

Identification and leveling of flexible manufacturing indicators in Saipa Group

morteza piri ¹, meysam jafari * ²

1. Assistant Prof. of Public Administration Department, Faculty of Economics and Management, Urmia University
2. Ph.D. in Public Administration, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Lorestan University

*. Corresponding Author: mahdieh90m@gmail.com

Received: 15 April 2023

Revised: 28 July 2024

Accepted: 27 August 2024

Abstract

Improving competitiveness and customization in the automobile industry requires adopting flexible approaches. Flexibility in manufacturing allows companies to increase their efficiency and reduce costs related to manufacturing. Based on this, the purpose of the current study was interpretive structural modeling of flexible manufacturing indicators in Saipa Group. This research is applied in terms of purpose and terms of research typology. It is among mixed research with a qualitative and quantitative approach in the deductive-inductive paradigm. Identifying flexible manufacturing indicators in Saipa Group was conducted through semi-structured interviews based on theoretical saturation with 26 university professors and experts in industrial management, business management and industrial engineering. The validity and reliability of the interviews were confirmed by the method of relative content validity and Cohen's kappa index, respectively. In the quantitative part, the opinions of 74 senior and middle managers of Saipa Group subsidiary companies were used with the available convenience sampling method to model flexible manufacturing in the automobile industry. The validity and reliability of the questionnaire were confirmed using content validity and the test-post-test method. Coding of interviews using MAXQDA2020 software led to identifying 13 main indicators of flexible manufacturing. Modeling of the identified indicators with interpretive structural method and mix-and-match analysis led to the formation of eight levels, the intelligentization of lines was the most effective and automation was the most effective index of flexible manufacturing in Saipa Group.

Keywords: flexible manufacturing, Saipa Group, ISM.

Citation: Piri, M., Jafari, M. (2024). Interpretive Structural Modeling of Flexible Manufacturing Indicators in Saipa Group, *Journal of Technology Development Management*, 12(1), 181-204,
<https://doi.org/10.22104/jtdm.2024.6239.3164>

شناسایی و سطح‌بندی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا

مرتضی پیری^۱؛ میثم جعفری^{۲*}

۱. استادیار گروه مدیریت دولتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه

۲. دکتری مدیریت دولتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه لرستان

* نویسنده مسئول: mahdieh90m@gmail.com

پذیرش: ۰۵ شهریور ۱۴۰۳

بازنگری: ۰۶ مرداد ۱۴۰۳

دریافت: ۲۷ فروردین ۱۴۰۲

چکیده

ارتقا توان رقابتی و سفارشی‌سازی در صنعت خودرو نیازمند اتخاذ رویکردهای منعطف است. انعطاف‌پذیری در تولید به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا کارایی خود را افزایش داده و هزینه‌های مربوط به تولید را کاهش دهند. بر این اساس هدف از انجام مطالعه حاضر مدل‌سازی ساختاری تفسیری شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا بوده است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از لحاظ نوع‌شناسی پژوهش در زمره پژوهش‌های آمیخته با رویکرد کیفی و کمی در پارادایم قیاسی-استقرایی است. شناسایی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته بر پایه اشباع نظری با ۲۶ نفر از اساتید دانشگاهی و خبرگان در حوزه مدیریت صنعتی، مدیریت بازرگانی و مهندسی صنایع انجام گرفت. روایی و پایایی مصاحبه‌ها به ترتیب با روش روایی محتوای نسبی و شاخص کاپای کوهن تایید شد. در بخش کمی نیز به منظور مدل‌سازی تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا از نظرات ۷۴ نفر از مدیران عالی و میانی شرکت‌های زیرمجموعه گروه سایپا با روش نمونه‌گیری غیراحتمالی در دسترس استفاده شد. روایی و پایایی پرسشنامه به ترتیب با بهره‌گیری از روایی محتوا و روش آزمون-پس‌آزمون تایید شد. کدگذاری مصاحبه‌ها با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA2020 منجر به شناسایی ۱۳ عامل اصلی تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا شد. مدل‌سازی شاخص‌های شناسایی شده با روش ساختاری تفسیری و تحلیل میک‌منجر به تشکیل هشت سطح گردید که هوشمندسازی خطوط اثرگذارترین و خودکارسازی اثرپذیرترین شاخص تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا بودند.

کلمات کلیدی: تولید انعطاف‌پذیر، گروه سایپا، مدل‌سازی ساختاری تفسیری.

مقدمه

در سال‌های اخیر، صنعت خودروسازی دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است. مصرف‌کنندگان خواستار وسایل نقلیه شخصی‌تر، با گزینه‌ها و پیکربندی‌های مختلف هستند. این امر منجر به افزایش پیچیدگی در تولید شده است. پیشرفت‌های تکنولوژی استفاده از مواد جدید، فرآیندهای تولید و اتوماسیون را امکان‌پذیر کرده است که نیازمند استراتژی‌های تولید نوآورانه است. خطوط تولید نرم‌افزار (SPL^1) خطوط تولید را قادر می‌سازند تا وظایف خاصی را متناسب با نیازهای مشتری انجام دهند. این قابلیت سفارشی‌سازی می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا نیازهای منحصر به فرد هر مشتری را برآورده کنند و منجر به رضایت و وفاداری بیشتر مشتری شود (اگرت و همکاران^۲، ۲۰۲۲). علاوه بر این، سیاست‌های عمومی نقش مهمی در تعریف استراتژی‌های محلی برای توسعه محصول، سرمایه‌گذاری در فناوری‌ها و نوآوری و شکل‌دهی به صنعت خودروسازی در برزیل و سایر کشورها داشته‌اند. این سیاست‌ها به رشد و رقابت‌پذیری صنعت کمک کرده است (فریسکه و استیلر^۳، ۲۰۲۲). تحقیقات تجربی نیز برای اطمینان از کیفیت و امنیت محصولات خودرو، با روش‌های آزمایشی خاص و سیستم‌های کیفی برای تأیید عملکرد مقالات مرتبط با خودرو انجام شده است (رادنو و همکاران^۴، ۲۰۲۳). تحقیقات اخیر در شبکه‌های پیچیده، روابط بین بازیگران صنعت خودروسازی را در سطح جهانی بررسی کرده است. این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان و محصولات در یک ساختار پیچیده و چندوجهی با یکدیگر در ارتباط هستند. این شبکه، الگوهای متنوعی از تولید و توزیع جغرافیایی را آشکار می‌سازد، و چالش‌ها و فرصت‌های متعددی را در پاسخ به تقاضای روزافزون برای سفارشی‌سازی و تولید انبوه به تصویر می‌کشد. این یافته‌ها، پیچیدگی‌های صنعت خودرو را در عصر مدرن نشان می‌دهد، که در آن نیاز به انعطاف‌پذیری و نوآوری برای برآورده کردن انتظارات بازار در حال تغییر، ضروری است (چا و همکاران^۵، ۲۰۲۰). صنعت خودروسازی در تلاش برای افزایش تولید، به دنبال راه‌حلهایی است که هم انعطاف‌پذیری را حفظ کند و هم قابلیت تغییر در فرآیند تولید را فراهم آورد. یکی از این استراتژی‌ها، اتخاذ سیستم تولید انعطاف‌پذیر است که به شرکت‌ها اجازه می‌دهد فرآیند تولید را خودکار کنند و در عین حال، در صورت نیاز به تغییر در محصول نهایی، قادر به تطبیق و انطباق باشند. این روش، تعادل بین

-
1. Software production lines
 2. Eggert et al
 3. Frieske & stielner
 4. Radeanu et al
 5. Chae et al

افزایش تولید و حفظ انعطاف‌پذیری را تضمین می‌کند (دلیک و ایرز^۱ ۲۰۲۰). سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر، روشی نوین در صنعت تولید هستند که به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا با تغییرات سریع و متغیر بازار همگام شوند. این سیستم‌ها بر انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری خطوط تولید و ماشین‌آلات تمرکز دارند، به طوری که بتوانند به راحتی با تغییرات در فرآیندها، سفارش‌ها و حتی تحولات بازار، سازگار شوند. هدف اصلی این سیستم‌ها، افزایش سرعت واکنش تولیدکنندگان به شرایط جدید است، بدون اینکه هزینه‌های اضافی قابل توجهی به ساختار تولید فعلی آنها تحمیل شود. با این رویکرد، تولیدکنندگان می‌توانند به راحتی به تغییرات در طرح‌ها، سفارش‌های جدید و حتی تحولات کلان بازار پاسخ دهند و انعطاف‌پذیری بیشتری در عملیات خود ایجاد کنند (قمر و همکاران^۲ ۲۰۲۰). انعطاف‌پذیری در تولید، رویکردی نوین در صنعت است که با هدف تطبیق سریع با تغییرات در نوع و حجم تولیدات، طراحی شده است. این سیستم تولیدی پیشرفته، ترکیبی از ماشین‌آلات و فناوری‌های کامپیوتری است که انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری را در فرآیند تولید به ارمغان می‌آورد. این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که به راحتی می‌تواند با تغییرات در محصولات تولیدی سازگار شود و به همین دلیل، قابلیت تنظیم و مدیریت سطوح مختلف تولید را دارد. این ویژگی منحصر به فرد، آن را به ابزاری قدرتمند در صنعت تولید تبدیل می‌کند. تولید انعطاف‌پذیر، با اتوماسیون پیشرفته، هزینه‌های نیروی کار را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. با این حال، برای طراحی و پیاده‌سازی آن، به مهارت‌های فنی بالایی نیاز است. این سیستم، نه تنها کارایی را بهبود می‌بخشد، بلکه با کاهش هزینه‌های تولید، مزایای قابل توجهی در توسعه کسب‌وکار به همراه دارد. همچنین، در استراتژی‌های تولید سفارشی، نقش کلیدی ایفا می‌کند و اجازه می‌دهد تا محصولات سفارشی، بر اساس خواسته‌های مشتریان، تولید شوند (مندز و ماچادو^۳ ۲۰۱۵). تولید انعطاف‌پذیر، رویکردی نوین در صنعت است که با اتصال ایستگاه‌های کاری به یکدیگر و تجهیز آن‌ها به پایانه‌های کامپیوتری، فرآیند تولید را به صورت یکپارچه مدیریت می‌کند. این سیستم، طیف وسیعی از عملیات را شامل می‌شود، از بارگیری و تخلیه مواد اولیه تا ماشینکاری، مونتاژ، و حتی آزمایش کیفیت و پردازش داده‌ها. یکی از ویژگی‌های برجسته این سیستم، قابلیت برنامه‌ریزی آن است. می‌توان آن را طوری تنظیم کرد که به صورت خودکار، از تولید یک مجموعه محصول به تولید مجموعه‌ای دیگر با مشخصات متفاوت، تغییر کند. این انعطاف‌پذیری، آن را به ابزاری قدرتمند در استراتژی‌های ساخت سفارشی تبدیل می‌کند، جایی که مشتریان می‌توانند سفارش‌های متنوع و شخصی‌سازی شده خود را ارائه دهند. مزیت اصلی این روش

1. Delic & Eysers
2. Qamar et al
3. Mendes & Machado

تولید، افزایش چشمگیر راندمان است. با کاهش زمان توقف خط تولید، فرآیند تولید به طور مداوم جریان دارد و نیازی به توقف برای تنظیم مجدد نیست. این امر باعث بهبود بهره‌وری و کاهش زمان تحویل محصولات می‌شود (میشرا و همکاران^۱ ۲۰۱۸). تولید انعطاف‌پذیر، روشی نوین در صنعت است که با بهره‌گیری از اتوماسیون پیشرفته، بهینه‌سازی هزینه‌های نیروی کار را هدف قرار می‌دهد. یکی از شرکت‌های پیشرو در این زمینه، سایپا، غول خودروسازی ایران است. این شرکت در دهه ۴۰ با نام شرکت تولید اتومبیل سیتروئن ایران پا به عرصه گذاشت و با تولید مدل‌های متنوع ژیان، رشد و توسعه یافت. در سال ۱۳۵۱، نام شرکت به سایپا تغییر یافت و به عنوان یک شرکت سهامی عام، جایگاه خود را در صنعت خودروسازی ایران تثبیت کرد.

در سال ۱۳۷۸، با خرید سهام شرکت‌های پارس خودرو، زامیاد و سایپا دیزل، سایپا به یک گروه خودروسازی قدرتمند تبدیل شد و حضور خود را در کل زنجیره ارزش صنعت خودرو گسترش داد (ویکی پدیا، ۱۴۰۲). وضعیت تولید فعلی سایپا به این صورت است؛ در سال ۹۸، سایپا تولید خودرو به حدود ۶۸۰ هزار دستگاه رسید و در سال ۹۹ به ۷۵۰ هزار دستگاه رسید. اما در سال ۱۴۰۰، تولید سایپا به دلیل مشکلات تولید، عوارض اقتصادی و تحریم‌ها کاهش یافته و به حدود ۴۵۰ هزار دستگاه رسید. با توجه به روند تولید سایپا در سال‌های گذشته، برای بهبود وضعیت تولید انعطاف‌پذیر و افزایش نرخ تولید، باید به موارد زیر توجه کرد؛ سایپا نیاز به تأمین منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، خرید تجهیزات جدید و اجرای پروژه‌های جدید دارد. با تأمین منابع مالی، سایپا می‌تواند فن‌آوری‌های جدید را وارد کند و باعث افزایش نرخ تولید شود. سایپا باید تلاش کند تا استانداردهای کیفیت را تحقق بخشد تا محصولاتش مورد اقبال مصرف‌کنندگان قرار گیرد. این امر می‌تواند منجر به افزایش فروش و نرخ تولید شود. سایپا باید تلاش کند تا صادراتش را توسعه دهد تا از صادرات خودروها به دیگر کشورها برخوردار شود. این امر می‌تواند منجر به افزایش نرخ تولید و درآمد سایپا شود. سایپا باید با شرکت‌های خارجی همکاری کند تا از دانش فنی آنان استفاده کند و فن‌آوری‌های جدید را وارد کند. این امر می‌تواند منجر به افزایش نرخ تولید شود. سایپا باید تلاش کند تا فرآیندهای تولیدش را بهبود بخشد و بهره‌وری کارکنانش را افزایش دهد تا از اتلاف منابع مالی جلوگیری کند. سایپا باید سرمایه‌گذاری کند تا از طریق تحقیقات علمی و توسعه فناوری، محصولات جدیدتری را تولید کند. این امر می‌تواند منجر به افزایش نرخ تولید شود. سایپا نیاز دارد که از دولت حمایت کند تا با تأمین منابع مالی، تحقق استانداردهای کیفیت و توسعه صادرات بتواند آن را بهبود بخشد. سایپا باید ساختار سازمانی خود را اصلاح کند تا فرآیندهای تولیدش را بهبود بخشد و کارایی کارکنانش را افزایش دهد.

سایپا باید مدیریت زنجیره تأمین خود را اصلاح کند تا از تأمین‌کننده‌های باکیفیت استفاده کند و فرآیندهای تولیدش را بهبود بخشد. سایپا باید کارکنانش را آموزش دهد تا بتوانند فن‌آوری‌های جدید را فراموش کنند و فرآیندهای تولیدش را بهبود بخشند. با توجه به این موارد، سایپا می‌تواند با اصلاحات و تغییرات ایجاد شده، وضعیت تولید انعطاف‌پذیر خود را بهبود بخشد و نرخ تولیدش را افزایش دهد. عدم توازن در رشد اقتصادی و تنوع در خواسته‌های مشتریان، نیاز به رویکردهای نوین تولیدی را ضروری می‌کند. تولید انعطاف‌پذیر، راه‌حلی کارآمد برای این چالش است، زیرا مزایای تولید دستی و انبوه را با هم ادغام می‌کند و از هزینه‌های بالا و عدم انعطاف‌پذیری جلوگیری می‌نماید. این روش تولید، با به‌کارگیری نیروهای متخصص از سطوح مختلف سازمانی و همچنین ماشین‌آلات پیشرفته و انعطاف‌پذیر، قادر به تولید محصولات متنوع است. در این سیستم، بهینه‌سازی منابع کلید اصلی است. نیروی کار، فضای تولیدی، سرمایه‌گذاری در تجهیزات، مهندسی محصول، و زمان تولید، همه به دقت مدیریت می‌شوند تا به حداقل برسند. صنعت خودرو در حال تحول است تا با نیازهای متغیر بازار همگام شود. هدف اصلی، افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری در تولید است تا بتواند به تقاضای متنوع مشتریان پاسخ دهد. این استراتژی شامل دستیابی به نقطه سر به سر برای تولیدات کم‌حجم، تنوع مدل‌ها و بهبود کیفیت است. این رویکرد هوشمندانه، چالش‌های عملکردی در گروه سایپا را هدف قرار داده و به دنبال نوآوری در صنعت خودروسازی است. اگرچه تولید انعطاف‌پذیر در سایر صنایع به خوبی توسعه یافته است، اما تطبیق آن با صنعت خودرو به دلیل تفاوت‌های پلتفرمی، چالش‌برانگیز است. تلاش‌هایی در این زمینه صورت گرفته، اما هنوز جای کار دارد تا به طور کامل در صنعت خودرو پیاده‌سازی شود. در کل از آنجا که این موضوع در ایران زیاد مورد توجه قرار نگرفته است و فعالیت‌های خیلی محدودی در این زمینه انجام شده است، جای دارد تا این موضوع بررسی شود. با توجه به مطالب بیان شده تا کنون پژوهش قابل‌اعتنایی به بررسی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا نپرداخته است که پژوهش حاضر علاوه بر پوشش خلا تحقیقاتی موجود، ادبیات حوزه پژوهش را نیز توسعه خواهد داد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر مدلسازی ساختاری تفسیری شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا است.

مبانی نظری

پیشینه پژوهش

تولید انعطاف‌پذیر در واقع یک مفهوم حیاتی در تولید مدرن است، زیرا شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا به سرعت به تغییرات تقاضا، چه قابل پیش‌بینی یا غیرقابل پیش‌بینی پاسخ دهند. انعطاف‌پذیری به شرکت‌ها اجازه می‌دهد

تا به سرعت سطوح تولید، ترکیب محصول یا برنامه تولید را در پاسخ به تغییرات تقاضای بازار تنظیم کنند. سیستم‌های تولید منعطف می‌توانند با توانمند ساختن شرکت‌ها برای تولید سریعتر و کارآمدتر محصولات، به کاهش زمان تحویل کمک کنند (رایبیک و همکاران^۱ ۲۰۱۶). شرکت‌های خودروسازی طیف وسیعی از محصولات از جمله خودروهای سواری، خودروهای تجاری، خودروهای الکتریکی و غیره را تولید می‌کنند. تولید انعطاف‌پذیر به آنها اجازه می‌دهد تا به سرعت با تقاضاهای متغیر بازار سازگار شوند و محصولات مختلف را در یک خط تولید تولید کنند. صنعت خودرو به دلیل عواملی مانند تغییر ترجیحات مصرف‌کننده، الزامات نظارتی و پیشرفت‌های فناوریانه با عدم اطمینان بالا مشخص می‌شود. تولید انعطاف‌پذیر شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا به سرعت به این تغییرات واکنش نشان دهند و تأثیر آن را بر تولید به حداقل برسانند (سلیتو و مانیکو^۲، ۲۰۱۹). سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر (FMS^۳) برای بهبود انعطاف‌پذیری و سازگاری فرآیندهای تولید طراحی شده‌اند و شرکت‌ها را قادر می‌سازند به سرعت به تقاضاهای متغیر بازار و نیازهای مشتری پاسخ دهند. برای ارزیابی انعطاف‌پذیری منابع تولید، یک روش ساختاری استاندارد ایجاد شده است که بر ایستگاه‌های کاری متمرکز شده و از انتخاب منابع تولید مناسب حمایت می‌کند (مورثو و همکاران^۴، ۲۰۲۳). سیستم‌های تولید ماتریسی که به عنوان سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر (FMS) نیز شناخته می‌شود، از وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار (AGVs) برای انتقال قطعات کار بین ایستگاه‌های جداگانه برای مونتاژ استفاده می‌کنند. سیستم‌های تولید ماتریسی برای بهبود کارایی و انعطاف‌پذیری فرآیندهای تولید طراحی شده‌اند و قطعات کار را بین ایستگاه‌ها حمل می‌کنند. کاهش جابجایی دستی و افزایش راندمان تولید، با خودکار کردن حمل و نقل ایجاد می‌شود. AGVها بهبودهای همزمان در استفاده از نیروی کار را امکان‌پذیر می‌کنند و به کارگران اجازه می‌دهند بر روی وظایف با ارزش بالاتر تمرکز کنند. سیستم‌های تولید ماتریسی می‌توانند با تنظیم مجدد گردش کار و تنظیم مسیرهای AGV به راحتی با تغییر ترکیبات محصول یا حجم تولید سازگار شوند. (هاتنروت و همکاران^۵، ۲۰۲۲). توسعه سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر در تولید خودرو تحت پس‌زمینه Industry 4.0 شامل استفاده از ماشین ابزار CNC، ربات‌های تولیدی و سیستم‌های کنترل کامپیوتری در تولید خودرو است. این فناوری می‌تواند به غلبه بر موانع فنی موجود کمک کند و به مسیرهای

-
1. Rybicka et al
 2. Sellitto & Mancio
 3. Flexible Manufacturing systems
 4. Moerth -teo et al
 5. Hottenrott et al

توسعه امکان پذیر اشاره کند (وانگ^۱، ۲۰۲۳). به طور خلاصه، تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی برای انطباق با چالش‌های تولید سیستم‌های مختلف به طور همزمان و رقابتی ماندن در مواجهه با افزایش تقاضای جهانی برای وسایل نقلیه الکتریکی بسیار مهم است. سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر، ارزیابی انعطاف‌پذیری منابع تولید، چیدمان‌های مونتاژ انعطاف‌پذیر و فناوری‌های Industry 4.0 اجزای کلیدی این رویکرد هستند که سازگاری، کارایی و نوآوری را در این بخش ممکن می‌سازند (وانگ، ۲۰۲۳).

سیستم تولید انعطاف‌پذیر، تغییرات سریع در حجم تولید و ترکیب محصول را امکان‌پذیر می‌کند و اطمینان می‌دهد که تولید انعطاف‌پذیر و سازگار با تقاضاهای در حال تغییر باشد. سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر با خودکارسازی جابجایی مواد و عملکرد ماشین، هزینه‌های نیروی کار را کاهش می‌دهد، بهره‌وری را افزایش می‌دهد و کارایی کلی را بهبود می‌بخشد و همچنین تضمین می‌کند که هر محصول مطابق با استانداردهای کیفیت تولید می‌شود، زیرا سیستم کنترل کامپیوتری می‌تواند هرگونه خطا یا نقص را شناسایی و اصلاح کند (سولک و سینگ^۲ ۲۰۱۸). برای ارزیابی موفقیت‌آمیز و عملیاتی شدن تولید انعطاف‌پذیر، چهار عامل کلیدی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود. این عوامل شامل هزینه‌های مرتبط، سطح کیفیت، میزان انعطاف‌پذیری در فرایند تولید و در نهایت، قابلیت اطمینان و پایداری سیستم هستند. این معیارها، چهارچوب جامعی را برای سنجش و بررسی اثربخشی و کارایی تولید انعطاف‌پذیر ارائه می‌دهند (بویر^۳ ۱۹۹۸). FMS یک سیستم انقلابی، به شرکت‌ها قدرت انعطاف‌پذیری می‌دهد تا به سرعت با تغییرات بازار، نوسانات تولید، و تقاضای متغیر محصولات مقابله کنند. این سیستم، تعادل ظریف بین کیفیت و قابلیت اطمینان را متحول می‌کند و به کسب‌وکارها اجازه می‌دهد تا محصولات باکیفیت بالا را با اطمینان خاطر تولید کنند. این سیستم با کاهش تنوع در فرایندها، پیچیدگی‌ها را ساده می‌کند، کیفیت را بهبود می‌بخشد و اطمینان را افزایش می‌دهد. این سیستم با ارائه مسیرهای تولید متعدد، چالش‌های تعمیر و نگهداری را آسان‌تر می‌کند، تضادها را کاهش می‌دهد، و اطمینان در تحویل را به سطح جدیدی می‌رساند (پراکاش و همکاران^۴ ۲۰۱۷).

مطالعه‌ای جامع توسط هررا گارسیا و همکاران^۵ (۲۰۲۱) با عنوان مهندسی و مدیریت در تولید انعطاف‌پذیر منتشر شده است. این پژوهش به بررسی ادبیات گسترده‌ای در زمینه عملیات تولید و تحقیقات مرتبط با مفهوم

1. Wang
2. Solke & Singh
3. Boyer
4. Prakash et al
5. Herrera-García

تولید انعطاف‌پذیر می‌پردازد. در حالی که دانش موجود در مورد پیاده‌سازی این سیستم در مونتاژ مدل‌های مختلط اندک است. این مقاله تلاش می‌کند تا تأثیرات آن را بر جنبه‌های مختلف صنعت تولید بررسی کند. این بررسی شامل تحلیل مزایا و معایب تولید انعطاف‌پذیر در حوزه‌های بهره‌وری، مدیریت زنجیره تأمین، فرآیندهای عملیاتی، عوامل انسانی، و مهندسی روش‌ها است. در حالی که چالش‌هایی مانند کارایی، منحنی یادگیری، اصول کایزن، و ریسک‌های سرمایه‌گذاری نیز مطرح می‌شوند ولی از مزایای این رویکرد می‌توان به بهبود اثربخشی تولید، مدیریت فرآیند و پیشرفت فناوری اشاره کرد. یکپارچه‌سازی سیستم‌های ارتباطی در کل شرکت، فراتر از محدوده سیستم تولید، برای کنترل و بهره‌برداری بهینه از این رویکرد ضروری است. این مقاله همچنین راهکارهایی را برای بهره‌مندی از مزایا و کاهش معایب احتمالی ارائه می‌دهد.

کومسکر و همکاران^۱ (۲۰۲۱) بیان کردند صنعت خودروسازی با چالش‌های متعددی در تولید مدل‌های متنوع با ویژگی‌های متمایز مواجه است، و این امر نیازمند رویکردی کارآمد و انعطاف‌پذیر است. به اهمیت سیستم‌های مونتاژ مدولار در بهبود بهره‌وری اشاره کرده‌اند، اما محدودیت‌هایی در فرآیندهای تولید مکانیکی وجود دارد. شخصی‌سازی محصولات و بهینه‌سازی جریان تولید، به آزادی عمل بیشتری در کنترل فرآیندها نیاز دارد، که در نتیجه پیچیدگی سیستم را افزایش می‌دهد. در این میان، سیستم‌های برنامه‌ریزی با منطق کنترل یکپارچه، می‌توانند به عنوان ابزاری قدرتمند برای مدیریت این پیچیدگی عمل کنند. با این حال، معماری فناوری اطلاعات فعلی در کارخانه‌ها، به طور کامل از این فرآیندهای مدولار پشتیبانی نمی‌کند. برای رفع این مشکل، این مقاله الزامات اطلاعاتی را برای سیستم‌های تولید مدولار تشریح می‌کند و ماتریسی را پیشنهاد می‌کند که ارتباطات بین زیرسیستم‌ها را سازماندهی می‌کند. فناوری کارگزار می‌تواند در اینجا به کار گرفته شود تا کنترل اطلاعات جامع را در سطح کارخانه تسهیل کرده و به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر منجر شود.

در مقاله‌ای با عنوان «انعطاف‌پذیری در تولید: مطالعه‌ای در کارخانه‌های خودروسازی آمریکا» که توسط الخلیل و درویش^۲ (۲۰۱۹) نگاشته شده است، این موضوع مطرح شده است که انعطاف‌پذیری در تولید، عاملی حیاتی در رقابت جهانی صنعت خودرو است. این مفهوم، جنبه‌های متنوعی را پوشش می‌دهد تا عملکرد عملیاتی را در ابعاد مختلف بهبود بخشد. هدف آن پژوهش، ارزیابی وضعیت فعلی انعطاف‌پذیری در کارخانه‌های خودروسازی آمریکا و تأثیر آن بر معیارهای عملیاتی است. محققان از پرسشنامه‌ای استفاده کردند که بر اساس مطالعات قبلی در

1. Komesker
2. El-Khalil & Darwish

صنعت تولید آمریکا طراحی شده بود. این پرسشنامه در ابتدا به ۴۲۰ مدیر کارخانه در صنعت خودروسازی داخلی آمریکا ارائه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از آن است که اجرای برخی از این ابعاد انعطاف‌پذیری، به طور چشمگیری معیارهای عملکرد عملیاتی را بهبود می‌بخشد. این یافته می‌تواند به عنوان راهنمایی ارزشمند برای مدیران تولید در دستیابی به اهداف بهبود عملکرد در محیط‌های پویا و در حال تغییر مورد استفاده قرار گیرد.

تحقیقات اخیر در زمینه تولید انعطاف‌پذیر، به ویژه در صنعت خودرو، بر اهمیت فناوری IIoT تأکید دارد. کرونین و همکاران^۱ (۲۰۱۹) در مقاله خود با عنوان «تولید انعطاف‌پذیر در صنعت خودرو با استفاده از IIoT» به بررسی این مفهوم پرداخته‌اند. آنها استدلال می‌کنند که تولید انعطاف‌پذیر، با استفاده از قابلیت‌های IIoT، به تولیدکنندگان خودرو اجازه می‌دهد تا از روش‌های سنتی فراتر رفته و با به‌کارگیری تغییرات تدریجی و هدفمند، انعطاف‌پذیری لازم را برای رقابت در بازار جهانی به دست آورند. این رویکرد، کلید بقای صنعت در دنیای صنعتی پراکنده امروزی است. این مقاله همچنین به عناصر حیاتی برای پیاده‌سازی موفق تولید هوشمند در صنعت خودرو اشاره دارد، که در آن نقش محوری دارد.

در مطالعه‌ای با عنوان «پیاده‌سازی تولید انعطاف‌پذیر در صنعت خودرو»، سلیتو و مانسیو^۲ (۲۰۱۹) به بررسی تصمیم‌گیری در مورد فناوری‌های تولید در یک شرکت خودروسازی برزیلی پرداختند. هدف آنها انتخاب روشی مناسب برای اجرای تولید انعطاف‌پذیر در یک سلول تولیدی بود که قطعات موتور را تولید می‌کرد. این پژوهش با استفاده از رویکردی ترکیبی، از روش‌های ساختاریافته برای حل یک مسئله تصمیم‌گیری نیمه‌ساختاریافته بهره برد. مدل‌سازی انجام‌شده بر پایه اولویت‌های رقابتی صنعت، شامل تولید، هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و تحویل، شکل گرفت.

روش پژوهش

این تحقیق با رویکردی ترکیبی، شامل روش‌های کیفی و کمی، در چارچوب پارادایم قیاسی-استقرایی انجام شده است. بخش کیفی پژوهش، به شناسایی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در صنعت خودروسازی، به ویژه گروه سایپا، با استفاده از مصاحبه‌های عمیق با متخصصان و اساتید دانشگاهی در حوزه‌های مرتبط می‌پردازد. نمونه‌گیری هدفمند با تکنیک گلوله برفی، شامل ۲۶ شرکت‌کننده، به منظور دستیابی به اشباع نظری انجام شد. مصاحبه‌ها به صورت چهره به چهره و با پرسش‌های باز صورت گرفت تا شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر به طور دقیق استخراج شوند. کدگذاری داده‌ها و بازخوردگیری از مصاحبه‌شوندگان، صحت و دقت این فرآیند را تضمین کرد. در بخش

1. Cronin et al
2. Sellitto & Mancio

کمی، جامعه آماری شامل مدیران ارشد و میانی شرکت‌های زیرمجموعه گروه سایپا بود. با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس، ۸۹ مدیر انتخاب شدند و ۷۴ نفر در پژوهش مشارکت فعال داشتند. روایی و پایایی ابزار جمع‌آوری داده‌ها، یعنی پرسشنامه، با شاخص CVR، آزمون کاپای کوهن و آزمون مجدد تایید شد. نتایج نشان‌دهنده روایی و پایایی مناسب ابزار بود. در مرحله بعد، داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA2020 کدگذاری شد و ۱۳ عامل اصلی به عنوان شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا شناسایی گردید. سپس، با استفاده از نظرات مدیران منتخب، مدلی برای شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر طراحی شد. در این مدل، از روش کیوسرت استفاده شد تا عوامل شناسایی‌شده بر اساس ارزش‌گذاری رتبه‌بندی شوند. در نهایت، پرسشنامه‌ای بر اساس این شاخص‌ها تهیه گردید تا به عنوان ابزاری برای ارزیابی و بهبود تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱: بررسی کفایت نمونه

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۸۱۲
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۸۳/۷۴۱
	Df	۷۳
	Sig.	۰/۰۰۰

جدول ۲: آزمون پایایی کاپا کوهن

		ارزش	خطا	Approx. T	معنی‌داری
Measure of Agreement	Kappa	۰/۶۸۵	۰/۱۲۰	۶/۱۱۴	۰/۰۰۰

جدول ۳: نسبت روایی محتوا و شاخص کاپا کوهن به تفکیک

متغیر	کاپا	روایی محتوا
ارتقا توان خطوط تولید	۰/۸۲	۰/۸۵
تطبیق‌پذیری	۰/۸۱	۰/۸۳
سناریوی مدیریت مواد	۰/۸۵	۰/۸۷
خودکارسازی	۰/۷۲	۰/۹۱
حرفه‌ای سازی سرمایه انسانی	۰/۶۶	۰/۷۳
بازمهندسی فرآیندها	۰/۶۸	۰/۷۸
زیرساخت‌های فناورانه	۰/۷۸	۰/۹۱
چابکی راهبردی	۰/۶۲	۰/۷۸

۰/۷۶	۰/۶۳	تحلیل بازار جهانی
۰/۸۱	۰/۶۲	پلتفرم‌های فناورانه
۰/۸۳	۰/۷۱	هوشمندسازی خطوط
۰/۹	۰/۷۳	حجم و سطح تولیدات
۰/۷۵	۰/۸۶	سیاست‌های شرکت

یافته‌ها

یافته‌های جمعیت‌شناختی

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مصاحبه‌شوندگان به شرح جدول زیر است:

جدول ۴: ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مصاحبه‌شوندگان

جنسیت	تحصیلات	تخصص	سابقه کار	جنسیت	تحصیلات	تخصص	سابقه کار
مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۹	مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۱۵
مرد	دکتری	مهندسی صنایع	۱۲	مرد	دکتری	مدیر اجرایی	۱۰
زن	دکتری	مدیریت بازرگانی	۸	مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۲
مرد	کارشناسی ارشد	مهندسی صنایع	۱۶	مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۱۴
مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۱۴	مرد	دکتری	مهندسی صنایع	۱۷
مرد	کارشناسی ارشد	مدیریت صنعتی	۱۱	مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۲۱
مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۱	مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۶
مرد	کارشناسی ارشد	مدیریت بازرگانی	۱۴	مرد	دکتری	مهندسی صنایع	۴
مرد	کارشناسی ارشد	مهندسی صنایع	۱۵	زن	دکتری	مدیریت صنعتی	۹
مرد	دکتری	مدیریت صنعتی	۱۴	مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۹
مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۷	مرد	کارشناسی ارشد	مهندسی صنایع	۲۱
مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۳	مرد	دکتری	مهندسی صنایع	۱۲
مرد	دکتری	مهندسی صنایع	۱۹	مرد	دکتری	مدیریت بازرگانی	۱۶

بخش کمی نیز شامل ۷۴ مرد بودند که ۱۳ نفر دارای مدرک کارشناسی، ۳۷ نفر کارشناسی ارشد و ۲۴ نفر

دارای مدرک دکتری تخصصی بودند.

یافته‌های کیفی

کدگذاری داده‌های مصاحبه با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA2020 منجر به شناسایی ۱۳ مقوله اصلی شد.

جدول ۵: کدگذاری داده‌های مصاحبه

شناسه	مقوله‌های اصلی	فرعی
X ₁	ارتقا توان خطوط تولید	<ul style="list-style-type: none"> ✓ حداکثرسازی بهره‌گیری از دانش خلق شده ✓ ایجاد بستر تولیدهای مبتنی بر پلتفرم ✓ یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین ✓ آزمایش و تحلیل ناشناخته‌ها ✓ یکپارچه‌سازی هندسی سیستم
X ₂	تطبيق پذیری	<ul style="list-style-type: none"> ✓ بسترسازی تفکر پیشرو و خلاقانه ✓ ایجاد اتصال پذیری پویا ✓ مقابله با بی‌ثباتی‌ها ✓ امکان پاسخگویی سریع به تحولات
X ₃	سناریوی مدیریت مواد	<ul style="list-style-type: none"> ✓ کنترل ورودی و خروجی ✓ ذخیره‌سازی راهبردی ✓ برنامه‌ریزی نیازهای هر بخش
X ₄	خودکارسازی	<ul style="list-style-type: none"> ✓ کنترل منطقی قابل برنامه‌ریزی ✓ کامپیوتر مرکزی تخصیص یافته در ✓ کنترل‌کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی (PLC) ✓ پایش (کنترل) خط تولید ✓ مکانیزه کردن
X ₅	حرفه‌ای سازی سرمایه انسانی	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ایجاد پیکره دانشی راهبردی ✓ ارتقا ادراک از هویت حرفه‌ای ✓ بازبینی منشور اخلاقی ✓ آموزش‌های نوین با تاکید بر فناوری‌های صنعت
X ₆	بازمهندسی فرآیندها	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تجزیه و تحلیل و طراحی فرایندها و جریان‌های کاری ✓ هدف‌محوری در تغییرات ✓ ارتقا کیفی ✓ تطبيق مستمر با تغییرات
X ₇	زیرساخت‌های فناورانه	<ul style="list-style-type: none"> ✓ راهبردهای توسعه فناورانه ✓ برنامه‌های MINT ✓ الگوبرداری مقایسه‌ای
X ₈	چابکی راهبردی	<ul style="list-style-type: none"> ✓ حساسیت راهبردی ✓ بهره‌گیری فعالانه از مزایا و فرصت‌ها

<ul style="list-style-type: none"> ✓ چابکی واکنشی ✓ مواجهه مثبت با تهدیدات رقابتی ✓ توسعه منابع اقتصادی 		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ واکاوای اقدامات شرکت‌های موفق جهانی ✓ مشاهدات میدانی از توفیق یا عدم توفیق راهبردهای گوناگون ✓ بهره‌گیری از رویکرد مشترک جهانی در راستای استانداردسازی 	تحلیل بازار جهانی	X ₉
<ul style="list-style-type: none"> ✓ پلتفرم‌های پیش‌رانها ✓ معماری ماژولار ✓ سیستم تعلیق ✓ سیستم‌های AC 	پلتفرم‌های فناورانه	X ₁₀
<ul style="list-style-type: none"> ✓ برنامه‌ریزی و ایجاد محیط کنترلی ✓ برنامه‌ریزی مبتنی بر RFID ✓ زمینه‌سازی محیط مناسب ✓ بهره‌گیری از ابزارهای نوین ✓ سیستم گزارش‌گیری 	هوشمندسازی خطوط	X ₁₁
<ul style="list-style-type: none"> ✓ مقدار خالص کالا تولید شده ✓ کمیت و کارایی فعالیت‌های تولیدی ✓ حجم تولید 	حجم و سطح تولیدات	X ₁₂
<ul style="list-style-type: none"> ✓ خط‌مشی‌های شرکت ✓ دستورالعمل‌ها و قوانین رسمی ✓ سیاست‌های مرتبط با پایداری زیست محیطی 	سیاست‌های شرکت	X ₁₃

کدگذاری مقولات اصلی با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA2020 به شرح شکل ۱ ارائه شده است.

قدرت نفوذ و وابستگی هر معیار را مشخص می‌کند. این ماتریس، که ماتریس دسترسی نهایی نام دارد، نشان‌دهنده تعداد عناصری است که هر معیار بر آنها تأثیر می‌گذارد و همچنین تعداد عناصری که بر هر معیار تأثیر گذارند. این تحلیل، به روش میک‌مک، در تعیین معیارهای مهم و تأثیرگذار کمک می‌کند.

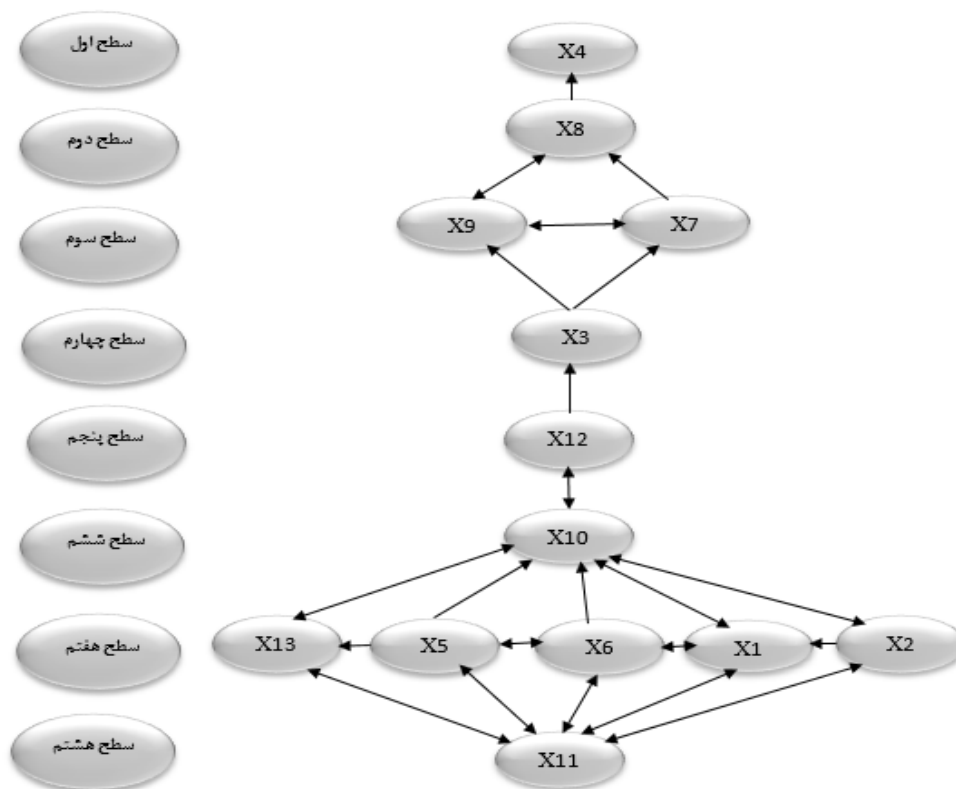
پس از تنظیم و سازگاری ماتریس، قدرت نفوذ و وابستگی موانع مختلف مشخص می‌شود. در مرحله بعد، برای طبقه‌بندی عوامل تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا، خروجی‌ها و ورودی‌های هر مانع از ماتریس استخراج می‌گردد. خروجی‌ها شامل معیارهایی هستند که تحت تأثیر مانع قرار می‌گیرند، در حالی که ورودی‌ها معیارهای تأثیرگذار بر مانع را نشان می‌دهند. با محاسبه اشتراک بین مجموعه خروجی‌ها و ورودی‌ها، می‌توان سطوح مختلف عوامل را تعیین کرد. عناصری که در آن اشتراک، مجموعه خروجی‌ها را تشکیل می‌دهند، در سطح اول قرار می‌گیرند و بیشترین تأثیرپذیری را در مدل دارند. این فرایند به صورت مرحله‌ای ادامه می‌یابد تا تمامی عوامل طبقه‌بندی شوند. جدول ۸ نتیجه این طبقه‌بندی را برای شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا نشان می‌دهد.

جدول ۸: سطح‌بندی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا

کد	مجموعه ورودی	مجموعه خروجی	اشتراک	سطح
X ₁	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۷	هفتم
X ₂	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۵	هفتم
X ₃	۳، ۲	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۱	چهارم
X ₄	۱۳، ۹، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۹، ۴	۲	اول
X ₅	۱۱، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۵	هفتم
X ₆	۱۳، ۱۱، ۷، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۶	هفتم
X ₇	۱۲، ۹، ۷، ۶، ۵، ۳	۱۲، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴	۴	سوم
X ₈	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۱، ۹، ۸	۳	دوم
X ₉	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴	۵	سوم
X ₁₀	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۷، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۷	ششم
X ₁₁	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۸، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۹	هشتم
X ₁₂	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۶	پنجم
X ₁₃	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱	۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱	۷	هفتم

در گام آخر، پس از تعیین سطوح هر یک از عوامل شناسایی‌شده، نیاز است تا مدل ساختاری این عوامل متناسب با تعداد سطوح شکل‌گرفته و ارتباط میان عوامل ترسیم گردد.

مدل ساختاری تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا به شرح شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: مدل ساختاری تفسیری تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا

در گروه سایپا، مدل ساختاری تولید انعطاف‌پذیر طراحی شده است که شامل ۱۳ عامل مختلف است. این عوامل بر اساس تحلیل میک‌مک، که قدرت نفوذ و وابستگی هر عنصر را بررسی می‌کند، ارزیابی می‌شوند. تحلیل میک‌مک، با در نظر گرفتن تعداد عناصر تحت تأثیر هر عامل و همچنین تعداد عناصری که بر هر عامل تأثیرگذارند، به تعیین میزان قدرت و وابستگی هر متغیر کمک می‌کند.

این متغیرها بر اساس نتایج تحلیل، به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

۱. متغیرهای خودمختار: عناصری با وابستگی و قدرت نفوذ کم.

۲. متغیرهای وابسته: عناصری با وابستگی قوی و قدرت نفوذ ضعیف.

۳. متغیرهای پیوندی: عناصری با وابستگی و قدرت نفوذ بالا.

۴. متغیرهای نفوذی: عناصری با وابستگی کم و قدرت نفوذ بالا.

شکل ۳، نتایج تحلیل میک‌مک برای شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا را به صورت تصویری نشان

می‌دهد.

بر این اساس تحلیل انجام گرفته میک‌مک برای شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا به شکل ۳ ارائه شده است.

نفوذ	نفوذ						پیوندی						
	13												
12		X ₃				X ₂ X ₅							
11								X ₆					
10								X ₁ X ₁₃	X ₁₁				
9											X ₁₂		
8											X ₁₀		
7													
6						X ₇							
5													X ₉
4													
3												X ₈	
2									X ₄				
1													
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	خودمختار						وابسته						

شکل ۳: ماتریس تحلیل میک‌مک شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا

براساس تحلیل‌های انجام شده و آنچه در شکل فوق ملاحظه می‌شود، سناریوی مدیریت مواد، حرفه‌ای‌سازی سرمایه انسانی، تطبیق‌پذیری در بخش نفوذ قرار دارند که میزان وابستگی کم ولی نفوذ بالایی دارند. بازمهندسی فرآیندها، ارتقا توان خطوط تولید، پلتفرم‌های فناورانه، هوشمندسازی خطوط، حجم و سطح تولیدات، سیاست‌های شرکت در بخش پیوندی قرار دارند که میزان وابستگی و نفوذ بالایی دارند. خودکارسازی، چابکی راهبردی، تحلیل بازار جهانی نیز در بخش وابسته قرار دارند که میزان وابستگی بالایی دارند و نفوذ پایینی دارند. زیرساخت‌های فناورانه در بخش خودمختار قرار دارند که میزان وابستگی و نفوذ پایینی دارند.

بحث و نتیجه‌گیری

شرکت‌ها به طور مداوم در تلاش برای کاهش هزینه‌ها و در عین حال بهبود همزمان کیفیت هستند. اینجاست که سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر وارد می‌شوند و شرکت‌ها را قادر می‌سازند تا به سرعت با تغییرات تقاضا و شرایط تولید سازگار شوند. در مورد سایپا، سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر از ارزش ویژه‌ای برخوردار هستند، زیرا امکان

تغییر سریع محصول را با حداقل زمان خرابی فراهم می‌کنند. این به شرکت اجازه می‌دهد تا به سرعت به خواسته‌های مشتری پاسخ دهد، محصولات جدید را بدون چالش معرفی کند و طیف گسترده‌ای از محصولات را برای رفع نیازهای مشتری ارائه دهد. سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر برای شرکت‌هایی که به دنبال کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت و افزایش رقابت هستند ضروری است. با پذیرش انعطاف‌پذیری، شرکت‌ها می‌توانند به سرعت به شرایط متغیر بازار واکنش نشان دهند، محصولات جدید را معرفی کنند و خواسته‌های مشتریان را به طور مؤثرتری برآورده کنند. بر این اساس هدف از انجام این مطالعه مدلسازی ساختاری تفسیری شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا بوده است. جهت نیل به این هدف ابتدا با انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته تعداد ۱۳ عامل اصلی به عنوان شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا شناسایی گردید. در گام بعدی جهت برقراری ارتباط مفهومی میان عوامل شناسایی شده از روش مدلسازی ساختاری تفسیری استفاده شد. نتایج این مطالعه شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر در گروه سایپا را در هشت سطح طبقه‌بندی نموده است. در سطح هشتم، هوشمندسازی خطوط به عنوان اثرگذارترین شاخص قرار دارد. در سطح هفتم پنج عامل ارتقا توان خطوط تولید، تطبیق‌پذیری، حرفه‌ای‌سازی سرمایه انسانی، بازمهندسی فرآیندها و سیاست‌های شرکت قرار دارند. این عوامل با یکدیگر ارتباط متقابل داشته و علاوه بر تأثیرگذاری، از یکدیگر تأثیر هم می‌پذیرند. برآیند این شرایط موجب می‌گردد تا در سطح ششم پلتفرم‌های فناورانه ایجاد شود. براساس تحلیل‌های انجام شده، پلتفرم‌های فناورانه بر حجم و سطح تولیدات موجود در سطح پنجم تأثیر گذارند. حجم و سطح تولیدات موجب سناریوسازی برای مدیریت بهینه مواد در سطح چهارم خواهد شد. در سطح سوم، زیرساخت‌های فناورانه و تحلیل بازار جهانی طبقه‌بندی می‌شود. زیرساخت‌های فناورانه و تحلیل بازار جهانی تحت تأثیر سناریوسازی برای مدیریت بهینه مواد هستند. زیرساخت‌های فناورانه می‌تواند چابکی راهبردی در سطح دوم را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج نشان داد در سطح اول خودکارسازی قرار می‌گیرد که تأثیرپذیرترین شاخص است. انعطاف‌پذیری در تولید، رویکردی جامع است که دو جنبه اصلی را در بر می‌گیرد. نخست، تمرکز بر مدیریت انعطاف‌پذیر منابع، به ویژه زمان و تلاش، از طریق توسعه نیروی کاری ماهر و تطبیق‌پذیر است. دوم، افزایش انعطاف‌پذیری در فرآیندهای تولید، با در نظر گرفتن تغییرات گسترده در مقیاس تولید، ظرفیت و بهره‌وری. این سیستم تولید انعطاف‌پذیر، از الگوهای ثابت پیروی نمی‌کند و به طور پویا بر اساس نیازها و کارایی تنظیم می‌شود. جریان مواد و توالی عملیات در این سیستم، ثابت نیستند و به صورت پویا مدیریت می‌شوند. عوامل کلیدی در این تحقیق شامل هوشمندسازی خطوط تولید، تطبیق‌پذیری فرآیندها، ارتقاء مهارت‌های نیروی انسانی، خودکارسازی، مدیریت مؤثر مواد، بازطراحی فرآیندها، توسعه زیرساخت‌های فناوری، چابکی راهبردی، تحلیل بازار

جهانی، به‌کارگیری پلتفرم‌های نوآورانه و بهبود ظرفیت خطوط تولید است. این پژوهش، به ویژه در زمینه هوشمندسازی، بازمهندسی فرآیندها و زیرساخت‌های فناوری، با مطالعات قبلی کومسکر و همکاران (۲۰۲۱) و الخلیل و درویش (۲۰۱۹)، کرونین و همکاران (۲۰۱۹) و سلیتو و مانسیو^۱ (۲۰۱۹) مطابقت دارد. لیکن پژوهش حاضر از آن جهت با پژوهش‌های سلیتو و مانسیو (۲۰۱۹) که به پیاده‌سازی تولید انعطاف‌پذیر در صنعت خودرو پرداخته‌اند متفاوت است که چهار اولویت تعیین کرده‌اند که شامل هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و تحویل است در حالی که در پژوهش حاضر علاوه بر این معیارها، معیارهای دیگری نیز کشف شده‌اند و با استفاده از روش مدلسازی ساختاری تفسیری سطح‌بندی شده‌اند؛ همچنین تفاوت‌هایی با پژوهش الخلیل و درویش (۲۰۱۹) دارد که بر عملکرد تولید انعطاف‌پذیر در کارخانه‌های خودروسازی ایالات متحده پرداخته‌اند که هدف آن بررسی وضعیت فعلی تولید انعطاف‌پذیر و تأثیر آن بر معیارهای عملکرد عملیاتی است در حالی که رویکرد پژوهش حاضر متفاوت بوده و به بررسی شاخص‌های تولید انعطاف‌پذیر پرداخته و سپس آن‌ها را سطح‌بندی نموده است. همچنین همین تفاوت را می‌توان در مورد پژوهش هوراگاریا و همکاران (۲۰۲۱) مطرح کرد که به بررسی تولید انعطاف‌پذیر، روش‌های مهندسی و مدیریت عملیات پرداخته‌اند و پیامدهای تولید انعطاف‌پذیر را متذکر شده‌اند بنابراین از این وجه با پژوهش حاضر متفاوت است.

پیشنهادات پژوهش

- اجرای اصول تولید ناب برای کاهش ضایعات، بهبود کیفیت و افزایش کارایی صورت گیرد. این امر سایپا را قادر می‌سازد تا به سرعت به تغییرات تقاضا یا ترکیب محصول پاسخ دهد؛
- یک زنجیره تأمین انعطاف‌پذیر ایجاد کنند که بتواند با تغییرات تقاضا یا ترکیب محصول سازگار شود. این را می‌توان با ایجاد روابط با چندین تأمین‌کننده و استفاده از مدیریت موجودی به موقع به دست آورد؛
- ارائه برنامه‌های آموزشی برای کارکنان برای توسعه مهارت‌های خود و انطباق با فناوری‌ها و فرآیندهای جدید صورت گیرد. این امر سایپا را قادر می‌سازد تا به تغییرات بازار یا ترکیب محصول به سرعت پاسخ دهد؛
- پلتفرم‌هایی را توسعه دهند که می‌توانند در چندین محصول به اشتراک گذاشته شوند و هزینه و پیچیدگی تولید مدل‌های مختلف کاهش یابد؛
- اجرای استراتژی‌های کاهش هزینه مانند تولید ناب، مشارکت تأمین‌کنندگان و نقشه‌برداری جریان ارزش برای کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت صورت گیرد؛

- پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتالی مانند Industry 4.0 و IoT برای بهبود انعطاف‌پذیری، کیفیت و کارایی تولید ضروری است.

محدودیت‌های پژوهش

در پژوهش حاضر محققان با محدودیت‌هایی مواجه بودند؛ از جمله: شناسایی و دسته‌بندی عوامل، ممکن است ذهنی باشد و تحت تأثیر سوگیری‌ها و تجربیات شخصی محقق باشد. پژوهش ممکن است همه عوامل زمینه‌ای را که بر تولید انعطاف‌پذیر تأثیر می‌گذارند، مانند شرایط بازار خارجی، رقابت، یا الزامات نظارتی در نظر نگیرد. استفاده از چارچوب‌های نظری ممکن است منجر به ساده‌سازی بیش از حد یا حذف متغیرهای مهم شود، همچنین به دلیل منحصر به فرد بودن سایپا و پیچیدگی تولید انعطاف‌پذیر، ممکن است یافته‌ها به سایر سازمان‌ها یا زمینه‌ها قابل تعمیم نباشد.

منابع

- Boyer, K. K. (1998). Longitudinal linkages between intended and realized operations strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(4), 356-373. <https://doi.org/10.1108/01443579810199739>
- Chae, S., Yan, T., & Yang, Y. (2020). Supplier innovation value from a buyer-supplier structural equivalence view: Evidence from the PACE awards in the automotive industry. *Journal of Operations Management*, 66(7-8), 820-838. <https://doi.org/10.1002/joom.1063>
- Cronin, C., Conway, A., & Walsh, J. (2019). Flexible manufacturing systems using IIoT in the automotive sector. *Procedia Manufacturing*, 38, 1652-1659. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.119>
- Delic, M., & Eysers, D. R. (2020). The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 228, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107689>
- Eggert, M., Günther, K., Maletschek, J., Maxiniuc, A., & Mann-Wahrenberg, A. (2022, September). In three steps to software product lines: a practical example from the automotive industry. In *Proceedings of the 26th ACM International Systems and Software Product Line Conference-Volume A* (pp. 170-177). <https://doi.org/10.1145/3546932.3547003>
- El-Khalil, R., & Darwish, Z. (2019). Flexible manufacturing systems performance in US automotive manufacturing plants: a case study. *Production planning & control*, 30(1), 48-59. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1520318>

- Frieske, B., & Stieler, S. (2022). The “semiconductor crisis” as a result of the COVID-19 pandemic and impacts on the automotive industry and its supply chains. *World Electric Vehicle Journal*, 13(10), 189. <https://doi.org/10.3390/wevj13100189>
- Herrera-García, M. C., & Arias-Portela, C. Y. (2021). Flexible Manufacturing Systems: A Methods Engineering and Operations Management Approach. In *Intelligent Human Systems Integration 2021: Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2021): Integrating People and Intelligent Systems*, February 22-24, 2021, Palermo, Italy (pp. 760-765). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68017-6_113
- Hottenrott, A., Schiffer, M., & Grunow, M. (2022). Flexible assembly layouts in smart manufacturing: An impact assessment for the automotive industry. *IISE Transactions*, 55(11), 1144-1159. <https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2124470>
- Komesker, S., Kern, W., Wagner, A., Bauernhansl, T., & Ruskowski, M. (2021, June). Structured information processing as enabler of versatile, flexible manufacturing concepts. In *Advances in Automotive Production Technology—Theory and Application: Stuttgart Conference on Automotive Production (SCAP2020)* (pp. 108-116). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62962-8_13
- Mendes, L., & Machado, J. (2015). Employees’ skills, manufacturing flexibility and performance: a structural equation modelling applied to the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 53(13), 4087-4101. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.993772>
- Mishra, R., Pundir, A. K., & Ganapathy, L. (2018). Empirical assessment of factors influencing potential of manufacturing flexibility in organization. *Business Process Management Journal*, 24(1), 158-182. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2016-0157>
- Moerth-Teo, O., Schlögl, G., Abdul-Hadi, M., Brillinger, M., Weinzerl, M., & Ramsauer, C. (2022). Production Resource Flexibility Assessment: Case Studies in the Automotive Industry. *Management and Production Engineering Review*, 13. DOI: 10.24425/mper.2022.142379
- Prakash, R., Singhal, S., & Agarwal, A. (2017). Modelling manufacturing system effectiveness: an integration of analytical hierarchy process and linear programming. *International Journal of Intelligent Enterprise*, 4(3), 227-242. <https://doi.org/10.1504/IJIE.2017.087627>
- Qamar, A., Hall, M. A., Chicksand, D., & Collinson, S. (2020). Quality and flexibility performance trade-offs between lean and agile manufacturing firms in the automotive industry. *Production Planning & Control*, 31(9), 723-738. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1681534>
- Rădeanu, C., Kovacs, A., Păsculescu, D., Pintilie, D., & Radermacher, L. (2023). EXPERIMENTAL RESEARCH ON ASSURANCE QUALITY BY SECURITY SPECIFIC TO PRODUCTS FROM THE INDUSTRY OF AUTOMOTIVE. *International*

- Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 23(1.1), 325-332.
<https://doi.org/10.5593/sgem2023/1.1/s03.39>
- Rybicka, J., Tiwari, A., & Enticott, S. (2016). Testing a flexible manufacturing system facility production capacity through discrete event simulation: automotive case study. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 10(4), 719-723. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Rybicka%2C+J.%2C+Tiwari%2C+A.%2C+%26+Enticott%2C+S.+%282016%29.+Testing+a+flexible+manufacturing+system+facility+production+capacity+through+discrete+event+simulation%3A+automotive+case+study.+International+Journal+of+Industrial+and+Manufacturing+Engineering%2C+10%284%29%2C+719-723&btnG=
- Sellitto, M. A., & Mancio, V. G. (2019). Implementation of a Flexible Manufacturing System in a production cell of the automotive industry: decision and choice. *Production*, 29, e20180092. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180092>
- Serfass, D. G., & Sherman, R. A. (2013). A methodological note on ordered Q-Sort ratings. *Journal of Research in Personality*, 47(6), 853-858. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2013.08.013>
- Solke, N. S., & Singh, T. P. (2018). Analysis of relationship between manufacturing flexibility and lean manufacturing using structural equation modelling. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 19(2), 139-157. <https://doi.org/10.1007/s40171-017-0181-5>
- Wang, L. (2023). The Development of Flexible Manufacturing Systems in Automotive Production Under the Background of Industry 4.0: A Descriptive Study. *Academic Journal of Science and Technology*, 8(3), 29-31. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Wang%2C+L.+%282023%29.+The+Development+of+Flexible+Manufacturing+Systems+in+Automotive+Production+Under+the+Background+of+Industry+4.0%3A+A+Descriptive+Study.+Academic+Journal+of+Science+and+Technology&btnG=