Journal of Intelligent Strategic Management
Vol(4), 213-240.
Bumara.ir

Presenting a model for the non-exclusive development of the connected car ecosystem in the market to determine roles and responsibilities in the Internet of Things

Sima Salehi — Department of Information Technology Management, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran .

Ladan Riazi * — Department of Information Technology Management, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Ebrahim Nazari Farrokhi — Department of Knowledge Management, Faculty of Social Sciences, AJA Command and Staff University , Tehran, Iran.

Original Research
Received: 2025/01/26
Review: 2025/03/15
Accepted: 2025/03/18
eISSN: 2891-4128

Abstract

The main challenge of this research is the lack of a systematic model for the convergence of Industry 4.0 technologies in the connected car ecosystem in Iran; a gap that leads to the dispersion of investments, the overlap of roles, and the slow transition of the industry from traditional production lines to a data-driven value chain. The aim of the research is to design and explain a non-exclusive model for the development of the connected car ecosystem and determine the logic of influence and dependence between its key components in order to chart the path to achieving sustainable development. To achieve this goal, first, in a qualitative exploratory phase, by analyzing the content of semi-structured interviews with senior managers of Iran Khodro, sixty indicators were extracted and integrated into ten macro-structures; Then, using structural-interpretive modeling, causal relationships between constructs were stratified, and in the quantitative phase, data from 300 experts were validated through partial least squares structural equations. The results showed that “big data analytics” is the most fundamental driver of change and activates simulation and intelligent robotics from the top of the pyramid of influence; these two strengthen horizontal-vertical integration and feed cloud computing infrastructure and additive manufacturing through the Industrial Internet of Things, augmented reality and cybersecurity; ultimately, this chain leads to “sustainable development”. MICMAC analysis also placed data-driven components (BDI, SIM, IAR, HVSI) in an independent cluster with high influence and environmental and economic components (SD, AM, CC) in a dependent cluster. Accordingly, it is recommended that policymakers focus priority investments on big data and virtual simulation platforms, while strengthening data governance and cybersecurity with open standards to accelerate the transition to an open and sustainable ecosystem of connected cars.

Keywords: Non-Proprietary Development, Automotive Ecosystem, Internet of Things

How to Cite: Salehi, S. , Riazi, L. & Nazari Farrokhi, E. (2025). Presenting a model for the non-exclusive development of the connected car ecosystem in the market to determine roles and responsibilities in the Internet of Things. Journal of Intelligent Strategic Management, 3(4), 213-240.

doi: bumara. 3.2.11235564.358.32119

Intelligent Strategic Management (JISM) in Development and Evolution is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

© Authors

* Corresponding Author: L.riazi@iau.ir

نشریه مدیریت استراتژیک هوشمند
دوره ۳، شماره ۴ زمستان، ۱۴۰۳، ۲۴۰- ۲۱۳
Bumara.ir

ارائه مدلی برای توسعه غیر انحصاری اکوسیستم خودرو متصل در بازارجهت تعیین نقش‌ها و مسئولیت‌ها در اینترنت اشیا

سیما صالحی گروه علمی مدیریت فناوری اطلاعات ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

لادن ریاضی* استادیار گروه علمی مدیریت فناوری اطلاعات ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ابراهیم نظری فرخی استادیار گروه مدیریت دانش، دانشکده علوم اجتماعی، دافوس آجا، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۱۱/۰۷
بازنگری:۱۴۰۳/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
eISSN:2891-4128

چکیده

چالش اصلی این پژوهش، نبود الگویی نظام‌مند برای همگرایی فناوری‌های Industry 4.0 در اکوسیستم خودرو متصل ایران است؛ شکافی که به پراکندگی سرمایه‌گذاری‌ها، تداخل نقش‌ها و کندی گذار صنعت از خطوط تولید سنتی به زنجیره ارزش داده‌محور می‌انجامد. هدف تحقیق، طراحی و تبیین مدل غیرانحصاری توسعه اکوسیستم خودرو متصل و تعیین منطق نفوذ و وابستگی میان مؤلفه‌های کلیدی آن به‌منظور ترسیم مسیر دستیابی به توسعه پایدار است. برای تحقق این هدف، ابتدا در یک فاز کیفیِ اکتشافی، با تحلیل محتوای مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته مدیران ارشد ایران‌خودرو، شصت شاخص استخراج و در ده سازه کلان ادغام شد؛ سپس با روش مدل‌سازی ساختاری–تفسیری، روابط علّی میان سازه‌ها لایه‌بندی گردید و در فاز کمی، داده‌های ۳۰۰ کارشناس از طریق معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد «تحلیل کلان‌داده» زیربنایی‌ترین محرک تغییر است و از رأس هرم نفوذ، شبیه‌سازی و رباتیک هوشمند را فعال می‌کند؛ این دو، یکپارچگی افقی-عمودی را تقویت می‌کنند و به‌واسطه اینترنت اشیای صنعتی، واقعیت افزوده و امنیت سایبری، زیرساخت رایانش ابری و تولید افزایشی را تغذیه می‌کنند؛ نهایتاً این زنجیره به «توسعه پایدار» منتهی می‌شود. تحلیل MICMAC نیز مؤلفه‌های داده‌بنیان BDI, SIM, IAR, HVSI را در خوشه مستقلِ با نفوذ بالا و مؤلفه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی SD, AM, CC را در خوشه وابسته قرار داد. بر این اساس، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاری اولویت‌دار را بر پلتفرم‌های کلان‌داده و شبیه‌سازی مجازی متمرکز کنند و هم‌زمان حکمرانی داده و امنیت سایبری را با استانداردهای باز تقویت نمایند تا گذار به اکوسیستم باز و پایدارِ خودروهای متصل تسریع شود.

کلیدواژه‌ها: توسعه غیر انحصاری، اکوسیستم خودرو ، اینترنت اشیا

استناد به این مقاله: صالحی، سیما و ریاضی، لادن و نظری فرخی, ابراهیم . (۱۴۰۳). ارائه مدلی برای توسعه غیر انحصاری اکوسیستم خودرو متصل در بازارجهت تعیین نقش‌ها و مسئولیت‌ها در اینترنت اشیا. مدیریت استراتژیک هوشمند, ۳(۴), ۲۴۰-۲۱۳.

مدیریت استراتژیک هوشمند (JISM) در توسعه و تکامل تحت مجوز بین‌المللی کریتیو کامنز با شرایط انتساب-غیرتجاری ۴,۰ منتشر می‌شود.

©نویسندگان

* نویسنده مسئول: L.riazi@iau.ir

مقدمه

صنعت خودروی جهان در پیوند با «اینترنت اشیای صنعتی (IIoT) «و شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم و ششم، از یک سامانه صرفاً مکانیکی به یک «ابرِ سامانه‌های سایبر-فیزیکی « (Cyber-Physical Systems of Systems)ارتقا یافته است؛ جایی که خودروهای متصل نه‌تنها گره‌های متحرک در شبکهV2X ، بلکه بخشی از زیرساخت داده‌محور شهرهای هوشمند به شمار می‌آیند. با این حال، غلبه پلتفرم‌های انحصاری و معماری‌های مالکیتی موجب شکاف در قابلیت همکاری(Interoperability) ، بروز نقاط تکین امنیتی (Single Points of Failure) و کندشدن نوآوری باز در زنجیره ارزش خودروهای متصل شده است. تداوم این وضعیت، علاوه بر محدودکردن بهره‌گیری از ظرفیت محاسبات لبه (Edge/Fog Computing) و به‌روزرسانی از راه دور (FOTA/SOTA)، ریسک عدم انطباق با الزامات استانداردهایی نظیر ISO 21434 (Cybersecurity)و مقررات UNECE WP.29 را افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر، توزیع نامشخص نقش‌ها و مسئولیت‌ها میان کنشگران کلیدی—از سازندگان تجهیزات اصلیOEM) ها) و تأمین‌کنندگان سطح ۱ و ۲ تا اپراتورهای مخابراتی، ارایه‌دهندگان ابرCSP) ها)، استارت‌آپ‌های خدمات نرم‌افزاری و رگولاتورها—به تکه‌تکه‌شدن جریان داده، ابهام در مالکیت داده و چالش‌های پاسخ‌گویی در حوادث ایمنی و حریم خصوصی می‌انجامد. در چنین چشم‌اندازی، گذار به یک «اکوسیستمِ بازِ غیرانحصاری» مستلزم چارچوبی مشارکتی است که با اتکا بر معماری مرجع ISO/IEC 30141، الگوی مرجعGaia-X ، و اصول اقتصادAPI ، قواعد حکمرانی داده و قراردادهای هوشمند الزام‌آور میان ذی‌نفعان را نهادینه کند؛ به‌گونه‌ای که ارزش مشترک (Co-Creation of Value)از طریق تعامل شفاف، امن و مقیاس‌پذیر میان سرویس‌ها تحقق یابد.

مقاله حاضر با رویکرد طراحی-پژوهش (Design Science Research) مدلی نظام‌مند برای توسعه غیرانحصاری اکوسیستم خودروهای متصل ارائه می‌کند؛ مدلی که سه لایه «سیاست و حکمرانی»، «معماری و فناوری» و «عملیات و خدمات» را به‌هم می‌دوزد و برای هر لایه، ماتریس نقش-مسئولیت (RACI+) را با استفاده از متدولوژی RISE/FIT طبقه‌بندی می‌کند. افزون بر این، سازوکارهای توافق سطح خدمات چندجانبه(Multi-Party SLA)، پروتکل‌های امنیتی مبتنی بر توکن‌گذاری صفراعتماد (Zero-Trust

(Tokenizationو مدل‌های کسب‌وکار درآمد اشتراکی (Revenue-Sharing Business Models)برای پشتیبانی از پلتفرم‌های باز پیشنهاد می‌شود.

بدین ترتیب، چارچوب پیشنهادی درصدد است با تسهیل همگرایی استانداردها، ارتقای قابلیت همکاری مبتنی بر میکروخدمات (Microservice-Based Interoperability)، و تقویت حاکمیت شفاف داده، زمینه خلق اکوسیستمی پایدار، مقیاس‌پذیر و نوآورانه را فراهم سازد؛ اکوسیستمی که در آن اعتماد نهادی، تقسیم عادلانه ریسک و پاداش، و چابکی فناوری، محرک اصلی تحول دیجیتال صنعت خودرو و زیست‌بوم شهری آینده خواهد بود.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در دهه گذشته، پیوند تحولات «نوآوری دیجیتال» با اینترنت اشیای صنعتی موجب شده است خودرو از یک محصول مکانیکی به «سامانه‌ای سایبر-فیزیکیِ داده-محور» دگرگون شود؛ سامانه‌ای که در آن حسگرهای درون خودرو، زیرساخت‌های V2X و سرویس‌های ابری به‌مثابه یک ابرشبکه هوشمند عمل می‌کنند .(Hennig et al., 2018) چنین اکوسیستمی، ارزش را نه در سخت‌افزار خودرو بلکه در لایه خدمات و داده‌هایی می‌یابد که قابلیت‌هایی چون ناوبری بلادرنگ، نگهداشت پیش‌بینی‌کننده و رانندگی خودران را تغذیه می‌کنند .(Jahanmir & Kavadias, 2018)با این‌همه، غلبه پلتفرم‌های مالکیتی، نبود معماری مرجع مشترک و ابهام در تقسیم نقش‌ها، مسیر تحقق کامل مزایای خودرو متصل را سد کرده است؛ پیامدی که در قالب راه‌حل‌های جزیره‌ای، تکرار سرمایه‌گذاری‌ها و ناتوانی در مقیاس‌پذیری نوآوری نمود یافته است .(Nazari, 2014) به‌منظور رفع این شکاف، پژوهش حاضر بر طراحی یک مدل «غیرانحصاری» استوار است که گفتمان همکاری را از سطح فنی تا لایه‌های حکمرانی و کسب‌وکار دربر می‌گیرد.از منظر نظری، «نوآوری دیجیتال» به عنوان توانمندساز محوری مطرح می‌شود؛ مفهومی که به سازمان‌ها اجازه می‌دهد چرخه ایده تا بازار را با شبیه‌سازی دیجیتال، نمونه‌سازی افزایشی و بازخورد پیوسته کاربر کوتاه کنند .(Pershina et al., 2019) این منطق چابک، در صنعت خودرو به معنای بهره‌گیری ازFOTA/SOTA ، محاسبات لبه و معماری‌های میکروسرویسی است؛ فناوری‌هایی که به-روزآوری ویژگی‌های ایمنی و سرگرمی را طی عمر مفید خودرو ممکن می‌سازند.در این میان، معماری مرجع پیشنهادی با تکیه بر سه مؤلفه «همسویی استراتژیک»، «چرخه داده» و «تکامل پویا» تعریف می‌شود. نخست، همسویی استراتژیک تضمین می‌کند

که قابلیت‌های داده‌محور در خدمت چشم‌انداز رقابتی و مدل کسب‌وکار خودروساز قرار گیرد .(ISO/IEC TR 10032, 2003) دوم، چرخه داده—از گردآوری حسگر تا تحلیل پیش‌بین—بر بستر پلتفرم‌های ابری/لبه‌ای شکل می‌گیرد و با پروتکل‌های باز نظیر ISO 20078برای تبادل داده استاندارد تکمیل می‌شود. سوم، تکامل پویا فرض می‌کند که معماری باید به‌گونه‌ای طراحی شود که از ورود فناوری‌های نوظهور، تغییر مقررات و به‌روزرسانی الگوریتم‌های هوش مصنوعی پشتیبانی کند.(UNECE WP.29, 2020)

چارچوب نظری حاضر همچنین اکوسیستم خودرو را در قالب «هفت لایه» تشریح می‌کند: فیزیکی، ارتباط، ادراک، شناختی، برنامه، کسب‌وکار و سیاست. این تجزیه به درک روشن مسئولیت‌ها میان بازیگران—از OEM تا تنظیم‌گر—یاری می‌رساند و مبنایی برای تدوین ماتریس‌های RACI در هر لایه فراهم می‌کند. بدین ترتیب، برای نمونه، لایه سیاست با استانداردهایی مانند SERMI و مقررات GDPR پیوند می‌خورد تا دسترسی امن و قانون‌مند به داده‌های تعمیر و نگهداری را تضمین کند (European Data Protection Board, 2020).

علاوه بر استانداردهای افقی، رفرنس‌های عمودی مانند CVRIA به‌عنوان نقشه راه همگرایی میان استانداردهای ITS عمل می‌کنند؛ سازوکاری که از تکرار و تعارض میان استانداردها جلوگیری کرده و امکان استقرار محلی تا ملی خدمات سازگار را فراهم می‌سازد .(USDOT ITS JPO, 2024)بر بستر همین استانداردهای هم‌ارز، مدل پیشنهادی می‌تواند از قراردادهای هوشمند چندجانبه برای تعیین سطح خدمات، تقسیم ریسک و اشتراک درآمد بهره ببرد؛ رویکردی که در اقتصاد API به بلوغ رسیده است.سرانجام، ادغام لایه‌های معماری با گفتمان «داده به مثابه ستون فقرات» نه‌تنها ارزش مشتری و شخصی‌سازی خدمات را ارتقا می‌دهد، بلکه زنجیره تأمین، نگهداشت پیش‌بینی‌کننده و تصمیم‌سازی مدیریتی را نیز با بینش‌های داده‌محور توانمند می‌کند (Khoddad-Hosseini et al., .(2017به بیان دیگر، نظریه ارزش مشترک (co-creation) در این اکوسیستم زمانی محقق می‌شود که داده‌ها همچون سرمایه مشترک، در بستری امن، قابل interoperable- و شفاف میان ذی‌نفعان دست به دست شوند؛ هدفی که صرفاً از رهگذر معماری باز و قواعد حکمرانی داده قابل دستیابی است.در مجموع، مبانی نظری تحقیق حاضر نشان می‌دهد که گذار به اکوسیستم غیرانحصاری خودروهای متصل مستلزم همگرایی سه محور است: (۱)

معماری داده‌محور چابک، (۲) چارچوب حکمرانی شفاف و (۳) سازوکارهای همکاری ارزش‌آفرین مبتنی بر استانداردهای باز. این سه محور با اتکا به بدنه نظری نوآوری دیجیتال، مهندسی سامانه‌های پیچیده و مطالعات حکمرانی فناوری، بنیان مدل پیشنهادی را تشکیل می‌دهند و مسیر تحقق حمل‌ونقل هوشمند، ایمن و پایدار را هموار می‌سازند.

پیشینه تحقیق

جدول۱: جدول پیشینه تحقیقات

نویسنده و سال	عنوان تحقیق	روش تحقیق	نتایج و تفسیر نتایج
مهرانی و همکاران، ۱۴۰۲	طراحی کنترلر پیش‌بین صریح برای هدایت زنجیره خودروهای متصل	شبیه‌سازی عددی با کنترل پیش‌بین صریح (Explicit MPC) روی یک زنجیره خودرویی همگن	کنترلر توانست مسیر مرجع و پروفیل شتاب را با دقت بالا تعقیب کند و پایداری ستون خودرو را ضمن کاهش چشمگیر هزینه محاسباتی نسبت به MPCضمنی تضمین نماید.
رضوی و همکاران، ۱۴۰۱	مکان‌یابی خودروهای متصل با استفاده از توان سیگنال دریافتی شبکه سلولی و فیلتر ذره‌ای	توسعه الگوریتم تخمین و آزمون شبیه‌سازی	سامانه پیشنهادی، بدون نیاز به GPS و با حداقل سخت‌افزار اضافی، مکان، سرعت و شتاب خودرو را در سرعت‌های بالا با خطای ناچیز برآورد کرد و هزینه پیاده‌سازی را پایین نگه داشت.
نادری و همکاران، ۱۳۹۹	ضرورت به‌کارگیری سامانه خودرو متصل در مدیریت بزرگراه‌های تهران	مطالعه توصیفی – تحلیلی و بررسی موردی بزرگراه‌ها	کاربرد ارتباط V2X موجب کاهش حوادث، بهینه‌سازی مسیرها، کاهش آلودگی هوا و افزایش منافع اقتصادی می‌شود؛ نقشه راه استقرار فناوری در بزرگراه‌های پایتخت ارائه گردید.
خداداد حسینی و همکاران، ۱۳۹۷	تأثیر خودروهای متصل و خودران بر ایمنی ترافیک و کاهش تصادفات ثانویه	مرور نظام‌مند و تحلیل مفهومی سه‌مرحله‌ای	نشان داد حذف عامل انسانی توسط CAVمی‌تواند تا ۹۰ ٪ تصادفات را کاهش دهد؛ توصیه شد سرمایه‌گذاری در زیرساخت و تنظیم‌گری حمایتی اولویت یابد.

کیم و همکاران، ۲۰۲۱	تحلیل تهدید و ارزیابی ریسک اپلیکیشن‌های موبایل خودروهای متصل	اجرای TARA بر اساس آسیب‌پذیری‌های شناخته‌شده	ضعف‌های رایج (ذخیره‌سازی ناایمن، احراز هویت ناکافی، ارتباط بدون رمز) شناسایی شد؛ رمزنگاری سرتاسری و سخت‌گیرانه‌سازی اعتبارسنجی پیشنهاد گردید.
جونز و همکاران، ۲۰۲۰	مالکیت، دسترسی و سرپرستی داده در خودروهای متصل؛ تحلیل تطبیقی شرایط خدمات	تحلیل محتوای ماتریسی شرایط خدمات ۱۰ شرکت	تفاوت چشمگیر در حقوق داده میان مشتری، OEMو طرف سوم آشکار شد؛ تدوین چارچوب مقرراتی واحد برای جلوگیری از سوءبرداشت و مناقشات داده توصیه شد.
استرک و همکاران، ۲۰۱۹	طبقه‌بندی مدل‌های کسب‌وکار داده‌محور در حوزه خودرو متصل	ترکیب رویکرد نظری و تجربی + خوشه‌بندی K-Meansروی ۱۲۸ شرکت	هفت الگوی درآمدزایی از داده (پلتفرم داده، خدمات مکان‌مبنا، مدیریت ناوگان، تشخیص‌ونگهداشت، تحلیل رانندگی، حفاظت سایبری فیزیکی، اینفوتینمنت متصل) استخراج شد و راهنمای عملی برای خلق ارزش ارائه گردید.
کِربر و همکاران، ۲۰۱۷	حاکمیت داده در اقتصاد دیجیتال: مطالعه موردی خودروهای متصل	تحلیل نظری شکست بازار و چارچوب اقتصادی	دو سطح حاکمیت داده (قراردادی/قانونی)، ریسک‌های رقابتی و دغدغه‌های حریم خصوصی روشن شد؛ نیاز به مداخله سیاست‌گذار برای تعادل منافع ذی‌نفعان تأکید گردید.
میکوز و همکاران، ۲۰۱۷	چارچوب حکمرانی داده برای اینترنت اشیا با تمرکز بر خودرو متصل	توسعه چارچوب نظری و کاربرد آن بر سهامداران مختلف	مشکلات بالقوه شکست بازار (رقابت، اطلاعات نامتقارن، حریم خصوصی) در اکوسیستم خودرو متصل شناسایی شد و خطوط پژوهش سیاست‌محور آینده پیشنهاد گردید.
یوسور، ۲۰۱۵	زنجیره ارزش APIدر اکوسیستم خودروهای متصل	مطالعه موردی کیفی؛ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ذی‌نفعان	فقدان تعریف مشترک از اکوسیستم CCو مصالحه‌های متفاوت طراحی/استفاده API بنا به نقش هر بازیگر نمایان شد؛ استانداردسازی APIبرای خلق ارزش پایدار ضروری ارزیابی گردید.

روش تحقیق :

این پژوهش با هدف توسعه‌ای و کاربردی طراحی شده و از نظر نحوه گردآوری داده‌ها در رده مطالعات توصیفی و غیرآزمایشی قرار می‌گیرد که به‌صورت پیمایش مقطعی اجرا می‌شود؛ ماهیت داده‌ها آمیخته است، بدین معنا که مرحله کیفی مقدم بر مرحله کمی است و یافته‌های فاز نخست مستقیماً مبنای سنجش کمی قرار می‌گیرد. در آغاز، پژوهشگر با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای چارچوب مفهومی را شکل داد و سپس با انجام مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با مدیران ارشد ایران‌خودرو—افرادی که دست‌کم پانزده سال سابقه مدیریتی و مدرک تحصیلات تکمیلی داشتند—به استخراج شاخص‌های مرتبط با مدل پرداخت. نمونه‌گیری در این بخش هدفمند بود و تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت؛ پس از هشت مصاحبه، مفاهیم تکراری شدند و داده جدیدی تولید نشد. متن مصاحبه‌ها با رویکرد تحلیل کیفی محتوا و در یک فرآیند بازگشتی پنج‌مرحله‌ای بررسی شد: ابتدا پژوهشگر با بازخوانی مکرر داده‌ها در آن غوطه‌ور شد؛ سپس برچسب‌های مفهومی یا کدهای ابتدایی بر گزاره‌های معنادار متن نشست؛ در گام سوم این کدها در مضامین بالقوه سازمان‌دهی و موارد هم‌معنی یکپارچه شد؛ مرحله چهارم به بازبینی و پالایش مضامین در نسبت با کل داده‌ها اختصاص یافت تا نقشه‌ای منسجم به دست آید؛ سرانجام هر مضمون تعریف دقیق و نامی مشخص یافت و نقش آن در مدل روشن شد. مجموعه این مضامین، که از دل پرسش‌های پروتکل مصاحبه نُه پرسش درباره اثرات، چالش‌ها و فرصت‌های توسعه غیرانحصاری اکوسیستم خودرو متصل—برآمده بود، پایه طراحی پرسشنامه مرحله کمی شد.در فاز کمی، جامعه آماری ۱٬۳۷۰ کارشناس خبره ایران‌خودرو بود که تجربه عملی و تحصیلات دانشگاهی مرتبط داشتند. با استفاده از فرمول کوکران برای جوامع محدود، حجم نمونه ۳۰۰ نفر برآورد و پرسشنامه میان آنان توزیع شد. داده‌های حاصل با مدلسازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی تحلیل شد؛ این روش برای حجم نمونه متوسط و داده‌های پیمایشی با توزیع نامعلوم مناسب است. پایایی سازه‌ها با آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی، و روایی همگرا و واگرا با معیارهای AVE و HTMT سنجیده شد و نتایج رضایت‌بخش بود. همچنین در فاز کیفی، اعتبار محتوایی از طریق بازبینی توسط مشارکت‌کنندگان و هم‌سنجی پژوهشگر دوم تأیید گردید. بدین ترتیب، مدل نهایی حاصل از این روند آمیخته، هم ریشه در شواهد بومی صنعت خودرو دارد و هم از پشتوانه آماری لازم برای تعمیم‌پذیری برخوردار است؛ در نتیجه می‌تواند راهنمایی عملی برای

سیاست‌گذاران و مدیران در مسیر توسعه غیرانحصاری اکوسیستم خودروهای متصل فراهم آورد.

جدول ۲: مؤلفه‌های اصلی و فرعی

مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه‌های فرعی
سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی **Horizontal and Vertical System Integration**	۱. ایجاد شبکه یکپارچه جهانی داده‌ها و زنجیره ارزش مکانیزه همکاری با ذینفعان در طول زنجیره ارزش
	۲. تولید انبوه کالاهای سفارشی و اختصاصی
	۳. تبدیل زنجیره‌های تأمین سنتی به شبکه تأمین دیجیتال (DSN) و ادغام مشتریان و محصولات در آن
	۴. به اشتراک گذاری داده‌ها و بکارگیری تحلیل‌های پیشرفته و پیش بینانه
	۵. ادغام توسط اینترنت سرویس (IoS) و اینترنت افراد (IoP)
	۶. توسعه مدل کسب و کار محصول به عنوان سرویس (PaaS)
جمع‌آوری و تحلیل کلان‌داده‌ها **Big Data Analysis**	۷. برنامه‌ریزی زنجیره تأمین
	۸. سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمان (ERP)
	۹. مدیریت ارتباط با مشتری (CRM)
	۱۰. مدیریت لجستیک
	۱۱. تحقیق و توسعه(R&D)
	۱۲. مدیریت دارایی شرکت(EAM)
شبیه‌سازی **Simulation**	۱۳. شبیه‌سازی مجازی از ماشین‌آلات، محصولات، فرآیندها بر اساس داده‌های واقعی
	۱۴. سیستم تعمیرات و نگهداری هوشمند ماشین آلات و نگهداری هوشمند از محصولات
	۱۵. تنظیمات ماشین‌ها پیش از اعمال در محیط واقعی در محیط مجازی آزمایش و بهینه‌سازی آن
	۱۶. کاهش زمان توقف ماشین‌آلات
	۱۷. ایجاد مدل‌های کسب و کار نوآورانه
	۱۸. بهبود تجربه مصرف‌کننده و افزایش ارزش طول عمر مشتری
	۱۹. ارتقاء سلامت و ایمنی و کیفیت محصول
ربات‌های اتوماتیک صنعتی	۲۰. انجام کارهای خطرناک و قرارگیری در مکان‌های تنگ و دارای دسترسی سخت

مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه‌های فرعی
Industrial automatic robots	۲۱. استفاده از ربات‌هادر ایستگاه‌های کاری نامطلوب ارگونومی
	۲۲. انجام وظایف یکنواخت و تکراری
	۲۳. اتوماسیون صنعتی و کاهش خطاهای انسانی
	۲۴. حفظ سلامتی و بهره‌وری کارکنان در طولانی مدت
	۲۵. افزایش رضایت و انگیزه کارکنان
اینترنت اشیاء صنعتی **Industrial Internet Of Things**	۲۶. مدیریت روند کاری کارکنان از طریق دستگاه‌های هوشمند
	۲۷. حسگرها و تجهیزات کنترلی با بهره‌گیری از هوش مصنوعی جهت کنترل فرایندهای تولید
	۲۸. بازیابی انرژی از ضایعات / پسماندها و ضایعات تولید
	۲۹. بهینه‌سازی فرآیندهای کسب و کار با فناوری‌های پیشرفته
	۳۰. ایجاد فضای کاری انعطاف‌پذیرتر برای کارکنان
	۳۱. کنترل سلامت کارکنان به صورت پیوسته توسط دستگاه‌ها
	۳۲. کاهش هزینه‌های تولید
واقعیت افزوده **Augmented Reality**	۳۳. ترکیب همزمان دنیای واقعی و تصاویر مجازی
	۳۴. اضافه شدن نمای فیزیکی زنده، مستقیم یا غیرمستقیم به عناصر دنیای واقعی
	۳۵. ارائه موثرترین روش‌های آموزش صنعتی
	۳۶. ارائه یادگیری مقرون به صرفه‌تر، ایمن‌تر، سریع‌تر و سازنده‌تر توسط AVR
	۳۷. انجام تعمیرات خطرناک یا حساس و افزایش آمادگی نیروی انسانی
سیستم رایانش ابری **Cloud Computing**	۳۸. داشتن دسترسی به برنامه‌های کاربردی و اسناد
	۳۹. انجام سفارش با فعال کردن دسترسی به اطلاعات در زمان واقعی
	۴۰. افزایش ارتباطات و تعاملات در سراسر زنجیره تأمین
	۴۱. دسترسی به اطلاعات در زمان واقعی
	۴۲. افزایش پاسخگویی و کاهش ناکارآمدی از طریق حذف اثر شلاقی
توسعه پایدار **Sustainable Development**	۴۳. افزایش بهره وری و کارایی تولید
	۴۴. کاهش هزینه‌های تولید و دستیابی به سودآوری
	۴۵. ارتقاء قابلیت رقابتی تولید

مؤلفه‌های اصلی	مؤلفه‌های فرعی
	۴۶. افزایش مستمر و پایدار رشد اقتصادی کشور
	۴۷. ایجاد فرصت‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی
	۴۸. پایداری زیست محیطی از طریق انرژی پایدار
	۴۹. کاهش آسیب‌های زیست محیطی
	۵۰. کاهش انتشار گازهای سمی و گلخانه‌ای
امنیت شبکه **Cybersecurity**	۵۱. وضع قوانین سختگیرانه‌ای برای جلوگیری از فعالیت‌های غیرقانونی
	۵۲. محافظت از اطلاعات افراد در برابر سواستفاده‌های احتمالی
	۵۳. افزایش امنیت در فضای سایبری و حفظ حریم شخصی
	۵۴. حفاظت از سیستم‌های حساس صنعتی و خطوط تولید مهم در برابر حملات سایبری
	۵۵. ارزیابی اثرات حملات سایبری
تولید افزایشی **Additive Manufacturing**	۵۶. اصلاح محصولات پیش از تولید فیزیکی به صورت دیجیتالی
	۵۷. کاهش زمان پردازش، منابع و ابزار مورد نیاز
	۵۸. افزایش نوآوری محصول و کمک به فعالیت‌های کدنویسی
	۵۹. ترویج محصولات سفارشی‌تر
	۶۰. کاهش ضایعات تولید و فرآیندهای حمل و نقل فیزیکی و لجستیک

پس از آنکه مضامین استخراج‌شده در پنج گام پیشین به‌طور کامل پالایش شد، فرآیند گزارش‌نویسی آغاز گردید؛ در این مرحله پژوهشگر با مرور دوباره متن‌های مصاحبه و کدهای توصیفی، شصت مفهوم فرعی را نهایی کرد و با تکیه بر قرابت معنایی، آن‌ها را در ده مضمون اصلی جا داد، مضامینی که به‌ترتیب عبارت‌اند از گردآوری و تحلیل کلان‌داده، شبیه‌سازی، اینترنت اشیای صنعتی، سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی، امنیت شبکه، تولید افزایشی، ربات‌های اتوماتیک صنعتی، واقعیت افزوده، رایانش ابری و در نهایت توسعه پایدار. تأکید می‌شود که این دسته‌بندی، حاصل شرایط خاص این تحقیق و قضاوت خبرگان است و به‌منزله یک حکم قطعی برای دیگر مطالعات تلقی نمی‌شود.

در گام بعد، برای تبدیل این سامان معرفتی به یک الگوی علّی، از روش مدل‌سازی ساختاری–تفسیری استفاده شد؛ رویکردی تعاملی که اجازه می‌دهد سازه‌های گوناگون— در اینجا ده مضمون یادشده—در قالب یک ساختار نظام‌مند بر مبنای میزان نفوذ و وابستگی متقابل مرتب شوند. سازه‌ها با سرواژه‌های متعارف شناخته شدند: سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی(HVSI) ، تحلیل کلان‌داده(BDI) ، شبیه‌سازی ,(SIM) ربات‌های اتوماتیک صنعتی(IAR) ، اینترنت اشیای صنعتی(IIOT) ، واقعیت افزوده(AR) ، رایانش ابری (CC)، توسعه پایدار(SD) ، امنیت شبکه (CS) و تولید افزایشی .(AM) نخستین گام اجرایی در این روش، تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری بود؛ در این ماتریس خبرگان مشخص کردند هر سازه بر کدام سازه‌های دیگر اثر می‌گذارد و از کدام‌ها اثر می‌پذیرد. برای ثبت این روابط از نمادهای قراردادی—نظیر V برای تأثیر یک‌طرفه از ردیف به ستون، Aبرای اثر معکوس، Xبرای تأثیر دوسویه و O برای نبود رابطه—بهره گرفته شد. حاصل این ماتریس، شالوده تحلیل‌های بعدی است که به استخراج سطوح نفوذ و وابستگی و ترسیم نقشه نهایی روابط منجر خواهد شد.

تشکیل ماتریس دریافتی

ماتریس دریافتی[1](RM) از تبدیل ماتریس خود تعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی صفر و یک بدست می‌آید. در ماتریس دریافتی درایه‌های قطر اصلی برابر یک قرار می‌گیرد. همچنین برای اطمینان باید روابط ثانویه کنترل شود. به این معنا که اگر A منجر به B شود و B منجر به C شود در این صورت باید A منجر به C شود. یعنی اگر براساس روابط ثانویه باید اثرات مستقیم لحاظ شده باشد اما در عمل این اتفاق نیفتاده باشد باید جدول تصحیح شود و رابطه ثانویه را نیز نشان داد. بنابراین ماتریس دریافتی متغیرهای پژوهش در جدول ۴-۱۵ ارائه شده است.

[1] Reachability Matrix

جدول۳: ماتریس دریافتی متغیرهای پژوهش

RM	HVSI	BDI	SIM	IAR	IIOT	AR	CC	SD	CS	AM
سیستم‌های یکپارچه (HVSI)	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
تحلیل کلان داده (BDI)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
شبیه‌سازی (SIM)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
ربات‌های اتوماتیک (IAR)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
اینترنت اشیاء صنعتی (IIOT)	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
واقعیت افزوده (AR)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
سیستم رایانش ابری (CC)	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
توسعه پایدار (SD)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
امنیت شبکه (CS)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
تولید افزایشی (AM)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

- ایجاد ماتریس دسترسی نهایی

پس از آنکه ماتریس دسترسی اولیه بدست آمد، با وارد نمودن انتقال‌پذیری[1] در روابط متغیرها، ماتریس دسترسی نهایی بدست می‌آید. این یک ماتریس مربعی است که هریک از درایه‌های آن هنگامیکه عنصر به عنصر با هر طولی دسترسی داشته باشد یک و در غیراینصورت برابر صفر است. روش بدست آوردن ماتریس دسترسی با استفاده از نظریه اویلر[2] است که در آن ماتریس مجاورت را به ماتریس واحد اضافه می‌کنیم. سپس این ماتریس را در صورت تغییر نکردن درایه‌های ماتریس به توان n می‌رسانیم. فرمول زیر روش تعیین دسترسی را با استفاده از ماتریس مجاورت نشان می‌دهد:

رابطه ۱: تعیین ماتریس دسترسی نهایی

$$A+I \qquad M=(A+I)^n$$

ماتریس A ماتریس دسترسی اولیه ماتریس همانی و ماتریس دسترسی نهایی است. عملیات به توان رساندن ماتریس طبق قوانین بولین[3] (رابطه ۲) صورت می‌گیرد.

رابطه ۲: قوانین بولینی

$1\times1=1;\ 1+1=1$

(آذر و خسروانی، ۱۳۹۸، ص ۲۶۰).

بنابراین برای اطمینان باید روابط ثانویه کنترل شود. به این معنا که اگر A منجر به B شود و B منجر به C شود در این صورت باید A منجر به C شود. یعنی اگر براساس روابط ثانویه باید اثرات مستقیم لحاظ شده باشد اما در عمل رخ نداده باشد باید جدول تصحیح شود و رابطه ثانویه را نیز نشان داد. ماتریس دسترسی نهایی متغیرهای پژوهش در جدول ۴-۱۶ ارائه شده است.

---

[1] Transitivity
[2] Euler
[3] Boolean rule

جدول ۴: ماتریس دسترسی نهایی متغیرهای پژوهش

TM	HVSI	BDI	SIM	IAR	IIOT	AR	CC	SD	CS	AM
سیستم‌های یکپارچه (HVSI)	1	0	0	0	1	1	1*	1	1	1
تحلیل کلان داده (BDI)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1*
شبیه‌سازی (SIM)	1	0	1	1	1	1	1	1	1*	1
ربات‌های اتوماتیک (IAR)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
اینترنت اشیاء صنعتی (IIOT)	0	0	0	0	1	1	1	1*	1	1
واقعیت افزوده (AR)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

TM	HVSI	BDI	SIM	IAR	IIOT	AR	CC	SD	CS	AM
سیستم رایانش ابری (CC)	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
توسعه پایدار (SD)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
امنیت شبکه (CS)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
تولید افزایشی (AM)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

تعیین روابط و سطح بندی ابعاد و شاخص‌ها

برای تعیین روابط و سطح بندی معیارها باید مجموعه خروجی‌ها و مجموعه ورودی‌ها برای هر معیار از ماتریس دریافتی استخراج شود.

مجموعه دستیابی (عناصر سطر، خروجی یا اثرگذاری‌ها): متغیرهایی که از طریق این متغیر می‌توان به آنها رسید.

مجموعه پیش‌نیاز (عناصر ستون، ورودی یا اثرپذیری‌ها): متغیرهایی که از طریق آنها می‌توان به این متغیر رسید.

جدول ۵: مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها برای تعیین سطح

متغیرها	خروجی: اثرگذاری	ورودی: اثرپذیری	اشتراک	سطح
سیستم‌های یکپارچه (**HVSI**)	**HVSI,IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR**	**HVSI**	**5**
جمع‌آوری و تحلیل کلان‌داده (**BDI**)	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**BDI**	**BDI**	**7**
شبیه‌سازی (**SIM**)	**HVSI,SIM,IAR,IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**BDI,SIM,IAR**	**SIM,IAR**	**6**
ربات‌های اتوماتیک (**IAR**)	**HVSI,SIM,IAR,IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**BDI,SIM,IAR**	**SIM,IAR**	**6**
اینترنت اشیاء صنعتی (**IIOT**)	**IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR,CS**	**IIOT,AR,CS**	**4**
واقعیت افزوده (**AR**)	**IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR,CS**	**IIOT,AR,CS**	**4**
سیستم رایانش ابری (**CC**)	**CC,SD,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR,CC,CS**	**CC**	**3**

متغیرها	خروجی: اثرگذاری	ورودی: اثرپذیری	اشتراک	سطح
توسعه پایدار (**SD**)	**SD**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR, CC,SD,CS,AM**	**SD**	**1**
امنیت شبکه (**CS**)	**IIOT,AR,CC,SD,CS,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR, CS**	**IIOT,AR,CS**	**4**
تولید افزایشی (**AM**)	**SD,AM**	**HVSI,BDI,SIM,IAR,IIOT,AR, CC,CS,AM**	**AM**	**2**

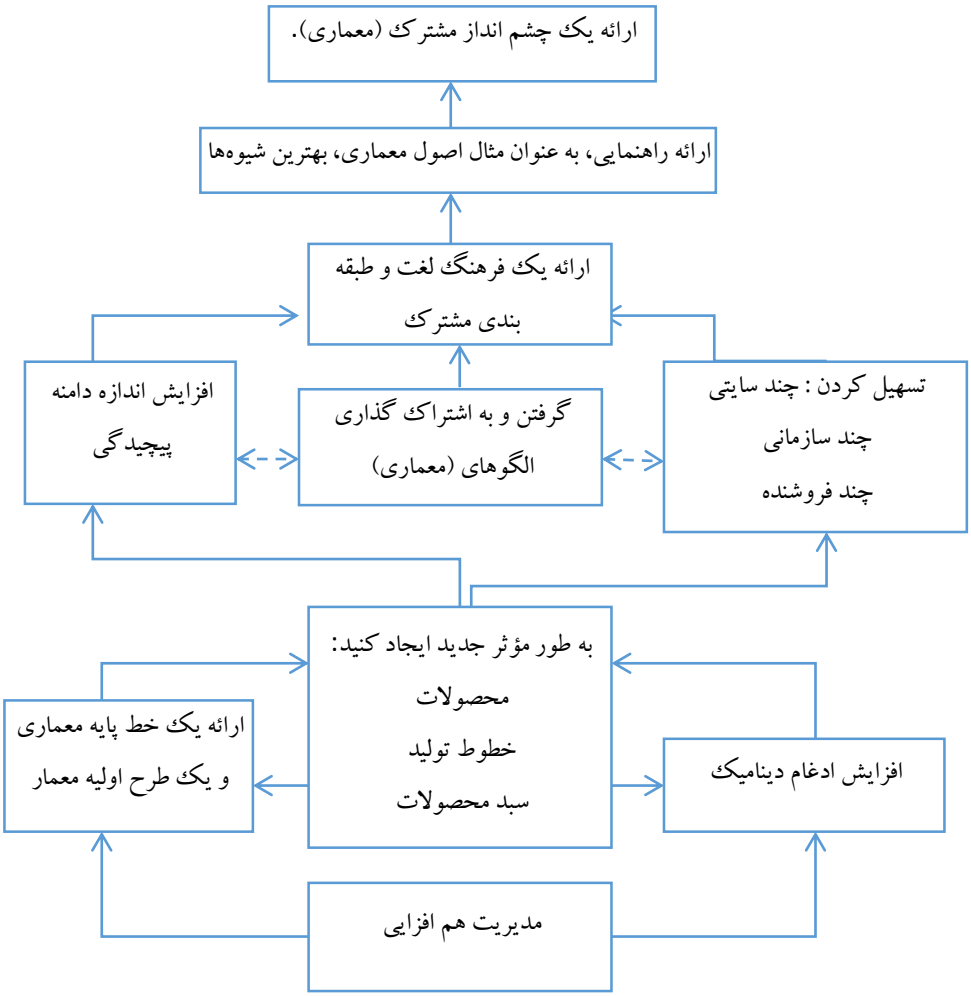
مجموعه خروجی‌ها شامل خود معیار و معیارهایی است که از آن تأثیر می‌پذیرد. مجموعه ورودی‌ها شامل خود معیار و معیارهایی است که بر آن تأثیر می‌گذارند. سپس مجموعه روابط دو طرفه معیارها مشخص می‌شود.

برای متغیر C_i مجموعه دستیابی (خروجی یا اثرگذاری‌ها) شامل متغیرهایی است که از طریق متغیر C_i می‌توان به آنها رسید. مجموعه پیش‌نیاز (ورودی یا اثرپذیری‌ها) شامل متغیرهایی است که از طریق آنها می‌توان به متغیر C_i رسید. پس از تعیین مجموعه دستیابی و مجموعه پیش‌نیاز، اشتراک دو مجموعه حساب می‌شود. اولین متغیری که اشتراک دو مجموعه برابر با مجموعه قابل دستیابی (خروجی‌ها) باشد، سطح اول خواهد بود. بنابراین عناصر سطح اول بیشترین تأثیرپذیری را در مدل خواهند داشت. پس از تعیین سطح، معیاری که سطح آن معلوم شده از تمامی مجموعه حذف کرده و مجدداً مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها را تشکیل داده و سطح متغیر بعدی به دست می‌آید.

بنابراین توسعه پایدار (SD) در سطح نخست قرار دارد. پس از شناسائی متغیر(های) سطح اول این متغیر(ها) حذف می‌شوند و مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها بدون درنظر گرفتن متغیرهای سطح اول محاسبه می‌شود. مجموعه مشترک شناسائی و متغیرهائی که اشتراک آنها برابر مجموعه ورودی‌ها باشد به عنوان متغیرهای سطح دوم انتخاب می‌شوند.

با توجه به خروجی محاسبات ISM متغیر تولید افزایشی (AM) در سطح دو قرار دارد. برای تعیین عناصر سطح سوم، متغیرهای سطح دوم حذف می‌شوند و یکبار دیگر مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها بدون درنظر گرفتن متغیرهای سطح دوم محاسبه می‌شود. براساس مجموعه مشترک شناسائی و متغیرهائی که اشتراک آنها برابر مجموعه ورودی‌ها باشد به عنوان متغیرهای سطح سوم انتخاب می‌شوند. با توجه به خروجی محاسبات ISM متغیرهای واقعیت افزوده (AR) و سیستم رایانش ابری (CC) سطح سوم هستند.

متغیرهای امنیت شبکه (CS) و اینترنت اشیاء صنعتی (IIOT) در سطح چهارم قرار دارند و متغیر سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی (HVSI) در سطح پنجم قرار دارد. متغیرهای شبیه‌سازی (SIM) و ربات‌های اتوماتیک (IAR) سطح ششم هستند و در نهایت نیز تحلیل کلان داده (BDI) زیربنایی‌ترین عنصر مدل است. مدل نهائی سطوح متغیرهای شناسائی شده در شکل زیر نمایش داده شده است. در این نگاره فقط روابط معنادار عناصر هر سطح بر عناصر سطح زیرین و همچنین روابط درونی معنادار عناصر هر سطر در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: مدل مفهومی تحقیق

عنصر سطح هفت یعنی تحلیل کلان داده (BDI) بیشترین تأثیر را در ظرفیت سازی دارد و به همین ترتیب از میزان تأثیرگذاری در سطوح بعد کاسته می‌شود و متغیرهای هم سطح، تعامل متقابل با هم دارند.

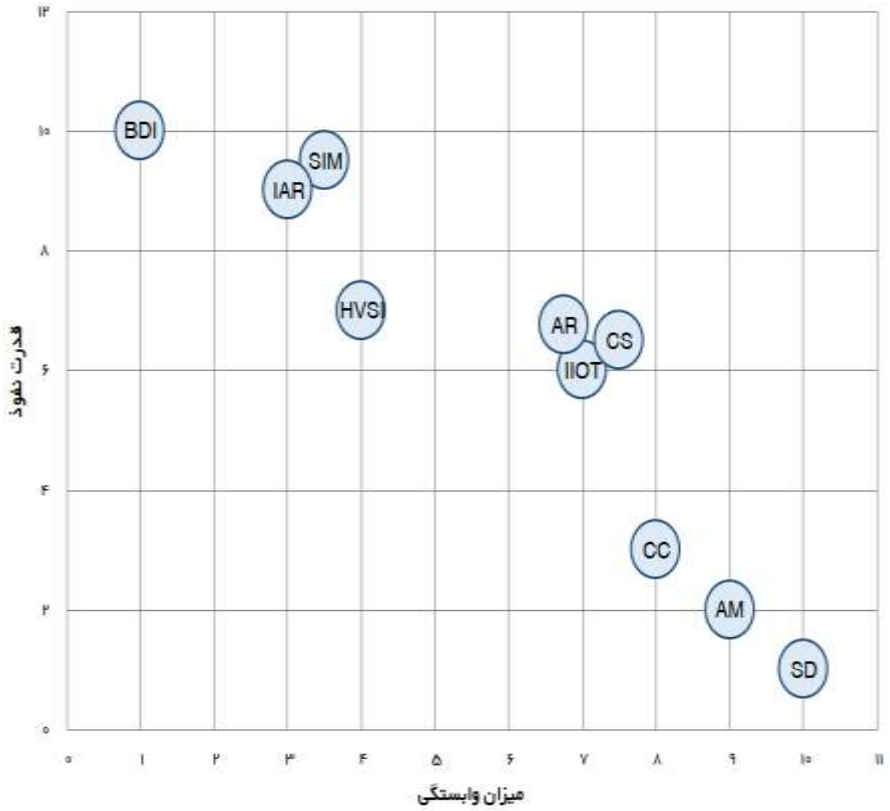
تحلیل قدرت نفوذ-وابستگی (نمودار MICMAC)

در مدل (ISM) روابط متقابل و تأثیرگذاری بین معیارها و ارتباط معیارهای سطوح مختلف به خوبی نشان داده شده است که موجب درک بهتر فضای تصمیم‌گیری به وسیله مدیران می‌شود. برای تعیین معیارهای کلیدی قدرت نفوذ و وابستگی معیارها در ماتریس دسترسی

نهایی تشکیل می‌شود. نمودار قدرت-وابستگی برای متغیرهای مورد مطالعه در شکل ۴-۱۸ را نشان می‌دهد.

جدول ۵: قدرت نفوذ و میزان وابستگی متغیرهای تحقیق

متغیرهای پژوهش	میزان وابستگی	قدرت نفوذ
سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی (**HVSI**)	**4**	**7**
تحلیل کلان داده (**BDI**)	**1**	**10**
شبیه‌سازی (**SIM**)	**3**	**9**
ربات‌های اتوماتیک صنعتی (**IAR**)	**3**	**9**
اینترنت اشیاء صنعتی (**IIOT**)	**7**	**6**
واقعیت افزوده (**AR**)	**7**	**6**
سیستم رایانش ابری (**CC**)	**8**	**3**
توسعه پایدار (**SD**)	**10**	**1**
امنیت شبکه (**CS**)	**7**	**6**
تولید افزایشی (**AM**)	**9**	**2**



شکل ۲: نمودار قدرت نفوذ و میزان وابستگی (خروجی میک-مک)

بر اساس قدرت وابستگی و نفوذ متغیرها، می‌توان دستگاه مختصاتی تعریف کرد و آن را به چهار قسمت مساوی تقسیم نمود. در این پژوهش، گروهی از متغیرها در زیرگروه محرک قرار گرفتند، این متغیرها قدرت نفوذ زیاد و وابستگی کمی دارند. در دستهٔ بعدی متغیرهای وابسته قرار دارند که به گونه‌ای نتایج فرایند توسعهٔ محصول‌اند و کمتر می‌توانند زمینه ساز متغیرهای دیگر شوند.

در این تحلیل متغیرها به چهار گروه خودمختار، وابسته، پیوندی (رابط) و مستقل تقسیم می‌شوند.

خودمختار[1]: متغیرهای خودمختار میزان وابستگی و قدرت هدایت کمی دارند این معیارها عموماً از سیستم جدا می‌شوند زیرا دارای اتصالات ضعیف با سیستم هستند. تغییری در این متغیرها باعث تغییر جدی در سیستم نمی‌شود.

[1] Autonomous variables

وابسته[1]: متغیرهای وابسته دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند این متغیرها اصولاً تأثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سیستم دارند.

مستقل[2]: متغیرهای مستقل دارای وابستگی کم و هدایت بالا می‌باشند به عبارتی دیگر تاثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری کم از ویژگیهای این متغیرها است.

پیوندی[3]: متغیرهای رابط یا پیوندی از وابستگی بالا و قدرت هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تأثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود.

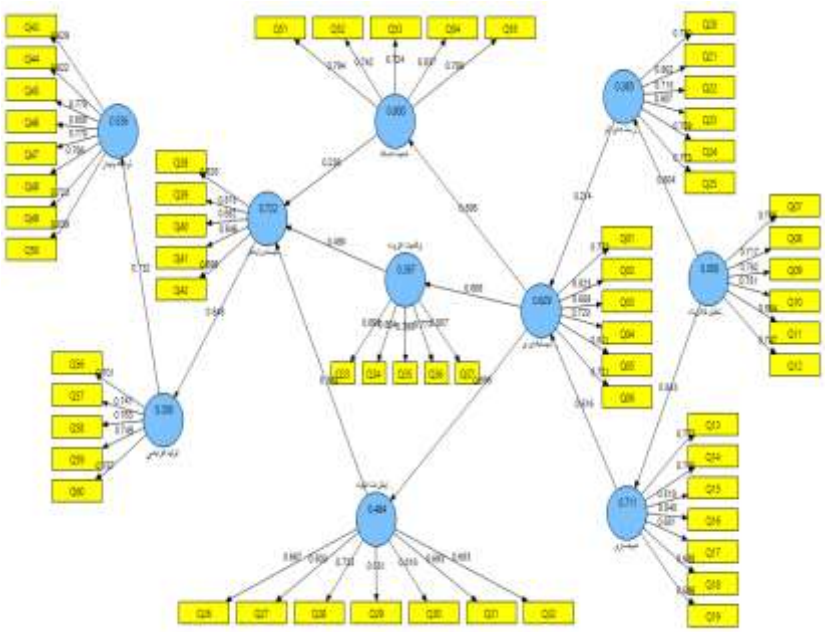
براساس نمودار قدرت نفوذ-وابستگی متغیرهای تحلیل کلان داده (BDI)، شبیه‌سازی (SIM)، ربات‌های اتوماتیک صنعتی (IAR) و سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی (HVSI) قدرت نفوذ زیاد و میزان وابستگی کمی دارند و در ناحیه متغیرهای مستقل قرار گرفته‌اند. متغیرهای سیستم رایانش ابری (CC)، توسعه پایدار (SD) و تولید افزایشی (AM) میزان وابستگی زیاد و قدرت نفوذ کمی دارند، بنابراین متغیرهای وابسته محسوب می‌شوند. متغیرهای واقعیت افزوده (AR)، امنیت شبکه (CS) و اینترنت اشیاء صنعتی (IIOT) قدرت نفوذ و میزان وابستگی مشابهی دارند، بنابراین متغیرهای پیوندی هستند. لازم به ذکر است هیچ متغیری نیز در ربع اول یعنی ناحیه خودمختار قرار نگرفته است.

اعتبارسنجی مدل با روش حداقل مربعات جزئی

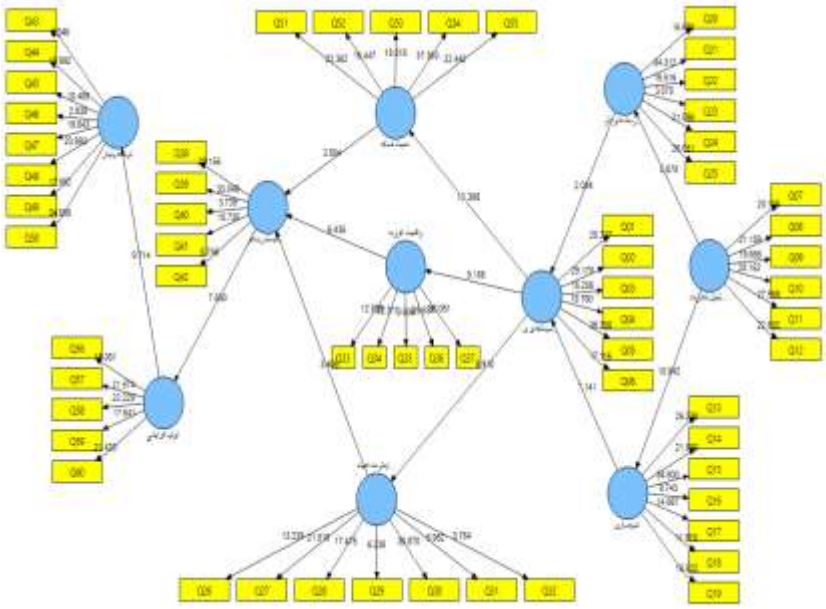
برای اعتبارسنجی مدل از تکنیک حداقل مربعات جزئی استفاده شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل در حالت تخمین استاندارد، جهت و شدت رابطه میان متغیرها را نشان می‌دهد. خروجی نرم افزار Smart PLS برای تخمین استاندارد در شکل ۳ ارائه شده است.

برای بررسی معناداری روابط متغیرهای مدل از روش خودگردان سازی (بوت استراپ[4]) استفاده شده است که آماره t را به دست می‌دهد. در سطح خطای ۵٪ اگر مقدار آماره بوت استراپینگ بزرگ‌تر از ۹۶,۱ باشد همبستگی‌های مشاهده شده معنادار است. آماره t و مقدار بوت استراپینگ برای سنجش معناداری روابط نیز در شکل ۴ آمده است.

[1] Dependent variables
[2] Independent variables
[3] Linkage variables
[4] Bootstrap



شکل ۳: خروجی اعتبارسنجی مدل با روش حداقل مربعات جزئی



شکل ۴: معناداری روابط متغیرها با روش حداقل مربعات جزئی (بوت‌استراپینگ)

مدل بیرونی (مدل اندازه‌گیری)

مدل بیرونی یا مدل اندازه‌گیری هم‌ارز تحلیل عاملی تاییدی در نرم‌افزار لیزرل یا اموس است. این بخش از مدل نشان می‌دهد گویه‌هایی که برای سنجش هر یک از عوامل اصلی در نظر گرفته شده است از اعتبار کافی برخوردار است. قدرت رابطه بین گویه‌ها با عوامل مربوط با بارعاملی و معناداری آنها با آماره t مورد سنجش قرار می‌گیرد. لازم به تذکر است در روش حداقل مربعات جزئی مقدار آماره t با روش بازنمونه‌گیری محاسبه می‌شود و در مطالعه حاضر از روش بوت‌استراپینگ برای بازنمونه‌گیری استفاده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

ربات‌ها بیش‌ازپیش مستقل و خودگردان و انعطاف‌پذیر می‌شوند و در تعامل بیشتر با یکدیگر خواهند بود. همچنین آن‌ها قادر خواهند بود تا در شرایطی کاملاً ایمن در کنار انسان کار کنند و از یکدیگر یاد بگیرند. این نسل از ربات‌ها هزینه ساخت کمتر و طیف گسترده‌تری از توانمندی‌ها را (در مقایسه با آنچه امروزه در کارخانه‌ها شاهدش هستیم) در صنعت خودرو خواهند داشت. استفاده گسترده‌ای از واقعیت افزوده برای بهبود عملکرد نیروی انسانی از طریق فراهم‌سازی اطلاعات واقعی و بهنگام خواهند داشت و در نتیجه به بهبود تصمیم‌گیری و فرایندهای کاری در صنعت خودرو منجر خواهند شد. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که، ۱۰ متغیر در مدل وجود دارند تمامی این ۱۰ متغیر دارای یک یا چند رابطه با سایر متغیرهای مدل هستند. نتایج سطح‌بندی نشان داد:مؤلفه " جمع‌آوری و تحلیل کلان‌داده‌ها " در سطح هفتم مدل، بیشترین تاثیرگذاری را بر سیستم و کمترین تأثیرپذیری را از سیستم دارد. این مؤلفه با مؤلفه‌های سطح ششم رابطه یک طرفه دارد، به این معنی که این مؤلفه بر مؤلفه‌های سطح ششم تأثیر گذاشته و از آن‌ها تأثیر نمی‌پذیرد.مؤلفه‌های " شبیه‌سازی " و " ربات‌های اتوماتیک صنعتی " در سطح ششم مدل با مؤلفه سطح پنجم دارای رابطه یک طرفه هستند، به این معنی که مؤلفه‌های شبیه‌سازی و ربات‌های اتوماتیک صنعتی بر مؤلفه سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی تأثیر گذاشته و از آن تأثیر نمی‌پذیرند. همچنین مولفه‌های شبیه‌سازی و ربات‌های اتوماتیک صنعتی دارای رابطه دو طرفه می‌باشند.مؤلفه " سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی " در سطح پنجم مدل با مؤلفه‌های سطح چهارم رابطه یک طرفه دارد، به این معنی که مؤلفه سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی بر مؤلفه‌های اینترنت اشیاء صنعتی، واقعیت افزوده و امنیت شبکه تأثیر گذاشته و از آن‌ها تأثیر نمی‌پذیرد.مؤلفه‌های " اینترنت اشیاء صنعتی " ، " واقعیت افزوده " و " امنیت شبکه " در

سطح چهارم مدل روابط دو طرفه دارند به این معنی که هم اینترنت اشیاء صنعتی بر واقعیت افزوده تأثیر می‌گذارد و هم واقعیت افزوده بر اینترنت اشیاء صنعتی تأثیر می‌گذارد. همچنین روابط مذکور مابین مولفه‌های واقعیت افزوده و امنیت شبکه نیز برقرار است به این معنی که اگر یکی از این مؤلفه‌ها بالا رود مؤلفه دیگر هم بالا می‌رود. از طرف دیگر این مؤلفه‌ها با مؤلفه سطح سوم " سیستم رایانش ابری " رابطه یک طرفه دارند.مؤلفه " سیستم رایانش ابری " در سطح سوم با ارتباط یک طرفه بر مؤلفه " تولید افزایشی " در سطح دوم تاثیرمی گذارد. در نهایت تمامی مولفه‌های مذکور منجر به ایجاد توسعه پایدار در سطح اول مدل می‌شوند. لازم به ذکر است مؤلفه تولید افزایشی به صورت مستقیم بر این مؤلفه تأثیر دارد و سایر مولفه‌ها به صورت غیرمستقیم و از طریق اثرگذاری بر مولفه‌ای دیگر منجر به دستیابی توسعه پایدار در مدل می‌شوند.

پاسخ به سؤالات تحقیق

سؤال اصلی:مدل بهینه برای توسعه غیر انحصاری اکوسیستم خودروهای متصل در بازار برای تعیین نقش‌ها و مسئولیت‌ها مبتنی بر اینترنت اشیا چیست؟

با استفاده از تکنیک معادلات ساختاری تفسیری(ISM) و اطلاعات مستخرج از مصاحبه‌ها مدل نهایی طراحی شد. نتایج سطح‌بندی نشان داد:مؤلفه " تحلیل کلان‌داده‌ها " در سطح هفتم مدل، بیشترین تاثیرگذاری را بر توسعه غیر انحصاری اکوسیستم خودروهای متصل در بازار و کمترین تأثیرپذیری را از سیستم دارد.همچنین مؤلفه‌های شبیه‌سازی و ربات‌های اتوماتیک صنعتی بر مؤلفه سیستم‌های یکپارچه افقی و عمودی تأثیر گذاشته و از آن تأثیر نمی‌پذیرند.

چالش‌ها و فرصت‌های فعلی در اکوسیستم خودروی متصل چیست؟

با توجه به مدل ارائه شده و تأثیر پذیری مؤلفه‌های رایانش ابری و امنیت می‌توان نتیجه گرفت که چالش‌های فعلی در اکوسیستم خودروی متصل استفاده بهینه از رایانش ابری و سرمایه گذاری بر روی سیستم‌های امنیتی می‌باشد

ذینفعان کلیدی درگیر در توسعه اکوسیستم خودروی متصل کدامند؟

با توجه به مدل ارائه شده ذینفعان کلیدی در توسعه اکوسیستم خودروی متصل با توجه به مؤلفه تولید افزایشی و رباتیک صنعتی ، تولید کنندگان و تأمین کنندگان تجهیزات اتوماتیک صنعتی می‌باشند.

چگونه می‌توان نقش‌ها و مسئولیت‌ها را بین ذینفعان مبتنی بر اینترنت اشیا تعریف و تخصیص داد؟

با توجه به نتایج تحقیق جهت تخصیص نقش‌ها و مسئولیت‌ها بین ذینفعان می‌توان از طریق اینترنت اشیا بر مبنای هفت سطح مدل ارائه شده اولویت‌ها را بر مبنای مهمترین سطح یعنی سطح هفتم تا پایینترین سطح انجام داد.

منابع

آذر، ع.، و خسروانی، م. (۱۳۹۸). *مدل‌سازی ساختاری-تفسیری: اصول و کاربردها*. تهران: انتشارات سمت.

خداداد حسینی، م.، موسوی، ع.، و همکاران. (۱۳۹۷). تأثیر خودروهای متصل و خودران بر ایمنی ترافیک و کاهش تصادفات ثانویه. *پژوهشنامه حمل و نقل جاده‌ای*، ۵)۱(، ۱–۱۷.

رضوی، ف.، تقوی‌پور، م.، و همکاران. (۱۴۰۱). مکان‌یابی خودروهای متصل با استفاده از توان سیگنال دریافتی شبکهٔ سلولی و فیلتر ذره‌ای. *نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران*، ۱۹)۱(، ۷۹–۹۴.

شادمن نادری، ح.، نیک‌فر، م.، و همکاران. (۱۳۹۹). ضرورت به‌کارگیری سامانهٔ خودرو متصل در مدیریت بزرگراه‌های تهران. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، ۱۱)۳(، ۲۳–۴۲.

مهرانی، ر.، احمدی، س.، و همکاران. (۱۴۰۲). طراحی کنترلر پیش‌بین صریح برای هدایت زنجیره خودروهای متصل. *فصلنامه مهندسی مکانیک خودرو*، ۱۴)۲(، ۴۵–۶۲.

نظری، م. (۱۳۹۳). *نوآوری دیجیتال و استراتژی تحقیق و توسعه در صنایع پیشرو*. تهران: دانشگاه تهران.

جهانمیر، م.، و کاواداس، س. (۱۳۹۷). نوآوری دیجیتال در صنایع تولیدی: یک مرور انتقادی. *فصلنامه مدیریت فناوری اطلاعات*، ۹)۴(، ۵۵–۷۲.

European Data Protection Board. (2020). *Guidelines 01/2020 on processing personal data in the context of connected vehicles and mobility related applications*. Brussels: EDPB.

Gaia-X AISBL. (2023). *Gaia-X Architecture Document* (Ver. 3.0). Brussels.

Hennig, S., Streicher, J., & Döllner, J. (2018). Digital innovation and disruption in the automotive industry. *International Journal of Automotive Technology and Management, 18*(4), 345-362.

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 21434: Road vehicles — Cybersecurity engineering*. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2003). *ISO/IEC TR 10032: Information technology — Reference model for data management*. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 20078: Road vehicles — Extended vehicle (ExVe) web services.* Geneva: ISO.

Jones, S., Smith, L., & Davis, K. (2020). Data ownership, access and stewardship in connected cars: A comparative analysis of terms of service. *Telecommunications Policy, 44*(7), 101938.

Kerber, W., & Frank, S. (2017). Data-governance regimes in connected cars: The competition-law perspective. *Journal of Competition Law & Economics, 13*(3), 403-448.

Kim, S.-H., Park, J.-W., & Lee, C.-H. (2021). Threat analysis and risk assessment of connected-car mobile applications. *Computer Networks, 191*, 107991.

Mikosz, U., Ritter, H., & Langen, M. (2017). A data-governance framework for the Internet of Things: The case of connected cars. *Economics of Innovation and New Technology, 26*(8), 804-821.

Pershina, M., Krylova, E., & Veijalainen, J. (2019). Accelerating digital innovation: Lessons from agile product development. *Research-Technology Management, 62*(2), 14-23.

Sterk, M., Stocker, V., Heinz, F., & Weinhardt, C. (2019). Unlocking the value from car data: Taxonomy and archetypes of connected-car business models. *Electronic Markets, 29*(3), 469-487.

UNECE WP.29. (2020). *Regulation on Cybersecurity and Cybersecurity Management Systems*. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.

USDOT ITS Joint Program Office. (2024). *Connected Vehicle Reference Implementation Architecture (CVRIA) – Version 5.3*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

Yusur, R. (2015). API value chain in the connected-car ecosystem: Opportunities and challenges. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces* (pp. 112-118). New York: ACM.