فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
دوره ۱۵ / شماره ۳ (پیاپی ۵۹) / پائیز ۱۴۰۵
صفحه ۴۰۷ تا ۴۳۰

ارائه مدل تولید محصولات در صنعت خودرو با تأکید بر تولید ناب و اقتصاد چرخشی در عصر صنعت ۴.۰

مهدی محبوب خیرخواه
دانشجوی دکتری-گروه مدیریت صنعتی-واحد رودهن -دانشگاه آزاد اسلامی_تهران-ایران
Mehdimahboob1990@gmail.com

سید مصطفی موسوی
استادیار-گروه فنی مهندسی-واحد نوشهر-دانشگاه آزاد اسلامی-مازندران-ایران(نویسنده مسئول)
Mostafa_mousavi85@yahoo.com

رسول کریمی
استادیار- -گروه فنی مهندسی-واحد نوشهر-دانشگاه آزاد اسلامی-مازندران -ایران
karimirasoul59@gmail.com

مجید معتمدی
استادیار- -گروه مدیریت صنعتی-واحد نوشهر-دانشگاه آزاد اسلامی-مازندران-ایران
Mmoatamedy@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

چکیده

این تحقیق با هدف ارائه یک مدل تولید ناب در صنعت خودروسازی، با تأکید بر اقتصاد چرخشی و استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ انجام شده است. جامعه آماری تحقیق شامل مدیران و کارشناسان وزارت صنعت، معدن و تجارت (صمت)، شرکت‌های خودروسازی ایران خودرو و سایپا، و اساتید دانشگاه بوده و در دو بخش کیفی و کمی به انجام رسیده است. در بخش کیفی، ۱۷ نفر از خبرگان با استفاده از نمونه‌گیری قضاوتی انتخاب شدند و داده‌ها از طریق مصاحبه‌های عمیق و تحلیل تم بررسی گردید. در بخش کمی، با استفاده از پرسشنامه و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری، داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۳۸۴ نفر بر اساس نمونه‌گیری در دسترس و فرمول کوکران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که شش بعد اصلی شامل طراحی محصول، زنجیره تأمین، تحریم‌ها، فرآیند تولید، فناوری‌های پیشرفته و بازیافت و بازاستفاده شناسایی شدند. همچنین، اثرات متقابل این ابعاد بر یکدیگر و بر فرآیند تولید مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که طراحی محصول به‌طور مستقیم بر فرآیند تولید تأثیرگذار است، زنجیره تأمین نقش کلیدی در تأمین مواد اولیه دارد و تحریم‌ها می‌توانند موجب محدودیت در زنجیره تأمین و استفاده از فناوری‌های پیشرفته شوند. فناوری‌های پیشرفته به بهینه‌سازی تولید و کاهش ضایعات کمک می‌کنند، در حالی که فرآیند تولید نیز بر بازیافت و بازاستفاده تأثیرگذار است.

واژه‌های کلیدی: تولید ناب، اقتصاد چرخشی، صنعت ۴.۰، صنعت خودرو.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، صنعت خودروسازی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان، تحت تأثیر تحولات گسترده فناوری و نیازهای زیست‌محیطی، تغییرات اساسی را تجربه کرده است. این تغییرات عمدتاً در راستای افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی انجام شده است(شهزاد و چامه[1]، ۲۰۲۴). یکی از مهم‌ترین تحولاتی که در این صنعت رخ داده است، ورود به عصر صنعت ۴.۰ بوده است. صنعت ۴.۰، که به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی نیز شناخته می‌شود، شامل فناوری‌های نوظهوری همچون هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، داده‌های بزرگ (Big Data) و رباتیک پیشرفته است که همگی با هم می‌توانند فرآیندهای تولید و زنجیره‌های تأمین را به طور کامل دگرگون کنند (آگاروال و دیگران[2]، ۲۰۲۴). این تحول به صنایع اجازه می‌دهد تا به سطوح جدیدی از بهره‌وری و انعطاف‌پذیری دست یابند و به بهینه‌سازی منابع و کاهش ضایعات کمک کنند. در این میان، صنعت خودروسازی به دلیل مقیاس بزرگ تولید و پیچیدگی زنجیره تأمین، یکی از صنایعی است که بیشترین پتانسیل بهره‌مندی از این فناوری‌ها را داراست(ورما و ونکتسان[3]، ۲۰۲۳).

از سویی دیگر، تولید ناب یکی از مفاهیم کلیدی است که به طور گسترده در سال‌های اخیر به منظور بهینه‌سازی تولید و افزایش بهره‌وری، به ویژه در صنعت خودروسازی، مورد استفاده قرار گرفته است. تولید ناب که برای نخستین بار توسط شرکت تویوتا معرفی شد، بر حذف ضایعات، کاهش زمان تولید و افزایش بهره‌وری تأکید دارد و در حال حاضر به عنوان یکی از استراتژی‌های اصلی در بسیاری از شرکت‌های تولیدی در سراسر جهان به‌کار گرفته می‌شود. این رویکرد تلاش می‌کند تا با تمرکز بر نیازهای مشتری و کاهش فرآیندهای غیرضروری، هزینه‌های تولید را کاهش داده و کارایی را افزایش دهد (موره و دیگران[4]، ۲۰۲۲). پیاده‌سازی تولید ناب در صنعت خودروسازی منجر به بهبود عملکرد فرآیندهای تولیدی، کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان شده است. اما با وجود مزایای زیاد تولید ناب، هنوز در بسیاری از موارد چالش‌های اساسی در ارتباط با پایداری و مدیریت منابع به‌ویژه در حوزه‌های محیط زیستی وجود دارد (کلبرگ و دیگران[5]، ۲۰۱۷).

در پاسخ به این چالش‌ها، مفهوم اقتصاد چرخشی به عنوان یک راهکار پایدار و مکمل برای تولید ناب معرفی شده است. اقتصاد چرخشی تلاش می‌کند تا منابع به طور مؤثرتر مورد استفاده قرار گیرند و در چرخه تولید، استفاده مجدد و بازیافت قرار گیرند. این مفهوم برخلاف اقتصاد سنتی که بر مبنای استفاده، تولید و سپس دور ریختن بنا شده است، به دنبال آن است که مواد و منابع به شکلی پایدار در چرخه‌های تولیدی مورد استفاده قرار گیرند و ضایعات به حداقل برسد (مرلی و دیگران[6]، ۲۰۱۸). به طور خاص، در صنعت خودروسازی، استفاده از مدل‌های اقتصاد چرخشی می‌تواند منجر به کاهش ضایعات تولید، استفاده مجدد از مواد و افزایش طول عمر

[1] Shahzad & Cheema
[2] Agarwal et al
[3] Verma & Venkatesan
[4] Maware
[5] Kolberg
[6] Merli

محصولات شود (دهمانی و دیگران[1]، ۲۰۲۲). در این راستا، ارتباط نزدیکی میان تولید ناب و اقتصاد چرخشی وجود دارد که هر دو به دنبال افزایش بهره‌وری و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی هستند، هرچند که هر کدام از این رویکردها از زاویه‌ای متفاوت به مسئله می‌نگرند (بارتولاکی و دیگران[2]، ۲۰۲۰).

افزون براین، نوآوری این پژوهش در ارائه مدلی بومی است که تلاش می‌کند ادغام تولید ناب، اقتصاد چرخشی و فناوری‌های صنعت ۴.۰ را در صنعت خودروسازی ایران بررسی کند. این مدل به گونه‌ای طراحی شده که نه تنها به کاهش ضایعات و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید کمک کند، بلکه فرآیند عملی و متناسب با شرایط بومی ایران برای شرکت‌های خودروسازی ارائه دهد. هدف از این پژوهش، ارائه یک چارچوب جامع برای فهم رویکردهای کلیدی تولید ناب و اقتصاد چرخشی در صنعت خودروسازی است که از طریق آن بتوان به بهبود کارایی تولید و کاهش اثرات زیست‌محیطی دست یافت. این چارچوب با تأکید بر فناوری‌های صنعت ۴.۰ به شرکت‌های خودروسازی کمک می‌کند تا از منابع بهینه‌تر استفاده کرده، هدررفت‌ها را کاهش داده و پایداری زیست‌محیطی را افزایش دهند.بنابراین، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این سؤال اصلی است که مدل بومی برای تلفیق تولید ناب، اقتصاد چرخشی و فناوری‌های صنعت ۴.۰ در صنعت خودروسازی ایران به چه صورت است ؟ پاسخ به این پرسش می‌تواند راهکارهای کاربردی و استراتژیک را برای سیاست‌گذاران و مدیران صنایع خودروسازی ایران ارائه دهد تا بتوانند با چالش‌های موجود در این حوزه مقابله کرده و از فرصت‌های موجود برای افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی بهره‌مند شوند.

این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده‌است. ابتدا، پیشینه نظری و تجربی را مورد بررسی قرار می‌دهد و ادبیات مربوط به مدیریت دانش را مستند به مطالعات قبلی، ارائه می‌دهد. دوم، روش‌شناسی مورد استفاده در این تحقیق، به صورتی خلاصه بیان می‌گردد. سپس یافته‌ها را ارائه داده و در نهایت نتایج و پیامدهای عملی این تحقیق را مورد بحث قرار می‌دهد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری این تحقیق بر اساس اصول تولید ناب و اقتصاد چرخشی استوار است که هر دو به‌عنوان رویکردهایی مهم در بهبود فرآیندهای تولید و افزایش پایداری در صنعت خودروسازی مطرح هستند.

تولید ناب از سیستم تولید تویوتا در دهه ۱۹۷۰ نشأت گرفته و به‌طور گسترده در صنایع مختلف به‌ویژه در صنعت خودروسازی پیاده‌سازی شده است(کروز و دیگران[3]، ۲۰۲۴). هدف اصلی تولید ناب، به حداکثر رساندن ارزش مشتری از طریق حذف ضایعات و بهینه‌سازی فرآیندها در تمامی مراحل چرخه عمر محصول است (دومبروسکی و دیگران[4]، ۲۰۱۴). به‌طور خاص، این رویکرد تأکید دارد که فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده که برای مشتری نهایی هیچ ارزشی ایجاد نمی‌کنند، باید حذف یا به حداقل برسند. بنابراین، با شناسایی و حذف این

[1] Dahmani
[2] Bartolacci
[3] Queiroz et al
[4] Dombrowski et al

اتلاف‌ها، فرآیند تولید می‌تواند به‌طور مستقیم و کارآمدتر انجام شود. به‌عنوان مثال، کاهش موجودی‌های غیرضروری و حذف مواد اولیه اضافی از جمله مهم‌ترین استراتژی‌های تولید ناب هستند(شریواستاوا و دیگران[1]، ۲۰۲۴).

در عین حال، صنعت ۴.۰ نیز به‌عنوان تحولی اساسی در فرآیندهای تولیدی، می‌تواند با تولید ناب هم‌افزایی ایجاد کند. تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای همچون حسگرهای دیجیتال و اینترنت اشیا (IoT) می‌توانند به بهبود فرآیندهای تولید ناب کمک کنند. این فناوری‌ها امکان پیش‌بینی خطاها، کاهش حجم کار کارمندان و بهینه‌سازی منابع را فراهم می‌کنند و در نتیجه کاهش زمان‌های انتظار و کاهش هزینه‌های تولید را به‌همراه دارند (ژونگ و دیگران[2]، ۲۰۱۷).

از سوی دیگر، اقتصاد چرخشی به‌عنوان یک رویکرد پایدار و مبتنی بر استفاده مجدد از منابع، در تلاش است تا ضایعات و مصرف منابع طبیعی را به حداقل برساند. این مفهوم که در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسط محققانی همچون پیرس و ترنر مطرح شد، به دنبال آن است که منابع در چرخه‌های بسته باقی بمانند و از تولید ضایعات جلوگیری شود (مورای[3] و دیگران، ۲۰۱۷). به‌طور خاص، در صنعت خودروسازی، اقتصاد چرخشی می‌تواند به افزایش طول عمر محصولات و بازیافت مواد کمک کند (شهدکار و دیگران، ۱۴۰۰).

این دو رویکرد، یعنی تولید ناب و اقتصاد چرخشی، هرچند که از زوایای مختلف به بهبود فرآیندهای تولید و مدیریت منابع می‌نگرند، اما ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. در واقع، هر دو با هدف بهینه‌سازی منابع و کاهش ضایعات تلاش می‌کنند تا به پایداری بیشتر و افزایش بهره‌وری در صنایع مختلف به‌ویژه در صنعت خودروسازی دست یابند ((بلک و کوهسر[4]، ۲۰۲۰). در ادامه، برخی از مطالعات مرتبط با مبحث تحقیق خلاصه و ذکر شده‌اند(جدول ۱):

جدول ۱. خلاصه تحقیقات داخلی و خارجی

محقق/سال	عنوان	روش تحقیق	عناصر درگیر	مورد مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	خلاصه نتایج
مواره و پارسلی[5] (۲۰۲۳)	آیا صنعت ۴.۰ می‌تواند به تولید ناب در دستیابی به پایداری در طول زمان کمک کند؟	کمی مدل‌سازی معادلات ساختاری	صنعت ۴.۰ تولید ناب	۶۵ سازمان تولیدی مختلف در ایالات متحده	مشارکت مشتری مشارکت تأمین‌کننده جریان پیوسته زمان تعمیرات و نگهداری	نتایج نشان داد که دست‌اندرکاران صنعت باید اثر مدت زمان ناب را هنگام اتخاذ و مدیریت فناوری‌های صنعت ۴.۰ برای عملکرد پایدار بهتر در نظر بگیرند.

[1] Shrivastava et al
[2] Zhong et al
[3] Murray
[4] Black & Kohser
[5] Maware and Parsley

محقق/سال	عنوان	روش تحقیق	عناصر درگیر	مورد مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	خلاصه نتایج
					کیفیت عملکرد اقتصادی عملکرد اجتماعی عملکرد زیست-محیطی پردازش ابری کلان داده اینترنت اشیاء سیستم روباتیک واقعیت افزوده	
منوهران[1] و دیگران(۲۰۲۲)	روابط بین محرک‌ها و موانع اقتصاد دوار	کمی رویکرد یکپارچه ISM و DEMATEL	اقتصاد دوار	صنعت خودروسازی	سود هزینه دانش بهره‌وری شناسایی ضایعات عملکرد اقتصادی عملکرد اجتماعی عملکرد زیست-محیطی	نتایج این مطالعه حاکی از آن است که سهم/ سود و کاهش هزینه مهم‌ترین محرک‌ها هستند، در حالی که دانش ناآگاهانه/محدود و محدودیت هزینه و مالی موانع اصلی اجرای اقتصاد دوار در صنعت خودرو هستند. این رویکرد یکپارچه به تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران کمک می کند تا اقدامات فوری و مؤثر انجام دهند و بر بهره‌وری شرکت تمرکز کنند.
مالدونادو-گزمان[2] و دیگران (۲۰۲۱)	نوآوری زیست-محیطی و اقتصاد دوار	کمی مدل‌سازی معادلات ساختاری	اقتصاد دوار	شرکت‌های صنعت خودرو و قطعات خودرو در مکزیک	مدیریت نوآوری زیست-محیطی چرخه عمر محصول بازیافت بهره‌وری فناوری	نتایج حاکی از آن است که نوآوری زیست‌محیطی محصولات، فرآیند و مدیریت تأثیر مثبت معناداری بر اقتصاد دوار شرکت‌های صنعت خودرو و قطعات خودرو دارد.
کومار[3] و دیگران (۲۰۲۰)	مدل‌سازی رابطه متقابل بین عوامل	کمی	تولید ناب	صنعت خودروی هند	مدیریت فرهنگ کاری آموزش کارکنان	براساس نتایج تحلیل مشخص شد که تولید پایدار (روش‌های ناب و سبز) نتایج برتری را ارائه می‌دهد.

[1] Manoharan
[2] Maldonado-Guzmán
[3] Kumar

محقق/سال	عنوان	روش تحقیق	عناصر درگیر	مورد مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	خلاصه نتایج
	برای اتخاذ تولید ناب پایدار	مدل‌سازی ساختاری تفسیری			فناوری	از این رو، صنعت خودرو برای دستیابی به رشد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیاز به اتخاذ تولید ناب پایدار دارد. همچنین براساس نتایج در این تحقیق بیان شد که مدیریت عالی به عنوان یک محرک برای هر سازمانی چشم‌انداز، تصمیم، تعهد خود را در نظر می‌گیرد که به برآوردن نیاز مشتری کمک می‌کند. فرهنگ کاری، آموزش کارکنان، و فناوری ارتقا یافته نیز بر فرآیندهای کسب‌وکار تأثیر خواهند داشت. تجزیه‌وتحلیل استخوان ماهی[1] باید در مرحله توسعه تجارت جدید برای نتایج بهتر اقتصادی و اجتماعی انجام شود. و صنایع باید در سطح ملی/بین‌المللی در نمایشگاه تجاری شرکت کنند تا تصویر برند را حفظ کنند.
گسپر و لیال[2] (۲۰۲۰)	به‌کارگیری روش مدیریت کارگاه برای حفظ ابزارها و فلسفه‌های تولید ناب	کیفی روش تحقیق اقدام عمیق	تولید ناب	شرکت خودروسازی در برزیل	رهبری انعطاف‌پذیری بهره‌وری مدیریت	در این مطالعه، پس از توسعه روش اقدام عمیق، نویسندگان نشان داده‌اند که مدل مدیریت کارگاه، همانطور که در این مقاله پیشنهاد شده است، در واقع می‌تواند به مدیران در اعمال و حفظ شیوه‌های تولید ناب در سطح کارگاه کمک کند.
محمدیان و دیگران (۱۴۰۱)	بوم مدل کسب وکار مدور: پیشنهاد گزینه‌های طراحی مدل-های کسب‌و	کیفی روش فراترکیب ۷ مرحله‌ای ساندلوسکی و باروسو و تحلیل تم	اقتصاد دوار	--	هزینه جریان درآمد اثرات زیست-محیطی توسعه عمر محصول	براساس یافته‌های این پژوهش عناصر سازنده مدل کسب‌وکار مدور در ۳ مقوله اصلی، ۹ مقوله فرعی و ۴۰ کد نهایی به عنوان گزینه های طراحی طبقه‌بندی شده است. علاوه بر این متناظر با گزینه‌های

[1] Fishbone Technique
[2] Gaspar and Leal

محقق/سال	عنوان	روش تحقیق	عناصر درگیر	مورد مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	خلاصه نتایج
	کار در اقتصاد مدور				عملکرد دسترسی به‌هنگام ارتباط با مشتریان تأمین، تولید و لجستیک بهینه مدیریت شبکه ارزش فناوری دانش	طراحی به معرفی مصادیق کاربردی جهت اجرای موفق مدل‌های کسب‌وکار مدور نیز اشاره شده است.
وارث و دیگران (۱۴۰۱)	چارچوب طبقه‌بندی الگوهای مدل کسب‌وکار مدور از دیدگاه استراتژی‌های اقتصاد مدور	کیفی روش فراترکیب ۷ مرحله‌ای ساندلوسکی و باروسو	اقتصاد دوار	۱۲۰ شرکتی که با روش‌های نوآورانه پیشرفت‌هایی در بهره‌وری منابع داشتن	غیرمادی‌سازی کارایی مصرف تأمین مدور تولید بهینه لجستیک معکوس عمر محصولات، مصرف مواد و منابع شبکهٔ ارزش مدور	نتایج این پژوهش مشخص کرد که برای توسعه کسب‌وکارهای مبتنی بر اقتصاد مدور، چه نوع الگوهای مدل کسب‌وکار مدوری وجود دارد. از سوی دیگر، ایجاد چارچوب طبقه‌بندی راهبردها و مدل‌های کسب‌وکار مدور نشان داد که چگونه می‌توان بین راهبردها و مدل‌های کسب‌وکار مدور، هم‌سویی مناسبی ایجاد کرد.
لطیفیان و دیگران (۱۳۹۹)	ارائه مدل ارزیابی کارایی هزینه‌های تولید در زنجیره تأمین ناب	کمی مدل‌سازی ساختاری تفسیری	تولید ناب	شرکت ایران خودرو	درآمد ناخالص بهای تمام‌شده کارایی هزینه کیفیت تولید توان تولید مدیریت تغییرات فناوری	یافته‌های این پژوهش بدست آوردن مدلی پنج سطحی بود که تأثیرگذارترین و تنهاترین متغیر این مدل در سطح پنجم تغییرات تکنولوژی و تأثیرپذیرترین متغیرهای این مدل در سطح اول سودآوری، درآمد ناخالص تولید و شاخص پایه کارایی هزینه تولید بودند. بر اساس تحلیل میک‌مک[1] معیار تغییرات تکنولوژی دارای وابستگی کم و هدایت بالا می باشد، معیار کاهش بهای تمام شده و درآمد ناخالص تولید تأثیرپذیری بالا و تأثیرگذاری کمی روی سیستم دارند؛ مابقی معیارها از نوع

[1] MICMAC

محقق/سال	عنوان	روش تحقیق	عناصر درگیر	مورد مطالعه	ابعاد و مؤلفه‌ها	خلاصه نتایج
						رابط هستند. باتوجه به مدل این پژوهش تغییرات تکنولوژی می‌تواند بیش‌ترین تأثیر را در کارایی هزینه تولید داشته باشد. سایر راهکارهای بهبود کارایی هزینه‌های تولید عبارتند از: افزایش کیفیت تولید، بهینگی هزینه‌های ورودی تولید، مدیریت اثربخش تغییرات قیمت ورودی های تولید و افزایش توان تولید.
زارع و پورزمانی (۱۳۹۶)	تأثیر محیط تولید ناب بر بهبود عملکرد و هزینه‌یابی جریان ارزش با استفاده از معادلات ساختاری	کمی معادلات ساختاری	تولید ناب	۴۰ شرکت در حوزه لبنیات در مازندران، گیلان و گلستان	رضایت مشتری کنترل کیفیت فرهنگ سازمانی هزینه‌یابی جریان ارزش بهبود عملکرد	نتایج این تحقیق نشان می‌دهد محیط تولید ناب بر بهبود عملکرد و هزینه‌یابی جریان ارزش شرکت تأثیر دارد. بنابراین تولید ناب موجب بهبود مستمر فرایندهای تولیدی و کاهش ضایعات و هزینه-ها و افزایش کیفیت می‌شود.
سالاری و دیگران (۱۳۹۳)	اولویت‌بندی عوامل تولید ناب با رویکرد ساختاری تفسیری مورد مطالعه	کمی معادلات ساختاری	تولید ناب	صنعت خودرو	رضایت مشتری کنترل منابع بهبود مستمر جریان مواد انتخاب تأمین-کننده آموزش ارتباط با تأمین-کننده ارتباط با مشتری ساختار جریان اطلاعات مدیریت مهارت کارکنان	در این پژوهش عوامل تولید ناب در پنج سطح قرار گرفتند. سطح اول شامل اتلافات و رضایت مشتری، سطح دوم شامل کنترل منابع و بهبود مستمر، سطح سوم شامل ساختار جریان مواد، توسعه تأمین‌کننده و انتخاب تأمین‌کننده، سطح چهارم شامل آموزش و توانمندساز، ارتباط با مشتری، ارتباط با تأمین‌کننده و ساختار جریان اطلاعات، سطح پنجم شامل رفتار مدیریت، روش‌های مدیریت و مهارت کارکنان می‌باشد.

روش پژوهش

تحقیق حاضر به لحاظ هدف، کاربردی؛ به لحاظ روش استنتاج، توصیفی و به لحاظ ماهیت داده‌ها، آمیخته اکتشافی است. جامعه تحقیق در بخش کیفی پژوهش حاضر را کارشناسان و خبرگان مرتبط با مبحث تحقیق در وزارت صمت، شرکت‌های خودروسازی ایران خودرو و سایپا، و همچنین اساتید دانشگاه ، تشکیل دادند. این افراد در حوزه مربوط به مبحث پژوهش خبره بودند. روش انتخاب مشارکت‌کنندگان در پژوهش حاضر، روش قضاوتی (بررسی توسط اعضا تیم تحقیق) است. به عبارت دیگر پژوهشگر از طیف افراد بالقوه، کسانی را انتخاب می‌کند که بتوانند در فرآیند گردآوری، خزانه داده‌های مورد نیاز را غنی نمایند تا امکان ساختن نظریه فراهم شود. در این روش به جای انتخاب یک نمونه ثابت، حجم نمونه آنقدرافزایش می‌یابد تا زمانیکه دیگر کافی باشد (اشباع نظری). (بازرگان‌هرندی و دیگران، ۱۳۹۷). بر این اساس و با توجه به ماهیت روش نمونه گیری، در نهایت حجم نمونه این تحقیق براساس خبرگان در دسترس و متمایل به همکاری، ۱۷ نفر تعیین شد. همچنین، جامعه تحقیق در بخش کمی، شامل کلیه کارشناسان فعال در صنعتد تولید خودرو در سطح کشور بودند. حجم نمونه تصادفی در بخش کمی تحقیق نیز از فرمول کوکران(نامعین)، محاسبه و برابر حداقل ۳۸۴ نفر تخمین زده شد. با توجه به اینکه در روش تحقیق آمیخته اکتشافی، ابتدا از روش‌های تحقیق کیفی و سپس، روش‌های تحقیق کمی استفاده می‌شود، مراحل تحقیق حاضر به شیوه زیر انجام‌گرفته است:

بخش کیفی: داده‌ها از طریق مصاحبه‌های عمیق جمع‌آوری و با استفاده از تحلیل تم (مضمون) مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مرحله، شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی مرتبط با تولید ناب، اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ بود. مصاحبه‌ها پس از اجرا، به روش تحلیل تم (مضمون) کدگذاری شدند تا الگوهای معنادار استخراج شوند.

بخش کمی: در این بخش، بر اساس یافته‌های کیفی، پرسشنامه‌ای طراحی شد که برازش مدل را ارزیابی کند. سپس، این پرسشنامه به جامعه آماری بخش کمی ارائه شد. برای تحلیل داده‌های کمی و اعتبارسنجی مدل تحقیق، از روش توصیفی-پیمایشی استفاده شد. در نهایت، برای بررسی روابط بین متغیرها و اعتبارسنجی مدل، از مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) با رویکرد حداقل مربعات جزئی (PLS) بهره گرفته شد.

یافته ها

الف) شناسایی ابعاد و مولفه ها

همانگونه که در بخش روش تحقیق ذکر شد، در تحقیق حاضر به منظور جمع‌آوری داده‌ها در بخش کیفی، از مصاحبه و جهت تحلیل از روش تحلیل تم(مضمون)، استفاده گردید. بر همین اساس و باهدف جمع‌آوری داده‌های کیفی، پس از بررسی ادبیات مرتبط با مبحث تحقیق، چارچوبی برای طرح پرسش‌های مصاحبه‌ها با خبرگان تدوین گردید. در ادامه، ۱۷ نفر از مدیران و کارشناسان مرتبط در وزارت صمت، شرکت‌های خودروسازی ایران خودرو و سایپا، و همچنین اساتید دانشگاه، از طریق روش نمونه‌گیری قضاوتی، انتخاب شدند. مشخصات جمعیت شناختی این افراد در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات جمعت‌شناختی خبرگان تحقیق (بخش کیفی)

ردیف	جنسیت	میزان تحصیلات	حوزه فعالیت	محل فعالیت	تجربه کاری (سال)	مدت مصاحبه
۱	مرد	دکتری	عضو هیات علمی	دانشگاه آزاد	۱۴	۹۰ دقیقه
۲	مرد	دکتری	عضو هیات علمی	دانشگاه آزاد	۱۰	۴۵ دقیقه
۳	مرد	دکتری	عضو هیات علمی	دانشگاه آزاد	۱۲	۶۰ دقیقه
۴	مرد	دکتری	خدمات پس ازفروش	شرکت ایرانخودرو	۱۲	۵۰ دقیقه
۵	مرد	دکتری	لجستیک	شرکت سایپا	۱۵	۳۵ دقیقه
۶	مرد	کارشناسی ارشد	کنترل کیفیت	شرکت ایرانخودرو	۲۵	۲۵ دقیقه
۷	مرد	کارشناسی ارشد	تحقیق وتوسعه	شرکت سایپا	۱۵	۶۰ دقیقه
۸	مرد	کارشناس ارشد	شرکت مدیران خودرو	نماینده شرکت چری در ایران –عضو هیات مدیره	۲۰	۲۵ دقیقه
۹	مرد	دکتری	مدیر عامل	شرکت آرمکو-شرکت ایرنخودرو	۲۶	۷۵ دقیقه
۱۰	مرد	کارشناسی ارشد	معاونت ارتباط بامشتریان	وزارت صنعت	۳۵	۷۵ دقیقه
۱۱	مرد	کارشناسی ارشد	معاونت نظارت برخودروسازی	وزارت صنعت	۱۸	۶۰ دقیقه
۱۲	مرد	کارشناسی ارشد	مدیر کنترل کیفی	گروه خودروسازی بهمن	۳۰	۹۰ دقیقه
۱۳	مرد	کارشناسی ارشد	مدیر کنترل کیفی	شرکت کرمان خودرو	۲۱	۵۰ دقیقه
۱۴	مرد	کارشناسی ارشد	مدیرعامل	شرکت سروش دیزل مبنا	۱۸	۳۵ دقیقه
۱۵	مرد	دکتری	مدیر کنترل کیفیت	شرکت سایپا	۱۶	۳۵ دقیقه
۱۶	زن	کارشناسی ارشد	مدیر کنترل کیفیت	شرکت ایرانخودرو	۱۲	۳۰ دقیقه
۱۷	زن	کارشناسی ارشد	تحقیق وتوسعه	شرکت ایرانخودرو	۱۱	۳۵ دقیقه

در فاز دوم، مصاحبه‌های انجام‌شده با روش تحلیل تم استقرایی شش مرحله‌ای براون و کلارک[1] (۲۰۰۶)، کدگذاری گردید. بر این اساس و در طی مرحله آشنایی با داده‌ها، شواهد گفتاری (۵۲ مورد) شناسایی شده ازمتن مصاحبه‌ها در قالب ۱۸ کد اولیه برچسب‌زنی شد. در ادامه، کدهای اولیه در قالب شش تم فرعی و سپس، یک تم اصلی با

[1] Braun & Clarke

عنوان تولید محصولات ناب شرکت‌های خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار دسته‌بندی شدند. در ادامه، به جهت آشنایی با مرحله کدگذاری، بخشی از مصاحبه انجام شده با یکی از مشارکت‌کنندگان، آورده شده است:

مشارکت کننده ۴ :" ... *محقق: به بازار فروش برای محصولات بازیافتی اشاره کردید، بیشتر توضیح دهید؟*

پاسخ مصاحبه شونده: ایجاد بازار برای محصولات بازیافتی در صنعت خودرو به معنای ترویج و تشویق به استفاده مجدد از قطعات و مواد بازیافتی است که از خودروها استخراج می‌شوند. این فرایند باعث کاهش مصرف منابع طبیعی، کاهش آلودگی محیط زیست و حفظ منابع موجود می‌شود. ایجاد بازار برای محصولات بازیافتی در صنعت خودرو مثل آینه که وقتی یه قطعه یا قسمتی از خودرو از کار افتاده، مثل یه قطعه کوچیک یا حتی یه قسمت بزرگتر، دیگه از تولید خارج می‌شه، اون قطعه رو به جایی می‌برن که بتونه دوباره استفاده بشه یا موادش بازیافت بشه. به این معنا که جلویی از دور انداختن اون قطعه یا قسمت رو می‌گیرن و می‌تونن بازیافتش کنن و یا ازشون استفاده دوباره کنن. این کار باعث میشه منابع طبیعی کمتری مصرف بشه و همچنین زیست محیطی رو حفظ کنیم.

محقق: نظر کلی شما در مورد ارائه مدل برای تولید محصولات ناب در شرکت‌های خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار چیست؟

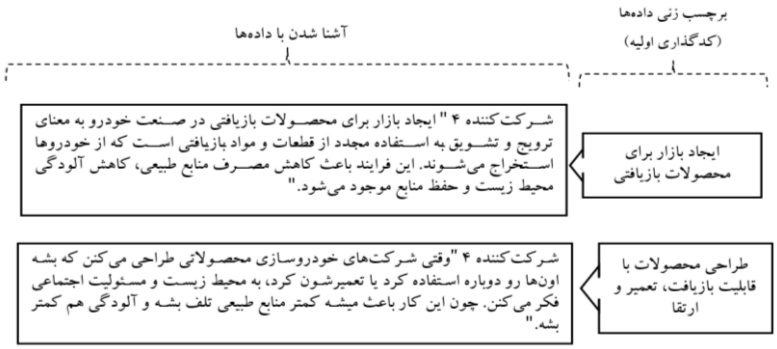
پاسخ مصاحبه شونده: مدل پیشنهادی برای تولید محصولات ناب در شرکت‌های خودروسازی در اقتصاد دوار صنعت چهار به نظر من یک ایده عالی و کارآمد است. این مدل با تمرکز بر ابعاد مختلف از طراحی محصول تا استفاده از فناوری‌های پیشرفته و بازیافت مواد، به شرکت‌ها کمک می‌کند تا فرآیندهای تولید خود را بهینه کنند و محصولاتی با کیفیت بالا و کمترین ضایعات را به بازار عرضه کنند. با اجرای این مدل، می‌توان عملکرد شرکت‌ها را بهبود داد، هزینه‌ها را کاهش داد و در عین حال، به حفظ محیط زیست و منابع طبیعی کمک کرد. به نظر من، این مدل می‌تواند به توسعه پایدار صنعت خودروسازی و ارتقاء رقابت‌پذیری شرکت‌ها در بازار کمک کند.

محقق: اگر در مورد ابعاد و مولفه‌های این مدل نظری دارید بفرمایید؟

پاسخ مصاحبه شونده: طراحی محصول خیلی مهمه، طراحی یک مرحله قبل از تولیده! وقتی ما یه محصول رو طراحی می‌کنیم که قابل بازیافت باشه، یعنی وقتی خراب میشه، می‌تونیم قسمت‌هاییشو بازیافت کنیم و دوباره براش استفاده کنیم. اینجوری زیادی از ضایعات کم میشه و ما هم به محیط زیست کمک می‌کنیم. همچنین، آگه محصولاتمون قطعاتشون رو آسون باز کنیم، می‌تونیم راحت‌تر اون‌ها رو تعمیر کنیم و عمر مفیدشونو بیشتر کنیم. به این ترتیب، محصولات ما بهترین کارایی رو دارن و از لحاظ محیط زیست هم مشکلی پیش نمیاد. درواقع، وقتی شرکت‌های خودروسازی محصولاتی طراحی می‌کنن که بشه اون‌ها رو دوباره استفاده کرد یا تعمیرشون کرد، به محیط زیست و مسئولیت اجتماعی فکر می‌کنن. چون این کار باعث میشه کمتر منابع طبیعی تلف بشه و آلودگی هم کمتر بشه ...".

نمونه ای از چگونگی انجام مراحل آشناشدن و برچسب زنی داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است:

جدول ۳. نمونه ای از چگونگی انجام مراحل آشناشدن و برچسب زنی داده‌ها

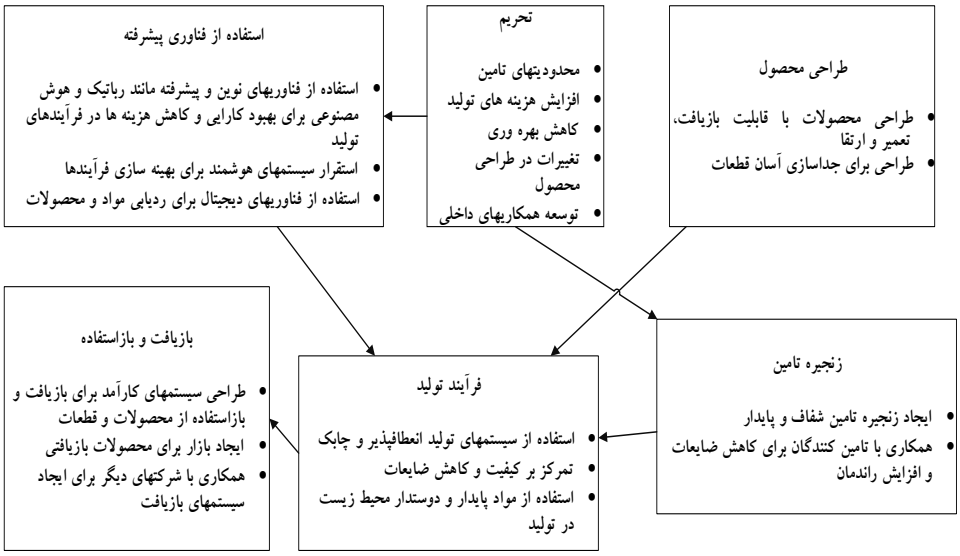


خلاصه نتایج نهایی پژوهش حاضر (تحلیل تم)، به جهت رعایت اختصار در جدول ۴، ارائه شده است.

جدول ۴- خلاصه نتایج پژوهش حاضر در بخش تحلیل تم

تم اصلی	تم فرعی	مفاهیم
تولید محصولات ناب شرکت‌های خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار	طراحی محصول	➢ طراحی محصولات با قابلیت بازیافت، تعمیر و ارتقا
		➢ طراحی برای جداسازی آسان قطعات
	زنجیره تأمین	➢ ایجاد زنجیره تأمین شفاف و پایدار
		➢ همکاری با تامین‌کنندگان برای کاهش ضایعات و کاهش هزینه
	تحریم	➢ محدودیت‌های تأمین
		➢ افزایش هزینه‌های تولید
		➢ کاهش بهره‌وری
		➢ تغییرات در طراحی محصول
		➢ توسعه همکاری‌های داخلی
	فرآیند تولید	➢ استفاده از سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر و چابک
		➢ تمرکز بر کیفیت و کاهش ضایعات
		➢ استفاده از مواد پایدار و دوست‌دار محیط زیست در تولید
	استفاده از فناوری پیشرفته	➢ استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته مانند رباتیک و هوش مصنوعی برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرآیندهای تولید
		➢ استقرار سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی فرآیندها
		➢ استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای ردیابی مواد و محصولات
	بازیافت و بازاستفاده	➢ طراحی سیستم‌های کارآمد برای بازیافت و بازاستفاده از محصولات و قطعات
		➢ ایجاد بازار برای محصولات بازیافتی
		➢ همکاری با شرکت‌های دیگر برای ایجاد سیستم‌های بازیافت

با توجه به نتایج پژوهش در بخش کیفی (جدول ۴)، به طور خلاصه می‌توان گفت که در تحقیق حاضر کدهای اولیه در قالب شش تم فرعی و سپس، یک تم اصلی با عنوان تولید محصولات ناب شرکت‌های خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار دسته‌بندی شدند. بر این اساس، مدل تولید محصولات ناب شرکت‌های خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار ، مطابق شکل ۱، رسم ارائه شده است.



شکل ۱. مدل تولید محصولات ناب شرکتهای خودرو سازی در اقتصاد دوار صنعت چهار

با توجه به شکل ۱، ارتباط بین شش عامل شناسایی شده در تولید محصولات ناب شرکت‌های خودروسازی در اقتصاد دوار صنعت چهار به شرح زیر است:

- طراحی محصول: به طور مستقیم بر فرآیند تولید تأثیر می‌گذارد. انتخاب طراحی محصول مشخص می‌کند که چه فرآیندهایی باید در تولید استفاده شوند.
- زنجیره تأمین: زنجیره تأمین تأثیر مستقیمی بر فرآیند تولید دارد زیرا مواد و قطعات مورد نیاز تولید از طریق زنجیره تأمین فراهم می‌شود.
- تحریم: تحریم‌ها می‌توانند مستقیماً بر زنجیره تأمین اثر بگذارند و موجب محدودیت یا توقف تأمین مواد و قطعات شوند. تحریم‌ها همچنین می‌توانند به‌طور مستقیم بر استفاده از فناوری های پیشرفته تأثیر بگذارند، چراکه ممکن است محدودیت‌هایی را در انتقال فناوری‌های ضروری و نوین، بوجود آورند.

- استفاده از فناوری پیشرفته: استفاده از فناوری‌های پیشرفته می‌تواند فرآیند تولید را بهینه‌سازی کرده و کارآمدتر کند.
- فرآیند تولید: فرآیند تولید می‌تواند بر میزان و نوع ضایعات و همچنین قابلیت بازیافت و بازاستفاده از محصولات تأثیر بگذارد.

اعتباریابی نتایج تحقیق

در این بخش از تحقیق، نتایج بخش کیفی و مدل تحقیق با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی(PLS)، مورد آزمون قرار می‌گیرد. در ابتدا آمار توصیفی و سپس آمار استنباطی منتج از تجزیه و تحلیل گزارش شده است. داده‌های دموگرافیک ارائه‌شده در جدول ۵، نشان‌دهنده ترکیب جنسیت، سن، تجربه کاری و تحصیلات شرکت‌کنندگان در این تحقیق است. در بخش جنسیت، ۶۷ درصد از نمونه تحقیق را مردان (۲۵۶ نفر) و ۳۳ درصد را زنان (۱۲۸ نفر) تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده حضور بیشتر مردان در این جامعه آماری است. در بخش سنی، ۴۱ درصد از پاسخ‌دهندگان در گروه سنی ۲۸ تا ۳۰ سال قرار دارند (۱۵۸ نفر)، در حالی که ۳۲ درصد از آنان در گروه سنی ۳۰ تا ۳۵ سال (۱۲۴ نفر) و ۲۷ درصد در گروه سنی بالای ۳۵ سال (۱۰۲ نفر) هستند. این توزیع سنی نشان می‌دهد که اکثریت شرکت‌کنندگان در سنین پایین‌تر از ۳۵ سال قرار دارند.از نظر تجربه کاری، ۵۶ درصد از پاسخ‌دهندگان (۲۱۷ نفر) دارای ۵ تا ۱۰ سال سابقه کاری هستند که بزرگترین گروه را تشکیل می‌دهند. ۳۳ درصد از آن‌ها دارای ۱۰ تا ۱۵ سال تجربه کاری (۱۲۵ نفر) و ۱۱ درصد نیز دارای ۱۵ تا ۲۰ سال سابقه کاری (۴۲ نفر) هستند. این اطلاعات نشان می‌دهد که اکثریت افراد در این پژوهش دارای تجربه کاری متوسط هستند. همچنین، در بخش تحصیلات، اکثریت شرکت‌کنندگان (۵۶ درصد یا ۲۱۷ نفر) دارای مدرک کارشناسی هستند، در حالی که ۳۳ درصد از آنان (۱۲۵ نفر) مدرک کارشناسی ارشد دارند و تنها ۱۱ درصد (۴۲ نفر) دارای مدرک دکتری هستند.

جدول ۵-مشخصات پاسخ دهندگان (بخش کمی)

متغیرهای جمعیت شناختی	سطوح متغیر	فراوانی	درصد فراوانی
جنسیت	مرد	۲۵۶	۶۷
	زن	۱۲۸	۳۳
سن	۲۸ تا ۳۰ سال	۱۵۸	۴۱
	۳۵-۳۰	۱۲۴	۳۲
	بالای ۳۵ سال	۱۰۲	۲۷
تجربه‌کاری	۵ تا ۱۰ سال	۲۱۷	۵۶
	۱۰ تا ۱۵ سال	۱۲۵	۳۳
	۱۵ تا ۲۰ سال	۴۲	۱۱
	۲۰ تا ۲۵ سال	۲۱۷	۵۶

متغیرهای جمعیت شناختی	سطوح متغیر	فراوانی	درصد فراوانی
	بالای ۲۵ سال	۱۲۵	۳۳
تحصیلات	کارشناسی	۲۱۷	۵۶
	کارشناسی ارشد	۱۲۵	۳۳
	دکتری	۴۲	۱۱

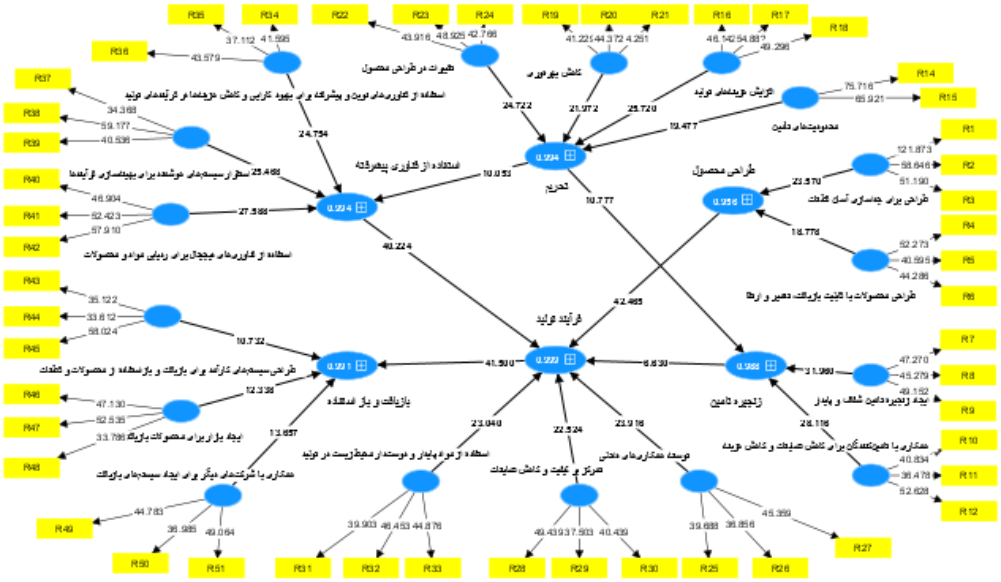
در ادامه، برازش مدل های اندازه گیری از طریق سنجش بار عاملی و دو معیار پایایی ترکیبی و روایی واگرا، انجام شد. ازآنجاکه برخی از گویه‌ها دارای بار عاملی کمتر از ۰/۷، بودند، حذف گردید. و مجددا مدل تحقیق برازش شد. نتایج نشان داد که مقادیر مربوط به ضریب پایایی ترکیبی برای تمامی سازه ها، بالاتر از ۰/۷، بوده و نشان از پایایی مناسب مدل دارد. علائه براین، روایی همگرا به بررسی میزان همبستگی هر سازه با متغیرهای (شاخص ها) خود می پردازد. معیار میانگین واریانس استخراج شده (AVE) محاسبه شده توسط نرم افزار PLS برای این منظور به کار می رود. مقدار مناسب برای AVE ، ۰/۵ به بالا است. باتوجه نتایج که در جدول ۶، ارئه شده است، پایایی ترکیبی (AVE)، همگی در بازه مربوطه قرارگرفته اند، می توان مناسب بودن وضعیت پایایی و روایی و همگرایی روابط بیرونی مدل پژوهش را تایید کرد.

جدول ۶- برازش مدل‌های اندازه‌گیری

	پایایی ترکیبی (Alpha>0/7)	روایی همگرا (AVA>0/5)
استفاده از فناوری پیشرفته	0.921	0.583
استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای ردیابی مواد و محصولات	0.814	0.728
استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرآیندهای تولید	0.769	0.683
استفاده از مواد پایدار و دوست‌دار محیط زیست در تولید	0.785	0.699
استقرار سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی فرآیندها	0.783	0.695
افزایش هزینه‌های تولید	0.807	0.721
ایجاد بازار برای محصولات بازیافتی	0.790	0.702
ایجاد زنجیره تامین شفاف و پایدار	0.804	0.718
بازیافت و باز استفاده	0.969	0.551
تحریم	0.937	0.588
تغییرات در طراحی محصول	0.795	0.709
تمرکز بر کیفیت و کاهش ضایعات	0.786	0.700
توسعه همکاری‌های داخلی	0.761	0.676
زنجیره تامین	0.897	0.615

	پایایی ترکیبی (Alpha>0/7)	روایی همگرا (AVA>0/5)
طراحی برای جداسازی آسان قطعات	0.858	0.777
طراحی سیستم‌های کارآمد برای بازیافت و بازاستفاده از محصولات و قطعات	0.766	0.678
طراحی محصول	0.946	0.621
طراحی محصولات با قابلیت بازیافت، تعمیر و ارتقا	0.795	0.709
فرآیند تولید	0.974	0.569
محدودیت‌های تأمین	0.719	0.780
همکاری با تامین‌کنندگان برای کاهش ضایعات و کاهش هزینه	0.772	0.685
همکاری با شرکت‌های دیگر برای ایجاد سیستم‌های بازیافت	0.779	0.693
کاهش بهره‌وری	0.765	0.680

همچنین، مدل پژوهش با استفاده از تکنیک حداقل مجذورات جزئی و با نرم‌افزار Smart Pls مورد آزمون قرار گرفت. در این مدل، تمامی روابط هم‌زمان مورد تحلیل قرار گرفتند. در ادامه مدل پژوهش در حالت ضرایب استانداردشده(مقدار t) ارائه‌شده است(شکل ۲).



شکل ۲-آزمون مدل پژوهش در حالت ضرایب استانداردشده(مقدار t)

با توجه به مدل برازش داده شده شکل ۲، مقدار آماره t، برای تمامی فرضیه ها بیشتر از ۱/۹۶ و میزان احتمال آماره مذکور کمتر از ۰/۰۵ است. بنابراین، در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد. بر همین اساس، با توجه به مدل برازش داده شده؛ ضرایب مسیر، انحراف استاندار، آماره T و مقدار احتمال (P) به صورت جدول زیر است:

جدول ۷.نتایج اجرای مدل ساختاری

	ضرایب مسیر	انحراف استاندارد	آمارهT	مقادیر احتمال	نتیجه
استفاده از فناوری پیشرفته -> فرآیند تولید	0.308	0.008	40.224	0.000	تایید
استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای ردیابی مواد و محصولات -> استفاده از فناوری پیشرفته	0.333	0.012	27.588	0.000	تایید
استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرآیندهای تولید -> استفاده از فناوری پیشرفته	0.322	0.013	24.754	0.000	تایید
استفاده از مواد پایدار و دوستدار محیط زیست در تولید -> فرآیند تولید	0.104	0.005	23.040	0.000	تایید
استقرار سیستم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی فرآیندها -> استفاده از فناوری پیشرفته	0.326	0.013	25.468	0.000	تایید
افزایش هزینه‌های تولید -> تحریم	0.306	0.012	25.720	0.000	تایید
ایجاد بازار برای محصولات بازیافتی -> بازیافت و باز استفاده	0.129	0.010	12.338	0.000	تایید
ایجاد زنجیره تامین شفاف و پایدار -> زنجیره تامین	0.483	0.015	31.960	0.000	تایید
تحریم -> استفاده از فناوری پیشرفته	-0.105	0.010	10.053	0.000	تایید
تحریم -> زنجیره تامین	-0.130	0.012	10.777	0.000	تایید
تغییرات در طراحی محصول -> تحریم	0.297	0.012	24.722	0.000	تایید
تمرکز بر کیفیت و کاهش ضایعات -> فرآیند تولید	0.111	0.005	22.524	0.000	تایید
توسعه همکاری‌های داخلی -> فرآیند تولید	0.108	0.005	23.916	0.000	تایید
زنجیره تامین -> فرآیند تولید	-0.046	0.007	6.630	0.000	تایید
طراحی برای جداسازی آسان قطعات -> طراحی محصول	0.572	0.024	23.570	0.000	تایید
طراحی سیستم‌های کارآمد برای بازیافت و بازاستفاده از محصولات و قطعات -> بازیافت و باز استفاده	0.115	0.011	10.732	0.000	تایید
طراحی محصول -> فرآیند تولید	0.465	0.011	42.465	0.000	تایید
طراحی محصولات با قابلیت بازیافت، تعمیر و ارتقا -> طراحی محصول	0.450	0.024	18.778	0.000	تایید
فرآیند تولید -> بازیافت و باز استفاده	0.661	0.016	41.500	0.000	تایید
محدودیت‌های تأمین -> تحریم	0.205	0.011	19.477	0.000	تایید

	ضرایب مسیر	انحراف استاندارد	Tآماره	مقادیر احتمال	نتیجه
همکاری با تامین‌کنندگان برای کاهش ضایعات و کاهش هزینه -> زنجیره تامین	0.442	0.016	28.116	0.000	تایید
همکاری با شرکت‌های دیگر برای ایجاد سیستم‌های بازیافت -> بازیافت و باز استفاده	0.135	0.010	13.657	0.000	تایید
کاهش بهره‌وری -> تحریم	0.288	0.013	21.972	0.000	تایید
استفاده از فناوری پیشرفته -> فرآیند تولید	0.308	0.008	40.224	0.000	تایید
استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای ردیابی مواد و محصولات -> استفاده از فناوری پیشرفته	0.333	0.012	27.588	0.000	تایید
استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرآیندهای تولید -> استفاده از فناوری پیشرفته	0.322	0.013	24.754	0.000	تایید
استفاده از مواد پایدار و دوستدار محیط زیست در تولید -> فرآیند تولید	0.104	0.005	23.040	0.000	تایید

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۷، آماره T، معنی دار بودن روابط متغیرهای مدل را نشان می دهد، زیرا مقدار احتمال این آماره کمتر از ۰/۰۵ است. به عبارت دیگر آزمون معنی‌داری ضرایب مسیر، نشان می‌دهد که همه مسیرها از نظر آماری معنادار و اثر آن‌ها تأیید می‌شود. این موضوع بدین معنی است که مؤلفه‌های تدوین شده در تحقیق با توجه به مسیرهای فوق، از قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار هستند.
در ادامه برازش کلی مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در ارائه شده است.

نتایج توان پیش‌بینی مدل (عتبار افزونگی) و ضریب تعیین (R2)

متغیر پنهان درون زا در مدل معادلات ساختاری	Q^2 =1-(SSE/SSO)	R^2
استفاده از فناوری پیشرفته	0.573	0.993
بازیافت و باز استفاده	0.541	0.991
تحریم	0.580	0.994
زنجیره تامین	0.602	0.988
طراحی محصول	0.587	0.956
فرآیند تولید	0.563	۰.۹۹۹

شاخص Q^2 به‌عنوان معیاری برای بررسی توانایی پیش‌بینی مدل ساختاری استفاده می‌شود و توانایی مدل در پیش‌بینی متغیرهای مکنون درون‌زا را ارزیابی می‌کند. بر اساس مقادیر ارائه‌شده توسط سرستدت و همکاران (۲۰۱۷)، مقادیر ۰.۰۲، ۰.۱۵ و ۰.۳۵ به ترتیب به‌عنوان شاخص‌های ضعیف، متوسط و قوی در نظر گرفته می‌شوند.

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که قدرت پیش‌بینی مدل برای متغیرهای مکنون درون‌زا نظیر استفاده از فناوری‌های پیشرفته (۰.۵۷۳)، بازیافت و باز استفاده (۰.۵۴۱)، تحریم (۰.۵۸۰)، زنجیره تأمین (۰.۶۰۲)، طراحی محصول (۰.۵۸۷) و فرآیند تولید (۰.۵۶۳) در محدوده قابل‌قبول و قوی قرار دارند. مقادیر مثبت به‌دست‌آمده از این آزمون تأییدکننده کیفیت بالای مدل در پیش‌بینی متغیرهای موردنظر است. همچنین، ضریب تعیین (R^2) که نشان‌دهنده میزان واریانس تبیین‌شده توسط متغیرهای مستقل است، نتایج قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 برای متغیرهای استفاده از فناوری‌های پیشرفته (۰.۹۹۳)، بازیافت و باز استفاده (۰.۹۹۱)، تحریم (۰.۹۹۴)، زنجیره تأمین (۰.۹۸۸)، طراحی محصول (۰.۹۵۶) و فرآیند تولید (۰.۹۹۹) همگی در سطح قوی قرار دارند. این نتایج بیانگر توانایی بالای مدل در توضیح و پیش‌بینی متغیرهای درون‌زا در مدل ساختاری است و حاکی از اعتبار و قدرت بالای مدل پیشنهادی می‌باشد.

نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

این تحقیق با هدف ارائه مدلی برای تولید محصولات ناب در صنعت خودروسازی در چارچوب اقتصاد چرخشی و با استفاده از فناوری‌های پیشرفته صنعت ۴.۰ انجام شد و نتایج آن به درک عمیق‌تری از تأثیرات و نقش عوامل مختلف در بهینه‌سازی و پایداری فرآیند تولید در این صنعت کمک کرده است. در بخش کیفی این تحقیق، شش عامل کلیدی شامل طراحی محصول، زنجیره تأمین، تحریم‌ها، فرآیند تولید، استفاده از فناوری‌های پیشرفته، و بازیافت و بازاستفاده شناسایی و به عنوان چارچوبی برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. این مدل در نهایت با استفاده از مدلسازی معادلات ساختاری مورد آزمون و برازش قرار گرفت و تأثیرات متقابل این عوامل در تحقق تولید پایدار و ناب بررسی شد.

یافته‌ها نشان می‌دهند که طراحی محصول به‌عنوان نقطه آغازین و مهم‌ترین بخش فرآیند تولید، تأثیر مستقیم و گسترده‌ای بر تمامی مراحل بعدی تولید دارد. در حقیقت، طراحی محصول تنها به تعیین ویژگی‌های ظاهری یا عملکردی آن محدود نمی‌شود، بلکه نحوه و پیچیدگی فرآیندهای تولید را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نقش محوری طراحی محصول به‌ویژه در مواردی مشهود است که طراحی‌ها پیچیده و نوآورانه هستند؛ در چنین شرایطی، به‌کارگیری فرآیندهای تولید خاص و پیچیده ضروری است تا الزامات و ویژگی‌های منحصربه‌فرد محصول به درستی اجرا شوند. به عنوان مثال، در صنعت خودرو، طراحی محصولاتی با مشخصات فناورانه پیشرفته (مانند خودروهای برقی یا خودروهای خودران) نیازمند فناوری‌های پیشرفته، خطوط تولید کاملاً اتوماتیک و همچنین استفاده از مواد و قطعات با استانداردهای بالا است. یافته‌های تحقیق زارع و پورزمانی (۱۳۹۶) نیز بر این تأثیر تأکید دارند و نشان می‌دهند که تولید ناب با تمرکز بر طراحی کارآمد محصول و بهینه‌سازی جریان تولید می‌تواند به بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها منجر شود. همچنین، تحقیق لطیفیان و همکاران (۱۳۹۹) بیانگر آن است که توجه به طراحی محصول و بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته می‌تواند به بهبود کارایی هزینه‌های تولید و ارتقاء کیفیت محصولات کمک کند.

علاوه بر این، زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از عوامل بنیادی در صنعت خودرو، نقشی کلیدی در تأمین مستمر و کارآمد مواد اولیه و قطعات مورد نیاز تولید ایفا می‌کند. هرگونه اختلال در این زنجیره می‌تواند پیامدهای جدی، از جمله توقف تولید، افزایش هزینه‌ها، و تأخیر در عرضه محصول به بازار را به همراه داشته باشد. به‌ویژه در شرایطی که رویکردهای اقتصاد چرخشی و تولید پایدار مورد استفاده قرار می‌گیرند، پایداری زنجیره تأمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌شود؛ زیرا تولید پایدار نیازمند تأمین مستمر و بهینه مواد اولیه و قطعات قابل بازیافت و تجدیدپذیر است. یافته‌های تحقیق منوهران و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان می‌دهد که یکی از چالش‌های اصلی در پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی، مشکلات موجود در تأمین مواد اولیه و قطعات است. این تحقیق تأکید می‌کند که مدیریت بهینه زنجیره تأمین و ایجاد روابط مؤثر با تأمین‌کنندگان می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد تولید تأثیر بسزایی داشته باشد.

تحریم‌ها نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر و محدودیت‌زا بر زنجیره تأمین و استفاده از فناوری‌های پیشرفته تأثیر قابل توجهی دارند. تحریم‌ها می‌توانند جریان تأمین مواد و قطعات را مختل کنند و از انتقال و به‌کارگیری فناوری‌های نوین جلوگیری نمایند. تحقیق گسپر و لیال (۲۰۲۰) نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری در مواجهه با تغییرات محیطی و به‌ویژه تحریم‌ها می‌تواند از طریق بهبود فرآیندهای تولید و مدیریت کارآمد زنجیره تأمین به کاهش اثرات منفی کمک کند.

در راستای این اهداف، فناوری‌های پیشرفته صنعت ۴.۰ همچون روباتیک، اینترنت اشیاء و تجزیه و تحلیل داده‌های کلان نقش مهمی در بهبود بهره‌وری فرآیندهای تولید و کاهش خطاها ایفا می‌کنند. مطالعه مواره و پارسلی (۲۰۲۳) تأکید دارد که فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند به تحقق تولید پایدار و دستیابی به پایداری زیست‌محیطی کمک کنند. به‌کارگیری این فناوری‌ها نه تنها مزیت رقابتی ایجاد می‌کند بلکه به توانایی شرکت‌ها در تطبیق با تغییرات سریع بازار و نیازهای مشتریان نیز یاری می‌رساند.

بهینه‌سازی فرآیند تولید برای کاهش ضایعات و افزایش قابلیت‌های بازیافت و بازاستفاده یکی از یافته‌های مهم این تحقیق بود که اهمیت ویژه‌ای برای شرکت‌های خودروسازی در چارچوب صنعت ۴.۰ دارد. نتایج نشان دادند که به‌کارگیری اصول اقتصاد چرخشی و تولید سبز در فرآیندهای تولیدی، می‌تواند بهبود چشمگیری در بهره‌وری منابع ایجاد کرده و همزمان اثرات زیست‌محیطی تولید را کاهش دهد. این یافته حاکی از آن است که تغییر به سمت تولید پایدار نه تنها از هدررفت منابع جلوگیری می‌کند، بلکه با بازگرداندن مواد و قطعات مصرف شده به چرخه تولید، میزان وابستگی به منابع جدید را نیز کاهش می‌دهد. در این راستا، بهره‌گیری از رویکردهای تولید سبز، از جمله کاهش مصرف انرژی و استفاده از منابع قابل بازیافت، به صنعت خودرو کمک می‌کند تا تأثیرات منفی زیست‌محیطی خود را محدود کرده و همزمان با مدیریت بهینه ضایعات، کارایی تولید را افزایش دهد. تحقیق مالدونادو-گزمان و همکاران (۲۰۲۱) نیز تأیید می‌کند که نوآوری زیست‌محیطی و چرخه عمر محصول نقش کلیدی در دستیابی به اهداف اقتصاد چرخشی و پایداری در صنعت خودرو دارند.

به‌طور کلی، این تحقیق نشان می‌دهد که برای دستیابی به یک سیستم تولید پایدار و کارآمد در صنعت خودرو، توجه به ابعاد مختلف از طراحی محصول تا مدیریت زنجیره تأمین و استفاده از فناوری‌های پیشرفته ضروری است.

مدل ارائه شده می‌تواند به شرکت‌های خودروسازی کمک کند تا با بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش هزینه‌ها، رقابت‌پذیری بیشتری در عصر صنعت ۴.۰ داشته باشند و همزمان به پایداری محیط زیست کمک کنند. در عین حال، یکی از محدودیت‌های این تحقیق تمرکز بر تعداد محدودی از شرکت‌های خودروسازی و استفاده از نمونه‌گیری هدفمند برای انتخاب متخصصان در بخش کیفی است که ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج به سایر صنایع را محدود کند. توصیه می‌شود در تحقیقات آینده نمونه‌گیری گسترده‌تر و شامل شرکت‌های بیشتری از صنایع مختلف انجام شود تا امکان تعمیم‌پذیری نتایج افزایش یابد. همچنین، پیشنهاد می‌شود از روش‌های کمی و مدل‌سازی داده‌های کلان استفاده شود تا تأثیرات عوامل مختلف همچون طراحی محصول، تحریم‌ها و فناوری‌های پیشرفته در مقیاس بزرگ‌تر و با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

بازرگان‌هرندی، عباس؛ حجازی، الهه؛ و سرمد، زهره. (۱۳۹۷). روش‌های تحقیق در علوم رفتاری. آگه.

زارع، میثم؛ و پورزمانی، زهرا. (۱۳۹۶). تاثیر محیط تولید ناب بر بهبود عملکرد و هزینه یابی جریان ارزش با استفاده از معادلات ساختاری. حسابداری مدیریت، ۳۵(۱۰)، ۶۷-۷۶.

سالاری، آناهیتا؛ فارسیجانی، حسن؛ حمیدی زاده، محمد رضا؛ و دری نوکورانی، بهروز. (۱۳۹۳). اولویت‌بندی عوامل تولید ناب با رویکرد ساختاری تفسیری مورد مطالعه: زنجیره تأمین صنعت خودرو. پژوهش های مدیریت در ایران، ۱۰(۱۸)، ۱۰۷-۱۲۶.

شهدکار، فاطمه؛ ترابی، تقی؛ و رهنمای رودپشتی، فریدون. (۱۴۰۰). شناخت و اولویت بندی عوامل موثر بر اجرای اقتصاد دایره‌ای در بنگاه های اقتصادی کوچک و متوسط(SME). اقتصاد کاربردی، ۳۸(۱۱)، ۱-۱۴.

لطیفیان، بهزاد؛ جمشیدی نوید، بابک؛ و قنبری، مهرداد. (۱۳۹۹). ارائه مدل ارزیابی کارایی هزینه های تولید در زنجیره تامین ناب با استفاده از رویکرد ساختاری تفسیری (مورد مطالعه: شرکت ایران خودرو). مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۴(۱۱)، ۳۰۰-۳۲۷.

محمدیان، ایوب؛ وارث، سید حامد؛ و نبی زاده، نرگس. (۱۴۰۱). بوم مدل کسب وکار مدور: پیشنهاد گزینه های طراحی مدل های کسب و کار در اقتصاد مدور. علوم مدیریت ایران، ۶۵(۱۷)، ۱۲۳-۱۴۷.

وارث، سید حامد؛ محمدیان، ایوب؛ حیدری، جلیل؛ خواجه ئیان، داتیس؛ و نبی زاده، نرگس. (۱۴۰۱). چارچوب طبقه‌بندی الگوهای مدل کسب‌وکار مدور از دیدگاه استراتژی‌های اقتصاد مدور. مدیریت بازرگانی، ۱۴(۱)، ۶۵-۹۳.

Murray, Alan; Skene, Keith; & Haynes, Kathryn. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. Journal of Business Ethics, 140(3), 369-380.

Agarwal, Sucheta; Saxena, Kuldeep Kumar; Agrawal, Vivek; Dixit, Jitendra Kumar; Prakash, Chander; Buddhi, Dharam; & Mohammed, Kahtan A. (2024). Prioritizing the barriers of green smart manufacturing using AHP in implementing Industry 4.0: a case from Indian automotive industry. The TQM Journal, 36(1), 71-89.

Bartolacci, Francesca; Caputo, Andrea; & Soverchia, Michela. (2020). Sustainability and financial performance of small and medium sized enterprises: A bibliometric and systematic literature review. Business Strategy and the Environment, 29(3), 1297-1309. https://doi.org/10.1002/bse.2434

Black, J Temple; & Kohser, Ronald A. (2020). DeGarmo's materials and processes in manufacturing. John Wiley & Sons.

Braun, Virginia; & Clarke, Victoria. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101.

Dahmani, Noureddine; Belhadi, Amine; Benhida, Khalid; Elfezazi, Said; Touriki, Fatima Ezahra; & Azougagh, Yassine. (2022). Integrating lean design and eco-design to improve product design: From literature review to an operational framework. Energy & Environment, 33(1), 189-219.

Dombrowski, Uwe; Schmidt, Stefan; & Schmidtchen, Kai. (2014). Analysis and integration of design for X approaches in lean design as basis for a lifecycle optimized product design. Procedia CIRP, 15, 385-390.

Gaspar, Flávio; & Leal, Fabiano. (2020). A methodology for applying the shop floor management method for sustaining lean manufacturing tools and philosophies: a study of an automotive company in Brazil. International Journal of Lean Six Sigma, 11(6), 1219-1238. https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2019-0098

Kolberg, Dennis; Knobloch, Joshua; & Zühlke, Detlef. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. International Journal of Production Research, 55(10), 2845-2856.

Kumar, Naveen; Mathiyazhagan, K.; & Mathivathanan, Deepak. (2020). Modelling the interrelationship between factors for adoption of sustainable lean manufacturing: a business case from the Indian automobile industry. International Journal of Sustainable Engineering, 13(2), 93-107. https://doi.org/10.1080/19397038.2019.1706662

Maldonado-Guzmán, Gonzalo; Garza-Reyes, Jose Arturo; & Pinzón-Castro, Yesenia. (2021). Eco-innovation and the circular economy in the automotive industry. Benchmarking: An International Journal, 28(2), 621-635.

Manoharan, Shrinath; Pulimi, Venkata Sai Kumar; Kabir, Golam; & Ali, Syed Mithun. (2022). Contextual relationships among drivers and barriers to circular economy: An integrated ISM and DEMATEL approach. Sustainable Operations and Computers, 3, 43-53.

Maware, Catherine; Okwu, Modestus Okechukwu; & Adetunji, Olufemi. (2022). A systematic literature review of lean manufacturing implementation in manufacturing-based sectors of the developing and developed countries. International Journal of Lean Six Sigma, 13(3), 521-556.

Maware, Catherine; & Parsley, David M. (2023). Can Industry 4.0 Assist Lean Manufacturing in Attaining Sustainability over Time? Evidence from the US Organizations. Sustainability, 15(3), 19-62. https://doi.org/10.3390/su15031962

Merli, Roberto; Preziosi, Michele; & Acampora, Alessia. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 178, 703-722.

Queiroz, Geandra Alves; Filho, Alceu Gomes Alves; Santa-Eulalia, Luis Antonio; Delai, Ivete; & Torkomian, Ana Lúcia Vitale. (2024). Lean and Green Manufacturing in operations strategy: cases from the automotive industry. Operations Management Research, 1-25.

Shahzad, Khurram; & Cheema, Izzat Iqbal. (2024). Low-carbon technologies in automotive industry and decarbonizing transport. Journal of Power Sources, 591, 233888.

Shrivastava, Ashish; Singh, Anamica; Mishra, Rajesh Prasad; Nanda, Shweta; & Singh, Gurinder. (2024). An empirical study of the Indian automotive industry using lean transformation integrated with Industry 4.0 (pp. 1-5). Presented at the 2024 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM), IEEE.

Verma, Anju; & Venkatesan, M. (2023). Industry 4.0 workforce implications and strategies for organisational effectiveness in Indian automotive industry: a review. Technology Analysis & Strategic Management, 35(10), 1241-1249.

Zhong, Ray Y; Xu, Xun; Klotz, Eberhard; & Newman, Stephen T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering, 3(5), 616-630.

Financial Economics
Vol. (15) Issue (59) Autumn 2026

Developing a Product Manufacturing Model in the Automotive Industry with an Emphasis on Lean Production and Circular Economy in the Era of Industry 4.0

Mehdi Mahboob Kheirkhah
PhD Student, Department of Management, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
Mehdimahboob1990@gmail.com

Seyed Mostafa Mousavi
Assistant Professor, Department of technician and Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University,Mazandaran, Iran (corresponding author)
Mostafa_mousavi85@yahoo.com

Rasoul Karimi
Assistant Professor, Department of technician and Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University,Mazandaran, Iran
Karimirasoul59@gmail.com

Majid Motamedi
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Nowshahr Branch, Islamic Azad University,Mzandaran, Iran
Mmotamedy@gmail.com

Abstract
This research aims to develop a lean manufacturing model in the automotive industry with an emphasis on the circular economy and the use of Industry 4.0 technologies. The statistical population includes managers and experts from the Ministry of Industry, Mines, and Trade (SAMT), the automotive companies Iran Khodro and SAIPA, and university professors. The research was conducted in two sections: qualitative and quantitative. In the qualitative section, 17 experts were selected through judgmental sampling, and data were collected via in-depth interviews and analyzed using thematic analysis. In the quantitative section, data from 384 participants, gathered through a questionnaire based on convenience sampling and Cochran's formula, were analyzed using structural equation modeling. The results identified six main dimensions: product design, supply chain, sanctions, production process, advanced technologies, and recycling and reuse. The interrelationships between these dimensions and their impacts on the production process were also evaluated. The findings indicate that product design directly influences the production process, the supply chain plays a key role in raw material supply, and sanctions may impose restrictions on the supply chain and the use of advanced technologies. Advanced technologies contribute to optimizing production and reducing waste, while the production process also impacts recycling and reuse.
Keywords: Lean production, Circular economy, Industry 4.0, Automotive industry