فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، ۱۴(۱(پیاپی ۵۳))، ۳۴-۱۳
www.iueam.ir
نمایه در ISC، EconLit، Econbiz، EBZ، GateWay-Bayern، SID، Google Scholar، Noormags،
Magiran، Ensani، RICeST، Civilica
شاپا: ۲۸۷۰-۲۳۴۵

فصلنامه علمی
اقتصاد و مدیریت شهری

مدل انطباق‌پذیری و هوشمندسازی فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنعت خودروسازی با رویکرد صنعت ۴

سید مرتضی قدمگاهی* دانشجوی دکتری، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
غلامرضا هاشم‌زاده استاد، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
فضل‌الله جمالو استادیار، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
کیومرث فتحی هفشجانی استادیار، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران- ایران

چکیده

هدف پژوهش حاضر طراحی مدل مفهومی جهت انطباق‌پذیری فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنعت خودروسازی در راستای صنعت ۴ با رویکرد هوشمندسازی است. این پژوهش از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی و از لحاظ جمع‌آوری اطلاعات، توصیفی- پیمایشی است. روش انجام این پژوهش به‌صورت آمیخته اکتشافی، در دو بخش کیفی و کمی می‌باشد. رویکرد بخش کیفی تحلیل مضمون به روش تحلیل محتوای قیاسی (مدل استروالدر و پینیور) و ابزار گردآوری اطلاعات، مصاحبه نیمه‌ساخت‌یافته با نخبگان می‌باشد که با روش نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب می‌شوند و جمع‌آوری داده‌ها تا رسیدن به اشباع نظری ادامه می‌یابد. از بین عوامل اصلی مدل، منابع کلیدی به‌عنوان اثرگذارترین و قابلیت‌های مدل به‌عنوان اثرپذیرترین عامل معرفی شد. همچنین، عوامل مشتریان، ارتباط با مشتری، فعالیت کلیدی، شرکای کلیدی و چالش‌های به‌کارگیری مدل به‌عنوان عوامل اثرگذار و ارزش پیشنهادی، کانال توزیع و جریان هزینه و درآمد به‌عنوان اثرپذیر شناخته شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش ANP فازی نشان می‌دهد که وزن‌بندی عوامل اصلی به‌ترتیب: ارزش پیشنهادی، فعالیت کلیدی، مشتریان، قابلیت‌های مدل، کانال توزیع، منابع کلیدی، ارتباط با مشتری، ساختار هزینه و درآمد، چالش‌های به‌کارگیری مدل و شرکای کلیدی است. در بین زیرعوامل نیز، زیر عامل تولید هوشمند اولویت اول را به دست آورده است. بهره‌مندی از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت دوم، عامل گسترش و تقویت نظارت بر فرآیند تولید اولویت سوم، شرکت‌های فعال در زمینه سخت‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت چهارم، امکان ایجاد فرآیندهای تولید خطا ناپذیر اولویت پنجم و درنهایت، توسعه ابعاد هوشمندسازی فرآیندهای تولید در صنعت خودرو در اولویت ششم در بین ۵۰ زیرعامل کسب کردند که تقریبا ۳۰٪ درصد از وزن کل زیرعوامل را به خود اختصاص دادند و این نشان از اهمیت بسیار زیاد این زیرعوامل است.

واژگان کلیدی: صنعت ۴- هوشمند سازی – انطباق پذیری- صنعت خودرو

* مسئول مکاتبات: seyedmorteza.ghadamghahi@gmail.com

۱- مقدمه

واژه صنعت ۴ یادآور انقلاب صنعتی چهارم است که در عصر حاضر در حال رخ دادن می‌باشد. سه انقلاب صنعتی قبلی در حدود ۲۰۰ سال به طول انجامیده‌اند. انقلاب صنعتی اول با ظهور ماشین‌های بخار و مکانیزم‌ها، انقلاب صنعتی دوم به‌وسیله‌ی خطوط مونتاژ و انقلاب صنعتی سوم به‌وسیله‌ی استفاده از کامپیوتر و اتوماسیون در فرآیندهای تولیدی به حرکت درآورده شده‌اند. به کار بردن واژه صنعت ۴ از کشور آلمان در سال ۲۰۱۱ آغاز شد و به سرعت به مرکز توجه دولت این کشور و بسیاری از کشورهای اروپایی تبدیل گردید. صنعت ۴ را می‌توان به طور کلی به‌عنوان کاربرد سیستم‌های سایبر- فیزیکی به‌وسیله سیستم‌های تولید صنعتی تفسیر کرد (Ghobakhloo, 2018a).

به منظور افزایش سطح رقابت جهانی و بهبود عملکرد سیستم تولید، تعداد زیادی از شرکت‌های تولید کننده رویکرد تولید کلاس جهانی (WCM) را پیاده‌سازی کرده‌اند که براساس انقلاب صنعتی سوم و نیاز به تولید انبوه توسعه یافته است. تحول در تجهیزات تولید و فنآوری‌های ارتباطی و تقاضای بازار برای تولید انبوه شخصی، شرکت‌های تولیدی را وادار کرده است تا سیستم‌های تولیدی خود را تغییر دهند و برای یک انقلاب آماده شوند. این انقلاب که با نام صنعت ۴ یا همان تحول دیجیتال شناخته می‌شود، به‌عنوان نوع جدیدی از سازماندهی سیستم‌های تولید معرفی شده است که انعطاف پذیرتر و چابک‌تر بوده و مبتنی بر به‌کارگیری مقادیر زیادی از اطلاعات و داده‌ها در تصمیم‌گیری است (Ebrahimi et al., 2019).

پیش از اجرای صنعت ۴ اصول طراحی آن باید در نظر گرفته شوند. این اصول یک چارچوب کلی را برای الزامات اصلی صنعت ۴ در حوزه تولید ارائه می‌دهند. به عبارت دیگر اصول طراحی اقتباسی جامع از انقلاب صنعتی چهارم را از طریق سازمان‌دهی و چارچوب‌بندی مفاهیم و تکنولوژی‌های صنعت ۴ در زمینه تولید فراهم می‌کنند. لذا در این پژوهش جهت پیشنهاد و ارائه چارچوبی که بتوان به کمک آن انطباق‌پذیری فرآیندهای تولید با فنآوری‌های صنعت ۴ را نشان داد می‌بایست با اصول طراحی آن که هر کدام شامل چند فنآوری پشتیبان می‌شوند آشنا شد. پژوهش‌هایی در زمینه اصول طراحی صنعت ۴ و چارچوب‌های صنعت ۴ صورت گرفته‌اند و هر کدام از محققان به نوبه خود اصول طراحی‌ای را برای صنعت ۴ ارائه کرده‌اند.

همانطور که از پیشرفت در مدیریت تولید و خدمات دیده می‌شود، صنعت ۴ بر استقرار سیستم‌های هوشمند و ارتباطی از جمله ارتباط ماشین به ماشین و تعامل انسان و ماشین تمرکز دارد. در حوزه‌های سازمانی و تجاری، کلیه عملیات باید به سیستم‌های رایانه‌ای و مدیریت اطلاعات در شبکه مرتبط باشد که این باعث کارآیی بیشتر جریان اطلاعات می‌شود. با این تصور جدید از صنعت و تجارت، ابزارهای تحلیلی متفاوتی را در بر می‌گیرد که هدف آن بهره‌وری بیشتر در ارائه خدمات به مصرف کنندگان و در نتیجه رقابت بیشتر در بازار و ایجاد تمایز است (Saucedo-Martínez et al., 2018).

به واسطه‌ی بازارهای متغیر و پیشرو، افزایش رقابت و تولیدات و محصولات پیچیده‌تر، شرکت‌های صنعتی به شدت در حال مواجهه با چالش‌های پیچیده هستند. صنعت ۴ بر روی یک جهان هوشمند تمرکز دارد؛ به‌طوریکه کارخانه‌های هوشمند ارتباط بین شبکه‌های تولید فیزیکی و دیجیتالی را نشان می‌دهند. این تحول دیجیتال (صنعت ۴) شرکت‌ها را با چالش‌های متنوعی به ویژه فشار برای افزایش سطح دیجیتال‌سازی، تطبیق‌دهی خطوط تولید برای تکنولوژی‌های جدید یا تعریف نمودن نقش انسان‌ها در میان فرآیندهای جدید، مواجه می‌سازد. به واسطه‌ی این مطالبات، احتیاج بزرگی برای یک برنامه سازمان یافته جهت معرفی صنعت ۴ در کسب و کارها احساس می‌شود (Olsson et al., 2018).

اگرچه یک دهه از ظهور انقلاب صنعتی چهارم می‌گذرد و پژوهش‌هایی جهت معرفی و تبیین اصول

طراحی صنعت ۴ انجام شده است، با این وجود تاکنون در زمینه ارائه ارتباط موضوعی متقابل بین آنها و فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنایع خودروسازی، قطعه‌سازی و صنایع وابسته و در راستای هوشمندسازی و ایجاد تطبیق‌پذیری آنها، پژوهشی جامع صورت نگرفته است. لذا این پژوهش قصد دارد جهت پوشش دادن این شکاف با قرار دادن این موضوع به‌عنوان یک دغدغه اصلی به این سوال پاسخ دهد که چه چارچوبی را می‌توان برای فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنایع خودروسازی و صنایع وابسته ارائه کرد که به کمک آن بتوان تطبیق‌پذیری آنها را با انقلاب صنعتی چهارم و در راستای هوشمندسازی آنها محقق نمود.

سؤالاتی در این پژوهش مطرح می‌شوند تا با پاسخ‌گویی به آنها اهداف مورد نظر تحقق یابند: ۱- چه چارچوبی را می‌توان برای فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنعت خودروسازی و صنایع وابسته جهت انطباق‌پذیری بهره‌ور آنها با صنعت ۴ و در راستای هوشمندسازی آنها ارائه نمود؟، ۲- چه تکنولوژی‌هایی و مفاهیمی از انقلاب صنعتی چهارم را می‌توان جهت پذیرش و اختیار نمودن آنها در فرآیندهای تولیدی و عملیاتی صنعت خودروسازی به‌کار برد؟ و ۳- چه اصول طراحی را می‌توان برای صنعت ۴ تعریف نمود؟

پژوهش حاضر جهت دست‌یابی به اهدافی شامل: ۱- ارائه چارچوبی جهت انطباق‌پذیری بهره‌ور فرآیندهای تولیدی در صنعت خودرو و صنایع وابسته با صنعت ۴، در راستای هوشمندسازی آنها، ۲- شناسایی تکنولوژی‌ها و مفاهیم مورد استفاده در صنعت ۴ جهت پذیرش و اختیار نمودن آنها در فرآیندهای تولیدی در صنعت خودروسازی و صنایع وابسته و ۳- شناسایی اصول طراحی صنعت ۴ در حوزه تولید در صنعت خودرو

۲- پیشینه تحقیق

به واسطه ضرورت ایجاد هماهنگی و هم افزایی ناشی از ادغام پیشرفت‌ها در علم فناوری اطلاعات با فرآیندهای خدمات و تولید، مفهوم جدیدی به نام صنعت ۴ پدید آمد. اصطلاح صنعت ۴ به طور کامل با طیف گسترده‌ای از مفاهیم از جمله افزایش مکانیزاسیون و اتوماسیون، دیجیتالی شدن، شبکه سازی و کوچک سازی روبرو می شود. علاوه‌براین، صنعت ۴ با توجه به ادغام سیستم فیزیکی و سیستم نرم افزاری با سایر شاخه ها و بخش های اقتصادی و همچنین سایر صنایع به ادغام شبکه‌های ایجاد ارزش پویا متکی است (Ustundag and Cevikcan, 2017; Ghobakhloo, 2018).

در سال‌های اخیر، صنعت ۴ از سوی شرکت های تولید کننده و سیستم های خدماتی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. عمدتاً صنعت ۴ شامل ادغام امکانات تولید، زنجیره های تأمین و سیستم های خدماتی برای ایجاد شبکه های ارزش افزوده است. بنابراین، فناوری‌های نوظهور مانند تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها، ربات های مستقل (سازگار)، زیرساخت های فیزیکی سایبری، شبیه سازی، ادغام افقی و عمودی، اینترنت صنعتی، سیستم های ابری، ساخت افزایشی و واقعیت افزوده برای سازگاری موفقیت آمیز لازم هستند. مهمترین نکته استفاده گسترده از اینترنت صنعتی و اتصالات جایگزین است که شبکه سازی دستگاه‌های پراکنده را تضمین می کنند. بیش از همه، کل سیستم باید شامل تجزیه و تحلیل داده‌ها و ابزارهای مختلف هماهنگ جهت تصمیم‌گیری بلادرنگ و مستقل برای فرآیندهای تولید و خدمات باشد (Ustundag and Cevikcan, 2017).

صنعت ۴ فرصت‌های متنوع، پیشرفت‌ها و مزایایی مانند تولید انبوه بسیار سازگار، انعطاف پذیر و سفارشی، هماهنگی زنجیره‌های ارزش به صورت بلادرنگ و بهینه سازی آن‌ها، کاهش هزینه‌های پیچیدگی و ظهور مدل‌های جدید خدماتی و تجاری را ارائه می‌دهد. پیش بینی می شود که صنعت ۴ بتواند باعث کاهش در هزینه‌های تولید و لجستیک بین ۱۰ تا ۳۰ درصد و مدیریت کیفیت بین ۱۰ تا ۲۰ درصد شود (Rojko, 2017; Nayyar and Kumar, 2020). با توجه به افزایش هزینه‌های تجاری تولید و افزایش رقابت بین کشورهای تولیدکننده و

شرکت‌ها، نیاز مبرم به استفاده از رویکردهای هوشمندانه‌تر برای تصمیم گیری هوشمندانه جهت بهینه‌سازی فرآیندهای متنوع تولید وجود دارد. این تصمیمات هوشمندانه با هدف افزایش اتوماسیون برای دستیابی به بهره وری بالاتر، دقت، قابلیت اطمینان، مقرون به صرفه بودن، کیفیت و انعطاف پذیری فرآیندهای تولید است. این چشم‌انداز توسط ابتکاراتی مانند صنعت ۴ در اروپا و تولید هوشمند در ایالات متحده آمریکا پشتیبانی شده است (Lasi et al., 2014).

صنعت ۴,۰ مشتریان و تأمین کنندگان را به هم نزدیکتر خواهد کرد و این یک روش معمول برای مشتریان خواهد بود که مستقیماً سفارشات تولید را به‌طور هم زمان به شرکت تولیدی ارسال می‌کنند. در چنین شرایطی، تولید افزودنی می‌تواند ایده کارخانه هوشمند را از طریق بهبود سرعت در تولید، آزادی طراحی تولید، کاهش زنجیره تأمین، نمونه‌سازی سریع و آزمایشات تولید در مقیاس کوچک پشتیبانی کند (Ghobakhloo, 2018).

صنعت ۴ اطلاعات ارزشمندی ایجاد می‌کند که باید محافظت شوند. امنیت اطلاعات برای موفقیت این انقلاب صنعتی بسیار حائز اهمیت است. صنعت ۴ برای تأمین امنیت سیستم‌های تولید هوشمند دو درخواست برای امنیت سایبری مطرح کرده است: معماری امنیت و امنیت توسط طراحی. از این رو حملات، تهدیدها و بدافزارها باید به‌طور خودکار به محض رخ دادن توسط سیستم‌ها شناسایی شوند (Alcácer and Cruz-Machado, 2019).

صنعت ۴ از تمرکززدایی پشتیبانی می‌کند و این توانایی را در سیستم‌های مختلف موجود در کارخانه هوشمند ایجاد می‌کند تا تصمیمات خودمختار بگیرند؛ بدون اینکه از مسیر رسیدن به هدف سازمانی نهایی منحرف شوند (Gilchrist, 2016).

چارچوب‌های مختلفی برای اصول طراحی صنعت ۴ ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های طراحی صنعت ۴، چارچوب اوستونداگ و چویکجان است (Ustundag and Cevikcan, 2017) که مطابق آن چارچوب، به‌منظور پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز صنعت ۴، شرکت‌ها باید بر روی دخیل کردن و تعریف دوباره محصول هوشمند و فرآیندهای هوشمند به عملکردهای اصلی خود مانند توسعه محصول، تولید، لجستیک، بازاریابی، فروش و خدمات پس از فروش تمرکز کنند. بر این اساس، یک محصول هوشمند شامل سه مؤلفه اساسی است: ۱- بخش (های) فیزیکی شامل یک بخش مکانیکی ۲- یک قسمت هوشمند که دارای سنسورها، میکروپروسسورها، سیستم عامل تعبیه شده و رابط کاربری ۳- قسمت اتصال که دارای پورتها، آنتن‌ها و پروتکل‌ها می‌باشد. کلیه محصولات و فرآیندهای هوشمند باید دارای یک پلتفرم کامل فنآوری پشتیبان باشند که به ارتباط و هماهنگی تبادل داده، جمع‌آوری داده، پردازش داده و تجزیه و تحلیل بین محصول و خدمات به منابع خارجی وابسته باشد. با استفاده از تجزیه و تحلیل کلان داده، محصولات و خدمات قابل کنترل هستند و می‌توان تغییرات را در بسیاری از شرایط محیطی مشاهده کرد. علاوه بر این، فنآوری‌های ابری تولید هماهنگ و مرتبط با سیستم‌های توزیع شده را تضمین می‌کنند. درنتیجه، قابلیت همکاری با پلتفرم‌های پردازش کلان داده توسط خدمات مبتنی بر عامل، آنالیزهای بلادرنگ و سیستم‌های هوش تجاری تقویت می‌شود که برای شبکه ضروری است. بنابراین، پلتفرم‌های کلان داده و سیستم های ابری می‌توانند مدیریت داده بلادرنگ را به‌منظور ارائه واکنش سریع برای پردازش داده‌ها، مدیریت جریان داده‌ها و استخراج اطلاعاتی درباره چگونگی بهبود عملکرد و استفاده از کل محصول ارائه دهند. از این طریق می‌توان تنظیمات را با توجه به تفاوت بین شرایط فعلی و شرایط مورد نظر با تطبیق الگوریتم‌ها و فرآیندهای تکراری مانند خودآموزی و خود ارزیابی انجام داد. این مدیریت هوشمند داده‌ها باید با ایجاد زیرساخت‌های ارتباطی و شبکه‌ای مبتنی بر اینترنت صنعتی و امنیت سایبر برای کنترل و نظارت از راه دور موفقیت‌آمیز ارتقاء یابد. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2019) چارچوب دیگری را برای اصول طراحی

صنعت ۴ با شناسایی پیوندهای بین این اصول ارائه کرده‌اند. در توضیح این چارچوب عنوان شده است که قابلیت همکاری را می‌توان اولین گام در تحول صنعت ۴ دانست و در درجه اول یک چالش فنآوری است. امروزه صنایع سعی در ادغام ماشین‌آلات و تجهیزات جدید برای پاسخگویی به این نیاز دارند و یا تلاش برای یافتن راه‌حل مصالحه برای اتصال منابع موجود خود دارند. در مورد سیستم‌های اطلاعاتی، قابلیت همکاری بسیار بالایی بین برخی راه‌حل‌ها مشاهده شد؛ اما چالش‌های عمده در رابطه با اتصال سیستم‌های اطلاعاتی با سیستم‌های فیزیکی باقی مانده است. مدولار بودن به هر ۵ اصل طراحی دیگر صنعت ۴ مربوط می‌شود. به سیستم‌ها اجازه می‌دهد انعطاف‌پذیر با تغییرات سازگار شوند. جنبه انسانی و جایگاه مردم در این تکامل بزرگترین چالش‌های موفقیت تحول را به‌وجود می‌آورد و باید در کل مورد توجه قرار گیرد. طی بحث و گفتگو با مسئولین پروژه‌های تحول صنعت ۴ مشخص شد بلوغ خوبی در شرکت‌های تولیدی برای قابلیت بلادرنگ و مجازی‌سازی وجود دارد. از این اصول برای تقویت درک بهتر سیستم شرکت استفاده می‌شود و امکان نظارت و تصمیم‌گیری درباره اقدامات فوری، بلادرنگ و کوتاه مدت را فراهم می‌کند. تصمیم‌گیری غیرمتمرکز در صنعت ۴ مهمترین ویژگی در نظر گرفته می‌شود، اما در مقایسه با قابلیت همکاری و مدولار بودن نیز اصل اصلی پیچیده‌تری است. به همین دلیل، صنایع در ابتدا نقشه راه‌های خود را با تمرکز عمده بر جنبه‌های فنآوری قابل فهم و دستیابی بیشتر تعریف می‌کنند و برای اجرای سیستم‌های غیر متمرکز چشم‌انداز بلندمدتی دارند. کامبل و همکاران (Kamble et al., 2018) چارچوبی با عنوان "چارچوب صنعت ۴ پایدار پیشنهاد کردند. در توضیح این چارچوب عنوان شده است که بر اساس بررسی ادبیات موضوع، یک چارچوب صنعت ۴ پایدار پیشنهاد می‌شود که شامل سه مؤلفه اصلی فنآوری‌های صنعت ۴، ادغام فرآیند و نتایج پایدار است. با بررسی ادبیات مشخص شد که صنعتی شدن سریع به پایین آمدن استانداردهای بهداشت و ایمنی نیروی کار و تخریب محیط کمک کرده است. انتظار می‌رود صنعت ۴ با استفاده از فنآوری‌های مدرن این حوزه و ادغام فرآیند، ارزش‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی رو به زوال را بهبود بخشد. چارچوب پیشنهادی درنظر می‌گیرد که صنعت ۴ ادغام فرآیندهای تجاری و فعالیت‌ها را از طریق تعامل سایبری- فیزیکی عناصر متصل و نوآوری‌های فرآیند ایجاد می‌کند تا سیستم تولید را انعطاف‌پذیرتر، اقتصادی‌تر و سازگار با محیط زیست سازد.

۳- مبانی نظری تحقیق

در این بخش، موضوع و ادبیات تحقیق، همچنین، متغیرها و مفاهیم تحقیق تشریح می‌شوند.

به واسطه ضرورت ایجاد هماهنگی و هم‌افزایی ناشی از ادغام پیشرفت‌ها در علم فنآوری اطلاعات با فرآیندهای خدمات و تولید، مفهوم جدیدی به نام صنعت ۴ پدید آمد. با ظهور این انقلاب تعداد فزآینده‌ای از عناصر فیزیکی گیرنده‌هایی مانند سنسورها و برچسب‌ها با کمک فناوری اینترنت اشیاء به یکدیگر متصل می‌شوند. علاوه بر این، اتصال دستگاه‌های الکترونیکی به‌عنوان بخشی از سیستم‌های توزیع شده برای دستیابی به کلیه اطلاعات مرتبط در پردازش بلادرنگ (بی‌وقفه) انجام می‌شود. همچنین، توانایی استخراج الگوها از داده‌ها در هر زمان پیش‌بینی دقیق‌تری از رفتار سیستم را ایجاد می‌کند و کنترل مستقل را فراهم می‌کند. تمام این شرایط در حال ظهور مدل‌های جدید تجاری هستند که بر روند فعلی تجارت و تولید تأثیر می‌گذارند. از این رو شرکت‌های صنعتی درگیر زنجیره ارزش پیچیده‌تری خواهند شد که مستلزم تجدید استانداردسازی فرآیندهای تولیدی و تجاری کنونی است.

اصطلاح صنعت ۴ به‌طور کامل با طیف گسترده‌ای از مفاهیم از جمله افزایش مکانیزاسیون و اتوماسیون، دیجیتالی شدن، شبکه‌سازی و کوچک‌سازی روبرو می‌شود. علاوه‌براین، صنعت ۴ با توجه به ادغام سیستم فیزیکی و سیستم نرم افزاری با سایر شاخه‌ها و بخش‌های

اقتصادی و همچنین سایر صنایع به ادغام شبکه‌های ایجاد ارزش پویا متکی است. طبق مفهوم صنعت ۴، تحقیق و نوآوری، معماری مرجع، استانداردسازی و امنیت سیستم‌های شبکه از مبانی اساسی اجرای زیرساخت‌های آن هستند. این تحول می‌تواند با فراهم آوردن زیرساختارهای مناسب پشتیبانی شده توسط حسگرها، ماشین‌آلات و سیستم‌های فناوری اطلاعات که با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند امکان‌پذیر باشد. این نوع سیستم‌ها که به‌عنوان سیستم‌های فیزیکی سایبری شناخته می‌شوند و هماهنگی بین این سیستم‌ها توسط پروتکل‌ها و استانداردهای مبتنی بر اینترنت فراهم می‌شود. صنعت ۴ براساس مفهوم ساخت هوشمند است. چشم‌انداز استفاده از دیجیتالی‌سازی برای طراحی، ساخت و توسعه یک دنیای مجازی توانمند است که جهان فیزیکی را هدایت کند. هدف این است که تمام تولیدات را بهم پیوند داده و تعامل بلادرنگ (بی وقفه) آنها را امکان پذیر کند. رایانش ابری، تجزیه و تحلیل داده‌های کلان، اینترنت صنعتی اشیا (IIoT) و سیستم‌های فیزیکی سایبری از مبانی اصلی فنآوری برای این انقلاب صنعتی هستند.

صنعت ۴ فرصت‌های متنوع، پیشرفت‌ها و مزایایی مانند تولید انبوه بسیار سازگار، انعطاف‌پذیر و سفارشی، هماهنگی زنجیره‌های ارزش به‌صورت بلادرنگ و بهینه‌سازی آنها، کاهش هزینه‌های پیچیدگی و ظهور مدل‌های جدید خدماتی و تجاری را ارائه می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود که صنعت ۴ بتواند باعث کاهش در هزینه‌های تولید و لجستیک بین ۱۰ تا ۳۰ درصد و مدیریت کیفیت بین ۱۰ تا ۲۰ درصد شود. از دیگر مزایا می‌توان به زمان بازاریابی کوتاه‌تر، پاسخگویی بهتر به مشتری، تولید انبوه با هزینه‌های کمتر، محیط کار انعطاف‌پذیرتر، استفاده بهینه از منابع طبیعی اشاره نمود. صنعت ۴ این فرصت را فراهم می‌کند تا به‌طور کامل از پتانسیل فنآوری‌ها و مفاهیم جدید و نوظهور استفاده شود. همچنین امکان تهیه نقشه دیجیتالی، مجازی‌سازی در مقیاس وسیع و بلادرنگ همراه با نگهداری پیش‌بینانه و پیشگیرانه را فراهم می‌کند. علاوه‌براین امکان پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده، خطرات و خطاهای احتمالی را ایجاد می‌کند. صنعت ۴ این اجازه را به متخصصان می‌دهد تا فرآیندهای صنعتی را از مکان‌های دور کنترل و هدایت کنند و استفاده مؤثر و کارآمد از فنآوری‌های مشترک را آغاز کنند.

تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ شامل: ربات‌ها، ساخت افزایشی، رایانش ابری، واقعیت افزوده، اینترنت صنعتی اشیاء، کلان داده، شبیه‌سازی، امنیت سایبری، سنسورها، محرک‌ها و تکنولوژی‌های RFID و RTLS است.

برخی محققین بر این باورند که چارچوب صنعت ۴ را می‌توان توسعه کارخانه هوشمند توصیف کرد. از نظر مفهومی، کارخانه هوشمند قلب صنعت ۴ است. کل مفهوم تجارت، محصول، ماشین‌آلات و فروش در انقلاب جدید بخشی از این کارخانه هوشمند است. کارخانه‌های هوشمند کنترل بزرگی برخود دارند و یک سیستم انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کنند که امکان بهینه‌سازی عملکرد در شبکه‌های گسترده و سازگاری با خود را فراهم می‌کند که از شرایط بی‌درنگ یاد می‌گیرد. آنها همچنین توانایی اجرای خودکار کل فرآیندهای تولید را دارند. این کارخانه هوشمند شامل موارد ذیل است:

سیستم سایبری- فیزیکی CPS را می‌توان به‌عنوان یک واحد کنترل با یک یا چند میکروکنترلر، سنسورهای کنترل‌کننده و محرک‌ها توصیف کرد که با دنیای واقعی ارتباط برقرار می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری شده را پردازش می‌کنند. CPS با استفاده از مؤلفه کنترل و نظارت، با به‌کارگیری محرک‌ها برای کنترل اجزای فیزیکی و استفاده از حسگرها برای نظارت بر آنها به دنیای فیزیکی متصل می‌شود. سیستم‌های سایبری- فیزیکی مجموعه‌ای از فنآوری‌های تحول‌آفرین هستند که اتصال عملیات دارایی‌های فیزیکی و قابلیت‌های محاسباتی را امکان‌پذیر می‌کنند. این سیستم‌ها توسط الگوریتم‌های مبتنی بر رایانه کنترل می‌شوند و از طریق اینترنت با

کاربران خود (اشیاء، انسان‌ها و ماشین‌ها) کاملاً یکپارچه هستند.

اینترنت خدمات (IoS) مبتنی بر این مفهوم است که خدمات از طریق اینترنت در دسترس هستند تا کاربران خصوصی و یا شرکت‌ها بتوانند نوع جدیدی از خدمات با ارزش افزوده را ایجاد، ترکیب و ارائه دهند. اینترنت خدمات مربوط به استفاده منظم از اینترنت برای راه‌های جدید ارزش‌آفرینی از طریق تحقق بخشیدن به مدل تجاری است.

ادغام افقی، عمودی و انتها به انتها: مهندسی، تولید، بازاریابی، تأمین کنندگان و عملیات زنجیره تأمین باید با توجه به جریان اطلاعات و با در نظر گرفتن سطوح اتوماسیون، سناریوی مشترکی را برای ادغام سیستم ایجاد کنند. در صنعت ۴ سعی در اتصال ماشین‌ها، مواد و محصولات است. برای اینکه تجارت به بالاترین سطح خود رسانده شود، تمام عوامل موثر در آن باید ارتباطات موثری داشته باشند. به طور کلی ادغام سیستم‌های صنعت ۴ دارای سه رویکرد است: ادغام افقی، عمودی و انتها به انتها. اشتراک‌گذاری داده‌های بی‌درنگ توسط این سه نوع ادغام فعال می‌شود.

ادغام افقی یکپارچگی بین شرکتی و پایه‌ای برای همکاری نزدیک و سطح بالا بین چندین شرکت ایجاد می‌کند. همچنین، امکان استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی برای غنی‌سازی چرخه عمر محصول و ایجاد یک اکوسیستم متصل به هم در همان شبکه ایجاد ارزش وجود دارد. برای دستیابی به قابلیت همکاری در توسعه این سیستم‌ها، مبتنی بر استانداردهای صنعتی، امکان تبادل داده‌ها یا اطلاعات طی یک بستر مستقل ضروری است. صنعت ۴ برای اتصال همه توابع و داده‌ها در سراسر زنجیره ارزش محصول به ادغام افقی متکی است. این ادغام در بین شرکای تجاری و مشتریان شبکه‌هایی را ایجاد می‌کند که ارزش ایجاد می‌کنند و می‌افزایند.

ادغام عمودی یک سیستم تولید شبکه‌ای، ادغام درون شرکتی و پایه‌ای برای تبادل اطلاعات و همکاری بین سطوح مختلف سلسله مراتب شرکت مانند برنامه‌ریزی شرکت، برنامه‌ریزی تولید یا مدیریت است. ادغام عمودی، تمام فرآیند را در کل سازمان دیجیتالی می‌کند. این کار با درنظر گرفتن تمام داده‌های حاصل از فرآیندهای تولید به عنوان مثال مدیریت کیفیت، بهره‌وری فرآیند یا برنامه‌ریزی عملیاتی که به صورت بلادرنگ در دسترس هستند، صورت می‌گیرد. با این کار با یک سطح بالا و انعطاف‌پذیر و با تولید اندازه‌های کوچک و محصولات سفارشی، ادغام عمودی امکان تبدیل به کارخانه هوشمند را فراهم می‌کند. ذکر این نکته مهم است که استانداردها باید پایه‌های ادغام عمودی باشند.

در یک فرآیند تولید ارزش محور، زنجیره‌ای از فعالیت‌ها شامل مواردی همچون بیان نیاز مشتری، طراحی و توسعه محصول، برنامه‌ریزی تولید، مهندسی تولید، تولید، خدمات، نگهداری و بازیافت دخیل است. با یکپارچه‌سازی در هر مرحله می‌توان از یک مدل محصول مداوم و سازگار استفاده کرد. تأثیر طراحی محصول بر تولید و خدمات را می‌توان با استفاده از زنجیره ابزار قدرتمند نرم‌افزار پیش‌بینی کرد تا محصولات سفارشی فعال شوند. ادغام انتها به انتها در کل چرخه عمر محصول، اتصال متقابل هوشمند و دیجیتالی شدن در تمام مراحل چرخه عمر محصول را توصیف می‌کند؛ از خرید مواد اولیه تا سیستم تولید، استفاده از محصول و پایان عمر.

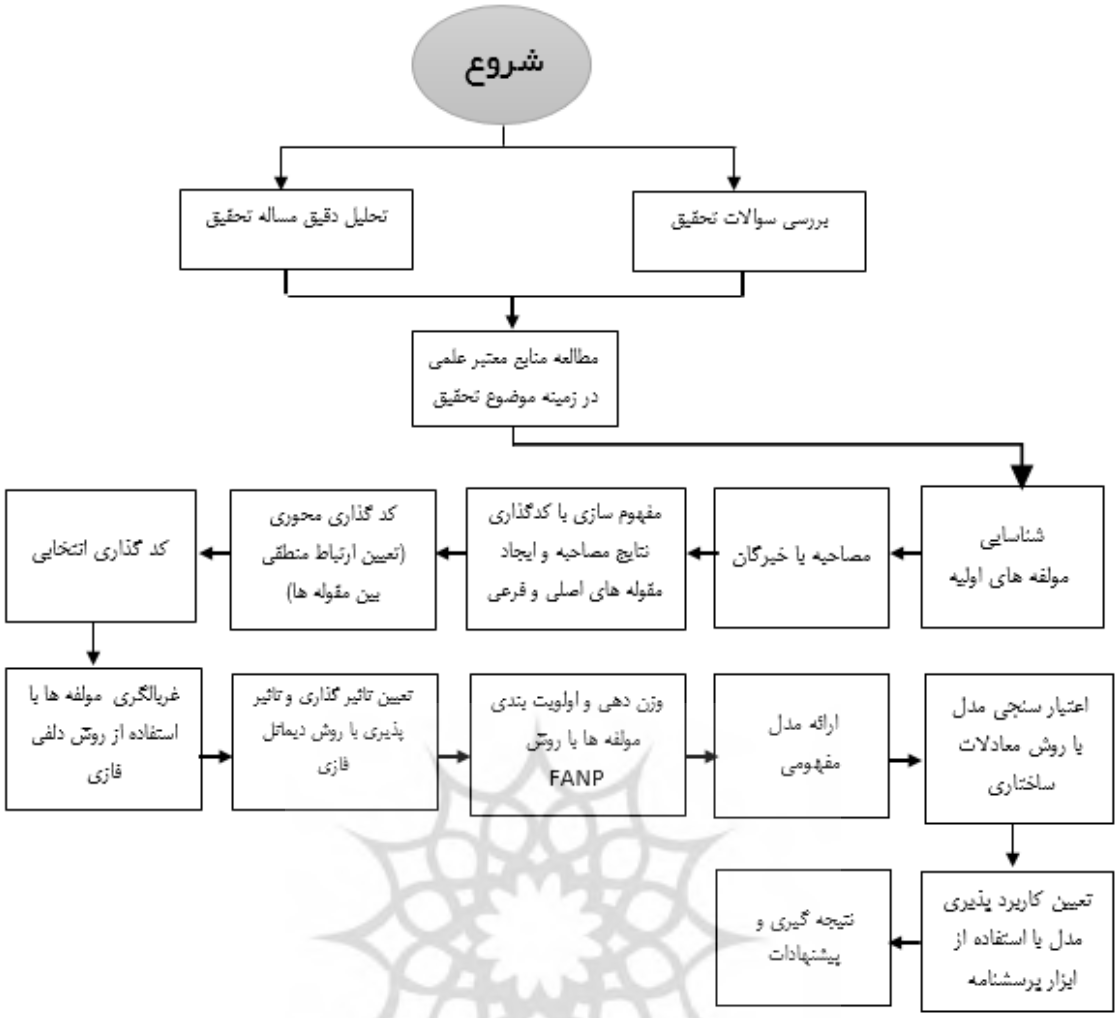
۴- روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی و از لحاظ جمع‌آوری اطلاعات، توصیفی- پیمایشی است. روش انجام این پژوهش به‌صورت آمیخته اکتشافی، در دو بخش کیفی و کمی می‌باشد. رویکرد بخش کیفی تحلیل مضمون به روش تحلیل محتوای قیاسی (مدل استروالدر و پینیور) و ابزار گردآوری اطلاعات، مصاحبه نیمه‌ساخت‌یافته با نخبگان می‌باشد که با روش نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب می‌شوند و جمع‌آوری داده‌ها تا رسیدن به اشباع نظری ادامه می‌یابد. پروتکل مصاحبه شامل: انتخاب خبرگان مناسب، استفاده از مصاحبه عمیق

نمیه‌ساختار یافته، بررسی پایایی مصاحبه در بخش کیفی با استفاده از شاخص ثبات یا پایایی بازآزمون، تدوین سوالات مصاحبه، مشخص نمودن نکات کلیدی متن مصاحبه به همراه کدگذاری‌های باز، محوری و گزینشی آنها و غربالگری، اولویت‌بندی و تعیین اوزان ابعاد و عوامل اصلی است.

پس از بررسی پیشینه موضوع، با روش تحلیل مضمون کدهای اولیه در مرحله کدگذاری باز احصاء گردید و در ادامه کدهای محوری و گزینشی توسط محقق استخراج شد. نظر به تعداد زیاد عوامل شناسایی شده، به‌منظور شناسایی مهمترین عوامل و کاهش ورودی‌ها، با استفاده از مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته، نظرات خبرگان در رابطه با ابعاد و عوامل شناسایی شده جمع‌آوری شد. برای محاسبه پایایی شاخص ثبات یا پایایی باز آزمون استفاده‌شده است؛ تعدادی از مصاحبه‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و هرکدام از آنها، دو بار در یک‌فاصله زمانی کوتاه و مشخص کدگذاری شده است. برای محاسبه پایایی تحلیل مضمون از روش هولستی استفاده شد. چنانچه ضریب پایایی محاسبه‌شده در مورد یک مصاحبه، ۶۰ درصد یا بیشتر باشد، آنگاه می‌توان اظهار داشت که پایایی کدگذاری‌های تحقیق، مورد تائید است. در مرحله بعد با استفاده از داده‌های تلفیق شده در دو مرحله مرور پیشینه و مصاحبه، به دلیل استفاده از چهارچوب استرالدر، با روش تحلیل مضمون قیاسی، طی سه مرحله کد گذاری باز، محوری و گزینشی، تعداد ۸۷ عامل در ۱۰ بعد شناسایی گردید. سپس ابعاد و مولفه های بدست آمده با روش دلفی فازی غربال‌شده و از روش دیماتل فازی برای تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان مؤلفه‌های مدل استفاده شد و درنهایت مولفه‌های استخراج شده با استفاده از ANP فازی وزن‌دهی و اولویت‌دهی گردید. در این مرحله نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های کیفی منجر به ارائه مدل مفهومی گردید. ابعاد اصلی مدل شامل: مشتریان، ارزش پیشنهادی، کانال توزیع، ارتباط با مشتری، فعالیت کلیدی، منابع کلیدی، شرکای کلیدی، جریان درآمد و هزینه، قابلیت‌های مدل و چالش‌های به‌کارگیری مدل است. در مرحله دوم پژوهش و پس از انجام پژوهش کیفی و ساخت پرسشنامه، از روش کمی به‌منظور آزمودن مدل پیشنهادی استفاده شد. هدف این مرحله از پژوهش تعیین الگوهای پیچیده عوامل و دستیابی به سطوحی از توانایی تعمیم‌پذیری در نمونه بزرگ‌تر است. در این مرحله از شیوه پژوهش توصیفی-تحلیلی و از مدل‌یابی معادلات ساختاری استفاده گردیده است. مدل ارائه‌شده با استفاده از تکنیک‌های آمار استنباطی (معادلات ساختاری) آزمودن و ارزیابی شد. در بخش استنباطی با به‌کارگیری مدل معادلات ساختاری و به طور اخص تکنیک تحلیل عاملی تأییدی از نرم‌افزار اسمارت پی ال اس استفاده شد که از طریق این نرم افزار به بررسی مسیرهای مشخص شده پژوهش مطابق با مدل مفهومی پرداخته شد.

فرآیند اجرای تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- فرآیند تحقیق

۴-۱- پروتکل مصاحبه

پروتکل مصاحبه شامل موارد ذیل است:

۱- انتخاب خبرگان مناسب جهت مصاحبه در بخش‌های کیفی و کمی؛ در بخش کیفی، مواردی همچون تحصیلات، سوابق کاری، رشته تحصیلی، شغل، جنسیت و سن و در بخش کمی، تعداد جامعه آماری و تعداد پرسش‌نامه‌ها مورد توجه واقع شد.

۲- استفاده از مصاحبه عمیق نیمه‌ساختار یافته به منظور شناسایی مهمترین عوامل و کاهش ورودی‌ها

۳- بررسی پایایی مصاحبه در بخش کیفی با استفاده از شاخص ثبات یا پایایی بازآزمون

۴- تدوین سوالات مصاحبه

۵- مشخص نمودن نکات کلیدی متن مصاحبه به همراه کدگذاری‌های باز، محوری و گزینشی آنها

۶- غربالگری، اولویت‌بندی و تعیین اوزان ابعاد و عوامل اصلی

۴-۲- خبرگان پژوهش

گروه خبره شامل خبرگان دو گروه زیر است که بسته به نوع تخصص نظری یا اجرایی از نظرات آن‌ها استفاده می‌شود. گروه اول شامل اساتید دانشگاهی و پژوهشگرانی (دانشوران) بود که در حوزه‌های توسعه یا مدیریت صنایع تولیدی، هوشمندسازی فرآیندهای تولیدی صنایع (به‌ویژه صنعت خودروسازی و صنایع وابسته) و همچنین پیاده‌سازی و انطباق دادن تکنولوژی‌های صنعت ۴ سابقه

علمی یا پژوهشی داشته‌اند.گروه دوم از جامعه آماری به مدیران و مسئولان بخش دولتی و خصوصی اختصاص دارد که در زمینه برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری و توسعه در فرآیندهای تولیدی صنایع، هوشمندسازی فرآیندهای تولیدی صنعت خودروسازی و صنایع وابسته و صنعت ۴ سابقه اجرائی دارند.

۴-۳- سوالات مصاحبه

در بررسی مقدماتی از ۵ سؤال مصاحبه استفاده شد؛ ضمن اینکه سؤال‌های فرعی دیگری نیز در حین مصاحبه مطرح شد. در حین انجام مصاحبه، پژوهشگر با پرسش سؤال‌های راهنما، صحت برداشت خود را از گفته‌های مصاحبه‌شوندگان کنترل کرد. بعد از انجام ۱۴مصاحبه، پژوهشگر به اشباع رسید. صحت اشباع در مصاحبه زمانی حاصل می‌شود که پژوهشگر داده‌های مشابه را بارها و بارها مشاهده کند. در این حالت، از لحاظ تجربی اطمینان حاصل می‌شود که یک مقوله به‌کفایت رسیده است و به‌عبارتی اشباع حاصل شده است (دانایی‌فرد و امامی، ۱۳۸۶). محورهای اصلی که در فرآیند مصاحبه مطرح گردید به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- سوالات مصاحبه

ردیف	سؤال
۱	عوامل اصلی و کلیدی در طراحی یک مدل مناسب جهت هوشمندسازی صنعت خودرو و پیاده‌سازی فرآیندها، فنآوری‌ها و نکنولوژی‌های صنعت ۴ در صنایع خودروسازی و قطعه‌سازی چیست؟
۲	قابلیت‌های این مدل و تکنولوژی مرتبط با صنعت ۴ در هوشمندسازی فرآیندهای تولیدی صنعت خودرو
۳	چالش‌های بکارگیری تکنولوژی‌ها، فرآیندها و فنآوری‌های صنعت ۴ در صنعت خودرو چیست؟
۴	از نظر شما مشکلات و موانع تولید خودرو (از نظر کمی و کیفی) در کشور چیست؟
۵	این مدل هوشمند چه مواردی از مشکلات حوزه تولید خودرو و قطعات خودرو را حل می‌کند؟

۴-۴- کدگذاری باز، محوری و گزینشی

در جدول ۲، نمونه‌ای از نکات کلیدی متن مصاحبه به همراه کدگذاری اولیه نشان داده شده است. همچنین، در جدول ۳، نمونه‌ای از کدهای محوری وگزینشی ارائه شده است.

جدول ۲- نمونه‌ای از نکات کلیدی متن مصاحبه به همراه کدگذاری اولیه

کد مصاحبه‌شونده	متن مصاحبه	کدهای اولیه (باز)
۹-۷	شرکت‌های توانمند در پیاده‌سازی تکنولوژی‌های کلیدی صنعت۴، با رویکرد هوشمند سازی فرآیندهای تولید، می‌توانند نقش دوگانه تولیدکننده و مصرف‌کننده را ایفاء نمایند.	نقش دوگانه تولیدکننده و مصرف‌کننده
۵-۳	توجه به ایده و نیاز مشتری در پایین‌ترین سطح است؛ هوشمندسازی فرآیندهای تولید تقاضامحور نیست.	توجه به ایده و نیاز مشتری؛ ضرورت تولید تقاضامحور
۸-۱۰	داشتن اپلیکیشن موبایلی حیاتی است؛ چون برخی تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ مانند اینترنت اشیاء از طریق موبایل و به‌صورت برخط قابلیت انجام و کنترل را دارند.	ضرورت برنامه کاربردی موبایل

۱۴-۲	برای هر تولیدکننده و یا مشارکت‌کننده، در تولید یک نفر اختصاص داده شود تا نحوه کار و انطباق‌پذیری با تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ پیاده‌سازی شده در فرآیندهای تولید را به کارکنان آموزش دهد و به سوالات انها پاسخ دهند. همچنین، ضمن برگزاری آموزش‌های آنلاین، اطلاعات راهنما هم از طریق داشبورد و هم کانال اختصاصی در اختیارشان قرار گیرد.	پشتیبانی اختصاصی توسط پلتفرم برنامه‌های آموزشی
۶-۳	تمرکز بر مشارکت دادن کارکنان در فرآیند انطباق‌پذیری با صنعت ۴؛ از جمله بررسی وضعیت کنونی فرآیندهای تولید، ارزیابی شکاف موجود بین وضعیت ایده‌آل و کنونی فرآیندهای تولید و انجام اقدام اصلاحی و مشارکت در ایده‌سازی و نوآوری	ضرورت مشارکت کارکنان در فرآیند انطباق‌پذیری با صنعت ۴

جدول ۳- نمونه‌ای از کدهای محوری وگزینشی

کدهای محوری	زیرعامل‌های گزینشی	ابعاد گزینشی
محققان و صاحبان تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ افراد دارای ایده و طرح در حوزه تکنولوژی‌های صنعت ۴ مشتریان دارای نقش دوگانه تولیدکننده و مصرف‌کننده	مشتریان فعال	مشتریان
توجه به نیاز مشتری ضرورت تولید تقاضامحور تولید در زمان کوتاه	تولید تقاضا محور با بازده سریع	ارزش پیشنهادی
وب‌سایت‌ها تولیدکنندگان شبکه‌های اجتماعی مشتریان اطلاع‌رسانی از طریق تولیدکنندگان	وب‌سایت‌ها و شبکه‌های تولیدکنندگان	کانال توزیع
مشارکت مشتری در تمام فرآیندهای تولیدی تغییر نقش مصرف‌کننده که شامل نقش دوگانه تولید کننده و مصرف‌کننده تقاضای مصرف‌کننده می‌تواند مستقیماً وارد محصول شود	تولید اجتماعی	فعالیت کلیدی
امکانات و تجهیزات فنی سخت‌افزاری دسترسی به منابع شبکه و پهنای باند نرم‌افزار مدیریت مشتری و فرآیندها	زیرساخت فنآوری	منابع کلیدی
استفاده از ظرفیت‌های نیروی انسانی متخصص هوشمندسازی صنایع استفاده از منابع تولیدی متفرق استفاده از ظرفیت انجمن‌ها و تعاونی‌ها تولیدی مشارکت جمعی در فرآیند تولید محصولات	توسعه ابعاد اجتماعی تولید	قابلیت‌های مدل
غیرعملیاتـــی بودن برخی قوانین و سیاست‌ها عدم هماهنگـــی، یکپارچگی، تعامل و همســـویی متولیان عدم تناسب سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری	چالش‌های حوزه قوانین و سیاست‌ها	چالش‌های بکارگیری مدل

۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱-۵- غربال‌گری عوامل (روش دلفی فازی)

با توجه به شناسایی ۸۷ زیرعامل در ۱۰ بعد (۱۰ عامل اصلی)، از تلفیق داده‌های مرور پیشینه و داده‌های جلسات مصاحبه، برای شناسایی مهمترین عوامل و همچنین تعیین اهمیت ورودی‌ها و تأثیر و تأثر عوامل و ابعاد و تعیین وزن عوامل و ابعاد از روش‌های دلفی فازی و دیماتل فازی ANP فازی استفاده می‌شود. برای انجام این کار پرسشنامه‌ای با ۸۷ سؤال (که هر سؤال بیانگر یک عامل است) طراحی گردید و ۱۴ پرسشنامه که به تعداد پاسخ دهندگان است در اختیار آنها قرار گرفت که نتایج تمام پرسشنامه‌ها به‌طور جامع و کامل به‌دست آمد. این پرسشنامه‌ها به‌صورت کیفی و براساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت از فوق‌العاده مهم تا بی‌اهمیت قید شده است. بعد از پخش و جمع‌آوری پرسشنامه، در اولین مرحله جهت

تعیین مهمترین عوامل از روش دلفی فازی استفاده می‌شود.

طی سه مرحله غربال‌گری، از ۸۷ زیرعامل، ۳۷ زیرعامل از مدل مفهومی نهایی تحقیق حذف گردید و مدل نهایی دارای ۵۰ زیرعامل گردید که در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است با توجه به مقایسه نتایج هر مرحله با نتایج مرحله قبل، در حالتی‌که اختلاف بین دو مرحله کمتر از حد آستانه ۰/۲ بود، نظرسنجی متوقف شد.

به‌عبارتی در مورد برخی از ابعاد و عوامل، اعضای گروه خبره به‌توافق نظر رسیده‌اند و میزان اختلاف نظر در دو مرحله پیاپی کمتر از حد آستانه ۰/۲ بوده است؛ لذا نظرسنجی درخصوص این عوامل متوقف گردید. از بین عوامل ذکر شده، عواملی که میانگین غیر فازی شده نظرات خبرگان کمتر از ۷ بود نیز از مدل مفهومی تحقیق حذف گردید.

جدول ۴- عوامل اصلی و زیرعامل‌های مدل نهائی

عوامل اصلی	زیر عامل	شرح	کد
مشتریان C1	سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با صنعت خودرو	شامل تمام سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با صنعت خودرو؛ برای مثال سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران و وزارت صمت	C11
	شرکت‌های فعال در زمینه سخت‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	شرکت‌های دانش بنیان هوشمندسازی و مرتبط با صنعت ۴	C12
	شرکت‌های فعال در زمینه نرم‌افزار تکنولوژی های کلیدی صنعت ۴	شرکت‌های دانش بنیان هوشمندسازی و مرتبط با صنعت ۴	C13
	محققان و ایده‌پردازان تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	محققان، پژوهشگران، اساتید دانشگاه و کارشناسان فعال درخصوص صنعت ۴	C14
	شرکت‌های خودروسازی و خدمات پس از فروش خودرو	شامل شرکت‌های دولتی، نیمه‌دولتی و خصوصی خودروسازی و خدمات پس از فروش	C15
ارزش پیشنهادی C2	بهره‌مندی از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	استفاده از تمام ظرفیت‌های موجود در صنعت ۴	C21
	گسترش و تقویت نظارت بر قرآیند تولید	ارائه راه‌کارهائی برای نظارت و تقویت فرآیند تولید از طریق هوشمندسازی فرآیندها	C22
	امکان ایجاد فرآیندهای تولید خطا ناپذیر	اصلاح فرآیندها برای رسیدن به یک فرآیند خطاناپذیر	C23
	عرضه مستقیم و حذف واسطه‌ها	ارتباط مستقیم تولید کننده و مصرف کننده	C24
	کاهش هزینه‌های تولید	کاهش هزینه‌های تولید از طریق بهبود فرآیندهای تولیدی	C25
کانال توزیع C3	نسخه وب	وب‌سایتی پویا شامل تمام داشبودها و سرویس‌های مورد نیاز	C31
	برنامه کاربردی موبایل	نرم افزار موبایلی متصل به وب‌سایت مرتبط با هوشمندسازی و صنعت خودرو	C32
	رسانه‌های اجتماعی	صفحات کانال‌ها و گروه‌های شبکه‌های اجتماعی مرتبط با صنعت خودرو	C33
	کارگزاران پلتفرم	اتصال کاربران توسط کارگزاران و از طریق پنل‌ها و وب‌سایت های خود	C34
	وب‌سایت‌ها و شبکه‌های تولید کنندگان	تمامی ظرفیت‌های اطلاع‌رسانی در اختیار تولید کنندگان خودرو	C35
ارتباط با مشتری C4	پشتیبانی اختصاصی	همراهی و پاسخگویی به موقع به کاربران	C41
	برنامه‌های تشویقی و تبلیغاتی	کمپین‌های تبلیغاتی و شیوه‌های مختلف تشویقی	C42
	باشگاه مشتریان	برگزاری دوره‌ها و کارگاه‌های آموزشی برای تولید کنندگان و مشتریان	C43
	رسانه ملی	نقش رسانه ملی در هوشمندسازی صنایع و معرفی صنعت ۴	C44
	رویدادهای جمعی	حفظ مشتریان و وفادارسازی آنان، ارتباط موثر و مستمر	C45

فعالیت کلیدی C5	تولید هوشمند	تولیدی با فرآیندهای تولیدی و کنترلی هوشمند و خودکار	C51
	تولید بهینه	تولیدی با فرآیندهای تولیدی و کنترلی بهینه؛ به‌منظور رسیدن به حداکثر بازدهی و حداقل خطا و کاهش هزینه‌های تولید	C52
	سفارشی‌سازی	تولید محصول با در نظر گرفتن نیاز و انتخاب مشتری	C53
	توسعه و نگهداری پلتفرم	انجام تمام امور پشتیبانی فنی و توسعه امکانات و خدمات پلتفرم	C54
	آموزش و اطلاع‌رسانی	آموزش و اطلاع‌رسانی در زمینه مزایا و فرآیندهای هوشمندسازی صنایع	C55
منابع کلیدی C6	صاحبان ایده در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	استفاده از دانش و تجربیات صاحبان ایده در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	C61
	صاحبان محتوا در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	استفاده از دانش و تجربیات صاحبان محتوا در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	C62
	انجمن‌ها و شرکت‌های مرتبط با صنعت خودرو	استفاده از دانش و تجربیات انجمن‌ها و شرکت‌های مرتبط با صنعت خودرو	C63
	صاحبان ایده و فنآوری در حوزه صنعت خودرو	استفاده از دانش و تجربیات صاحبان ایده و فنآوری در حوزه صنعت خودرو	C64
	تجربیات پیاده‌سازی فرآیندهای تولید هوشمند	استفاده از تجربیات پیاده‌سازی فرآیندهای تولید هوشمند در سایر حوزه‌ها از جمله حوزه‌های فرهنگی و اجتماعی	C65
شرکای کلیدی C7	شرکت‌های توسعه فنآوری	کلیه شرکت‌های توسعه فنآوری به‌ویژه فعال در حوزه صنعت	C71
	انجمن‌ها و جوامع صنفی مربوط به صنعت خودرو	انجمن‌ها و جوامع صنفی مربوط به صنعت خودرو؛ برای مثال انجمن خودروسازان ایران، انجمن سازندگان قطعات و مجموعه‌های خودرو و انجمن قطعه‌سازان خودرو	C72
	سرمایه‌گذاران	سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی مرتبط با صنایع خودروسازی و قطعه‌سازی	C73
	رسانه‌های تخصصی حوزه هوشمند سازی صنعت خودرو		C74
	تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان محصولات تولیدی	تولید کنندگان، مشتریان فعال (دارای نقش دوگانه مصرف کننده و تولید کننده) و مشتریان حقیقی و حقوقی	C75
جریان هزینه و درآمد C8	هزینه‌های ثابت	هزینه‌های محل کار، تجهیزات و هزینه‌های اداری	C81
	هزینه‌های متغیر	هزینه‌های دستمزد، توسعه و نگهداری و بازاریابی	C82
	هزینه‌های پیش‌بینی نشده	هزینه های مالیات و عوارض، آموزش و اشتباهات	C83
	دریافت کارمزد	دریافت کارمزد به ازای تولید و فروش محصول	C84
	درآمد ناشی از پیش‌فروش خودرو به‌صورت هوشمند	درآمد ناشی از پیش‌فروش خودرو به‌صورت هوشمند	C85
قابلیت‌های مدل C9	توسعه ابعاد هوشمندسازی فرآیندهای تولید در صنعت خودرو	هوشمندسازی کلیه فرآیندهای تولیدی در صنعت خودروسازی و توسعه آن	C91
	ایجاد رقابت بین تولیدکنندگان	ایجاد فضای رقابتی بین تولید کنندگان	C92
	استفاده از روش‌های تولیدی جدید در صنعت خودرو	استفاده از تکنولوژی‌های صنعت ۴ برای ارائه روش‌نوین تولید در صنعت خودرو	C93
	بهره‌مندی از فنآوری توین صنعت ۴	بهره‌مندی از فنآوری توین صنعت ۴ در صنایع مختلف ازجمله صنعت خودروسازی	C94
	شفاف‌سازی تعاملات صنعت ۴	شفاف‌سازی ارتباطات و تبادل نظر صنعت ۴	C95
چالش‌های بکارگیری مدل C10	چالش‌های فنی و زیرساخت	مشکلات فنی پلتفرم‌های داخلی از قبیل تجهیزات، سیستم‌های ذخیره سازی و پهنای باند در کشور	C101
	توزیع ناهمگون و ضعف دسترسی فراگیر به تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	مهیا نبودن دسترسی به تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ برای همه افراد و به‌طور یکسان	C102
	چالش‌های حوزه قوانین و سیاست‌ها	چالش‌های سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری و نظارت بر اجرای قوانین	C103

	کمبود آشنایی افراد فعال در حوزه صنعت خودرو با مباحث تولید هوشمند و فناوری‌های نوین	عمدتاً یکی از چالش‌های مهم در پیاده‌سازی صنعت ۴ در صنایع مختلف، عدم آشنائی افراد فعال در حوزه صنعت با مباحث صنعت ۴ است.	C104
	هزینه بالای پیاده‌سازی تکنولژی های کلیدی صنعت ۴	هزینه بالای پیاده‌سازی تکنولژی های کلیدی صنعت ۴ برای اولین بار	C105

۲-۵- عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر (روش دیماتل فازی)

با استفاده از روش دیماتل فازی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان مؤلفه‌های مدل بررسی می‌شود و درنهایت مولفه‌های استخراج شده با استفاده از ANP فازی وزن‌دهی و اولویت‌دهی گردید. در جداول ۶ و ۷ دیفازی شده مقادیر اثرگذاری $(\widetilde{D})$، اثرپذیری $(\widetilde{R})$، اهمیت اثرگذاری $(\widetilde{D}+\widetilde{R})$ و اثر پذیری خالص $(\widetilde{D}-\widetilde{R})$ برای عوامل اصلی و زیرعوامل‌ها ارائه شده است.

جدول ۵- اهمیت و تأثیرگذاری عوامل

عوامل	D	R	D+R	D-R	نتیجه
مشتریان	۴/۶۷	۴/۲۷۸	۸/۹۴۷	۰/۳۹۲	اثر گذار
ارزش پیشنهادی	۴/۳۲۱	۴/۵۶۲	۸/۸۷۲	-۰/۲۴۱	اثر پذیر
کانال توزیع	۴/۴۳۱	۴/۵۵۲	۸/۹۸۳	-۰/۱۲	اثر پذیر
ارتباط با مشتری	۳/۶۳۲	۳/۴۰۷	۷/۰۳۹	۰/۲۲۵	اثر گذار
فعالیت کلیدی	۴/۳۲۱	۳/۸۱	۸/۱۳	۰/۵۱	اثر گذار
منابع کلیدی	۴/۶۱	۳/۷۹	۸/۴	۰/۸۲	اثر گذارترین
شرکای کلیدی	۴/۶۷	۴/۲۷۸	۸/۹۴۷	۰/۳۹۲	اثر گذار
و درآمد جریان هزینه	۳/۸۴۷	۴/۶۸۸	۸/۵۳۵	-۰/۸۴۱	اثر پذیر
قابلیت‌های مدل	۳/۷۹۱	۴/۶۶۸	۸/۴۵۹	-۰/۸۸	اثر پذیرترین
چالش‌های بکارگیری مدل	۴/۰۸۲	۳/۹۵۲	۸/۰۳۳	۰/۱۳	اثر گذار

بر اساس جدول ۵، اگر برای یک شاخص مقدار $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ مثبت شود، آن شاخص اثرگذار و اگر مقدار $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ برای آن شاخص منفی شود، آن شاخص، اثرپذیر است؛ بنابراین در بین عوامل اصلی، شاخص‌های مشتریان، ارتباط با مشتری، فعالیت کلیدی، منابع کلیدی، شرکای کلیدی و چالش‌های بکارگیری دارای مقدار $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ مثبت هستند و بنابراین بر دیگر عوامل اثرگذار هستند. همچنین، شاخص‌های ارزش پیشنهادی، کانال توزیع، جریان هزینه و درآمد و قابلیت‌های مدل دارای $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ منفی هستند و از دیگر عوامل اثر می‌پذیرند. به‌طورکلی $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ مثبت، عامل علی و $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ منفی، عامل معلول اثرپذیر محسوب می‌شود. مطابق جدول ۶، مقادیر منفی $\widetilde{D}-\widetilde{R}$ برای زیر عوامل‌ها نشان دهنده آن است که این زیرعوامل‌ها از دیگر عوامل اثر می‌پذیرند.

جدول ۶- اهمیت و تأثیرگذاری زیر عوامل

عوامل اصلی	زیر عامل	D	R	D+R	D-R	نتیجه
مشتریان C1	سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با صنعت خودرو	۰/۴۱۲	۰/۴۲۸	۰/۸۴۱	-۰/۰۱۶	اثر پذیر
	شرکت‌های فعال در زمینه سخت‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۲۴	۰/۳۸۳	۰/۸۰۷	۰/۰۴۱۲	اثر گذار
	شرکت‌های فعال در زمینه نرم‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۰۸	۰/۴۰۳	۰/۸۱۱	۰/۰۰۵۱	اثر گذار
	محققان و ایده‌پردازان تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۱۱	۰/۴۰۷	۰/۸۱۸	۰/۰۰۴۵	اثر گذار
	شرکت‌های خودروسازی و خدمات پس از فروش خودرو	۰/۳۷۸	۰/۴۳	۰/۸۰۸	-۰/۰۵۱	اثر پذیر
C2 ارزش پیشنهادی	بهره‌مندی از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۳۸	۰/۳۵۳	۰/۷۳۳	۰/۰۲۶۵	اثر گذار
	گسترش و تقویت نظارت بر قرآیند تولید	۰/۴۰۷	۰/۳۴۶	۰/۷۵۳	۰/۰۶۱۷	اثر گذار
	امکان ایجاد فرآیندهای تولید خطا ناپذیر	۰/۴۶۶	۰/۴۴۱	۰/۹۰۷	۰/۰۲۴۹	اثر گذار
	عرضه مستقیم و حذف واسطه‌ها	۰/۳۶۸	۰/۳۹۸	۰/۷۶۶	-۰/۰۳	اثر پذیر
	کاهش هزینه‌های تولید	۰/۴۲۷	۰/۴۲۸	۰/۸۵۵	-۰/۷۰۴	اثر پذیر
کانال توزیع C3	نسخه وب	۰/۴۸۸	۰/۴۹۲	۰/۹۸	-۰/۰۰۴	اثر پذیر
	برنامه کاربردی موبایل	۰/۴۶۷	۰/۴۸۴	۰/۹۵۱	-۰/۰۱۷	اثر پذیر
	رسانه‌های اجتماعی	۰/۴۳۲	۰/۴۰۲	۰/۸۳۴	۰/۰۳۰۵	اثر گذار
	کارگزاران پلتفرم	۰/۴۲۶	۰/۴۰۳	۰/۸۲۹	۰/۰۲۳۲	اثر گذار
	وب‌سایت‌ها و شبکه‌های تولید کنندگان	۰/۳۸۲	۰/۳۸۲	۰/۷۶۴	-۰/۵۰۵	اثر پذیر
ارتباط با مشتری C4	پشتیبانی اختصاصی	۰/۳۸	۰/۳۵۳	۰/۷۳۳	۰/۰۲۶۵	اثر گذار
	برنامه‌های تشویقی و تبلیغاتی	۰/۴۶۶	۰/۴۴۱	۰/۹۰۷	۰/۰۲۴۹	اثر گذار
	باشگاه مشتریان	۰/۴۶۷	۰/۴۸۴	۰/۹۵۱	-۰/۰۱۷	اثر گذار
	رسانه ملی	۰/۳۷۸	۰/۴۳	۰/۸۰۸	-۰/۰۵۱	اثر پذیر
	رویدادهای جمعی	۰/۴۸۸	۰/۴۹۲	۰/۹۸	-۰/۰۰۴	اثر پذیر
فعالیت کلیدی C5	تولید هوشمند	۰/۴۲۶	۰/۴۰۳	۰/۸۲۹	۰/۰۲۳۲	اثر گذار
	تولید بهینه	۰/۴۰۷	۰/۳۴۶	۰/۷۵۳	۰/۰۶۱۷	اثر گذار
	سفارشی سازی	۰/۳۸	۰/۳۵۳	۰/۷۳۳	۰/۰۲۶۵	اثر گذار
	توسعه و نگهداری پلتفرم	۰/۴۲۷	۰/۴۲۸	۰/۸۵۵	-۰/۷۰۴	اثر پذیر
	آموزش و اطلاع‌رسانی	۰/۴۶۷	۰/۴۸۴	۰/۹۵۱	-۰/۰۱۷	اثر پذیر
منابع کلیدی C6	صاحبان ایده در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۳۸	۰/۳۵۳	۰/۷۳۳	۰/۰۲۶۵	اثر گذار
	صاحبان محتوا در حوزه تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۶۳	۰/۴۷	۰/۹۳۳	-۰/۰۰۷	اثر پذیر
	انجمن‌ها و شرکت‌های مرتبط با صنعت خودرو	۰/۴۲۶	۰/۴۰۳	۰/۸۲۹	۰/۰۲۳۲	اثر گذار
	صاحبان ایده و فنآوری در حوزه صنعت خودرو	۰/۴۷۳	۰/۴۸۵	۰/۹۵۸	-۰/۰۱۲	اثر پذیر
	تجربیات پیاده‌سازی فرآیندهای تولید هوشمند	۰/۴۴۵	۰/۴۴۴	۰/۸۸۹	۰/۰۰۰۸	اثر گذار
شرکای کلیدی C7	شرکت‌های توسعه فنآوری	۰/۴۳۱	۰/۳۵۶	۰/۷۸۸	۰/۰۷۴۹	اثر گذار
	انجمن‌ها و جوامع صنفی مربوط به صنعت خودرو	۰/۴۸۳	۰/۴۶۵	۰/۹۴۹	۰/۰۱۷۸	اثر گذار

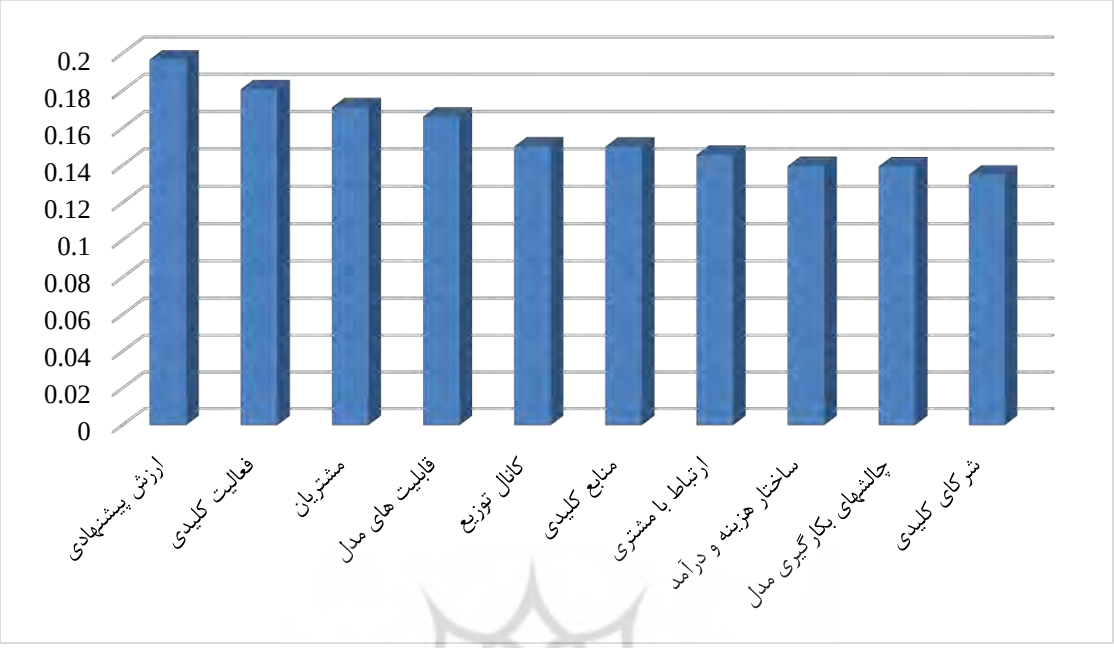
	سرمایه‌گذاران	۰/۴۰۲	۰/۳۳۹	۰/۷۴۱	۰/۰۶۲۶	اثر گذار
	رسانه‌های تخصصی حوزه هوشمند سازی صنعت خودرو	۰/۴۰۸	۰/۴۰۳	۰/۸۱۱	۰/۰۰۵۱	اثر گذار
	تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان محصولات تولیدی	۰/۴۶۷	۰/۴۸۴	۰/۹۵۱	-۰/۰۱۷	اثر پذیر
جریان هزینه و درآمد C8	هزینه‌های ثابت	۰/۴۷۳	۰/۴۸۵	۰/۹۵۸	-۰/۰۱۲	اثر پذیر
	هزینه‌های متغیر	۰/۴۸۸	۰/۴۹۲	۰/۹۸	-۰/۰۰۴	اثر پذیر
	هزینه‌های پیش‌بینی نشده	۰/۴۲۶	۰/۴۰۳	۰/۸۲۹	۰/۰۲۳۲	اثر گذار
	دریافت کارمزد	۰/۳۸	۰/۳۵۳	۰/۷۳۳	۰/۰۲۶۵	اثر گذار
	درآمد ناشی از پیش‌فروش خودرو به‌صورت هوشمند	۰/۴۲۴	۰/۳۸۳	۰/۸۰۷	۰/۰۴۱۲	اثر گذار
C9 قابلیت‌های مدل	توسعه ابعاد هوشمندسازی فرآیندهای تولید در صنعت خودرو	۰/۴۲۱	۰/۴۶۸	۰/۸۹	-۰/۰۴۷	اثر پذیر
	ایجاد رقابت بین تولیدکنندگان	۰/۴۰۲	۰/۳۳۹	۰/۷۴۱	۰/۰۶۲۶	اثر گذار
	استفاده از روش‌های تولیدی جدید در صنعت خودرو	۰/۴۲۴	۰/۳۸۳	۰/۸۰۷	۰/۰۴۱۲	اثر گذار
	بهره‌مندی از فنآوری توین صنعت ۴	۰/۴۴۵	۰/۴۴۴	۰/۸۸۹	۰/۰۰۰۸	اثر گذار
	شفاف‌سازی تعاملات صنعت ۴	۰/۴۱۲	۰/۴۲۸	۰/۸۴۱	-۰/۰۱۶	اثر پذیر
چالش‌های بکارگیری مدل C10	چالش‌های فنی و زیرساخت	۰/۴۰۲	۰/۴۲۴	۰/۸۲۶	-۰/۰۲۳	اثر پذیر
	توزیع ناهمگون و ضعف دسترسی فراگیر به تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۵۳	۰/۳۸۳	۰/۸۳۵	۰/۰۶۹۶	اثر گذار
	چالش‌های حوزه قوانین و سیاست‌ها	۰/۴۲۷	۰/۴۲۸	۰/۸۵۵	-۰/۷۰۴	اثر پذیر
	کمبود آشنایی افراد فعال در حوزه صنعت خودرو با مباحث تولید هوشمند و فنآوری‌های نوین	۰/۴۲۴	۰/۳۸۳	۰/۸۰۷	۰/۰۴۱۲	اثر گذار
	هزینه بالای پیاده‌سازی تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴	۰/۴۰۲	۰/۳۳۹	۰/۷۴۱	۰/۰۶۲۶	اثر گذار

۳-۵- وزن‌بندی عوامل (روش تحلیل شبکه، ANP فازی)

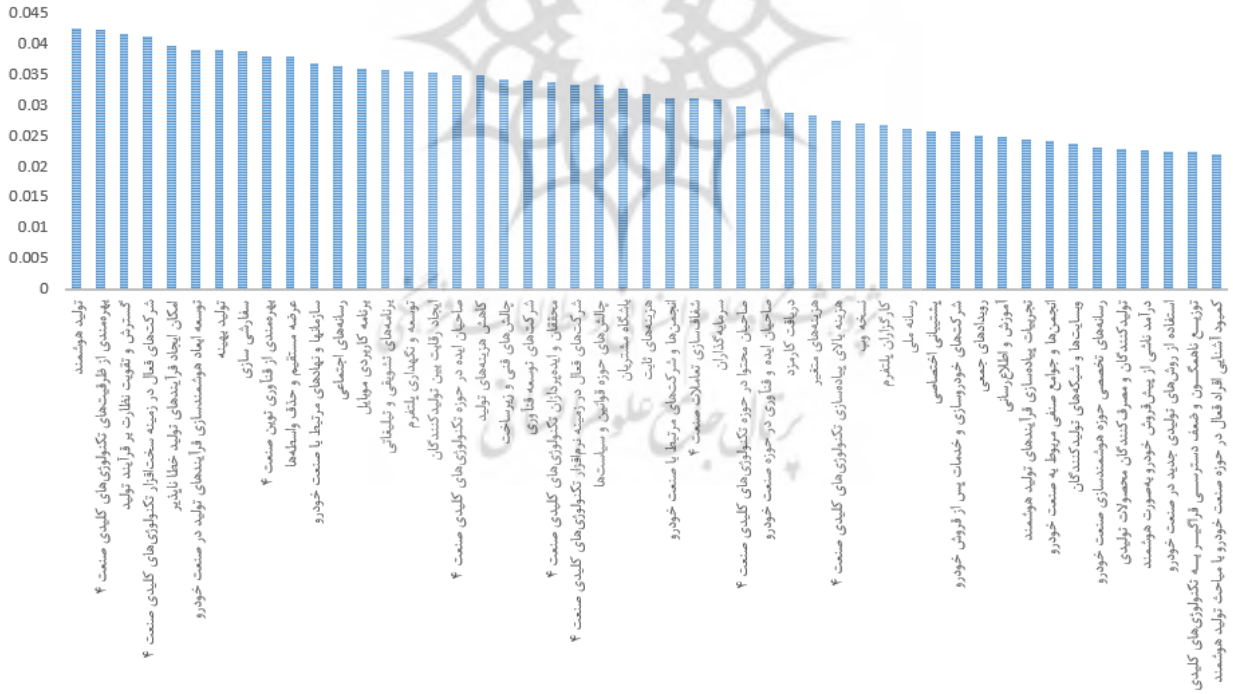
برای تعیین وزن عوامل و ابعاد مدل پژوهش از روش ANP فازی استفاده شده است. در این مرحله با توجه به ماتریس روابط کلی که میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل را نشان می‌دهد، اقدام به حل ANP فازی می‌نماییم. در این بخش ابتدا ماتریس روابط کلی نرمالیزه می‌شود و سپس ماتریس سوپر ماتریس موزون فازی محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که ماتریس ناموزون همان ماتریس روابط کلی است. با استفاده از سوپر ماتریس حد دار، وزن عوامل و زیرعوامل تعیین می‌گردد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش ANP فازی نشان می‌دهد که وزن‌بندی عوامل اصلی به‌ترتیب: ارزش پیشنهادی، فعالیت کلیدی، مشتریان، قابلیت‌های مدل، کانال توزیع، منابع کلیدی، ارتباط با مشتری، ساختار هزینه و درآمد، چالش‌های به‌کارگیری مدل و شرکای کلیدی است. در بین زیرعوامل نیز، زیر عامل تولید هوشمند اولویت اول را به دست آورده است. بهره‌مندی از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت دوم، عامل گسترش و تقویت نظارت بر فرآیند تولید اولویت سوم، شرکت‌های فعال در زمینه سخت‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت چهارم، امکان ایجاد فرآیندهای تولید خطا ناپذیر اولویت پنجم و درنهایت، توسعه ابعاد هوشمندسازی فرآیندهای تولید در صنعت خودرو در اولویت ششم در بین ۵۰ زیرعامل کسب کردند که تقریبا

۳۰٪ درصد از وزن کل زیرعوامل را به خود اختصاص دادند و این نشان از اهمیت بسیار زیاد این زیرعوامل است. شکل ۳ نمودار اولویت عوامل اصلی و شکل ۴ نمودار اولویت نهایی زیرعوامل به روش F.ANP را نشان می‌دهد.



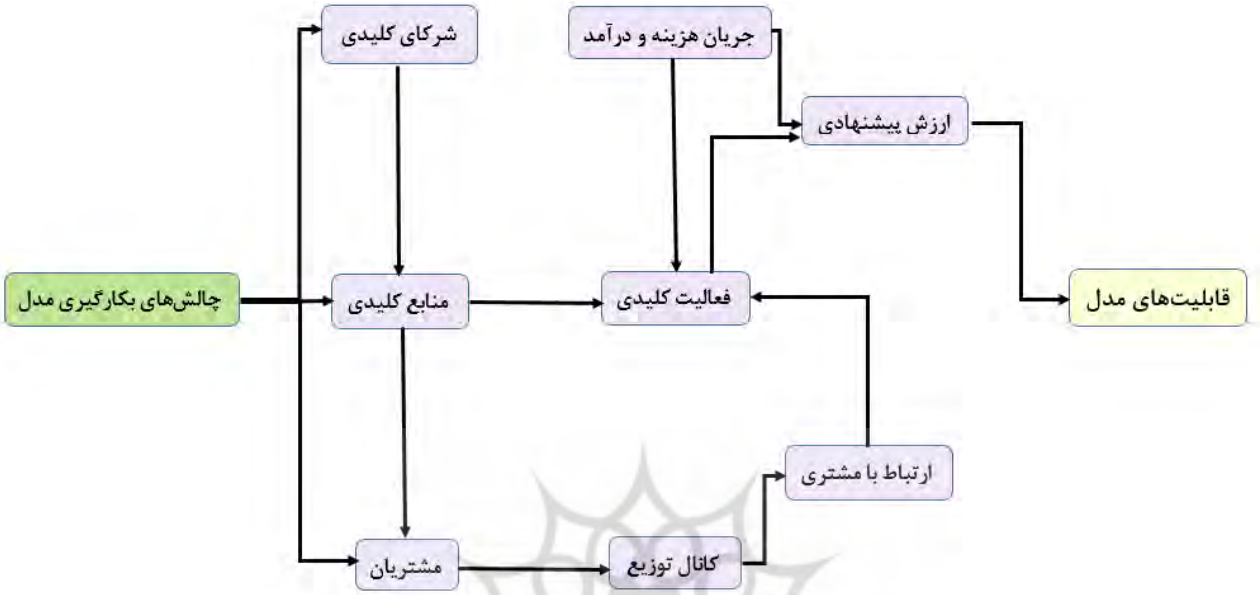
شکل ۳- نمودار اولویت عوامل اصلی



شکل ۴- نمودار اولویت نهایی زیرعوامل

۶- مدل مفهومی (اولیه و نهائی)

در آنالیز مطالعه و مصاحبه‌های انجام شده و غربالگری داده‌ها، یک چارچوب مفهومی و اولیه (و درنهایت مدل نهائی) برای پژوهش ارائه شده است. این چارچوب مفهومی می‌تواند به عنوان یک راهنمای اولیه برای هدایت مسیر پژوهش استفاده شود. در شکل ۵ این چارچوب مفهومی نشان داده شده است.



شکل ۵- مدل مفهومی اولیه و نهائی

۱-۶- برازش مدل اندازه‌گیری

معیارهای ارزیابی برازش مدل اندازه‌گیری شامل دو قسمت است (سعید نهائی و احمدی، ۱۳۸۶؛ محسنین و اسفیدانی، ۱۳۹۶):

۱- پایایی مدل (ضرایب بار عاملی، آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی CR و پایایی اشتراکی)

۲- آزمون روایی مدل اندازه‌گیری (تأییدی، همگرا و واگرا)

در اشکال ۶ و ۷، نتایج پایائی مدل و همچنین، آزمون روائی مدل نشان داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۶- پایائی مدل

سنجش بارهای عاملی نشان می‌دهد که از ۵۰ زیرعامل، ۴ زیرعامل به‌واسطه آنکه ضرائب بار عاملی آنها کمتر از ۰/۵ بود (حدود ۰/۳)، حذف گردید. همچنین، با بررسی مقادیر آلفای کرونباخ و پایائی ترکیبی و اشتراکی هر ۱۰ عامل اصلی تأیید شد (مطابق شکل ۶).

شکل ۷- آزمون روائی مدل

با بررسی و تحلیل آزمون‌های روائی تأییدی (Carmines and Zeller, 2005)، روائی همگرا و روائی واگرا (آزمون فورنل و لارکر – روایی تشخیصی) (Fornell and Larcker, 1981)، هر ۱۰ عامل اصلی تأیید شد (مطابق شکل ۷).

۲-۶- برازش مدل ساختاری

در روش پی ال اس پس از برازش مدل‌های اندازه گیری، برازش مدل ساختاری پژوهش بررسی می‌شود. برخلاف مدل‌های اندازه‌گیری که در آن روابط بین متغیر مکنون با متغیرهای آشکار مورد توجه است، در بررسی مدل ساختاری روابط بین متغیرهای مکنون با همدیگر تجزیه و تحلیل می‌شود و درنهایت، معیارهای ضرایب

معناداری t-values، معیار R Squares یا 2R برای برازش مدل ساختاری بررسی می‌گردد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳).

در شکل ۸، نتایج برازش مدل ساختاری نشان داده شده است. آزمون R Squares، برازش نسبتاً قوی مدل ساختاری را نشان می‌دهد. ضریب تعیین R^2 برای تمام متغیرهای درون‌زا بالای ۰/۳۳ و برای برخی متغیرها بالای ۰/۶۷ است. همچنین، معیار GOF، برازش قوی مدل ساختاری را نشان می‌دهد (Tenenhaus et al., 2004; Wetzels et al., 2009). مقدار GOF برای مدل ۰/۵۱۶۷ به‌دست می‌آید که نشان دهنده قوی بودن مدل است. درنهایت، ضرایب معناداریt-values که عدد آن بالاتر از ۱/۹۶ است و بیانگر صحت رابطه بین سازه‌ها و درنتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

شکل ۸- برازش مدل ساختاری

۷- نتیجه‌گیری

در اینجا، طراحی یک مدل مفهومی جهت انطباق‌پذیری فرآیندهای تولیدی و عملیاتی در صنعت خودروسازی (و صنایع وابسته) در راستای صنعت ۴ با رویکرد هوشمندسازی انجام شد. طراحی این مدل مفهومی با رویکرد هوشمندسازی و به جهت انطباق‌پذیری فرآیندهای تولیدی و عملیاتی مرتبط با صنعت خودرو در راستای صنعت ۴ به‌عنوان نوآوری پژوهش مطرح بود. این پژوهش از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی و از لحاظ جمع‌آوری اطلاعات، توصیفی- پیمایشی بود. روش انجام این پژوهش به‌صورت آمیخته اکتشافی، در دو بخش کیفی و کمی بود. رویکرد بخش کیفی تحلیل مضمون به روش تحلیل محتوای قیاسی (مدل استروالدر و پینیور) و ابزار گردآوری اطلاعات، مصاحبه نیمه‌ساخت‌یافته با نخبگان بود که با روش نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب شدند و جمع‌آوری داده‌ها تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت. از بین عوامل اصلی مدل، منابع کلیدی به‌عنوان اثرگذارترین و قابلیت‌های مدل به‌عنوان اثرپذیرترین عامل معرفی شد. همچنین، عوامل مشتریان، ارتباط با مشتری، فعالیت کلیدی، شرکای کلیدی و چالش‌های به‌کارگیری مدل به‌عنوان عوامل اثرگذار و ارزش پیشنهادی، کانال توزیع و جریان هزینه و درآمد به‌عنوان اثرپذیر شناخته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش ANP فازی نشان داد که وزن‌بندی عوامل اصلی به‌ترتیب: ارزش پیشنهادی، فعالیت کلیدی، مشتریان، قابلیت‌های مدل، کانال توزیع، منابع کلیدی، ارتباط با مشتری، ساختار هزینه و درآمد، چالش‌های به‌کارگیری مدل و شرکای کلیدی است. در بین زیرعوامل نیز، زیر عامل تولید

هوشمند اولویت اول را به دست آورده است. بهره‌مندی از ظرفیت‌های تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت دوم، عامل گسترش و تقویت نظارت بر فرآیند تولید اولویت سوم، شرکت‌های فعال در زمینه سخت‌افزار تکنولوژی‌های کلیدی صنعت ۴ اولویت چهارم، امکان ایجاد فرآیندهای تولید خطا ناپذیر اولویت پنجم و درنهایت، توسعه ابعاد هوشمندسازی فرآیندهای تولید در صنعت خودرو در اولویت ششم در بین ۵۰ زیرعامل کسب کردند که تقریبا ۳۰٪ درصد از وزن کل زیرعوامل را به خود اختصاص دادند و این نشان از اهمیت بسیار زیاد این زیرعوامل است.

سنجش بارهای عاملی نشان می‌دهد که از ۵۰ زیرعامل، ۴ زیرعامل به‌واسطه آنکه ضرائب بار عاملی آنها کمتر از ۰/۵ بود (حدود ۰/۳)، حذف گردید. همچنین، با بررسی مقادیر آلفای کرونباخ و پایائی ترکیبی و اشتراکی هر ۱۰ عامل اصلی تأیید شد. با بررسی و تحلیل آزمون‌های روائی تأییدی، روائی همگرا و روائی واگرا (آزمون فورنل و لارکر – روایی تشخیصی)، هر ۱۰ عامل اصلی تأیید شد.

مطابق با الگوریتم تحلیل داده‌ها، در روش پی ال اس، پس از برازش مدل‌های اندازه‌گیری، برازش مدل ساختاری پژوهش بررسی می‌شود. برخلاف مدل‌های اندازه گیری که در آن روابط بین متغیر مکنون با متغیرهای آشکار مورد توجه است، در بررسی مدل ساختاری روابط بین متغیرهای مکنون با همدیگر تجزیه و تحلیل شده و معیارهای ضرایب معناداری t-values، معیار R Squares یا 2R برای برازش مدل ساختاری بررسی می‌گردد. نتایج برازش مدل ساختاری نشان داده شده است. آزمون R Squares، برازش نسبتاً قوی مدل ساختاری را نشان می‌دهد. ضریب تعیین R^2 برای تمام متغیرهای درون‌زا بالای ۰/۳۳ و برای برخی متغیرها بالای ۰/۶۷ است. همچنین، معیار GOF، برازش قوی مدل ساختاری را نشان می‌دهد. مقدار GOF برای مدل ۰/۵۱۶۷ به‌دست می‌آید که نشان دهنده قوی بودن مدل است. درنهایت، ضرایب معناداریt-values که عدد آن بالاتر از ۱/۹۶ است و بیانگر صحت رابطه بین سازه‌ها و درنتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

منابع

داوری، علی؛ رضازاده، آرش، (۱۳۹۳). مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

سعید نهایی، وحید؛ علی احمدی علی‌رضا، (۱۳۸۶). کتاب توصیفی جامع از روش‌های تحقیق (پارادایم‌ها، استراتژی‌ها، طرح‌ها و رویکردهای کمی، کیفی و ترکیبی)، تولید دانش.

دانایی‌فرد، حسن؛ امامی، سید مجتبی، (۱۳۸۶). استراتژی‌های پژوهش کیفی: تأملی بر نظریه‌پردازی داده‌بنیاد، مجله علمی تخصصی اندیشه مدیریت راهبردی.

اسفیدانی، محمدرحیم؛ محسنین، شهریار، (۱۳۹۳). معادلات ساختاری مبتنی بر رویکرد حداقل مربعات جزئی به کمک نرم‌افزار Smart-PLS: آموزشی و کاربردی، موسسه کتاب مهربان.

Alcácer, V., Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (3), 899–919.

Carmines, E.G., Zeller, R.A. (1991). *Reliability and validity assessment*. Newbury Park: Sage Publications.

Ebrahimi, M., Baboli, A., Rother, E. (2019). The Evolution of World Class Manufacturing toward Industry 4.0: A Case Study in the Automotive Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (10), 188–194.

Fornell, C., Larcker, D.F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18 (1), 39–50.

Ghobakhloo, M. (2018). The Future of Manufacturing Industry: A Strategic Roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 29 (6), 910–936.

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Springer.

Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.H. (2018). Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*. 117, 408–25.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., Hoffmann, M. 2014. Industry 4.0. Bus. *Information Systems Engineering*, 6 (4), 239–242.

Nayyar, A., Kumar, A. (2020). *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*. Springer.

Olsson, J.G., Yuanjing Xu. (2018). *Industry 4.0 Adoption in the Manufacturing Process: Multiple Case Study of Electronic Manufacturers and Machine Manufacturers*. Master thesis. Linnaeus University in Växjö, Sweden.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*. 11 (5), 77–90.

Saucedo-Martínez, J.A., Pérez-Lara M., Marmolejo-Saucedo J.A., Salais-Fierro, T.E., Vasant, P. (2018). Industry 4.0 Framework for Management and Operations: A Review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 9 (3), 789–801.

Tenenhaus, M., Amato, S., Esposito Vinzi, V. (2004), A global goodness-offit index for PLS structural equation modeling, *Proceedings of the XLII SIS Scientific Meeting.* 1, 739–742.

Ustundag, A., Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Springer.

Wetzels, M., Odekkerken-Schroder, G., Van Oppen, C. (2009). Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration, *MIS Quarterly*. 33 (1), 177.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی