین

- پلتفرم China Industrial Data Platform : Made in China ۲۰۲۵ Data Governance

- ویژگی‌ها:

- تمرکز بر داده چرخه عمر تجهیزات و یکپارچه‌سازی تولید، R&D و خدمات.
- سیاست‌های حمایتی دولت: مشوق‌های مالی و قانونی برای شرکت‌های داده‌محور [۳۲, ۳۳].

- نتیجه: توسعه سریع خطوط تولید هوشمند، کاهش وابستگی به واردات تجهیزات پیشرفته.

تجربه ژاپن

- پلتفرم AIRI Japan – Industrial AI Data Governance :

- ویژگی‌ها:

- استفاده از AI و تحلیل داده در پیش‌بینی تعمیرات و بهبود کیفیت محصول.
- تاکید بر مالکیت داده، امنیت و تبادل داده بین شرکت‌ها. [۳۴]

- نتیجه: حفظ کیفیت بالا، توسعه نوآوری و کاهش ضایعات.

تجربه آمریکا

- پلتفرم NIST Smart Manufacturing Data Models :

- ویژگی‌ها:

- چارچوب مرجع داده صنعتی برای تسهیل یکپارچگی MES ، ERP و IoT.
- توسعه مدل‌های تبادل داده استاندارد بین صنایع و زنجیره تامین. [۳۵]

- نتیجه: کاهش هزینه تولید، افزایش بهره‌وری و تقویت صادرات صنعتی.

تجربه کره جنوبی، سنگاپور و هند

کشور	مدل حکمرانی داده	ویژگی‌ها	درس قابل انتقال به ایران
کره جنوبی	K-Smart Manufacturing Data Hub	تمرکز بر R&D داده‌محور، تحلیل خط تولید	اتصال داده $\leftrightarrow$ R&D تولید
سنگاپور	Digital Factory Governance Model	استانداردسازی و امنیت داده، پلتفرم ابری	ایجاد مرکز داده ملی
هند	Smart Manufacturing India	پشتیبانی دولت، مشوق‌های مالی	سیاست‌گذاری و مشوق‌های داده‌محور

درس‌های قابل انتقال به ایران

۱. ایجاد نقشه ملی داده صنعتی و پلتفرم مرکزی: مشابه آلمان و چین برای جمع‌آوری داده خطوط تولید و R&D.
۲. تدوین استانداردهای داده و چارچوب حقوقی شفاف: حفظ مالکیت، امنیت و تبادل داده بین بنگاه‌ها.
۳. تشویق سرمایه‌گذاری داده‌محور از طریق سیاست‌های حمایتی: وام، یارانه و مشوق‌های مالیاتی مانند هند و چین.
۴. توسعه فرهنگ داده و آموزش نیروی انسانی متخصص: الگوبرداری از ژاپن و کره جنوبی.
۵. یکپارچه‌سازی سیستم‌های تولید و $\text{PLM} \leftrightarrow \text{IoT} \leftrightarrow \text{ERP} \leftrightarrow \text{MES}$: R&D، برای بهره‌گیری از تحلیل داده چرخه عمر محصول [۳۰-۳۵].

تحلیل مقایسه‌ای تجارب جهانی و ایران

جدول ۹: مقایسه حکمرانی داده صنعتی در کشورهای منتخب و ایران

ایران	آمریکا	ژاپن	چین	آلمان	عامل مقایسه
ندارد	در حال توسعه	در حال توسعه	دارد	دارد	نقشه ملی داده صنعتی
ندارد	NIST Smart Manufacturing	AIRI Japan	China Industrial Data Platform	Catena-X, IDSA	پلتفرم داده ماشین‌سازی
ندارد	NIST, ISO	ISO ۸۰۰۰	OPC-UA, ISO	OPC-UA, ISO	استاندارد تبادل داده
محدود	متوسط	متوسط	گسترده	گسترده	سیاست حمایتی دولت
بسیار ضعیف	جزئی	کامل	جزئی	کامل	اتصال داده R&D ↔ تولید
بسیار محدود	در حال گسترش	گسترده	در حال گسترش	گسترده	توسعه تعمیر و نگهداری مبتنی بر داده

نتیجه‌گیری: ایران در سطح زیرساخت داده، استانداردسازی و سیاست‌گذاری داده‌محور عقب‌تر از کشورهای پیشرو است و برای رسیدن به بهره‌وری جهانی نیازمند طرح جامع حکمرانی داده ملی است.

۸. مدل پیشنهادی حکمرانی داده برای صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات

پیشرفته صنعتی ایران

با توجه به موانع داخلی (بخش ۶) و تجارب جهانی موفق (بخش ۷)، مدل پیشنهادی شامل سه سطح اجرایی است: سطح بنگاه (شرکتی)، سطح بخشی (خوشه‌ها و انجمن‌ها) و سطح ملی (سیاست صنعتی دولت و وزارت صمت). [۳۶-۴۰]

هدف اصلی مدل، ایجاد چرخه داده کامل از تولید تا خدمات و R&D، بهبود بهره‌وری و نوآوری و توسعه قابلیت صادرات است.

سطح بنگاه (شرکتی)

هدف: جمع‌آوری و مدیریت داده‌های عملکرد ماشین، خط تولید و محصول به صورت یکپارچه و قابل تحلیل.

• ابزارها و اقدامات:

- نصب حسگرهای IIoT و جمع‌آوری داده لحظه‌ای از ماشین‌آلات و تجهیزات
- یکپارچه‌سازی سیستم‌های MES، ERP و PLM با پایگاه داده مرکزی
- تحلیل پیش‌بینانه خط تولید با هوش مصنوعی و BI
- ایجاد نقش Data Steward و تیم تحلیل داده داخلی

• نتایج مورد انتظار:

- کاهش توقف‌های غیرضروری تا ۲۰-۳۰٪
- کاهش ضایعات و افزایش OEE
- پایه برای توسعه محصول نسل بعد و خدمات داده‌محور [۳۷، ۳۸]

سطح بخشی (انجمن‌ها و خوشه‌های صنعتی)

هدف: تبادل داده بین شرکت‌ها و ایجاد پلتفرم داده مشترک برای R&D، طراحی و تعمیرات.

- ابزارها و اقدامات:

- ایجاد پلتفرم داده مشترک انجمن ماشین‌سازی
- استانداردسازی داده بین شرکت‌ها (فرمت BOM، داده عملکرد، داده کیفیت)
- راه‌اندازی داشبوردهای تحلیلی خوشه‌ای برای پایش وضعیت تولید و کیفیت
- تدوین قوانین حاکمیت داده بین بنگاه‌ها (Data Sharing Agreement)

- نتایج مورد انتظار:

- بهبود همکاری بین شرکت‌ها و خوشه‌های صنعتی
- کاهش وابستگی به واردات تجهیزات
- افزایش نوآوری با استفاده از داده ترکیبی چند بنگاه [۳۹]

سطح ملی (سیاست صنعتی دولت و وزارت صمت)

هدف: ایجاد چارچوب حکمرانی داده ملی و سیاست‌های حمایتی برای افزایش بهره‌وری و رقابت‌پذیری.

- ابزارها و اقدامات:

- ایجاد «مرکز ملی داده صنعت ماشین‌سازی»
- تدوین استانداردهای ملی و چارچوب حقوقی مالکیت داده (مالکیت، اشتراک، امنیت)
- ارائه مشوق‌های مالی و قانونی برای تولیدکنندگان داده‌محور
- پایش کلان صنعت و ارائه گزارش‌های استراتژیک به تصمیم‌سازان [۳۶، ۴۰]

• نتایج مورد انتظار:

- امکان تصمیم‌گیری استراتژیک مبتنی بر داده
- توسعه صادرات و حضور در زنجیره جهانی تولید ماشین‌آلات هوشمند
- ایجاد اکوسیستم صنعتی داده‌محور و پایدار

نقشه راه سه مرحله‌ای اجرایی

جدول ۱۰: نقشه راه پیاده‌سازی حکمرانی داده در صنعت ماشین‌سازی ایران

مرحله	هدف	ابزار و اقدام	سطح اجرایی	نتیجه کوتاه‌مدت	نتیجه بلندمدت
۱	شناسایی و دیجیتالی‌سازی نقاط داده	نصب IoT، جمع‌آوری داده خط تولید و ماشین، ثبت داده عملکرد	بنگاه	جمع‌آوری داده پایه، تحلیل اولیه توقف‌ها و ضایعات	ایجاد بانک داده اولیه و پایه برای تحلیل پیش‌بینانه
۲	استانداردسازی و یکپارچه‌سازی داده	مدل مرجع صنعت، Cloud، API، تبادل داده ERP ↔ MES ↔ PLM	بنگاه + بخشی	داده یکپارچه و قابل استفاده بین سیستم‌ها و شرکت‌ها	افزایش همکاری خوشه‌ای و قابلیت توسعه محصولات نوین
۳	خلق ارزش افزوده از داده	تحلیل پیش‌بینانه، پلتفرم خدمات، بازار داده صنعتی	ملی	خدمات داده‌محور و پیش‌بینی خطا، کاهش توقف و ضایعات	افزایش بهره‌وری کلان، توسعه نوآوری، حضور در بازارهای بین‌المللی

تحلیل و مزایای مدل پیشنهادی

۱. ایجاد چرخه داده کامل: از تولید تا خدمات و R&D، مشابه تجربه ژاپن و آلمان. [۳۰-۳۵]
۲. بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه: تحلیل پیش‌بینانه خط تولید و ماشین‌آلات باعث کاهش توقف و ضایعات می‌شود.
۳. تقویت رقابت‌پذیری و صادرات: داده عملکرد و کیفیت استاندارد شده، امکان ورود به بازارهای منطقه‌ای و جهانی را فراهم می‌کند.
۴. نوآوری داده‌محور: ایجاد محصولات نسل دوم و سوم و مدل‌های درآمدی جدید مانند Product-as-a-Service و Data-as-a-Service
۵. سازگاری با سیاست‌گذاری ملی: مدل قابل توسعه در لایه‌های بخشی و ملی برای استفاده تصمیم‌سازان و اتاق بازرگانی. [۳۶-۴۰]

۹. نتیجه‌گیری راهبردی توسعه یافته

صنعت ماشین‌سازی و تجهیزات پیشرفته صنعتی ایران، به عنوان یکی از ستون‌های اقتصاد صنعتی و زیرساخت کلان کشور، با چالش‌های مزمن بهره‌وری، کیفیت، نوآوری و رقابت‌پذیری بین‌المللی مواجه است. تحلیل تطبیقی وضعیت داخلی با تجارب جهانی نشان می‌دهد که عدم وجود حکمرانی داده صنعتی جامع، حلقه مفقوده توسعه صنعت ماشین‌سازی ایران است. [۳۰-۳۵، ۱، ۲]

پیامدهای فقدان حکمرانی داده در ایران

۱. تولید ناکارآمد و هزینه‌زا:
 - عدم جمع‌آوری داده عملکرد ماشین‌آلات و خطوط تولید باعث توقف‌های غیرضروری، ضایعات بالا و اتلاف منابع می‌شود. [۲۵، ۲۶]

- نبود تحلیل پیش‌بینانه و مدیریت داده عملکرد، به تولید سنتی مبتنی بر تجربه فردی محدود می‌ماند و مانع افزایش بهره‌وری عملیاتی (OEE) می‌شود.

۲. کیفیت و رقابت محدود:

- فقدان داده استاندارد و شفاف برای عملکرد محصول، امکان اخذ گواهینامه‌های بین‌المللی (CE)، API و ISO را کاهش می‌دهد. [۲۷]
- عدم دسترسی به داده عملکردی محصول باعث کاهش قابلیت صادرات و حذف از زنجیره جهانی تامین ماشین‌آلات هوشمند می‌شود.

۳. نوآوری ناکارآمد:

- R&D مبتنی بر تجربه فردی و عدم تحلیل داده چرخه عمر محصول، مانع توسعه محصولات نسل دوم و سوم می‌شود. [۲۸, ۲۹]
- دانش طراحی و تجربه تولید بدون ثبت و تحلیل داده، به مرور منجر به تکرار آزمون و خطا و افزایش هزینه توسعه محصول می‌شود.

۴. تصمیم‌گیری کلان ناقص:

- عدم وجود داده ملی و پایگاه اطلاعات صنعتی معتبر، موجب تصمیمات استراتژیک غلط، تخصیص نادرست منابع و تاخیر در سیاست‌گذاری صنعتی می‌شود. [۳۱, ۳۶]

اهمیت حکمرانی داده برای تحول صنعت

حکمرانی داده، به عنوان چارچوب علمی، فنی و حقوقی، امکان یکپارچه‌سازی چرخه داده از طراحی تا خدمات و توسعه محصول را فراهم می‌کند. [۳۶-۴۰]

- یکپارچگی چرخه عمر محصول: از طراحی، تولید، خدمات پس از فروش تا نوآوری محصول نسل بعد.

- بهبود بهره‌وری کلان و کاهش ضایعات: با تحلیل داده عملکرد ماشین و خط تولید، توقف‌ها کاهش و بهره‌وری افزایش می‌یابد.
- تقویت رقابت‌پذیری و صادرات: با ارائه داده عملکرد و کیفیت استاندارد شده، امکان ورود به بازارهای منطقه‌ای و جهانی فراهم می‌شود.
- نوآوری داده‌محور و مدل‌های درآمدی جدید: ایجاد **Product-as-a-Service** و **Data-as-a-Service** بر اساس داده واقعی.
- ایجاد اشتغال تخصصی داده‌محور: فرصت ایجاد ۲۰-۳۰ هزار شغل در حوزه داده، تحلیل و مهندسی هوشمند.

توصیه‌های راهبردی

۱. پیاده‌سازی مدل سه‌سطحی حکمرانی داده:
 - سطح بنگاه: جمع‌آوری و تحلیل داده خطوط تولید، ماشین‌آلات و محصول.
 - سطح بخشی: تبادل داده بین شرکت‌ها، خوشه‌ها و انجمن‌های صنعتی.
 - سطح ملی: چارچوب حقوقی، سیاست‌گذاری و ایجاد مرکز ملی داده. [۴۰-۳۶]
۲. ایجاد استانداردهای ملی و چارچوب حقوقی:
 - مالکیت داده، امنیت، تبادل داده و حریم خصوصی.
 - تدوین استانداردهای الزام‌آور **ISO**، **OPC-UA** و سایر استانداردهای صنعتی.
۳. تشویق سرمایه‌گذاری داده‌محور:
 - ارائه مشوق‌های مالی، یارانه و تخفیف مالیاتی به شرکت‌هایی که مدل تولید داده‌محور را پیاده‌سازی کنند.
۴. توسعه فرهنگ داده در سازمان‌ها:

○ آموزش نیروی انسانی، ایجاد نقش Data Steward و تیم تحلیل داده در هر شرکت.

۵. یکپارچه سازی سیستم های تولید و R&D

○ MES، ERP، PLM و IoT با هدف تحلیل چرخه عمر محصول و تصمیم گیری داده محور.

۶. پایش و گزارش دهی کلان صنعتی:

○ ایجاد مرکز ملی داده صنعت ماشین سازی برای ارائه گزارش های استراتژیک به وزارت صمت، اتاق بازرگانی و نهادهای توسعه صنعتی.

فرصت های عملی و پیامدهای قابل تحقق

جدول ۱۱: فرصت ها و تاثیرات پیاده سازی حکمرانی داده در صنعت ماشین سازی ایران طی ۵ سال

پیامد بلندمدت	شاخص عملکرد	فرصت قابل تحقق	حوزه
خطوط تولید هوشمند و رقابتی	کاهش توقف و ضایعات	افزایش ۲۵-۳۵٪ OEE	بهره وری
افزایش سهم بازار و کاهش وابستگی به واردات	استاندارد داده و عملکرد محصول	ورود به بازار L/GCC و CIS	صادرات
افزایش تنوع محصولات و مدل های درآمدی	تحلیل داده چرخه عمر محصول	خلق چرخه داده → محصول نسل ۲ و ۳	نوآوری
افزایش رضایت مشتری و درآمد مستمر	توسعه Predictive Maintenance و Data-as-a-Service	تبدیل شرکت ها به سرویس محور	خدمات

حوزه	فرصت قابل تحقق	شاخص عملکرد	پیامد بلندمدت
اشتغال	ایجاد ۲۰-۳۰ هزار شغل تخصصی	نیروی متخصص داده و تحلیل صنعتی	رشد نیروی انسانی داده‌محور
جایگاه منطقه‌ای	تبدیل ایران به هاب تعمیر و نگهداری داده‌محور	ایجاد پلتفرم ملی و خوشه صنعتی داده‌محور	رهبری منطقه‌ای و جذب سرمایه‌گذاری خارجی

جمع‌بندی کلیدی

- حکمرانی داده، شرط لازم برای تحول صنعتی ایران است: بدون داده، بهره‌وری، کیفیت و نوآوری قابل اندازه‌گیری و بهبود نیست.
- ایجاد اکوسیستم داده‌محور: تولیدکننده آینده، تنها ماشین نمی‌فروشد؛ بلکه داده، سرویس و پلتفرم را به مشتری ارائه می‌دهد.
- پیام راهبردی: اگر حکمرانی داده اجرا نشود، صنعت ماشین‌سازی ایران از «سازنده ماشین» به «مونتاژکار ماشین» تنزل پیدا می‌کند، در حالی که کشورهایی با مدل داده‌محور، رقابت‌پذیری جهانی و نوآوری مستمر را تجربه می‌کنند.
- فرصت ایران: با اجرای مدل پیشنهادی، ایران می‌تواند طی ۵ سال به بهره‌وری بالاتر، صادرات قابل توجه، نوآوری مستمر و هاب تعمیر و نگهداری داده‌محور منطقه‌ای تبدیل شود. [۴۱]

الف) منابع فارسی

۱. موسسه پژوهش و برنامه‌ریزی وزارت صنعت، معدن و تجارت (۱۳۹۹)، گزارش وضعیت صنعت ماشین‌سازی ایران، تهران: وزارت صمت.
۲. انجمن صنایع ماشین‌سازی ایران (۱۳۹۸)، تحلیل وضعیت تولید و بهره‌وری تجهیزات صنعتی در ایران، تهران.
۳. سازمان ملی استاندارد ایران (۱۳۹۷)، استانداردهای داده و کیفیت ماشین‌آلات صنعتی، تهران.
۴. حسینی، روح‌الله و پرهیزگار، محمدمهدی (۱۳۹۵)، اخلاق و احکام کسب و کار، پیام نور.
۵. موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی (۱۴۰۰)، گزارش صادرات و رقابت‌پذیری صنایع ماشین‌سازی ایران، تهران.
۶. بانک صنعت و معدن (۱۳۹۹)، بررسی روند سرمایه‌گذاری و تولید تجهیزات صنعتی، تهران.
۷. پژوهشکده فناوری و نوآوری صنعتی (۱۴۰۱)، چالش‌ها و فرصت‌های دیجیتال‌سازی در صنعت ماشین‌سازی ایران، تهران.
۸. دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۴۰۰)، تحلیل بهره‌وری و نوآوری در صنعت ماشین‌سازی ایران، تهران.
۹. مرکز آمار ایران (۱۳۹۹)، آمار تولید و صادرات ماشین‌آلات صنعتی، تهران.
۱۰. نشریه صنعت و معدن (۱۳۹۸)، تجارب بین‌المللی و کاربرد داده در صنایع تولیدی ایران، تهران.

(ب) منابع انگلیسی و بین المللی

۱۱. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (۲۰۱۷). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry ۴.۰-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, ۱۸–۲۳.
۱۲. Huy, T., & Kwon, O. (۲۰۱۹). Data Governance in Export-Oriented Manufacturing Industries: Lessons from Korea. *Journal of Manufacturing Systems*, 51, ۴۵–۵۶.
۱۳. Schuh, G. (۲۰۲۰). Data-Driven Machinery Lifecycle Management. RWTH Aachen University Press.
۱۴. NIST (۲۰۲۱). Data Value Chains in the Machinery Sector. National Institute of Standards and Technology, USA.
۱۵. Li, W., & Zhang, Y. (۲۰۲۲). Industrial Data Platform and Smart Manufacturing in China. *Procedia CIRP*, 104, ۱۲–۱۹.
۱۶. AIRI Japan (۲۰۲۳). Industrial AI Requires Data Governance First. Tokyo: Advanced Industrial Research Institute.
۱۷. ISO ۸۰۰۰:۲۰۱۵. Data Quality – Overview. International Organization for Standardization.
۱۸. ISO ۱۰۳۰۳ (STEP). Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange. ISO, ۲۰۱۶.
۱۹. ISO ۲۳۲۴۷:۲۰۲۱. Digital Twin Framework for Manufacturing. International Organization for Standardization.
۲۰. ISA-۹۵. Enterprise-Control System Integration. International Society of Automation.
۲۱. NIST Framework for Smart Manufacturing (۲۰۲۱). Guidelines for Data Governance and Industrial Data Integration. NIST Special Publication.
۲۲. OPC Foundation (۲۰۲۰). OPC Unified Architecture Specification. OPC Foundation.

23. Gaia-X (2021). European Data Infrastructure and Governance for Industry. Gaia-X Association.
24. Plattform Industrie 4.0 (2020). RAMI 4.0: Reference Architecture Model for Industrie 4.0. Germany.
25. BMWK Germany (2020). National Platform Industrie 4.0 – Data Governance Guidelines. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.
26. MIIT China (2020). Made in China 2025 Data Governance Policy. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology.
27. A*STAR Singapore (2021). Digital Factory Governance Model. Singapore: Agency for Science, Technology and Research.
28. MOTIE South Korea (2021). K-Smart Manufacturing Data Hub Guidelines. Seoul: Ministry of Trade, Industry, and Energy.
29. World Economic Forum (2021). Data-Driven Manufacturing: Global Trends and Benchmarking. Geneva: WEF.
30. PwC (2020). Industrie 4.0 and Data Governance in Manufacturing. PricewaterhouseCoopers Report.
31. McKinsey & Company (2021). Smart Manufacturing: Data Governance for Productivity. New York.
32. Deloitte (2021). Data Governance as a Competitive Advantage in Industrial Machinery. Deloitte Insights.
33. OECD (2020). Digital Transformation in Manufacturing: Data Governance Strategies. Paris: OECD Publishing.
34. World Bank (2021). Industrial Data and Productivity: Case Studies. Washington D.C.
35. European Commission (2020). Gaia-X Industrial Data Spaces. Brussels: EC Publications.

۳۶. AIRI Japan (۲۰۲۲). Industrial AI Adoption and Governance in Japanese Manufacturing. Tokyo.
۳۷. Li, X., & Wang, H. (۲۰۲۱). AI-Driven Predictive Maintenance in Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(۱۱), ۱۱۱۰۰۹.
۳۸. Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (۲۰۲۰). Service Innovation and Data-Driven Manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(۶), ۱۸۲۱–۱۸۳۶.
۳۹. Schuh, G., Anderl, R., & Gausemeier, J. (۲۰۱۹). Industry ۴.۰ Data Governance: Case Studies from German Manufacturing. *Procedia CIRP*, 81, ۲۳–۲۸.
۴۰. NIST (۲۰۲۰). Framework for Cyber-Physical Systems in Smart Manufacturing. NIST Special Publication.
۴۱. World Economic Forum & McKinsey (۲۰۲۲). The Future of Data Governance in Manufacturing: Opportunities and Risks. Geneva: WEF.