Journal of
Improvement Management
Vol. 17 No. 1, Season Spring (Serial 59)

Application of DEMATEL method in the analysis of factors affecting flexible manufacturing in Iran's automobile industry (Study case: Saipa group companies)

Morteza Piri [1], Meysam Jafari [2☎]

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

Abstract:

Automotive companies must consider strategic initiatives to compete and respond to dynamic customer demand. In this regard, flexible manufacturing is a strategy that is used in the productivity, quality of the final product and vulnerabilities caused by unexpected changes in the volume and mix of orders in the automotive industry. The current research aimed to identify and analyze the influenceability and Permeability factors affecting flexible manufacturing in Iran's automobile industry. This research is applied in terms of purpose and terms of research typology. It is among mixed research with qualitative and quantitative approaches. The statistical population of this research was the professors and experts of industrial management, business management and industrial engineering in the qualitative section, and according to the purpose of the research, sampling in this research was done in a targeted manner using the snowball technique and in the number of 26 people. The statistical population of this research was quantitatively senior and middle managers of Saipa group companies, who participated in this research using the convenience sampling method. In the qualitative part, the data obtained from the interviews using thematic analysis and MAXQDA2020 software led to the extraction of 11 factors affecting flexible manufacturing, and the analysis of the quantitative part was performed using the Dematel method. Based on Dematel analysis, the make-smart of lines, process re-engineering, and technological infrastructure significantly influence other factors. Professionalization of human capital, automation and technological platforms are also more permeability than other factors.

Keywords: flexible production, automotive industry, Dematel

DOI: 10.22034/jmi.2023.376967.2877

1. Email: mo.piri@urmia.ac.ir
2. ☎Corresponding author: Email: jafari.me@fc.lu.ac.ir

کاربست روش دی‌متل در تحلیل عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی ایران (مورد مطالعه: شرکت های زیر مجموعه گروه سایپا)

دوره ۱۷ شماره ۱ (پیاپی ۵۹)
بهار ۱۴۰۲

نوع مقاله: پژوهشی (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱) صفحات ۸۸-۱۰۸

مرتضی پیری[۱] استادیار گروه مدیریت دولتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
میثم جعفری۲☎ دکتری مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

چکیده

شرکت‌های خودروسازی بایستی ابتکارات استراتژیک را برای رقابت و پاسخگویی به تقاضای پویای مشتریان در نظر بگیرند. در این راستا تولید انعطاف‌پذیر راهبردی است که در بهره‌وری، کیفیت محصول نهایی و آسیب پذیری های ناشی از تغییرات غیرمنتظره در حجم و ترکیب سفارشات در صنعت خودروسازی مورد استفاده قرار می گیرد. هدف پژوهش حاضر شناسایی و تحلیل نفوذپذیری و نفوذگذاری عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی ایران است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از لحاظ نوع شناسی پژوهش در زمره پژوهش‌های آمیخته با رویکرد کیفی و کمی است. جامعه آماری این پژوهش در بخش کیفی اساتید و خبرگان مدیریت صنعتی، مدیریت بازرگانی و مهندسی صنایع بود که با توجه به هدف پژوهش، نمونه گیری در این پژوهش به صورت هدفمند با استفاده از تکنیک گلوله برفی و به تعداد ۲۶ نفر انجام شد. جامعه آماری این پژوهش در بخش کمی مدیران عالی و میانی شرکت های زیرمجموعه گروه سایپا بودند که با بهره گیری از روش نمونه گیری غیر احتمالی در دسترس ۷۴ نفر از مدیران این حوزه در این پژوهش مشارکت کردند. در بخش کیفی، داده های بدست آمده از مصاحبه‌ها با بهره گیری از روش تحلیل تم و با استفاده از نرم افزار MAXQDA2020 منجر به استخراج ۱۱ عامل موثر بر تولید انعطاف پذیر شد و تحلیل بخش کمی با استفاده از روش دی‌متل انجام پذیرفت. بر اساس تحلیل دی‌متل هوشمند سازی خطوط، بازمهندسی فرآیندها و زیرساخت های تکنولوژیکی بیشترین نفوذ را بر دیگر عوامل دارند. حرفه ای سازی سرمایه انسانی، خودکارسازی و پلتفرم های فناورانه نیز نسبت به سایر عوامل تحت نفوذ بیشتری قرار می گیرند.

واژگان کلیدی: تولید انعطاف پذیر، صنعت خودروسازی، دی‌متل

۱. mo.piri@urmia.ac.ir
۲. ☎مسئول مکاتبات: jafari.me@fc.lu.ac.ir

۱- مقدمه

با گسترش صنعت خودروسازی تقاضا برای محصولات خاص به شدت افزایش یافته و شرکت ها اکنون باید با راه حل های نوآورانه امکان تولید در مقیاس بالا را به دست آورند که شامل ارتقا دامنه تولید برای سفارشی سازی نیز است (Chae et al., 2020). این امر باعث شده است که شرکت های خودروسازی به دنبال افزایش تولید بوده و در عین حال به اندازه کافی انعطاف پذیر باقی بمانند تا در صورت نیاز خروجی را تغییر دهند. یکی از این راه‌حل‌ها، طرح ریزی تولید انعطاف‌پذیر است که قادر به خودکارسازی تولید بدون از بین بردن توانایی تغییر خروجی در صورت لزوم است (Delic & Eyers, 2020). سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر[1]سیستم‌هایی هستند که به تولیدکنندگان اجازه می‌دهند سریع‌تر به تغییرات واکنش نشان دهند برخلاف روندهایی که قادر به رسیدگی به یک نوع فرآیند در یک نوع سناریوی مدیریت مواد هستند. این سیستم‌ها عمدتاً بر بهبود توانایی خطوط تولید برای انطباق با تغییر یا توانایی سلول‌های ماشین برای انطباق با وظایف مختلف متمرکز هستند (از جمله افزونگی بین ماشین‌ها در جایی که خروجی به آن نیاز دارد). تولید انعطاف‌پذیر در نهایت به تولیدکنندگان انبوه سطح پایین‌تر، تولیدکنندگان با ترکیب بالا و تولیدکنندگانی که سفارشی‌سازی انبوه را بررسی می‌کنند، اجازه می‌دهد تا سریع‌تر به طرح‌های جدید، سفارش‌ها یا دسته‌های جدید یا حتی تغییرات کل بازار به خودی خود با هزینه افزایشی کمی برای پایه تولید فعلی‌شان پاسخ دهند (Qamar et al., 2020). سیستم تولید انعطاف پذیر یک روش تولید است که به گونه ای طراحی شده است که به راحتی با تغییرات در نوع و کمیت محصول در حال تولید سازگار شود. ماشین‌ها و سیستم‌های کامپیوتری را می‌توان برای ساخت انواع قطعات و مدیریت سطوح متغیر تولید پیکربندی کرد. مواد کلیدی یک سیستم تولید انعطاف پذیر از قبل طراحی شده است تا به راحتی با تغییرات در نوع و مقدار کالاهای تولید شده سازگار شود. تولید انعطاف‌پذیر همچنین می‌تواند یکی از اجزای کلیدی استراتژی ساخت به سفارش باشد که به محصولات سفارشی‌سازی شده اجازه می‌دهد تمرکز محوری بر سلایق مشتریان داشته باشند (Mendes & Machado, 2015). تولید انعطاف پذیر شامل پیکربندی ایستگاه‌های کاری متصل به هم با پایانه‌های کامپیوتری باشد که فرآیند ایجاد سراسری یک محصول را پردازش می‌کند. عملکردها ممکن است شامل بارگیری و تخلیه، ماشینکاری و مونتاژ، ذخیره سازی، آزمایش کیفیت و پردازش داده ها باشد. سیستم را می‌توان طوری برنامه‌ریزی کرد که دسته‌ای از یک مجموعه از محصولات را در یک مقدار خاص اجرا کند و سپس به طور خودکار به مجموعه دیگری از محصولات در یک مقدار دیگر تبدیل شود. تولید انعطاف پذیر می تواند جزء کلیدی استراتژی ساخت به سفارش باشد که به خریداران اجازه می دهد محصولات سفارشی بیشتری سفارش دهند. مزیت اصلی تولید انعطاف پذیر افزایش راندمان تولید است. زمان توقف کاهش می‌یابد

[1] Flexible manufacturing systems (FMS)

زیرا خط تولید برای راه‌اندازی یک محصول دیگر نیازی به توقف ندارد (Mishra et al., 2018). طرفداران تولید انعطاف پذیر معتقدند که افزایش اتوماسیون معمولاً منجر به کاهش خالص هزینه های نیروی کار می شود. شرکت سهامی تولید اتومبیل سیتروئن ایران در سال ۱۳۴۵ تأسیس و با تولید انواع مدل های ژیان فعالیت رسمی خود را آغاز نمود. نام شرکت در سال ۱۳۵۱ به "شرکت سهامی ایرانی تولید اتومبیل" با نام اختصاری سایپا[1] تغییر یافت و تبدیل به شرکت سهامی عام شد. در سال ۱۳۷۸ با هدف حضور در تمام زنجیره ارزش صنعت خودرو باخرید اکثریت سهام شرکتهای پارس خودرو، زامیاد و سایپا دیزل تبدیل به گروه خودروسازی سایپا شد. در دهه ۱۳۸۰، سایپا پیشرفت بسیاری کرد و توانست نخستین خودروی طراحی اختصاصی خود را نیز در همین دهه بسازد. در سال ۱۳۸۶، تولید و عرضه خودروی رنو، ال ۹۰ در سه تیپ توسط سایپا انجام شد. در سال ۱۳۸۷، از نخستین خودروی سایپا با نام تیبا رونمایی شد، خط تولید رنو مگان و کیا ریو با گیربکس اتوماتیک گشایش یافت. در سال ۱۳۹۷، این شرکت از خودرویی با کلاس کامپکت با نام سایپا شاهین رونمایی کرد. در حال حاضر این گروه خودروسازی با بیش از ۸۰ شرکت، حدود ۴۰ هزار پرسنل را به صورت مستقیم و غیرمستقیم از طریق شرکت های لایه اول و دوم خود مدیریت می نماید. تولید و عرضه انواع خودروی سواری و تجاری و سایر فعالیت‌های مرتبط با قابلیت کسب بازار جهانی و با بیشترین انطباق با نیاز مشتریان بازار ایران در راستای اهداف و سیاست‌های توسعه صنعت خودرو در افق ۱۴۰۴ ماموریت گروه سایپا می باشد. اثرات زیان‌بار ناشی از عدم توازن در رشد اقتصادی از یک سو و تنوع در تقاضا مشتریان، اهمیت حرکت به سمت رویکردهای تولیدی منعطف را آشکار می سازد. تولید انعطاف‌پذیر مزایای تولید دستی و تولید انبوه را با یکدیگر تلفیق کرده و از قیمت بالای اولیه و انعطاف‌ناپذیری اجتناب می‌کند. بنابراین تولیدگر انعطاف‌پذیر برای تولید محصولات بسیار متنوع، افرادی را از همه سطوح سازمانی و با مهارتهای مختلف گردآورده و به‌صورت گروهی به‌کار می‌گیرد و نیز از ماشین‌آلاتی استفاده می‌کند که هم به‌طور فزاینده خودکار هستند و هم بسیار انعطاف‌پذیر. در تولید انعطاف‌پذیر در مقایسه با تولید انبوه، همه چیز را به‌میزان کمتر مورد استفاده قرار می‌دهند. یعنی نیروی انسانی موجود، فضای لازم برای تولید، سرمایه‌ای که صرف ابزارآلات می‌شود. نیروی مهندسی لازم برای به‌وجودآوردن محصول جدید و زمان مورد نیاز برای ساخت محصول جدید، همه و همه را به‌مراتب تقلیل می‌دهد. دستیابی به نقطه سر به سر برای خروجی های کمتر، تنوع مدل ها به منظور پاسخگویی به تقاضای بازار و بهبود کیفیت به عنوان اهداف استراتژیک برای صنعت خودرو در تولید انعطاف پذیر نهفته است. رویکردی که نوید هوشمندسازی و رفع چالش های عملکردی در صنعت خودروسازی را می دهد. در عصر کنونی لازمه بقا و پیشرفت شرکت سایپا درک صحیح از مشتری و بازار با استفاده از سبک و اصول بازاریابی نوین است. سایپا، گام های بزرگی

[1] Societe Annonyme Iraniane De Production Automobile

در این زمینه برداشته که موجب افزایش رضایت مشتری شده است و در صنعت خودروی کشور پروژه ای تحت عنوان تولید منعطف و دلخواه مشتریان کلید خورده که با اجرای آن گامی بزرگ در رفع نیاز مشتریان و افزایش سطح رضایتمندی آنها صورت پذیرفته است. نقطه شروع فرایند توسعه و تولید منعطف محصول در معاونت مهندسی و طراحی مرکز تحقیقات سایپا، با تدوین استراتژی های محصول به عنوان عامل کلیدی در جهت تضمین موفقیت فروش خودرو، آغاز می گردد. مبنای اصلی این استراتژی ها تعریف محصولی با قابلیت حضور در بازارهای جهانی همراه با در نظر گرفتن ترکیبی متناسب از مدل های مختلف بر روی یک پلتفرم مشترک با ایجاد خصوصیات هوشمندانه و متمایز کننده از برند سایپا در نزد مشتری می باشد. با در نظر گرفتن این عوامل، بررسی های دقیقی در جهت تعریف محصول با لحاظ نمودن الزامات قانونی و خواسته های مشتری شکل گرفته و با انجام تحلیل های فنی و اقتصادی خودروهای رقیب تکمیل می گردد. در انجام این فرآیند، نوآوری و ایجاد تمایز در محصول همواره مد نظر کارشناسان بوده و با ترجمه دقیقی از تعریف محصول به پارامترهای مهندسی، ویژگی های محصول متنوع جهت پیشبرد فعالیت های طراحی خودرو مشخص می گردد که این فعالیت ها در مدیریت مهندسی خودرو انجام می گیرد. چهار سایت تولید در شرکت سایپا زمینه تمرکز بر تسهیلات و امکانات و پتانسیل های ضروری تولید انعطاف پذیر را هدف قرار داده اما اکنون این روند در سطوح پایینی انجام می گیرد. شرکت اگر نتواند به سرعت خود را با شرایط بازار و سلایق مشتریان جهت تولید انعطاف پذیر تطبیق دهد با چالش های عملکردی و رقابتی فراوانی موجه خواهد شد. فلذا در این راستا شناسایی عوامل موثر و بررسی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این عوامل می تواند به تولید انعطاف‌پذیر شرکت و ارائه استراتژی های سودمند کمک کند. با توجه به مطالب بیان شده تاکنون پژوهش قابل اعتنایی به بررسی عوامل موثر بر تولید انعطاف‌پذیر در صنعت خودروسازی نپرداخته است و آنچه توسط پژوهشگران دیگر همچون هررا گارسیا و همکاران(۲۰۲۱)؛ کومسکر و همکاران(۲۰۲۱)؛ الخلیل و درویش(۲۰۱۹) و سلیتو و مانسیو(۲۰۱۹) موردبررسی قرار گرفته است صرفا به بیان مزایای کاربست تولید انعطاف پذیر، مدل ها و عملکرد شرکت های خارجی در زمینه تولید انعطاف پذیر پرداخته اند که پژوهش حاضر علاوه بر پوشش خلا تحقیقاتی موجود و بومی سازی این مقوله، ادبیات حوزه پژوهش را نیز توسعه خواهد داد. بنابراین از این رو، پرسش اصلی این گونه مطرح می¬شود: عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی ایران کدامند؟ تاثیرگذاری و تاثیرپذیری عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی ایران چگونه است؟

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

شرکت‌های خودروسازی باید ابتکارات استراتژیک را برای رقابت در سطح جهانی و پاسخگویی به تقاضای پویای مشتریان در نظر بگیرند. تولید انعطاف‌پذیر یک مفهوم تولیدی است که اجازه می‌دهد شرکت در هنگام مواجهه با تغییرات نیازمندی‌های خود سازگار شود. تغییرات مورد نیاز می تواند

شامل مقدار محصول تولید شده یا بخش جدیدی از محصول مورد نیاز باشد. تغییرات می تواند قابل پیش بینی یا غیرقابل پیش بینی باشد. انعطاف‌پذیری سیستم‌ها به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا کارایی خود را افزایش دهند و هزینه‌های مربوط به تولید را کاهش دهند. به طور خلاصه، یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر، چابکی کلی تولید کننده را در تولید بهبود می بخشد (Rybicka et al., 2016). سیستم تولید انعطاف‌پذیر یک مفهوم تولیدی است که به ماشین‌ها و سایر اجزا اجازه می‌دهد در صورت نیاز به سرعت تنظیم شوند. این سیستم‌ها معمولاً شامل یک کامپیوتر کنترل مرکزی، ماشین‌های تولید و سیستم‌های جابجایی مواد هستند .بر اساس سطح انعطاف پذیری، نوع عملکرد و تعداد ماشین های مورد استفاده، انواع مختلفی از تولید انعطاف‌پذیر وجود دارد. بسته به نیازهای تولیدی یک کسب و کار، سیستم های تولید انعطاف پذیر می توانند به روش های مختلف کار کنند. با این حال، این سیستم‌ها معمولاً از سه عملکرد اصلی تشکیل می‌شوند که به سیستم اجازه می‌دهند عملیاتی باقی بماند. این موارد شامل: کامپیوتر کنترل مرکزی ماشین آلات تولید سیستم های جابجایی مواد این سه عملکرد با هم کار خواهند کرد تا امکان انتقال نرم اطلاعات و عملکرد از یک جزء به جزء دیگر را فراهم کنند. درک نحوه عملکرد سیستم تولید انعطاف پذیر مانند مقایسه عملکردهای مختلف اعضای بدن انسان - مغز، ماهیچه ها و خون است. کامپیوتر کنترل مرکزی، مغز عملیات خواهد بود. کنترل انتقال بین تولید قطعات مختلف و تغییر میزان تولید را در دست خواهد داشت. انتقال به ساخت قطعات مختلف باید یک فرآیند شفاف و سریع باشد. کامپیوتر کنترل مرکزی نیز باید بر اشکالات غلبه کند تا امکان ساخت بی وقفه فراهم شود، اگرچه این عملکرد می تواند از سیستمی به سیستم دیگر تغییر کند. ماشین آلات تولید عضله عملیات هستند. آنها ماشین‌های کنترل عددی کامپیوتری[1] یا روبات‌هایی هستند که از کامپیوتر کنترل مرکزی سفارش می‌گیرند. این ماشین های بسیار خودکار می توانند در صورت نیاز به سرعت وظایف را تغییر دهند. این فرآیند تضمین می کند که تولید هر قسمت مطابق با الزامات است (Solke & Singh, 2018). ارزیابی امکان سنجی اجرای تولید انعطاف‌پذیر باید در نهایت شامل چهار معیار یا بعد استراتژیک باشد: هزینه، کیفیت، انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان (Boyer, 1998). توانایی واکنش به تغییرات غیرمنتظره و قابل اعتماد بودن نیز می تواند دستاوردهای استراتژیک قابل توجهی را ایجاد کند که معمولاً مهمتر از کاهش هزینه یا بهبود کیفیت است شرکت‌های تولیدی با هدف بازارهای جدید، سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر را معرفی کردند تا مبادله کلاسیک بین قابلیت اطمینان و کیفیت را بشکنند. تولید انعطاف‌پذیر تنوع فرآیند را کاهش می دهد و کیفیت محصول را بهبود می بخشد. همزمان تولید انعطاف‌پذیر مسیرهای تولید متعددی را ارائه می دهد که بر تعهدات تعمیر و نگهداری و تعارضات صف غلبه می کند و قابلیت اطمینان تحویل و قابل اعتماد بودن تولید را افزایش می دهد. تولید

[1] Computer numerical control (CNC)

انعطاف‌پذیر بهره وری کلی را افزایش می دهند، کیفیت محصول نهایی را بهبود می بخشد و در عین حال آسیب پذیری های ناشی از تغییرات غیرمنتظره در حجم، ترکیب و سررسید سفارشات را کاهش می دهد (Prakash et al., 2017).

آشکارسازی جنبه‌های مفهومی که در این مطالعه موردبررسی قرار می‌گیرد نیازمند این است تا برخی از مطالعات تجربی انجام‌گرفته در این حوزه را مورد بررسی قرار داده و همچنین نتایج مطالعات مرتبط با این حوزه را بررسی نموده تا بتواند معیار مناسبی برای جهت‌گیری پژوهشی باشد. بر این اساس در این بخش تلاش می‌گردد تا برخی از مهم‌ترین و مرتبط‌ترین این مطالعات ارائه گردد.

هررا گارسیا و همکاران[1](۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان " تولید انعطاف‌پذیر: روش‌های مهندسی و مدیریت عملیات" بیان داشتند این مقاله میزان قابل توجهی از ادبیات منتشر شده در زمینه عملیات و تحقیقات تولید مرتبط با تولید انعطاف‌پذیر را پوشش می‌دهد. در حال حاضر دانش محدودی برای اجرای تولید انعطاف‌پذیر برای مونتاژ مدل های مختلط منتشر شده است. که می تواند یک تحلیل مرتبط و انتقادی از اثرات چنین سیستمی از نظر بهره وری، زنجیره تامین و فرآیند بهره برداری و همچنین تاثیرات بر عوامل انسانی و مهندسی روش ها در عملیات ارائه دهد. یافته‌ها شامل مزایایی برای اثربخشی تولید انعطاف‌پذیر، فرآیند مدیریت، بهره‌وری، تجزیه و تحلیل فرآیند و پیشرفت فن‌آوری است، در حالی که آنها را در مقابل معایب کارایی، منحنی یادگیری، اصول کایزن و ریسک‌های سرمایه‌گذاری قرار می‌دهد. اوج اهمیت یکپارچه سازی سیستم های ارتباطی در سراسر شرکت فراتر از سیستم تولید به منظور کنترل و سود از چنین پیاده سازی است. این مقاله اقدامات توصیه شده برای استفاده از مزایای ذکر شده در عین کاهش جنبه های منفی احتمالی را نشان می دهد.

کومسکر و همکاران[2](۲۰۲۱) بیان کردند سیستم‌های تولید خودرو با چالش تولید مدل‌ها و مارک‌هایی با مفاهیم درایو متفاوت و انواع تجهیزات پیکربندی جداگانه به روشی بسیار کارآمد مواجه هستند. مطالعات روی سیستم‌های مونتاژ مدولار در صنعت خودرو پتانسیل افزایش بهره‌وری را از طریق اجرای یک سازمان فرآیندی جایگزین و ارزش افزوده نشان داده‌اند. الحاق صلب فرآیندهای تولید مکانیکی عامل محدود کننده است. اولاً برای اجرای کارآمد شخصی‌سازی محصول و ثانیاً برای تولید قوی بسیار در دسترس که می‌تواند جریان کلی تولید کارخانه را بهینه کند. افزایش درجه آزادی در کنترل جریان مواد مرتبط با جریان تولید انعطاف پذیرتر، پیچیدگی سیستم تولید کلی را افزایش می دهد. بنابراین، پشتیبانی تصمیم برای انسان ها توسط سیستم های برنامه ریزی با منطق کنترل یکپارچه، یک عامل تعیین کننده برای تسلط بر پیچیدگی است. در حال حاضر، عملکرد کلی فرآیندهای تولید مدولار به اندازه کافی توسط معماری فناوری اطلاعات در سطح کارخانه پشتیبانی

[1] Herrera-García
[2] Komesker

نمی شود. زیرسیستم هایی که به صورت جداگانه کار می کنند قادر به پشتیبانی از کنترل تولید واکنشی نیستند. به عنوان مبنایی برای کنترل تولید واکنشی، الزامات اطلاعاتی برای فرآیندهای تولید مدولار در حوزه های مختلف در این مقاله تعریف شده است. علاوه بر این، یک ماتریس اطلاعات و ارتباطات متقابل سیستمی پیشنهاد شده است که پردازش اطلاعات را بین زیرسیستم‌های عامل جداگانه ساختار می‌دهد. استفاده از فناوری کارگزار می تواند متعاقباً کنترل مبتنی بر اطلاعات جامع را در سطح کارخانه برای حمایت از تصمیم گیری مبتنی بر تجربه انسانی فعال کند.

الخلیل و درویش[1](۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "عملکرد تولید انعطاف پذیر در کارخانه های خودروسازی ایالات متحده: مطالعه موردی" بیان داشتند فلسفه تولید انعطاف پذیر یک سلاح کلیدی در دستیابی به رقابت تولید جهانی است. این موضوع شامل طیف گسترده ای از ابعاد برای بهبود همه جنبه های معیارهای عملکرد عملیاتی است. هدف این مطالعه بررسی وضعیت فعلی پذیرش انعطاف‌پذیری در تأسیسات تولید خودرو ایالات متحده و تأثیر آن بر معیارهای عملکرد عملیاتی است. از پرسشنامه نظرسنجی توسعه یافته بر اساس کار قبلی در صنعت تولید ایالات متحده استفاده می کند. این نظرسنجی در ابتدا بین ۴۲۰ مدیر تاسیسات در صنعت خودروسازی داخلی ایالات متحده توزیع شد. مشخص شد که ۷۰ درصد از پاسخ دهندگان تمام ۱۵ بعد انعطاف پذیری مندرج در پرسشنامه را اجرا کرده اند. تجزیه و تحلیل داده های انجام شده نشان می دهد که اجرای برخی از ابعاد انعطاف پذیری منجر به بهبود قابل توجهی در معیارهای عملکرد عملیاتی خاص خواهد شد. این یافته قابل توجه می تواند به عنوان راهنمایی برای مدیران تولید برای دستیابی به اهداف معین در بهبود عملکرد عملیاتی در یک محیط به سرعت در حال تغییر استفاده شود.

کرونین و همکاران[2](۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "تولید انعطاف پذیر با استفاده از IIoT[3]در بخش خودرو" بیان داشتند تولید انعطاف‌پذیر دامنه‌ای است که در آن تحقیقات مترقی گردآوری شده است و بخشی جدایی ناپذیر است که توانایی برقراری ارتباط همه سیستم‌ها از طریق IIoT را ارائه می‌دهد. این توانایی تولیدکنندگان خودرو برای تغییر فرآیندها از «این روشی است که ما همیشه در اینجا انجام داده‌ایم» به ترکیب تغییرات کوچک اما منظم برای دستیابی به انعطاف‌پذیری نهایی است که رقابت را در یک تجارت جهانی در حال حاضر تحکیم می‌کند. آینده بقا، در یک محیط صنعتی به طور فزاینده پراکنده، می تواند با انجام یک تلاش مبتکرانه، فنی، سازمانی و مالی عمده برای اطمینان از قابلیت بقا نهایی از کشورهای کم هزینه نیروی کار به دست آید. این مقاله به بررسی تولید انعطاف‌پذیر می‌پردازد که از IIoT و عناصر کلیدی برای اجرای موفقیت‌آمیز تولید هوشمند برای بخش خودرو استفاده می‌کنند.

[1] El-Khalil & Darwish
[2] Cronin et al
[3] افزودن حسگرهای رباتیک

سلیتو و مانسیو[1](۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان پیاده سازی تولید انعطاف پذیر در صنعت خودرو: تصمیم و انتخاب" بیان داشتند هدف تصمیم گیری در مورد فناوری اجرای تولید انعطاف پذیر در یک سلول تولیدی است که قطعات را برای راه اندازی موتورها در یک شرکت در صنعت خودروسازی برزیل تولید می کند. استفاده ترکیبی از روش های ساخت یافته برای حمایت از یک مشکل تصمیم گیری نیمه ساختاریافته است. مدل‌سازی کمی-کیفی بر چهار اولویت رقابتی تولید، هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و تحویل تکیه دارد. این روش سه جایگزین تکنولوژیکی A۱، یک طرح نردبانی، نوار نقاله و دستگاه های پنوماتیک، A۲، یک طرح میدان باز و وسایل نقلیه هدایت خودکار، و A۳، یک طرح ربات محور و بازوهای رباتیک را در نظر گرفت. دو روش مختلف به یک نتیجه رسیدند. بهترین جایگزین A۳ است. شرح کامل شامل فرآیند تصمیم گیری و انتخاب نهایی و مشکلاتی که یک تحلیلگر تصمیم در حمایت از متخصصان در حل یک مشکل پیچیده با آن مواجه است.

خلاصه پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص تولید انعطاف پذیر به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول۱. خلاصه پیشینه پژوهش

ردیف	مطالعات انجام شده	عنوان پژوهش	نتایج
۱	هررا گارسیا و همکاران (۲۰۲۱)	تولید انعطاف‌پذیر: روش‌های مهندسی و مدیریت عملیات	در حال حاضر دانش محدودی برای اجرای تولید انعطاف‌پذیر برای مونتاژ مدل های مختلط منتشر شده است که می تواند یک تحلیل مرتبط و انتقادی از اثرات چنین سیستمی از نظر بهره وری، زنجیره تامین و فرآیند بهره برداری و همچنین تاثیرات بر عوامل انسانی و مهندسی روش ها در عملیات ارائه دهد. یافته‌ها شامل مزایایی برای اثربخشی تولید انعطاف‌پذیر، فرآیند مدیریت، بهره‌وری، تجزیه و تحلیل فرآیند و پیشرفت فن‌آوری است، در حالی که آنها را در مقابل معایب کارایی، منحنی یادگیری، اصول کایزن و ریسک‌های سرمایه‌گذاری قرار می‌دهد.
۲	کومسکر و همکاران (۲۰۲۱)	پردازش اطلاعات ساختاریافته به عنوان توانمندساز مفاهیم تولید چندمنظوره و انعطاف پذیر.	سیستم‌های تولید خودرو با چالش تولید مدل‌ها و مارک‌هایی با مفاهیم درایو متفاوت و انواع تجهیزات پیکربندی جداگانه به روشی بسیار کارآمد مواجه هستند. مطالعات روی سیستم‌های مونتاژ مدولار در صنعت خودرو پتانسیل افزایش بهره‌وری را از طریق اجرای یک سازمان فرآیندی جایگزین و ارزش افزوده نشان داده‌اند. الحاق صلب فرآیندهای تولید مکانیکی عامل محدود کننده است.

[1] Sellitto & Mancio

ردیف	مطالعات انجام شده	عنوان پژوهش	نتایج
۳	الخلیل و درویش (۲۰۱۹)	عملکرد تولید انعطاف پذیر در کارخانه های خودروسازی ایالات متحده: مطالعه موردی	فلسفه تولید انعطاف پذیر یک سلاح کلیدی در دستیابی به رقابت تولید جهانی است. هدف این مطالعه بررسی وضعیت فعلی پذیرش انعطاف‌پذیری در تأسیسات تولید خودرو ایالات متحده و تأثیر آن بر معیارهای عملکرد عملیاتی است. براساس تجزیه و تحلیل داده های جمع آوری شده از ۴۲۰ مدیر تاسیسات در صنعت خودروسازی داخلی ایالات متحده مشخص شد که ۷۰ درصد از پاسخ دهندگان تمام ۱۵ بعد انعطاف پذیری مندرج در پرسشنامه را اجرا کرده اند. اجرای برخی از ابعاد انعطاف پذیری منجر به بهبود قابل توجهی در معیارهای عملکرد عملیاتی خاص خواهد شد.
۴	کرونین و همکاران (۲۰۱۹)	تولید انعطاف پذیر با استفاده از IIoT در بخش خودرو	تولید انعطاف‌پذیر دامنه‌ای است که در آن تحقیقات مترقی گردآوری شده است و بخشی جدایی ناپذیر است که توانایی برقراری ارتباط همه سیستم‌ها از طریق IIoT را ارائه می‌دهد. این توانایی تولیدکنندگان خودرو برای تغییر فرآیندها از «این روشی است که ما همیشه در اینجا انجام داده‌ایم» به ترکیب تغییرات کوچک اما منظم برای دستیابی به انعطاف‌پذیری نهایی است که رقابت را در یک تجارت جهانی در حال حاضر تحکیم می‌کند
۵	سلیتو و مانسیو (۲۰۱۹)	پیاده سازی تولید انعطاف پذیر در صنعت خودرو: تصمیم و انتخاب	هدف تصمیم گیری در مورد فناوری اجرای تولید انعطاف پذیر در یک سلول تولیدی است که قطعات را برای راه اندازی موتورها در یک شرکت در صنعت خودروسازی برزیل تولید می کند. استفاده ترکیبی از روش های ساخت یافته برای حمایت از یک مشکل تصمیم گیری نیمه ساختاریافته است. مدل‌سازی کمی-کیفی بر چهار اولویت رقابتی تولید، هزینه، کیفیت، انعطاف‌پذیری و تحویل تکیه دارد.

۳- روش‌شناسی

پژوهش در بخش کیفی اساتید و خبرگان مدیریت صنعتی، مدیریت بازرگانی و مهندسی صنایع بود که با توجه به هدف پژوهش، نمونه گیری در این پژوهش به صورت هدفمند با استفاده از تکنیک گلوله برفی و به تعداد ۲۶ نفر انجام شده است. تعیین حجم نمونه با استفاده از اصل اشباع نظری صورت گرفته است به نحوی که پس از انجام مصاحبه با نفرات بیست و سوم و بیست و چهارم دیگر عامل جدیدی شناسایی نگردید و فرایند مصاحبه با نفر بیست و ششم به پایان رسید. مصاحبه ها در بخش کیفی به صورت نیمه ساختاریافته انجام شد و سپس با استفاده از روش تحلیل تم و کدگذاری، عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی شناسایی شدند. برای اطمینان از صحت کدگذاری و استخراج مفاهیم، کدهای بدست آمده از مصاحبه ها مجدداً در اختیار مصاحبه شوندگان

قرار گرفت تا از تأیید کدهای استخراج شده توسط مصاحبه شوندگان اطمینان حاصل شود. هدف رسیدن به ایده اصلی مصاحبه شونده است. جامعه آماری در بخش کمی (دیمتل) مدیران عالی و میانی شرکت های زیرمجموعه گروه سایپا هستند. با بهره گیری از روش نمونه گیری غیر احتمالی در دسترس، ۸۹ نفر از مدیران این حوزه انتخاب شده و ۷۴ نفر در این پژوهش مشارکت کردند. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها از روش دیمتل استفاده شده است. با استفاده از این روش می توان روابط متقابل میان متغیرها را تأیید کرده و روابطی را که منعکس کنندهٔ ویژگی های یک نظام هستند را محدود کند (Amiri et al., 2011). در روش دیمتل می توان ادراکات ذهنی افراد مورد سنجش قرار داد تا بینش های شخصی افراد وارد مسائل پیچیده شود (Tzeng et al., 2011). محصول نهایی فرایند دیمتل یک نقشه ذهنی است که پاسخ دهنده مطابق با آن اقداماتش را پیرامون دنیا سازمان دهی می کند و یا به اولویت های بیان شده در آن متعهد می ماند. به منظور گردآوری داده ها، از ابزار پرسشنامه مقایسه زوجی استفاده شده است. بدین منظور، طی پرسشنامه مقایسه زوجی که به تعداد عوامل سطر و ستون دارد، شدت روابط میان عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی مشخص شده است. مقیاس مقایسه های زوجی بر مبنای صفر تا چهار امتیازبندی شده است، بدین معنی که صفر یعنی عامل الف بر عامل ب تأثیری ندارد، یک یعنی عامل الف بر عامل ب کمی اثرگذار است، دو یعنی عامل الف بر عامل ب اثر گذار است، سه یعنی عامل الف بر عامل ب تأثیر نسبتاً زیادی دارد و در نهایت چهار یعنی عامل الف به شدت بر عامل ب تأثیر گذار است. این مقیاس همچنین می تواند از صفر تا ۱۰ و یا از صفر تا ۱۰۰ نیز تعریف شود.

۴- یافته‌ها

توصیف اطلاعات جمعیت شناختی

بخش کیفی پژوهش شامل ۲۶ خبره بود که 2 نفر زن و ۲۴ نفر مرد بودند. همچنین ۲۱ نفر با تحصیلات دکتری تخصصی، ۵ نفر کارشناسی ارشد بودند. بخش کمی شامل ۷۴ مرد بودند که ۱۳ نفر دارای مدرک کارشناسی، ۳۷ نفر کارشناسی ارشد و ۲۴ نفر دارای مدرک دکتری تخصصی بودند.

یافته های بخش کیفی

مصاحبه ها در بخش کیفی به صورت نیمه ساختار یافته بوده و سپس با استفاده از روش تحلیل تم و کدگذاری، عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی شناسایی شدند. تحلیل تم به باور «بارون» و «کلارک» روشی است که برای شناخت، تحلیل و گزارش الگوهای موجود در داده های کیفی برای تحلیل متون استفاده می شود که داده های متنوع را به داده های غنی بدل می کند و در دیدن متن، برداشت مناسب از اطلاعات، تبدیل داده های کیفی به داده های کمی کاربرد دارد. نتیجه حاصل از تحلیل داده ها با استفاده از رویکردکیفی تحلیل تم در قالب تم های اصلی و فرعی و مفاهیم

ارائه می شود. در این پژوهش براساس رویکرد براون و کلارک، تحلیل تم در شش مرحله فاز آشنایی با داده ها، ایجاد کدهای اولیه، جست و جوی تم ها، بازنگری تم ها، تعریف و نام گذاری تم ها و نهایتاً گزارش دهی صورت می گیرد (Clarke & Braun,2006). در گام اول صداهای ضبط شده و مطالب نگارش شده از بیانات مصاحبه شوندگان دسته بندی می شود. سپس پس از تحلیل و سازماندهی، کدهای اولیه ایجاد می شود. در مرحله سوم با تمرکز بر تحلیل در سطح کلان تر، کدهای مختلف در قالب تم ها مرتب می شوند. گام بعدی شامل پالایش تم ها است که تم های همگون در گروههای منسجم دسته بندی می شوند و نهایتا شبکه مضامین شامل مضامین اصلی و فرعی ارائه می گردند. بنابراین متون مصاحبه ها بررسی شده و براساس تحلیل تم با کمک نرم افزار MAXQDA2020 عوامل موثر شناسایی میشوند. بر این اساس، مصاحبه که مشتمل بر پنج سؤال اصلی بود، پس از ارائه توضیحات لازم به اعضای نمونه صورت گرفت. سپس متن مصاحبه های انجام شده تحلیل شد. برای اطمینان از صحت کدگذاری و اسخراج مفاهیم ، کدهای بدست آمده از مصاحبه ها مجدداً در اختیار مصاحبه شوندگان قرار گرفت تا از تأیید کدهای استخراج شده توسط مصاحبه شوندگان اطمینان حاصل شود. هدف رسیدن به ایده اصلی مصاحبه شونده بود.

بر اساس تحلیل مصاحبه ها ۱۱ مفهوم استخراج شد.

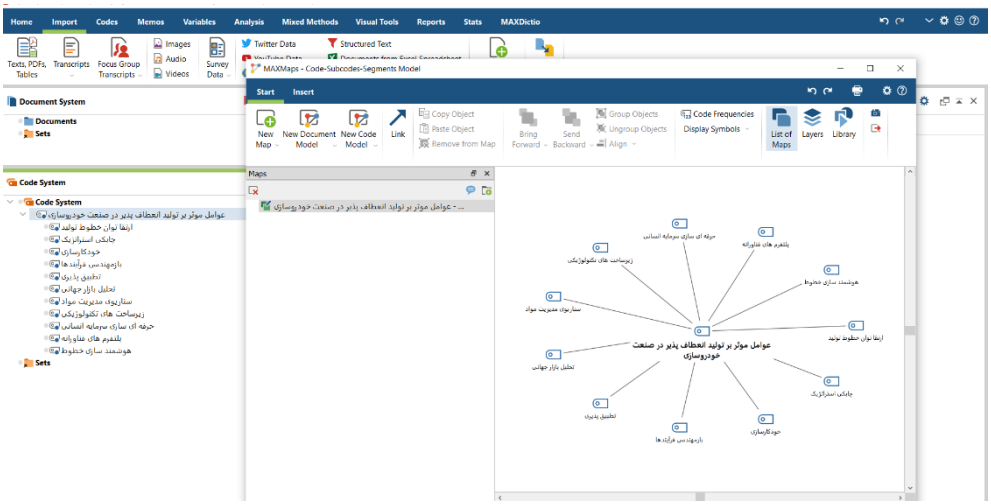
جدول ۵ . مفاهیم و کدهای مستخرج از مصاحبه ها

هوشمند سازی خطوط	• برنامه‌ریزی و ایجاد محیط کنترلی • برنامه ریزی مبتنی بر RFID • زمینه سازی محیط مناسب • بهره گیری از ابزارهای نوین • سیستم گزارشگیری
تطبیق پذیری	• بسترسازی تفکر پیشرو و خلاقانه • ایجاد اتصال پذیری پویا • مقابله با بی ثباتی ها • امکان پاسخگویی سریع به تحولات
حرفه ای سازی سرمایه انسانی	• ایجاد پیکره دانشی راهبردی • ارتقا ادراک از هویت حرفه ای • بازبینی منشور اخلاقی • آموزش های نوین با تاکید بر فناوری های صنعت
خودکارسازی	• کنترل منطقی قابل برنامه ریزی • کامپیوتر مرکزی تخصیص یافته در • کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی (PLC) • پایش (کنترل) خط تولید • مکانیزه کردن
سناریوی مدیریت مواد	• کنترل ورودی و خروجی • ذخیره سازی راهبردی • برنامه ریزی نیازهای هر بخش
بازمهندسی فرآیندها	• تجزیه‌وتحلیل و طراحی فرایندها و جریان‌های کاری

	• هدف محوری در تغییرات • ارتقا کیفی • تطبیق مستمر با تغییرات
زیرساخت های تکنولوژیکی	• استراتژی های توسعه فناورانه • برنامه های MINT • الگوبرداری مقایسه ای
چابکی استراتژیک	•حساسیت راهبردی • بهره گیری فعالانه از مزایا و فرصت‌ها • چابکی واکنشی • مواجهه مثبت با تهدیدات رقابتی • توسعه منابع اقتصادی
تحلیل بازار جهانی	• واکاوی اقدامات شرکت های موفق جهانی • مشاهدات میدانی از توفیق یا عدم توفیق راهبردهای گوناگون • بهره گیری از رویکرد مشترک جهانی در راستای استانداردسازی
پلتفرم های فناورانه	• پلتفرم های پیشرانه ها • معماری ماژولار • سیستم تعلیق • سیستم های AC
ارتقا توان خطوط تولید	• حداکثرسازی بهره گیری از دانش خلق شده • ایجاد بستر تولیدهای مبتنی بر پلتفرم • یکپارچه سازی زنجیره تامین • آزمایش و تحلیل ناشناخته ها • یکپارچه سازی هندسی سیستم

جدول ۶ . عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی

	متغیر	کاپا	روایی محتوا
S 1	هوشمند سازی خطوط	۰/۸۲	۰/۸۵
S 2	تطبیق پذیری	۰/۸۱	۰/۸۳
S 3	حرفه ای سازی سرمایه انسانی	۰/۸۵	۰/۸۷
S 4	خودکارسازی	۰/۷۲	۰/۹۱
S 5	سناریوی مدیریت مواد	۰/۶۶	۰/۷۳
S 6	بازمهندسی فرآیندها	۰/۶۸	۰/۷۸
S 7	زیرساخت های تکنولوژیکی	۰/۷۸	۰/۹۱
S 8	چابکی استراتژیک	۰/۶۲	۰/۷۸
S 9	تحلیل بازار جهانی	۰/۶۳	۰/۷۶
S 10	پلتفرم های فناورانه	۰/۶۲	۰/۸۱
S 11	ارتقا توان خطوط تولید	۰/۷۱	۰/۸۳



شکل۱. خروجی نرم افزار MAXQDA2020

یافته های بخش کمی

روش دی‌متل

روش ارزیابی تصمیم گیری با دی‌متل، روشی جامع برای ساخت و تحلیل مدلی ساختاری از روابط علی میان عوامل پیچیده متعدد است (Lin & Lin, 2008). این روش نخستین بار توسط موسسه مموریال باتل لُر ژنو در طی سال های ۱۹۷۲برو تا ۱۹۷۶ میلادی برای بررسی و حل گروهی از مسائل پیچیده و در هم تنیده به کار گرفته شد (Tsai 2009؛Tzeng et al., 2011). روش دیمتل، به منظور حل مسائل پیچیده ابداع شده است. این روش می تواند در موضوعات، شاخص های به هم مرتبط و موضوعات دارای گروهی از عوامل، از طریق ایجاد یک نظام شبکه ای سلسله مراتبی مناسب، راه حلی در خور برای حل مسائل پیچیده مهیا کند. دیمتل می تواند درک درستی از گروه عوامل متعامل به دست دهد، همچنین می تواند نظام شبکه ای سلسله مراتبی برای محقق فراهم کند. این روش می تواند با گرد آوری نظرات گروهی به مشخص کردن روابط علت و معلولی میان عوامل، برای حل مسائل پیچیده کمک کند (Mentes et al., 2015). خروج فرایند دیمتل نمایی تصویری است که براساس آن، کاربر می تواند تصمیم گیری و اولویت بندی میان عوامل یا مقوله ها را انجام دهد. روش دیمتل چند گام دارد که در ادامه ضمن بیان این گام ها، نتایج به دست آمده از این پژوهش نیز ارائه خواهد شد.

[1] Battelle Memorial Institute

یافته‌ها

گام اول: محاسبهٔ ماتریس میانگین A: این ماتریس، ماتریس تلفیق شدهٔ پاسخ های خبرگان است و درایه های آن طبق معادله ۱، محاسبه می شود که در آن Hتعداد خبرگان وxij همان مقادیر تخصیص داده شده از جانب آن هاست

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \times \sum_{k=1}^{H} X_{IJ}^{(K)}$$

جدول ۷. ماتریس میانگین

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S8	S 9	S 10	S 11
S 1	0	2	4	4	4	4	4	2	4	1	4
S 2	2	0	4	4	3	4	3	4	4	3	4
S 3	2	2	0	2	3	4	2	3	2	4	3
S 4	1	3	3	0	4	3	2	3	2	4	3
S 5	3	2	4	4	0	3	1	3	3	3	4
S 6	4	4	4	4	4	0	3	3	4	2	3
S 7	4	3	3	2	2	3	0	2	2	2	2
S 8	3	3	3	4	4	1	1	0	4	4	3
S 9	2	4	3	3	2	1	1	4	0	4	3
S 10	2	3	3	3	2	2	1	3	3	0	3
S 11	3	4	3	3	3	2	1	3	3	4	0

در جدول ۲، S1 تا S11 به ترتیب 11 عامل استخراج شده از مصاحبه ها هستند که در جدول ۱ نشان داده شده اند.

گام دوم: محاسبهٔ ماتریس نرمال شدهٔ روابط مستقیم D : ماتریسA را از طریق معادله ۲ و ۳ به ماتریس اولیه روابط مستقیم نرمال شده که آن را ماتریسD می نامیم، تبدیل می کنیم.

$$D = m \times A$$

$$m = \min\left[\frac{1}{max\sum_{j=1}^{n}|aij|}, \frac{1}{max\sum_{i=1}^{n}|aij|}\right]$$

جدول ۸. ماتریس روابط نرمال شدهٔ روابط مستقیم (شدت نسبی حاکم بر روابط مستقیم)

D	S 1	S 2	S3	S 4	S5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11
S1	0	0.057	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.057	0.114	0.028	0.114
S 2	0.057	0	0.114	0.114	0.085	0.114	0.085	0.114	0.114	0.085	0.114
S 3	0.057	0.057	0	0.057	0.085	0.114	0.057	0.085	0.085	0.085	0.057
S 4	0.028	0.085	0.085	0	0.114	0.085	0.057	0.085	0.057	0.114	0.085
S 5	0.085	0.057	0.114	0.114	0	0.085	0.028	0.085	0.085	0.085	0.114
S6	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0	0.085	0.085	0.114	0.057	0.085
S 7	0.114	0.085	0.057	0.057	0.057	0.085	0	0.057	0.057	0.057	0.057
S8	0.085	0.085	0.085	0.114	0.114	0.028	0.028	0	0.114	0.114	0.085
S 9	0.057	0.114	0.085	0.085	0.057	0.028	0.028	0.114	0	0.114	0.085
S 10	0.057	0.085	0.085	0.085	0.057	0.057	0.028	0.085	0.085	0	0.085
S 11	0.085	0.114	0.085	0.085	0.085	0.057	0.028	0.085	0.085	0.114	0

مجموع هر سطر j ماتریس A نشان دهندهٔ مجموع تأثیرات مستقیمی است که عامل I بر سایر عوامل می گذارد، از این رو، میزان $max\ \sum_{j=1}^{n}|aij|$ نشان دهنده مجموع تأثیرات مستقیمی است که عاملی با بیشترین تأثیر مستقیم بر روی سایر عوامل دارد. همچنین، از آنجایی که مجموع هر ستون i ماتریس A نشان دهنده مجموع تأثیرات مستقیمی است که عامل i از سایر عوامل می پذیرد، میزان $max\ \sum_{j=1}^{n}|aij|$ نشان دهنده مجموع تأثیرات مستقیمی می باشد که عاملی که بیشترین تأثیر را از سایر عوامل می پذیرد، دریافت می کنند. ماتریس مثبت اسکالر m به عنوان حد بالا، کمترین مقدار این دو را به خود اختصاص می دهد، و ماتریس D با تقسیم تمامی عناصر ماتریس A ماتریس اسکالر m به دست می آید. لازم به یاد آوری است که هر عنصر dij از ماتریس D مقداری بین صفر و یک دارد .

گام سوم: محاسبه ماتریس تأثیر گذاری (شدت روابط) غیر مستقیم ID :

ماتریس شدت روابط غیر مستقیم (ID) از طریق معادله زیر به دست می آید.

$$ID = \sum_{I=2}^{\infty} D^i = D^2(I - D)^{-1}$$

گام چهارم: به دست آوردن ترتیب هر یک از عناصر:

در گام چهارم، سلسله مراتب یا ساختار ممکن از عناصر مشخص می شود. ترتیب نفوذ عناصر مفروض از یک مسأله بر دیگر عناصر و یا تحت نفوذ قرار گرفتن آنها به طور مسلم، مشخص کنندهٔ

ساختار ممکن از سلسله مراتب آن عناصر در بهبود یا حل مسأله خواهد بود. از این رو در جدول زیر برای نشان دادن ترتیب واقع شدن عناصر (سلسله مراتب)، از ماتریس D(I-D)-1 استفاده می کنیم.

جدول ۹. ماتریس D(I-D)-1

D*(I-D)^-1	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11
S 1	0.3857	0.50598	0.59743	0.59516	0.5700	0.50967	0.39134	0.5113	0.58022	0.4922	0.56829
S 2	0.4592	0.47752	0.62439	0.62341	0.5713	0.52831	0.37945	0.5872	0.60840	0.5699	0.59406
S 3	0.3653	0.41898	0.39999	0.45391	0.4555	0.42859	0.28473	0.4487	0.46682	0.4519	0.43082
S 4	0.3587	0.46586	0.50405	0.42429	0.5030	0.42544	0.29685	0.4730	0.4657	0.5026	0.47959
S 5	0.4284	0.46807	0.55758	0.55605	0.4295	0.44961	0.29080	0.4992	0.51847	0.5055	0.5310
S 6	0.5107	0.58155	0.63047	0.62878	0.6003	0.43315	0.38593	0.5662	0.61302	0.5463	0.5761
S 7	0.3964	0.42020	0.43104	0.43023	0.4094	0.38906	0.22217	0.4002	0.4194	0.4011	0.40946
S 8	0.4232	0.48820	0.52998	0.55337	0.5270	0.39692	0.28667	0.4186	0.53888	0.5283	0.50559
S 9	0.3682	0.47716	0.48915	0.48906	0.4409	0.3634	0.2638	0.4854	0.39851	0.4915	0.46672
S 10	0.3493	0.42944	0.46318	0.46246	0.4168	0.36714	0.24989	0.4360	0.45151	0.3622	0.44133
S 11	0.4183	0.50525	0.52219	0.52134	0.4954	0.41595	0.28440	0.4895	0.50832	0.5182	0.41856

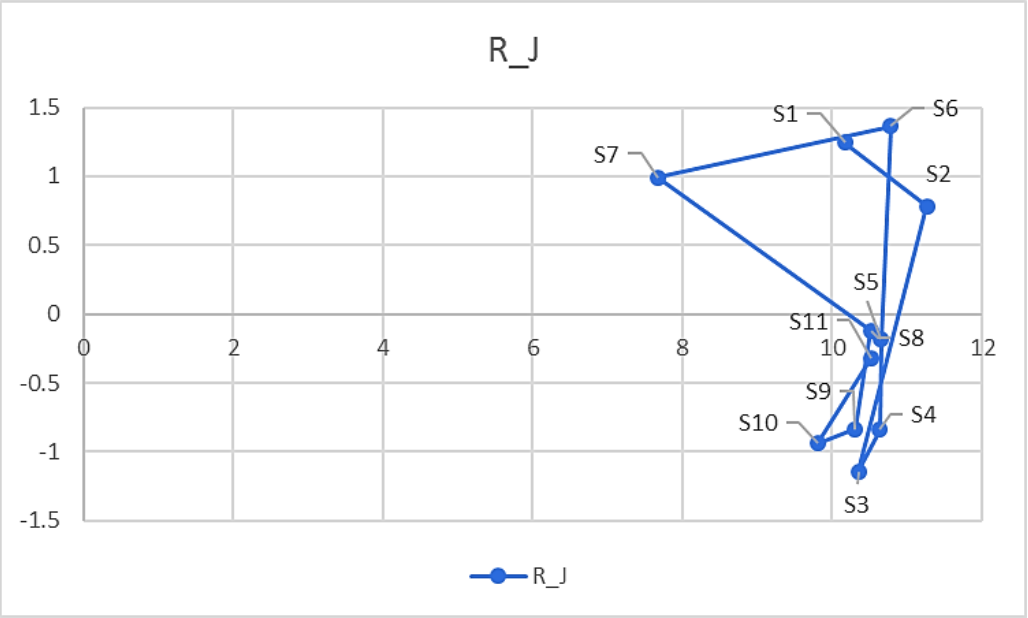
در ادامه، جدول ۶ ترتیب اثر عناصر بر یکدیگر را نشان می دهد. بیشترین مجموع ردیفی (R) بیانگر ترتیب عواملی است که قویا بر سایر عوامل تاثیر دارند. به عنوان مثالS6 ، S2، S1 یعنی هوشمند سازی خطوط، تطبیق پذیری و بازمهندسی فرآیندهاگویای عواملی هستند که بیشترین تأثیر را بر روی سایر عوامل شناسایی شده در این پژوهش می گذارند. بیشترین مجموع ستونی (J) نیز بیانگر ترتیب عواملی است که بیشترین تأثیر را در میان سایر عوامل می پذیرند. به عنوان مثال عوامل S3 و S4 و S9 یعنی حرفه ای سازی سرمایه انسانی، خودکارسازی و تحلیل بازار جهانی گویای عواملی هستند که بیشترین تأثیر را از سایر عوامل شناسایی شده در این پژوهش می پذیرند.

جدول ۱۰. شاخص های نهایی برای عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی

R		J		R+J		R-J	
S6	6.072	S3	5.749	S2	11.261	S6	**1.365**
S 2	6.023	S4	5.738	S6	10.780	S1	**1.243**
S 1	5.707	S9	5.569	S5	10.653	S7	**0.992**
S 5	5.234	S11	5.421	S4	10.637	S2	**0.785**
S 8	5.196	S5	5.419	S11	10.519	S8	**-0.118**
S 11	5.097	S10	5.370	S8	10.512	S5	**-0.184**
S 4	4.899	S8	5.315	S3	10.354	S11	**-0.324**
S 9	4.734	S2	5.238	S9	10.303	S9	**-0.835**
S 3	4.605	S6	4.707	S1	10.171	S4	**-0.838**
S 10	4.429	S1	4.463	S10	9.799	S10	**-0.940**
S 7	4.328	S7	3.336	S7	7.665	S3	**-1.144**

ستون (R-J) موقعیت یک عنصر (در طول محور عرض ها) را نشان می دهد و این عدد در عواملی که مثبت است، بیانگر نفوذ کننده بودن آن عامل می باشد و در صورت منفی بودن نیز بیانگر تحت نفوذ بودن آن عامل است. همچنین ستون(R+J) نشان دهنده مجموع شدت یک عنصر (در محور طول‌ها) هم از نظر نفوذ کننده و هم از نظر تحت نفوذ واقع شدن می باشد. تحلیل نهایی نیز بر این اساس انجام می پذیرد.

از این رو با تحلیل یاد شده، عواملی را که نفوذ بیشتری بر سایر عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی دارند را به عنوان مهم ترین عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی انتخاب می کنیم. شکل ۱ موقعیت عناصر در سلسله مراتب ممکن را نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت و اولویت بندی عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی

براساس شکل فوق می توان بیان نمود که عواملی همچون حرفه ای سازی سرمایه انسانی، پلتفرم های فناورانه، تحلیل بازار جهانی و خودکارسازی بیشتر تحت تاثیر سایر عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر قرار دارند. عوامل تطبیق پذیری، خودکارسازی، چابکی استراتژیک، بازمهندسی فرآیندها و سناریوی مدیریت مواد نیز جزو عواملی هستند که علاوه بر تاثیرگذاری بالا، تاثیرپذیری بالایی نیز دارند. بازمهندسی فرآیندها، هوشمندسازی خطوط، تطبیق پذیری و زیرساخت های تکنولوژیکی نیز جزو عواملی هستند که بیشتر نفوذگذار هستند و می توانند سایر عوامل را تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین این عوامل جزو مهمترین عوامل تاثیرگذار بر تولید انعطاف پذیر هستند که باید مورد توجه قرار گیرند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

کاهش هزینه و بهبود کیفیت، الزامات اصلی تحمیل شده بر شرکت ها و زنجیره های تامین برای بقا و شکوفایی در عرصه کسب و کار است. بنابراین، شرکت‌ها با تمرکز بر فعالیت‌های تولیدی، تلاش می کنند تا هزینه را کاهش دهند و به طور همزمان کیفیت را بهبود بخشند. انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان به عنوان ابعاد حیاتی رقابت ظاهر میشود. فرآیند تولید انعطاف پذیر به ترکیبی از ایستگاه های کاری و امکانات مسیرهای تکنولوژیکی نیاز دارد که توسط سیستم حمل و نقل مواد ارائه شده و توسط یک واحد بازرسی خودکار بازرسی می شود. تولید انعطاف پذیر سیستمی است که سطح مشخصی از سازگاری را امکان پذیر می کند و واکنش نشان دادن به تغییرات را، چه قابل پیش بینی و

چه غیر قابل پیش بینی، آسان می کند. این روش به ویژه در صنعت خودروسازی ارزشمند است زیرا امکان تعویض سریع محصول با حداقل زمان خرابی را فراهم می کند. این موضوع صنعت را قادر می سازد تا با معرفی محصولات جدید بدون چالش و با ارائه طیف وسیعی از محصولات، به سرعت به سفارشات مشتریان پاسخ دهد. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اولویت بندی نفوذ پذیری و نفوذ گذاری عوامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی انجام پذیرفت. ابتدا عوامل با استفاده از مصاحبه با خبرگان شناسایی و در گام دوم با استفاده از تکنیک دی‌متل الویت بندی و اثرات آنها بر یکدیگر تعیین شد. یافته های پژوهش حاضر شامل شناسایی یازده عامل موثر بر تولید انعطاف پذیر در صنعت خودروسازی و سپس اولویت بندی نفوذ پذیری و نفوذ گذاری آنها بود. بر اساس تحلیل دی-متل عوامل S6، S1، S7 یعنی هوشمند سازی خطوط، بازمهندسی فرآیندها و زیرساخت های تکنولوژیکی گویای عواملی بودند که بیشترین نفوذ را بر روی سایر عوامل شناسایی شده در این پژوهش دارند. عوامل S3 و S10 و S4 یعنی حرفه ای سازی سرمایه انسانی، خودکارسازی و پلتفرم های فناورانه نیز گویای عوامل بودند که به نسبت دیگر عواملی تحت نفوذ بیشتری قرار می گیرند. تولید انعطاف پذیر دو حوزه اصلی را پوشش می دهد. از یک طرف بر روی استفاده از انعطاف پذیری در مدیریت منابع مانند زمان و تلاش با توسعه نیروی کار اصلی انعطاف پذیر با مهارت تمرکز دارد. از طرف دیگر، انعطاف‌پذیری را در فرآیندها افزایش می‌دهد، زیرا سیستم تولید تغییرات بزرگ مقیاس مانند اندازه مجموعه تولید، ظرفیت و بهره‌وری را شامل می شود. این سیستم متمایز مجموعه ای از مراحل ثابت را دنبال نمی کند و با توجه به کارایی و الزامات تغییر می کند. پیوستگی جریان مواد از یک ماشین به ماشین دیگر ثابت نیست و توالی عملیات نیز ثابت نیست. عوامل شناسایی شده در این پژوهش شامل هوشمند سازی خطوط، تطبیق پذیری، حرفه ای سازی سرمایه انسانی، خودکارسازی، سناریوی مدیریت مواد، بازمهندسی فرآیندها، زیرساخت های تکنولوژیکی، چابکی استراتژیک، تحلیل بازار جهانی، پلتفرم های فناورانه و ارتقا توان خطوط تولید است. نتایج پژوهش حاضر در بخش نفوذگذاری عوامل هوشمند سازی خطوط، بازمهندسی فرآیندها و زیرساخت های تکنولوژیکی با تحقیقات کومسکر و همکاران (۲۰۲۱) و الخلیل و درویش (۲۰۱۹) مطابقت دارد. با توجه به نتایج پژوهش پیشنهادات زیر ارائه می گردد.

- فرآیندهای تجاری در شرکت نیازمند به روز رسانی فرآیند ها و باز نویسی الزامات و وظایف است. موضوع محوری در رابطه با تولید انعطاف پذیر سطوح بالای بهره وری و رضایت مشتریان است. مدیران ارشد شرکت سایپا بایستی توجه کافی بر طراحی مجدد فرآیندها داشته باشند تا بر اساس اهداف شرکت تولیدات منعطف و راهبردی را در چرخه تولید قرار دهند. پیشنهاد می گردد در راستای بازمهندسی فرآیندها با استفاده از طراحی و تنظیم ماشین ها برای الزامات خاص پیکربندی خطی گردش را به کار برند. در این صورت می توان

جهت کار آمدتر کردن عملیات و با درجه معینی از اختصاصی کردن فرآیند کار برنامه ریزی کرد.

- مدیران شرکت با استفاده کامل از تجهیزات هوشمند متصل به هم برای بهینه سازی عملکرد کارخانه، بهبود تعمیر و نگهداری تجهیزات و صرفه جویی در تولید و افزایش بیشتر بهره وری تجاری شرکت می توانند فرآیند هوشمندسازی را پیاده سازی کنند. بازرسی نیز می تواند به یک سیستم تولید انعطاف پذیر در اجرای صحیح و بی نقص فرآیندها کمک کند. پیشنهاد می گردد در راستای هوشمند سازی خطوط، کاوشگرهای اندازه گیری مختصات نصب گردد تا بازرسی اثربخش و مورد ارزیابی صورت گیرد.
- تدارکات جریان مواد، ارتباطات، توالی و بازگشت اقلام حمل و نقل نیاز به هماهنگی قابل توجهی برای پاسخگویی به تقاضای تولید دارد. مدیران میانی شرکت بایستی برنامه ریزی و کنترل دقیقی بر موضوع مدیریت مواد داشته باشند. پیشنهاد می گردد استقرار نردبانی، حلقه ای و بر خط بر حسب موقعیت و الزامات تولید برای حمل مواد صورت گیرد.
- چابکی راهبردی در تولید نیازمند ادراک کل نگر و سیستمی است. سیستمی که به سرعت تغییر می کند و این تغییر از طریق مدل های محصول یا تغییر بین خطوط محصول (انعطاف پذیری صورت می گیرد) و در حالت ایده ال پاسخی آنی به تقاضای مشتری است. پیشنهاد می گردد تمرکز بر بخش محصولات پیچیده و زنجیره تامین قطعات باشد. زیرا کاربرد اصلی الگوی تولید انعطاف پذیر و سیستم های مطرح شده در چابک سازی تولید است.
- در نهایت پیشنهاد می گردد با استفاده از تکنیک هایی نظیر پویایی شناسی سیستم اثربخشی جوانب مولفه های تحلیل شده ارزیابی گردد.

در پژوهش حاضر محققان با محدودیت هایی مواجه بودند؛ از جمله نبود سوابق تحقیقاتی پیرامون موضوع که این پژوهش می تواند در توسعه ادبیات مورد بحث و کمک به محققان موثر باشد، احتمال برداشت متفاوت پاسخ دهندگان از پرسش ها به دلیل عواملی از قبیل تعصب فردی و سطح تحصیلات و در نهایت دسترسی به مدیران عالی شرکت برای نظرخواهی.

منابع

Amiri, M., Sadaghiyani, J., Payani, N., & Shafieezadeh, M.. Developing a DEMATEL method to prioritize distribution centers in supply chain. *Management Science Letters*, (2011) 1(3), 279-288.

Boyer, K.. Longitudinal linkages between intended and realized operations strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, (1998)18(4), 356-373.

Chae, S., Yan, T., & Yang, Y.. Supplier innovation value from a buyer–supplier structural equivalence view: Evidence from the PACE awards in the automotive industry. *Journal of Operations Management*, (2020) 66(7-8), 820-838.

Clarke, V. and Braun, V. Using Thematic Analysis in Psychology. *Qualitative Research in Psychology*, (2006), 3(2), pp. 123-140.

Cronin, C., Conway, A., & Walsh, J.. Flexible manufacturing systems using IIoT in the automotive sector. *Procedia Manufacturing*, (2019) 38, 1652-1659.

Delic, M., & Eyers, D. R.. The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry. *International Journal of Production Economics*, (2020) 228, 107689.

El-Khalil, R., & Darwish, Z.. Flexible manufacturing systems performance in US automotive manufacturing plants: a case study. *Production planning & control*, (2019) 30(1), 48-59.

Herrera-García, M. C., & Arias-Portela, C. Y.. Flexible Manufacturing Systems: A Methods Engineering and Operations Management Approach. *In International Conference on Intelligent Human Systems Integration Springer, Cham* (2021) (pp. 760-765)..

Komesker, S., Kern, W., Wagner, A., Bauernhansl, T., & Ruskowski, M.. Structured Information Processing as Enabler of Versatile, Flexible Manufacturing Concepts. *In Advances in Automotive Production Technology–Theory and Application Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.* (2021) (pp. 108-116).

Lin, k., and Lin, C.. Cognition Map of Experiential Marketing Strategy for Hot Spring Hotels in Taiwan Using the DEMATEL Method. *Fourth International Conference on Natural Computation. IEEE*. (2008)

Mendes, L., & Machado, J.. Employees' skills, manufacturing flexibility and performance: a structural equation modelling applied to the automotive industry. *International Journal of Production Research*, (2015) 53(13), 4087-4101.

Mentes, A., Akyildiz, H., Yetkin, M., and Turkoglu, N.. An FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety Science*, (2015) 79, 1–10.

Mishra, R., Pundir, A. K., & Ganapathy, L.. Empirical assessment of factors influencing potential of manufacturing flexibility in organization. *Business Process Management Journal*. (2018)

Prakash, R., Singhal, S., & Agarwal, A.. Modelling manufacturing system effectiveness: an integration of analytical hierarchy process and linear programming. *International Journal of Intelligent Enterprise*, (2017) 4(3), 227-242.

Qamar, A., Hall, M. A., Chicksand, D., & Collinson, S.. Quality and flexibility performance trade-offs between lean and agile manufacturing firms in the automotive industry. *Production Planning & Control*, (2020) 31(9), 723-738.

Rybicka, J., Tiwari, A., & Enticott, S.. Testing a flexible manufacturing system facility production capacity through discrete event simulation: automotive case study. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, (2016) 10(4), 719-723.

Sellitto, M. A., & Mancio, V. G.. Implementation of a Flexible Manufacturing System in a production cell of the automotive industry: *decision and choice. Production*, (2019) 29.

Solke, N. S., & Singh, T. P.. Analysis of relationship between manufacturing flexibility and lean manufacturing using structural equation modelling. *Global Journal of Flexible Systems Management*, (2018)19(2), 139-157.

Tsai, W. H. and Chou, W. C.. Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Systems with Application*s, (2009) 36(2), ١٤٤٤–1458.

Tzeng, G., and Huang, J.. Multiple Attribute Decision Making. *Taylorand Francis*. (2011)