بررسی میزان آمادگی حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری برای پیاده‌سازی و استقرار صنعت ٤,۰ (مطالعه موردی: متروی تهران)

مقاله علمی – پژوهشی

پژمان صالحی*، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران
مهران خلج، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران
داود جعفری، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: pejmansalehi.metro@gmail.com

دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۲۱– پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۲۳٦-۲۱۱

چکیده

یکی از راهبردهای مهم برای توسعه و هوشمندسازی شهرهای امروزی که زمینه بهبود عملکرد مدیریت شهری در بخش حمل‌ونقل همگانی را فراهم می‌آورد، پیاده‌سازی و استقرار صنعت ٤,۰ است. این راهبرد عمدتاً باتوجه‌به محدودیت‌ها و تابع هدف برای حل مسائل ترافیکی از طریق حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) در فضای شهری به تصمیم‌گیران پیشنهاد می‌شود. تحقیق حاضر به بررسی این سؤال پژوهشی می‌پردازد که آیا راهکارهای مبتنی بر تحلیل‌های ترکیبی می‌توانند به‌عنوان شیوه‌ای جدید و بهینه در کارایی حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) تأثیرگذار باشد؟ در شهرهای هوشمند امروزی، کارکرد محتوایی و ساختاری صنعت ٤,۰ در تبیین ارزش‌های مشتری و کارآمدی مدیریت حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) بر اساس گستره پیاده‌سازی، ارتباطات و نوآوری است. بر اساس نظریه شبکه‌های هوشمند در حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری می‌توان چنین اذعان داشت که متروی تهران هنگامی به صنعت ٤,۰ ارتقا می‌یابد که نظام ارتباطات داخلی آن تقویت شده و نوآوری تکنولوژیک بر اساس زیرساخت‌های موجود و بسترهای نوآورانه شکل می‌گیرد. از این رو تحقیق حاضر به ارائه الگویی برای اندازه‌گیری سطح آمادگی متروی تهران برای استقرار صنعت ٤,۰ پرداخته است. در این تحقیق مقیاس‌های اندازه‌گیری در صنعت ٤,۰ بر اساس روش‌شناسی پژوهش، بر یک رویکرد ترکیبی متکی بوده است. ابعاد مرتبط با سازه‌های شناسایی شده در ساختارهای مترو، به انضمام شاخص‌های اندازه‌گیری آمادگی مترو برای استقرار صنعت ٤,۰، بر اساس ادبیات موضوع شامل فن آوری اطلاعات و ارتباطات در مترو، امنیت سایبری در زیرساخت‌ها و بسترهای ارتباطی مترو، توانمندسازها، سازمان هوشمند، ارزش پیشنهادی و تجربه مسافران در استفاده از متروی تهران بوده است. سازه‌های یاد شده در یک بررسی کیفی تعمیق شده و از این طریق ابعاد مرتبه دوم آن شناسایی و مقیاس‌های اندازه‌گیری صنعت ٤,۰ برای متروی تهران توسعه‌یافته و اعتبارسنجی گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که آمادگی استقرار و بلوغ متروی تهران برای استقرار صنعت ٤,۰ با استفاده از توانایی‌های این شرکت برای به‌کارگیری ظرفیت‌ها و منابع در تأثیرگذاری بر زنجیره ارزش مترو سنجیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: صنعت ٤,۰، متروی تهران، آمادگی، بلوغ دیجیتال

۱-مقدمه

نیل به اهداف راهبردی در جهان آتی، مستلزم اتخاذ و اعمال سیاست‌هایی برای مدیریت انرژی و اجرای برنامه‌های دوستدار محیط‌زیست است. تحقق این امر مستلزم سرمایه‌گذاری بر روی خلق و ایجاد فن آوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست است که علاوه بر ارتقای بهره‌وری سازمان‌های حمل‌ونقل در حوزه انرژی، تعامل میان کنشگران را برای معرفی اشکال پاک، ارزان

و پایدار حمل‌ونقل عمومی افزایش دهد (آگوستینی و نوسلا، ۲۰۲۲). از سوی دیگر روابط میان ارکان صنعت ٤,۰ و مدیریت فرایندهای مهندسی در صنعت حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) بسیار متنوع، پیچیده و وسیع بوده به‌گونه‌ای که می‌تواند رویکرد یاد شده را با استفاده از نوآوری‌های دیجیتالی و جدید برای بهینه‌سازی فرایندهای تولید به شیوه‌ای کارآمد و هوشمندانه متأثر نماید (بنی تز و همکاران، ۲۰۲۳). با شروع انقلاب صنعتی چهارم و دیجیتالی‌شدن روزافزون صنایع مختلف و نیز معرفی فن آوری‌های جدید در ناوبری حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری، تمایل به اتوماسیون برای افزایش بهره‌وری مدیریت ترافیک به وجه معمول و رایج فرایندهای مدیریتی و مهندسی متروها بدل شده است (بیورکدال، ۲۰۲۳). یکپارچه‌سازی سامانه‌ها امکان همکاری میان شرکت‌ها و تعامل میان بخش‌های فنی را افزایش داده و از این طریق کاهش مصرف انرژی و نظایر آن را بهبود بخشیده است و علاوه بر ارتقای راندمان فرایند تولید و عملیات موجب بهره‌وری پایدار کارخانه‌های صنعتی شده است (برتل و همکاران، ۲۰۱۷). اجرای راهبردهای مرتبط با پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در سطح کشورهای عضو اتحادیه اروپا از طریق پروژه‌های تحقیق و توسعه و سایر روش‌های نظایر آن پیگیری می‌شود. به‌عنوان‌مثال در ایتالیا برای سال ۲۰۲۰ برنامه ملی ایمپرسا ٤,۰ برای یک دوره سه‌ساله بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ اجرایی شد که در پی آن برنامه تحول ٤,۰ برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ از طریق اعطای تسهیلات اقتصادی برای توسعه کسب‌وکارهای دیجیتال به اجرا درآمد که سه محور موازی و مکمل را برای حمایت از اعطای تسهیلات و اعتبارهای مالیاتی در سرمایه‌گذاری صنعت ٤,۰، تحقیق و توسعه استقرار صنعت ٤,۰ و در نهایت آموزش صنعت ٤,۰ دنبال می‌نمود (کالابرس، ۲۰۲۳). در ادبیات تکنولوژی اصطلاح صنعت ٤,۰ طی سال‌های اخیر برای اشاره به انقلاب صنعتی چهارم مورداستفاده قرار گرفته و دراین‌بین ابزارها، فرایندها و ظرفیت‌های فن آوری اطلاعات، شالوده و اساس این تحول راهبردی در صنایع ایرانی محسوب می‌شوند. انقلاب صنعتی ٤,۰ از طریق کاربرد گسترده فن آوری‌های دیجیتال و تعامل وسیع عناصر آنها در یک بستر پیچیده با اجزاء، سیستم‌ها و اشیا امکان تصمیم‌گیری هوشمند و بلادرنگ را برای مدیریت ترافیک شهری فراهم می‌آورد (کاستلو برانکو و همکاران، ۲۰۲۲). از هنگام ظهور پدیده صنعت ٤,۰ تا کنون بسیاری از شرکای دانشگاهی و حرفه‌ای کوشیده‌اند که زمینه پذیرش، پیاده‌سازی و استقرار این رویکرد را برای صنایع مختلف تسهیل نمایند. در این بین صنعت حمل‌ونقل همواره پیشتاز استقرار و توسعه رویکرد صنعت ٤,۰ و روندهای آن بوده است. همچنین این امر در صنایع دیگر مانند معماری، عمران و ساخت‌وساز به سمت استفاده از رویکرد صنعت ٤,۰ در حرکت بوده لیکن نمونه منسجم آن معدود و انگشت‌شمار است (کیارلو و همکاران، ۲۰۲۱). از دیگر سو فن آوری‌هایی که پیش‌تر به طور سنتی در ارائه خدمات و کارکرد سامانه‌های تولیدی و تجاری به کار می‌رفتند در صنعت ٤,۰ با فن آوری‌های پیشرفته دیجیتالی ادغام می‌شوند. این فن آوری‌ها اغلب بخشی از فرایندهای موجود در ذیل سیستم‌ها و شبکه‌های رایانه‌ای به شمار می‌روند که با مدل‌های تحول دیجیتال و سایر روش‌های مدل‌سازی اطلاعات سازمان، یکپارچه شده‌اند (کولوت و همکاران، ۲۰۲۳). از طرفی با ورود فن آوری‌های جدید و دیجیتالی‌شدن فرایندهای ارائه خدمات در سامانه‌های شهری نظیر حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری، انقلاب چهارم صنعتی به یک وجه معمول و ایده رایج در شهرها بدل شده است (هوروات و سابو، ۲۰۲۳). انقلاب صنعتی چهارم معرف نوآوری‌های بنیادینی است که بر حوزه‌های فیزیکی، دیجیتالی و زیست‌محیطی تأثیر گذاشته و آن را دستخوش دگرگونی می‌نماید (همان منبع، ۲۰۲۳). سادگی و جامعیت نهفته در انقلاب صنعتی چهارم آن را به یک گفتمان غالب در راستای سیاست‌های نوآورانه برای صنایع پیشرفته‌ی جهان بدل نموده است (کاسینن و همکاران، ۲۰۲۳). صنعت ٤,۰ ناظر بر وجه مشترک و موافق روندهایی است که دیجیتالی‌شدن و نوآوری را در فرایندهای تولیدی و خدماتی دنبال می‌نماید (همان منبع، ۲۰۲۳). در صنعت ٤,۰ سیستم‌های هوشمند ریلی مبتنی بر قابلیت تبادل الکترونیکی داده‌ها در سطح وسایل نقلیه ریلی، تغییر در نقطه ثبت سفارش و تقاضای مشتری با لحاظ مشخصات خدمات است که از طریق ایجاد هماهنگی غیرمتمرکز میان فرایندها و سفارشی‌سازی خروجی‌ها حاصل می‌شود (کاگرمن و همکاران، ۲۰۲۰). استقرار صنعت ٤,۰ مستلزم تحول در سیستم‌ها و زیرسیستم‌های یک سازمان بوده که برای موفقیت به شایستگی‌های جدید نیروی انسانی نیاز دارد (همان منبع، ۲۰۲۰). صنعت ٤,۰ اغلب با فن آوری‌های قابل‌استفاده در بخش‌های تولیدی و خدماتی در ارتباط بوده و برخی از تعاریف سایر بخش‌های اقتصادی در حوزه‌های حمل‌ونقل، تدارکات و بازرگانی را پوشش می‌دهد. در سطح شرکت شاخص‌ها و ابزارهای تشخیص بلوغ یا آمادگی برای استقرار صنعت ٤,۰ باتوجه‌به سطح قابلیت‌های شرکت‌ها برای به‌اشتراک‌گذاری دانش و مقایسه آن با خروجی‌های سایر شرکت‌های تولیدی و خدماتی توصیه شده است (لیه و همکاران، ۲۰۱۹). چنین مدل‌هایی می‌توانند صنعت ٤,۰ را در کنار مشخص‌کردن ابعاد و مؤلفه‌های آن از دیدگاه خروجی‌های بخش‌های تولیدی و خدماتی اندازه‌گیری نموده و مورد بررسی قرار داده و بر آن مبنا مقیاس‌های سنجش بلوغ و سطح آمادگی اجرای صنعت ٤,۰ را پیشنهاد نمایند. در تحقیق حاضر به ارائه مدلی برای اندازه‌گیری ابعاد استقرار صنعت٤,۰ در شرکت

متروی تهران با استفاده از رویکرد ترکیبی پرداخته شده است. در این تحقیق مدل اندازه‌گیری میزان بلوغ شرکت مترو برای پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در یک روش ترکیبی دومرحله‌ای طراحی شده که شامل بخش‌های کیفی و کمی است و نتایج آن به مقایسه شرکت مترو با سایر بخش‌های خدماتی – اقتصادی می‌پردازد. در این الگو شرایط مؤثر برای اجرای صنعت ٤,۰ شناسایی و در ادامه آثار آن بر زنجیره ارزش شرکت مترو و ارتباط آن با هوشمندسازی فرایندهای مترو، ارزش‌های پیشنهادی و تجربه مسافران موردمطالعه قرار گرفت. همچنین این مدل سهم شرکت مترو از صنعت ٤,۰ را بر اساس روابط میان منابع و قابلیت‌های اجرایی شرکت مترو و فن آوری‌های موجود و ابعاد آن نشان داده و جنبه‌های مختلف صنعت ٤,۰ را در مدل کسب‌وکار مترو نشان می‌دهد. از منظر نوآوری نیز این پژوهش مفاهیم مرتبط با ادبیات صنعت ٤,۰ را با عناصر تحول دیجیتال و زمینه‌های استراتژیک مترو پیوند می‌زند که در تحقیقات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است.

۲–پیشینه تحقیق

در عصر دیجیتال، استراتژی‌های طراحی و ساخت در مدیریت عملیات و همچنین امور مدیریتی و مهندسی بر تصمیمات سازنده مدیران و نیازهای مسافران و سلایق آنها متکی است. جامعه دانشی که به‌صورت فزاینده ارتباطات و اتصالات اشیای به‌صورت هوشمند توسعه می‌یابد، تقاضا برای محصولات و خدمات شخصی‌سازی‌شده بیشتر از خدمات و محصولات پارادایم تولید انبوه است (دالاسگا و همکاران، ۲۰۲۱). در صنعت ٤,۰ از فن آوری اطلاعات و ارتباطات برای توسعه اینترنت اشیای و مانند آن بهره گرفته می‌شود که از طریق آن بتوان ضمن حفظ یکپارچگی فرایندهای تجاری و مهندسی، کیفیت تولید را در یک سطح بالا نگه داشت و از طریق ثبات در هزینه، محصولاتی انعطاف‌پذیر، کارآمد و دوستدار محیط‌زیست تولید نماید (الیبال و اوزسیلان، ۲۰۲۱). در یک مطالعه که توسط فرناندز – کارامس و فراگا – لاماس (۲۰۲۱) انجام شده، محققان نشان داده‌اند که صنایع به سمت دیجیتالی‌شدن تغییر جهت داده‌اند. محققان همچنین در نتایج تحقیق مزبور آورده‌اند که صنعت ٤,۰ از طریق ادغام فن آوری‌های نوین صنعتی و تولیدات هوشمند با استفاده از دیجیتالی کردن بخش‌های مهندسی و سایر اجزای سیستم تولید؛ قابلیت همکاری، نظارت و کنترل لحظه‌ای را در ساخت انعطاف‌پذیر برای پاسخ سریع به تغییرات بازار با بهره‌وری بالا فراهم می‌کنند. در تحقیق دیگری که توسط فرانک و همکاران (۲۰۲۲) انجام شده، محققان آورده‌اند که پدیده صنعت ٤,۰ بر اساس اصول طراحی تکنولوژیک توصیف شده که می‌تواند با شفافیت بالا به توصیف اجزای سیستم و بخش‌های وابسته به آن بپردازد. یافته‌های تحقیق مزبور نشان می‌دهد که روندهای نوین فن آوری می‌تواند کاربرد نوآوری‌های پیشرفته را در ساختار صنعت ٤,۰ توجیه نموده و امکان رشد فن آوری‌های دیجیتال را در زمینه صنعت ٤,۰ فراهم می‌نماید. در یک تحقیق که توسط ژنگ و همکاران (۲۰۲۳) انجام شده، محققان تأکید کرده‌اند که روندهای توسعه برای صنایع آینده مدیریت عملیات فرایندهای تولید را هوشمندانه نموده است. محققان در این تحقیق آورده‌اند که صنعت ٤,۰ سیستم‌های فیزیکی – سایبری (CPS)، اینترنت اشیای، کارخانه‌های هوشمند و مانند آن را در برمی‌گیرد. در مطالعه‌ای که توسط گیسباور (۲۰۱۹) انجام شده، محققان در نتایج تحقیق خود اشاره کرده‌اند که در بخش‌های عمرانی، الکترومکانیکی و مدیریت شهری، مفاهیم مرتبط با صنعت ٤,۰ می‌تواند از طریق ابزارهایی نظیر واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، واقعیت ترکیبی و نظایر آن ساخت ماشین‌آلات، ساختمان و مدیریت شهری را با کیفیت بالا و هزینه کم، تسهیل می‌نماید. همچنین در مطالعه مزبور محققان ضمن برشمردن مراحل بلوغ فن آوری‌ها، از کاربرد رایانش ابری، محاسبات موبایل و ماژولار و نظایر آن با عنوان صنایع توسعه‌یافته و از واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی به‌عنوان فن آوری‌های درحال‌توسعه یاد نموده‌اند. در مطالعه دیگری، محققان مؤلفه‌های اصلی صنعت ٤,۰ را اینترنت اشیای، اینترنت مبتنی بر خدمت (IOS)، داده‌های بزرگ، رایانش ابری، رباتیک و سیستم‌های خودمختار عنوان کرده‌اند (گیلانی و همکاران، ۲۰۲۳). از سوی دیگر یکی از مفاهیم اصلی توسعه تکنولوژیک در هزاره سوم، شهر هوشمند است که استقرار آن می‌تواند کیفیت زندگی شهروندان را از طریق حل مسائل شهری مانند ترافیک ارتقا بخشد. مفهوم شهرهای هوشمند صرفاً یک حوزه ی فنی در مدیریت شهری نیست؛ بلکه ساختاری است که دارای ابعاد مختلف اقتصادی، حقوقی، سیاسی و انسانی می‌باشد. در صنعت ٤,۰ از اینترنت اشیای برای تولید و ارائه خدمات و محصولات هوشمند استفاده می‌شود. مؤلفه هوشمندی در طول دوره تولید محصول و نیز دوره‌های پشتیبانی محصول در آینده و نیز کنترل‌های نظارت بر طول عمر محصول استفاده می‌شود (گوتز، ۲۰۲۳).

از جمله قابلیت‌های صنعت ٤,۰، توانایی تدوین یک‌چشم انداز راهبردی و روشن برای برنامه‌ریزی و اجرای تغییرات در تمامی سازمان از طریق بسیج منابع و توسعه نیروی انسانی است (لیبونی و همکاران، ۲۰۲۲). شرکت‌های بهره‌بردار مترو در جهان بر اساس تجربه به این تشخیص دست‌یافته‌اند که ارتباطات داخلی، پشتیبانی مدیریتی، در دسترس‌بودن تخصص‌های

موردنیاز و بهره‌مندی از منابع کافی؛ مجموعه‌ای از عوامل حیاتی را برای حصول اطمینان از اثربخشی الگوهای جدید در فرایندهای عملیاتی و پشتیبانی مترو به دست می‌دهد (همان منبع، ۲۰۲۲). در سازمان‌های حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) ادغام‌های عمومی و افقی در راستای نیل به فرایندهای چابک مستلزم شناخت از اکوسیستمی است که شرکت‌ها بر مبنای انتشار دانش و نوآوری در آن فعالیت می‌نمایند. فن آوری‌های نوین و امکانات ارائه شده توسط آن برای استفاده از داده‌ها، فرصت‌های جدیدی را برای کسب منابع درآمدی برای شرکت‌های بهره‌بردار مترو فراهم می‌نمایند (لیختبلائو و همکاران، ۲۰۱۸). بااین‌حال در سطح مدیریت شهری، شرکت‌های مترو به امکان فرایند نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار خود واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. تأثیرات سازمانی و اجتماعی پیاده‌سازی صنعت٤,۰ ارتباط نزدیکی با فرایندهای تحول دیجیتال دارد (همان منبع، ۲۰۱۸). در پارادایم‌های صنعت ٤,۰ پذیرش فن آوری‌هایی مانند اینترنت اشیای و نظایر آن از طریق پردازش یکپارچه داده‌ها و فرایندها می‌تواند در بخش‌های داخلی و خارجی، نوآوری و تغییرات بنیادین را در مدل‌های کسب‌وکار تقویت می‌نماید (لفن و همکاران، ۲۰۲۰). بهره‌گیری از فن آوری‌های نوین می‌تواند امکان تولید محصولات و خدمات جدید و متفاوت را فراهم نموده و داده‌های حاصل از فرایندهای تولیدی و یا ارائه خدمت را از طریق تعامل با مشتریان یا تأمین‌کنندگان به یک منبع ارزش بدل نماید (همان منبع، ۲۰۲۰). در این شیوه داده‌ها می‌توانند برای تولید و ارائه اطلاعات ارزشمند و یا پیش‌بینی‌شده، اصلاح و بهبود کارایی فرایندها مورداستفاده قرار گرفته و منابع درآمد جدیدی را برای خدمات ارزش‌افزوده ارائه نمایند. از این منظر ارزش پیشنهادی شامل خدمات و محصولات سفارشی شده است که از منفعت مشترک عرضه‌کننده و مشتری ناشی می‌شود (ماریان و بورگی، ۲۰۲۲). در انتهای زنجیره ارزش، ترکیب ارزش پیشنهادی با سامانه‌های دیجیتال، به ایجاد نوع جدیدی از رابطه با مشتریان منتهی می‌شود که در آن ابعاد دیجیتال، فیزیکی و اجتماعی با هم در تعامل بوده و ایجاد تجربه مطلوب مشتری را در یک رابطه طولانی‌مدت تضمین می‌نماید (همان منبع، ۲۰۲۲).

از دیگر سو مطالعه ادبیات پژوهش نشان می‌دهد برخی نویسندگان از صنعت ٤,۰ برای انجام فعالیت‌های سطح وظیفه‌ای در ارائه خدمات به مشتریان از طریق ادغام فرایندها و تحلیل برخط داده‌ها در طول زنجیره تأمین بهره می‌گیرند که علاوه بر امکان ردیابی موجودی‌ها، زمینه اشتراک‌گذاری اطلاعات و سفارش‌ها را فراهم ساخته و از طریق برچسب (تگ)های هوشمند محتوای تعاملی را به مصرف‌کننده نهایی ارائه می‌دهد. به طور مشابه در مترو از صنعت ٤,۰ می‌توان به‌منظور ادغام مدل‌سازی اطلاعات سازمان، قابلیت همکاری، مجازی‌سازی، تمرکززدایی، شفافیت اطلاعات، توسعه ماژولار و جهت‌دهی به خدمات برای تولید داده‌های ارزشمند و در نهایت خدمات انعطاف‌پذیر و شخصی‌سازی‌شده بر اساس سلایق مشتریان استفاده نمود.

۲-۱-الگوی سنجش آمادگی برای استقرار صنعت ٤,۰

در حوزه سامانه‌های اطلاعاتی و صنعتی، مدل‌های بلوغ و آمادگی ریشه در نیاز سازمان‌ها به چارچوب‌های مهندسی و مدیریت کیفیت برای توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری دارد. به طور معمول این مدل‌ها در پی اندازه‌گیری عناصر مشخصی هستند که به‌عنوان یک نمونه با معیارهای از پیش تعیین شده مقایسه می‌شوند (میتال و همکاران، ۲۰۲۱). مفهوم سنجه‌های اندازه‌گیری در مدل آمادگی بر این فرض استوار است که نقطه آغاز اندازه‌گیری می‌تواند در راستای اهداف مرتبط با الگوهای قابل‌پیش‌بینی، پی‌درپی و متکی به محصولات سازمان مورداستفاده قرار گیرد (مویئف و همکاران، ۲۰۲۳). الگوهای موجود بر اساس تجزیه‌وتحلیل جامع از مدل‌های آکادمیک و حرفه‌ای به پیشنهاد یک مدل جدید پرداخته و مدل‌های موجود را بر اساس داده‌های موجود ارزیابی می‌نماید. همچنین مدل‌های ارائه شده قبلی در پی اندازه‌گیری میزان توفیق پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ باتوجه‌به ساختارهای از پیش تعیین شده است. سازه‌های این قبیل مدل‌ها بر زنجیره ارزش سازمان تمرکز داشته و ابعادی از صنعت ٤,۰ را منعکس می‌نمایند که از طریق استراتژی، فرهنگ، منابع انسانی، فرایند و فن آوری سازمان را متأثر می‌سازد (مولر و همکاران، ۲۰۲۲). برخی از جنبه‌های مدل‌های صنعت ٤,۰ به سنجش قابلیت‌های سازمان برای تبدیل‌شدن به سازمان‌های دیجیتال می‌پردازند. این مدل‌ها وجود شرایط لازم برای پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ را از منظر آمادگی و بلوغ بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده، بررسی می‌نمایند. چنان‌که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود برخی مدل‌ها نظیر مدل اتوماسیون ماسکیو (۲۰۲۳) بر ارتباط بین فن آوری‌های مدیریت عملیات و فن آوری‌های اطلاعات و ارتباطات با صنعت ٤,۰ تأکید نموده است. از سوی دیگر برخی مدل‌ها بر پذیرش فن آوری در صنعت ٤,۰ تمرکز داشته و برخی دیگر بر ارزیابی زنجیره ارزش در ساختار سازمانی اشاره دارند.

جدول شماره ۱. تبیین مدل‌های آمادگی صنعت ٤.۰

مدل	بیورکدال (۲۰۲۳)	برتل و همکاران (۲۰۱۷)	کالابرس (۲۰۲۳)	کاستلو برانکو و همکاران (۲۰۲۲)	کولوت و همکاران (۲۰۲۳)	کاگرمن و همکاران (۲۰۲۰)
سازه‌ها	- استراتژی و سازمان - خدمات هوشمند -عملیات هوشمند - محصولات و خدمات هوشمند - سرویس‌های داده‌محور - کارکنان	- مدل‌های کسب‌وکار دیجیتال و دسترسی مشتری - دیجیتال‌سازی محصول و ارائه خدمات - دیجیتال‌سازی خدمات و ادغام زنجیره ارزش عمودی و افقی	- استراتژی - رهبری - مشتریان - محصولات و خدمات - عملیات - فرهنگ - کارکنان و ذی‌نفعان - حاکمیت - فناوری	- سیستم‌های اطلاعاتی - منابع - ساختار سازمانی - فرهنگ	در دسترس نیست.	- ادغام عمودی - ادغام افقی - استمرار دیجیتال - معماری سرویس‌گرا - رایانش ابری - گردآوری و پردازش اطلاعات - امنیت فناوری اطلاعات و ارتباطات
منشأ	حرفه‌ای	حرفه‌ای	آکادمیک	حرفه‌ای	حرفه‌ای	آکادمیک
کانون تمرکز مدل	زنجیره ارزش و سازه‌های سازمانی	زنجیره ارزش و سازه‌های سازمانی	زنجیره ارزش و سازه‌های سازمانی	قابلیت‌ها	ادغام عملیات	زیرساخت‌های فناوری اطلاعات
روش‌شناسی	سازمان و کارکنان	مشارکت در پروژه	بررسی ادبیات با مصاحبه‌های تخصصی (مدیران و متخصصان)	شرکت‌ها و کارشناسان (مدیران و محققان)، کمیته‌های راهبری منظم و مستمر، آزمون‌های منظم و تجربی	مشارکت در پروژه	چارچوب مفهومی
اعتبارسنجی	نظرسنجی	در دسترس نیست	مطالعه موردی	مطالعه موردی	در دسترس نیست	در دسترس نیست
امکان استفاده از مقیاس‌های سنجش آمادگی	بله	بله	بله	بله	بله	بله

۳-روش‌شناسی

هدف از تحقیق حاضر طراحی چارچوبی برای اندازه‌گیری آمادگی شرکت متروی تهران در پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ است. مطالعه ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که صنعت ٤,۰ دارای یک دامنه عینی و نسبتاً جدید است که توسعه آن همچنان در دست بررسی محققان است. لذا در این تحقیق به‌منظور اندازه‌گیری آمادگی شرکت مترو برای استقرار صنعت ٤,۰ ، از مدل کولوت و همکاران (۲۰۲۳) استفاده شده است. بر اساس مدل یاد شده از یک رویکرد ترکیبی دومرحله‌ای استفاده گردید. ابتدا با استفاده از جریان کیفی دومرحله‌ای، مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان آمادگی اجرای صنعت ٤,۰ در شرکت متروی تهران ایجاد شد و در مرحله بعد شاخص‌های سنجش بلوغ صنعت ٤,۰ برای این شرکت استخراج گردید.

۳-۱-بخش کیفی تحقیق

هدف از بخش کیفی در تحقیق حاضر ایجاد مقیاسی است که بتوان بر اساس آن امکان‌پذیری فنی، اقتصادی و عملیاتی اجرای صنعت ٤,۰ را در کسب‌وکار مترو اندازه‌گیری نمود (اوستریچ و همکاران، ۲۰۱۹)؛ لذا در این مرحله ابتدا به شناسایی سازه‌ها و ایجاد شاخص‌های اندازه‌گیری پرداخته شد. شیوه‌ی تجزیه‌وتحلیل محتوا، امکان شناسایی الگوها و مضامین را در میان انبار داده‌ها فراهم می‌آورد (همان منبع، ۲۰۱۹). بنابراین جایی که یک موضوع با مفهوم یا ایده‌ای مطابقت دارد، می‌تواند مضمونی مرتبط با موضوع موردمطالعه را ترسیم نماید. مطالعه منابع پنج مضمون کلی را متناسب با ساختارهای موجود شناسایی نموده که در قلمرو حوزه‌هایی است که به ارائه مدل‌های نوآورانه در کسب‌وکارهای مرتبط با صنعت ٤,۰ می‌پردازد و امکان ارزیابی سازه‌های تشکیل‌دهنده آن را به وجود می‌آورد. این امر در جدول شماره ۲ نشان‌داده‌شده است. دراین‌بین برای هر سازه، شاخص‌های اندازه‌گیری صنعت ٤,۰ استخراج و با سایر مفاهیم برگرفته از تحول دیجیتال و مدیریت استراتژیک تکمیل گردید (کاگرمن و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۲. نتایج تحلیل مضمون

محققان	ابعاد موضوع و مضامین استخراج	سازه
بیورکدال (۲۰۲۳)	نقش فناوری اطلاعات در تولید نوآوری و ارتقای مدیریت به‌عنوان یک زیرساخت اصلی که امکان توسعه و خلق شبکه‌های ارزشی را فراهم می‌آورد که با الزامات امنیت سایبری در مترو مرتبط تکمیل می‌شود.	استراتژی فناوری اطلاعات و امنیت سایبری
برتل و همکاران (۲۰۱۷)	پیش‌شرط‌های لازم برای استخراج حداکثر تعداد مضامین مرتبط با قابلیت‌های فناوری‌ها، شیوه‌ها و فرایندهای صنعت ٤,۰	توانمندسازها
کالابرس (۲۰۲۳)	به‌کارگیری ابزارهای ارتقای قابلیت همکاری، تعامل و شفافیت اطلاعات در فرایندهای ارائه خدمات، تولید و زنجیره تأمین	کارگاه‌ها و سازمان‌های هوشمند
کاستلو برانکو و همکاران (۲۰۲۲)	ترکیبی از محصولات و خدمات که امکان ارائه راه‌حل‌های سفارشی و نوآورانه در مدل کسب‌وکار را فراهم می‌آورد.	مهندسی ارزش
کولوت و همکاران (۲۰۲۳)	از منظر محصول (خدمات) محور تا دیدگاه مشتری‌محور: شرایط لازم برای درک نحوه تعامل مشتری با ارزش پیشنهادی	تجربه ی مشتری

بنابراین، توسعه مقیاس‌های سنجش آمادگی صنعت ٤,۰ از طریق ایجاد یک استخر شاخص که به اندازه کافی گسترده باشد برای پوشش دادن ابعاد مرتبط با چارچوب مفهومی لازم به نظر می‌رسد.

شناسایی ابعاد مدل سنجش آمادگی و شاخص‌های اندازه‌گیری امکان استقرار صنعت ٤,۰ در متروی تهران

پس از تبیین سازه‌ها و تدوین شاخص‌ها بر اساس مبانی نظری یک مطالعه کیفی با هدف تعمیق و اعتبارسنجی سازه‌های و شاخص‌های مرتبط با آن انجام گردید. باتوجه‌به آنکه استخراج شاخص‌ها در شبکه مترو مستلزم وجود دانش عمیق مهندسی،

مدیریت فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات و نیز اشراف موضوعی بر سیستم‌های اطلاعاتی مترو در حوزه‌های فنی است؛ لذا انتخاب دقیق جامعه خبرگان در کنار تدوین پیشینه پژوهش به طور هم‌زمان انجام شد. باتوجه‌به تخصص‌های بالا در حوزه‌های فنی مترو (عملیاتی و پشتیبانی) یک نمونه هفت‌نفره برای ارزیابی محتوا کافی به نظر می‌رسید (پاکچینی و همکاران، ۲۰۲۲). کارشناسان خبره منتخب از متروی تهران به طور معمول دارای ۲۰ الی ۲۵ سال سابقه کار حرفه‌ای در بخش‌های فنی و مهندسی متروی تهران بوده و از دانش و تجربه بالایی در حوزه‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، راهبری قطارها، خدمات مسافری و مرکز فرمان برخوردار بودند. لازم به توضیح است که این افراد همچنین باتوجه‌به زمینه تحصیلی از اطلاعات کافی در زمینه صنعت ٤,۰ برخوردار بودند. یکی از این خبرگان مدیر ارشد نگهداری و تعمیرات ناوگان قطارهای مترو بود که عمیقاً در اجرای صنعت ٤,۰ و پروژه‌های مرتبط با آن درگیر بود و سایر خبرگان نیز علاوه بر تخصص در مترو به‌عنوان محقق یا مدرس دانشگاه در حوزه صنعت ٤,۰ و یا مشاور در شرکت‌های فنی حمل‌ونقل ریلی اشتغال به کار داشته‌اند. مدرسان دانشگاه دارای مدارک فوق‌لیسانس و به بالا از دانشگاه‌های فنی کشور بوده‌اند. مصاحبه‌های صورت‌گرفته با خبرگان نیز دارای قالب نیمه‌ساختاریافته بوده و از هر خبره به طور معمول خواسته شد تا دست‌کم چهار سازه و یا تعداد بیشتر برای هر بعد ارائه دهد. ابعاد مرتبه دوم برای تعمیق خصوصیات مرتبط با پنج سازه مرتبط در نظر گرفته شد (همان منبع، ۲۰۲۲). در ادامه پاسخ‌های به‌دست‌آمده از هر یک از خبرگان در ذیل رویه‌های استاندارد کدگذاری گردید که در نتیجه امکان استخراج فراوانی کافی گزاره‌ها میان ابعاد و سازه‌ها به وجود آمد. با تجزیه‌وتحلیل فراوانی پاسخ‌ها ابعاد هر سازه تعیین شد. در ادامه و از طریق مصاحبه‌های باز موضوع با خبرگان، دو شاخص جدید به شاخص‌های شناسایی شده، اضافه گردید. در گام بعد فهرستی از شاخص‌ها تهیه و برای بررسی، اظهارنظر و اصلاح به خبرگان ارائه شد. این فهرست شامل ۲۷ شاخص بود که عمدتاً در مراحل قبلی به‌دست‌آمده بودند. ۸ شاخص اضافی و سایر شاخص‌های پیشنهادی توسط خبرگان پیرامون مسائل کلی مدیریتی و مهندسی متروی تهران در مجموع ۳۸ شاخص را فراهم نمود. برای به‌حداقل‌رساندن تعارض‌ها و جلوگیری از جهت‌گیری‌های سلیقه‌ای و احتمالی در روند اجرای پژوهش، شاخص‌ها به ترتیب حروف الفبا و بدون ذکر هر گونه ارتباط با سازه‌ها و ابعاد مرتبط با آن ارائه گردید. همچنین در ادامه از خبرگان خواسته شد تا هر یک از شاخص‌ها را در مقیاس‌های ۱ تا ۳ سطحی، امتیازبندی نمایند. مقدار ۳ حالتی است که شاخص می‌تواند نشانگر خوبی از آن ویژگی در مدل صنعت ٤,۰ باشد و عدد ۱ حالتی است که شاخص نشانگر خوبی برای آن ویژگی نمی‌باشد. شاخص‌هایی که دست‌کم بیش از ۵۰ درصد خبرگان آن را به‌عنوان نشانگر مطلوب یک ویژگی از صنعت ٤,۰ رتبه‌بندی کردند در مجموعه شاخص‌ها باقی‌مانده و لذا بر اساس نظرات خبرگان متخصص مترو روایی محتوایی آن تضمین گردید (پالینکاس و همکاران، ۲۰۱۸) و در نهایت شاخص‌ها رتبه‌بندی و به‌عنوان نشانگر ابعاد شناسایی شده، توسط خبرگان ارائه گردید.

آزمون میدانی مدل

داده‌های این تحقیق با استفاده از بررسی صورت‌گرفته بر روی نمونه‌های منتخب از بخش‌های فنی و فعال شرکت متروی تهران به‌دست‌آمده است. بخش‌های مدیریتی و مهندسی مرتبط با صنعت ٤,۰ در مترو از طریق چارچوب‌های نمونه گیری صنعت حمل‌ونقل ریلی که توسط انجمن مهندسی حمل‌ونقل ریلی و کانون دانش و صنعت ریلی ارائه شده، شناسایی و مورد تأیید قرار گرفت. از طرفی پرسشنامه محقق ساخته توسط مدیران ارشد بخش‌های مدیریتی و مهندسی شرکت متروی تهران به‌صورت حضوری و یا آنلاین پاسخ داده شدند. در خصوص تکمیل پرسشنامه های الکترونیکی نیز از طریق تلفن و ایمیل پیگیری‌های لازم به عمل آمد. در پرسشنامه‌ها برای هر گویه از یک طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای «کاملاً مخالفم» تا «کاملاً موافقم» استفاده شد. در این پرسشنامه از گویه‌های اضافی برای شناسایی شاخص‌های احتمالی مغفول نیز استفاده شد. در این تحقیق همچنین از روش برون‌یابی ریچاردسون برای محاسبه اوزان نمونه‌ها استفاده شد تا از این طریق امکان یک برون یابی بی‌طرفانه جامعه مرجع در شرکت متروی تهران فراهم شود. در بخش کمی نیز به اعتبارسنجی و ارزیابی بیرونی مقیاس‌ها پرداخته شد تا سازگاری و مطابقت میان سازه‌ها و ابعاد مخفی مدل از طریق روش تحلیل عاملی جستجو شود (پژیک و همکاران، ۲۰۲۳). این روش مبتنی بر ترکیب خطی متغیرهاست که امکان شناسایی الگو و روابط میان متغیرها را مدل فراهم

می‌نماید. استفاده از تحلیل عاملی در مدل ساخته شده، می‌تواند در اندازه‌گیری میزان توفیق شاخص‌ها مورداستفاده قرار گیرد که در نتیجه این امکان در بخش کمی به وجود می‌آید تا اعتبار مدل پیشنهادی بررسی شود. در این خصوص هدف آن است که متغیرها را به عوامل معنادارتری تقسیم نموده و از این طریق بتوان بر الگوهای مشترک تمرکز نمود.

سنجش بلوغ و آمادگی استقرار صنعت ٤,۰ در شرکت متروی تهران

با قراردادن پاسخ‌ها در مقیاس‌های ۱۰۰ امتیازی و وزن‌دهی به آنها واریانس داده‌ها توسط هر عامل از طریق مطالعه تجربی حاصل می‌شود که از طریق آن می‌توان سطح نسبی اجرای صنعت ٤,۰ را اندازه‌گیری نمود. هر چه عدد به‌دست‌آمده برای هر شاخص مقدار بالاتری را نشان دهد، بلوغ یا آمادگی بیشتری را برای پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در مطالعه موردی مترو نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر هدف از بخش کمی مطالعه، اعتبارسنجی بیرونی مقیاس‌ها بود. دراین‌بین مطابقت و سازگاری میان ساختارهای پیشنهادی و سایر ابعاد پنهان از طریق تحلیل عاملی مشخص می‌شود. در روش‌های مبتنی بر ترکیب خطی متغیرها امکان شناسایی الگوها و روابط میان متغیرها وجود داشته و لذا بخش کمی مطالعه امکان اعتبارسنجی الگوی پیشنهادی را فراهم می‌آورد. با تبدیل پاسخ‌ها به مقیاس ۱ تا ۱۰۰ امتیازی و وزن‌دهی عناصر تحقیق، شاخص‌هایی که سطح اجرای نسبی صنعت ٤,۰ را می‌توانند اندازه‌گیری کند، به دست می‌آید.

جدول ۳. جزئیات مطالعه کیفی در پژوهش حاضر

مرحله ۲	مرحله ۱	
مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان	بررسی ادبیات موضوع	ورودی
خصوصیات سازه‌ها	مفهوم‌سازی صنعت ٤,۰	موضوع (هدف)
انجام ۱۵ اندازه‌گیری و سنجش	تعریف ۵ سازه	نتیجه (خروجی)
گسترش مقیاس	توسعه مقیاس	موضوع (هدف)
اندازه‌گیری ۳ شاخص جدید	اندازه‌گیری ۲۷ شاخص	نتیجه (خروجی)
اعتبارسنجی مقیاس		موضوع (هدف)
۳۸ تا شاخص اندازه‌گیری ممکن		ورودی
۳۰ شاخص اندازه‌گیری → از ۱۵ بعد + ۱ بعد اضافه → ۵ سازه		نتیجه نهایی

٤-یافته‌ها

نتایج تجزیه‌وتحلیل موضوعی انجام شده، توصیف مؤلفه‌ها و مراجع تأیید شده را نشان می‌دهد. هر یک از شاخص‌های ایجاد شده برای هر سازه می‌تواند عناصر مدیریتی و مهندسی مرتبط با آن را اندازه‌گیری نماید. جدول شماره ۳ خلاصه‌ای از پاسخ‌های رمزنگاری شده توسط خبرگان و فراوانی ارتباط هر پاسخ با سازه‌ها را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که در برخی موارد خبرگان بیش از سه بُعد را برای هر سازه نشان می‌داد که در نهایت به ۹۷ پاسخ منجر گردید. از مجموع مصاحبه‌های صورت‌گرفته با خبرگان ۳ شاخص جدید یافته شد که لازم بود به شاخص‌های قبلی افزوده گردد. از مصاحبه‌ها چنین بر می‌آید که گزاره‌های استراتژیک فن آوری اطلاعات و ارتباطات شامل هم‌راستایی فن آوری اطلاعات و امنیت فضای تبادل اطلاعات

است. اگرچه دو تن از خبرگان آن را عناصر توانمندساز می‌دانند که می‌تواند به گزاره‌های مدیریت استعداد، فرهنگ و رهبری، اکوسیستم نوآوری، مدیریت دانش و منابع فن آوری اشاره نماید. لازم به توضیح است که گزاره‌های اکوسیستم نوآوری، فرهنگ و رهبری و منابع فن آوری در چندین سازه ذکر شده‌اند. آنچه از فحوای مصاحبه‌ها بر می‌آید آن است که سه ویژگی برای هوشمندسازی خدمات ارائه شده، در مترو قابل‌تصور است که عبارت‌اند از: نخست ادغام که شامل ترکیب فرایندهای داخلی با مشتریان و تأمین‌کنندگان است. دوم: انطباق‌پذیری و سازگاری که به توانایی طراحی مجدد و بازمهندسی فرایندها اشاره دارد. سوم: تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه که توانایی مواجهه با داده‌های تولید شده توسط فرایندها را دارا می‌باشد. دراین‌بین ارزش‌های پیشنهادی شامل محصولات، خدمات هوشمند و نوآوری‌های مدل کسب‌وکار در مترو است که با دیدگاه‌های متفاوتی ارجاع داده می‌شود و بالاخره آنکه وجود توافق جامع میان خبرگان در خصوص اهمیت شناخت مشتری و دانش مشتری اتصال مشتری را به شبکه تأمین (کانال‌های توزیع و اتصال) و درگیرکردن مشتری با تجربه سفر در مترو را فراهم نموده و تجربه مشتری را به وجود می‌آورد. باتوجه‌به امتیازدهی صورت‌گرفته توسط خبرگان ۳۰ شاخص از ۳۸ شاخص به‌عنوان نشانگرهای اصلی طبقه‌بندی شدند. دیگر یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استراتژی‌های فن آوری اطلاعات در شرکت متروی تهران از طریق قابلیت این شرکت در راه‌اندازی یک فن آوری جدید اطلاعاتی و ارتباطی و میزان تأثیر آن بر عملکرد شرکت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که این مهم با یافته‌های تحقیق پِنکارلی (۲۰۲۳) مطابقت دارد. در شرکت بهره‌برداری متروی تهران باتوجه‌به تأثیر خدمات و مصنوعات نوآورانه بر ارائه خدمات مسافری به شهروندان از یک سو و تبعات ناشی از مقاومت کارکنان تمایل وجود دارد که صنعت ٤,۰ به‌تدریج پیاده‌سازی شود؛ بنابراین پیچیدگی‌ها و نوآوری‌های ناشی از استقرار یک فن آوری جدید مستلزم وجود یک راهبرد جامع برای توسعه IT در شرکت مترو است.

از طرفی در بیانیه استراتژیک سازمان لازم است سرمایه‌گذاری و حاکمیت فن آوری اطلاعات همسو باشند و این یافته با نتایج تحقیق پِیارد و وارد (۲۰۱٤) مطابقت دارد. یک طرح ساخت‌یافته برای نوآوری‌های مرتبط با فن آوری اطلاعات و ارتباطات در متروی تهران جستجوی فعال فضای حالت برای یافتن روندهای تازه فن آوری اطلاعات است که غالباً از طریق پیگیری‌های سیستماتیک روندها و فرایندهای موجود در سیستم‌های اطلاعاتی محقق می‌گردد. امنیت فضای سایبری در متروی تهران بخشی از این ساختار کلی به شمار می‌رود. براین‌اساس همسویی فن آوری اطلاعات در سازمان با تحول دیجیتال و مدیریت ریسک در فضای سایبری یکی از موضوعات مهم مدیریتی و مهندسی است که توسط شرکت متروی تهران مطرح شده است و این مهم با یافته‌های تحقیق پرابست و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص آموزش پیشگیری از نفوذهای سایبری به‌عنوان بخشی از ساختار فن آوری اطلاعات و ارتباطات در کارگاه‌های صنعتی مطابقت دارد. توانمندسازها با قابلیت‌ها یا منابعی که بتواند اجرای دقیق و موفقیت‌آمیز صنعت ٤,۰ را از طریق مدیریت استعداد به‌عنوان یک شایستگی جدید در شرکت متروی تهران تضمین نماید، مطابقت دارد که این مهم نیز با تحقیق کین و همکاران (۲۰۱۹) همسو است.

جدول ۳. سازه‌ها و ابعاد آمادگی و بلوغ در شرکت مترو بر اساس نظر خبرگان

تعداد	تجربه مشتری	ارزش‌های مهندسی ارزش	سازمان هوشمند	توانمندسازها	استراتژی‌های فناوری اطلاعات و فضای مجازی	ابعاد و عناصر	سازه
۱۱				۱	۱۰	سطح IT	استراتژی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات و امنیت سایبری
۶					۳	مدیریت ریسک و	
				۲		امنیت فضای سایبری	
۳							
۹				۴		مدیریت استعداد	توانمندسازها
۷			۱	۷		فرهنگ و رهبری	
۴		۲		۵	۲	اکوسیستم نوآوری	
۱۱				۴	۴	مدیریت دانش	
۵		۲	۳	۱۰		منابع فناورانه	
۲							
۵			۵	۲		سازگاری و ادغام	سازمان هوشمند
۲			۲	۲			
۳			۵			تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه	گزاره‌های مهندسی ارزش
۶	۱	۳				محصولات و خدمات هوشمند	
۱۶	۵	۱۱	۲			نوآوری‌های مدل کسب‌وکار مترو	
۹	۷					دانش مشتری	تجربه ی مشتری
۱	۳	۱				کانال‌های توزیع و اتصال	
۴	۴					سفر مشتری	

جدول ٤ مدل اندازه‌گیری و سنجش میزان آمادگی و بلوغ شرکت متروی تهران را برای استقرار صنعت ٤,۰ نشان می‌دهد.

جدول ٤. مدل سنجش و اندازه‌گیری صنعت ٤,۰ برای شرکت متروی تهران

منبع	شاخص	شماره‌گذاری	ابعاد	سازه‌های ساختاری
آگوستینی و نوسلا (۲۰۲۲) و بنی تز و همکاران (۲۰۲۳)	طرح ساختاریافته نوآوری در فناوری اطلاعات و ارتباطات همسو با کسب‌وکار شرکت متروی تهران	Q1	همسویی با فناوری اطلاعات	استراتژی فناوری اطلاعات (IT) و امنیت سایبری بیورکدال (۲۰۲۳)
برتل و همکاران (۲۰۱۷) و کالابرس (۲۰۲۳)	جستجوی فعال برای روندهای جدید نوآوری فناوری اطلاعات	Q2		
کاستلو برانکو و همکاران (۲۰۲۲) و کیارلو و همکاران (۲۰۲۱)	پیگیری سیستماتیک طرح های نوآورانه در فناوری اطلاعات و ارتباطات	Q3		
کولوت و همکاران (۲۰۲۳) و هوروات و سابو (۲۰۲۳) و کاسینن و همکاران (۲۰۲۳)	استراتژی حفاظت از دارایی‌های نامشهود شرکت مترو بر اساس اطلاعات و ابزارهای امنیت سایبری و برنامه‌های آموزشی نیروی کار در زمینه پیشگیری از حملات سایبری، شناسایی زمینه‌ها و تدوین برنامه‌های لازم یا هدف جستجوی فعال برای منابع مادی و مالی موردنیاز	Q4	مدیریت ریسک و امنیت سایبری توانایی مدیریت	توانمندسازی فرناندز – کارامس و فراگا – لاماس (۲۰۲۱)
		Q5		
		Q6		
کاسینن و همکاران (۲۰۲۳) و کاگرمن و همکاران (۲۰۲۰)	دردسترس‌بودن کارکنان فنی و ابزارهایی که امکان مشارکت نیروی کار در فرایند نوآوری را فراهم می‌کند. تغییرات مستمر و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای توسعه و بهبود نیروی انسانی	Q7	فرهنگ و رهبری	
		Q8		
		Q9		

منبع	شاخص	شماره‌گذاری	ابعاد	سازه‌های ساختاری
لِیه و همکاران (۲۰۱۹) و الیبال و اوزسیلان (۲۰۲۱)	همکاری فعال با مؤسسه تخصصی، تأمین‌کنندگان، مشتریان، سایر شرکا یا رقبا در تحقیق و توسعه بررسی سیستماتیک ریسک و ارزیابی منافع حاصل از زنجیره ی ارزش شرکا	Q10	زیست‌بوم نوآوری	
فرانک و همکاران (۲۰۲۲) و ژنگ و همکاران (۲۰۲۳)	دردسترس‌بودن دستورالعمل‌ها و راهنماها از طریق پلتفرم‌های دیجیتال	Q11	مدیریت دانش	
گیسباور (۲۰۱۹)	استراتژی حفاظت از مالکیت معنوی	Q12		
گیلانی و همکاران (۲۰۲۳)	وجود بستر لازم و قابلیت پردازش روی داده‌های تولید شده توسط عملیات و دردسترس‌بودن فناوری هایی که ارتباط بین تجهیزات را امکان پذیر می‌کند	Q13	منابع تکنولوژیکی	
	سیستم‌های اطلاعاتی مدولار و قابلیت همکاری بین سیستم‌ها، با امکان دسترسی توسط کارکنان مجاز	Q14		
گوتز (۲۰۲۳) و لیبونی و همکاران (۲۰۲۲)	استراتژی‌های توسعه مراکز رشد به‌صورت ساختاریافته از طریق نوآوری‌های مبتنی بر بودجه‌بندی دولتی و خصوصی	Q15	منابع مالی	
لیختبلائو و همکاران (۲۰۱۸) و لفن و همکاران (۲۰۲۰)	یکپارچه‌سازی قوی از فرایندهای داخلی اجازه می‌دهد تا برای جریان اطلاعات پایدار	Q16	ادغام افقی و عمودی	
ماریان و بورگی (۲۰۲۲) و میتال و همکاران (۲۰۲۱)	ادغام فرایندهای خارجی با تأمین‌کنندگان، شرکا و مشتریان	Q17		
ماسکیو (۲۰۲۳)	تدوین فرایندهای انعطاف‌پذیر برای سازگاری با تولید	Q18	تطبیق‌پذیری	سازمان هوشمند اوستریتر اِت آل (۲۰۲۰)
اوستریچ و همکاران (۲۰۱۹) و پاکچینی و همکاران (۲۰۲۲)	شناسایی سیستماتیک وظایفی که می‌توانند مکانیزه شوند.	Q19		
پالینکاس و همکاران (۲۰۱۸)	بررسی سامان‌مند داده‌های حاصل از فرایندهای تولید با اهداف نظارت و تصمیم‌گیری	Q20	تصمیم‌گیری پیشگیرانه	
پژیک و همکاران (۲۰۲۳)	دردسترس‌بودن ابزارهایی که امکان مدیریت فرایندهای عملیاتی در فناوری‌های بلادرنگ را فراهم می‌نماید.	Q21		
پِنکارلی (۲۰۲۳)	محصولات یا خدمات شامل فناوری‌های است که امکان مکان‌یابی، اتصال با نظارت کیفیت را به‌صورت از راه دور را فراهم می‌نماید.	Q22	محصولات و خدمات هوشمند	ارزش پیشنهادی تیلور و همکاران (۲۰۲۰)
پِیارد و وارد (۲۰۱٤)	سفارشی‌سازی و شخصی‌سازی فردی یا خدمات بر اساس داده‌های استفاده مشتری	Q23		
پرابست و همکاران (۲۰۲۱)	تجزیه‌وتحلیل سیستماتیک سودآوری فردی محصولات و خدمات ارائه شده برای ایجاد فرصت‌های تجاری جدید	Q24	نوآوری مدل کسب‌وکار	
بنی تز و همکاران (۲۰۲۳)	بررسی سیستماتیک کفایت محصولات یا خدمات برای پاسخگویی به نیازهای خاص مشتریان	Q25		
کین و همکاران (۲۰۱۹)	مشارکت سیستماتیک مشتریان، تأمین‌کنندگان، رقبا برای کاهش ریسک‌های بازار	Q26		
کالابرس (۲۰۲۳) و هوروات و سابو (۲۰۲۳)	جمع‌آوری منظم داده‌ها بر اساس ترجیحات مشتریان	Q27	دانش کانال‌های توزیع و ارتباط سفر مشتری	تجربه مشتری
لیبونی و همکاران (۲۰۲۲)	دردسترس‌بودن پلتفرم‌های توزیع دیجیتال	Q28		

منبع	شاخص	شماره‌گذاری	ابعاد	سازه‌های ساختاری
ماریان و بورگی (۲۰۲۲) و میتال و همکاران (۲۰۲۱)	استراتژی‌های توزیع یکپارچه در سطوح دیجیتال و فیزیکی برای یک تجربه مطلوب مشتری	Q29		
پاکچینی و همکاران (۲۰۲۲)	بهبود مستمر تجربه مشتری فردی از طریق جمع‌آوری داده‌ها در چندین نقطه تماس	Q30		

در جدول شماره ۵ بارهای عاملی هر سازه باتوجه‌به شاخص‌ها و حوزه‌های پنج گانه به تفکیک نشان‌داده‌شده است.

همچنین در جدول شماره ۵ واریانس هر بار عاملی نشان داده است. مفهوم فرهنگ و رهبری با استفاده از ابزارهای همکاری، مشارکت نیروی انسانی را در فرایند نوآوری تسهیل می‌نماید این امر با تحقیق آگوستینی و نوسلا (۲۰۲۲) و بنی تز و همکاران (۲۰۲۳) هم‌راستایی دارد. مدیریت دانش ناظر بر حفاظت از دارایی ها، مالکیت معنوی و پیاده‌سازی مؤثر حافظه سازمانی است که این امر با تحقیق برتل و همکاران (۲۰۱۷) و کالابرس (۲۰۲۳) همسو است. بهره‌گیری از فن آوری‌ها همچنین توانمندسازها را تقویت می‌نمایند. از این رو صنعت ٤,۰ قابلیت‌های پیشرفته را برای پردازش داده‌ها و ارتباط بین تجهیزات شبکه ریلی را فراهم می‌نماید که این یافته با تحقیقات کاستلو برانکو و همکاران (۲۰۲۲) و کیارلو و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. پیاده‌سازی سیستم‌های سازگار و دردسترس‌بودن منابع مالی به‌عنوان موتور محرک توسعه شرکت، سرمایه‌گذاری در آموزش و فن آوری‌های جدید و تجهیزات نوین فن آورانه از امور مهم توسعه شرکت در صنعت ٤,۰ محسوب می‌شوند و خود یک وجه متمایز از تحول صنعتی در شرکت متروی تهران محسوب می‌شوند این مهم با تحقیقات کولوت و همکاران (۲۰۲۳)، هوروات و سابو (۲۰۲۳) و کاسینن و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. سازمان هوشمند نقش با اهمیتی در استقرار و توسعه صنعت ٤,۰ دارد. ارزیابی میزان توفیق سازمان هوشمند از طریق بررسی سطح یکپارچه‌سازی فرایندهای داخلی مرتبط با ارائه خدمات مترو و ادغام کامل آن با فرایندهای تأمین‌کنندگان و مسافران مترو است. این ادغام به معنای قابلیت تنظیم سامانه‌ها در یک سطح بالاست که امکان بهبود فرایندها را فراهم آورده و با شناسایی فرایندها در سطح وظایف زمینه اتوماسیون صنعتی را فراهم می‌آورد. این یافته‌ها با نتیجه مطالعات کاسینن و همکاران (۲۰۲۳) و کاگرمن و همکاران (۲۰۲۰) همراستا است. همچنین به‌منظور نظارت و تصمیم‌گیری در خصوص فن آوری‌های نوین مترو و استفاده از ابزارهای پردازشی برای تولید داده در زمان واقعی به‌صورت بلادرنگ ضروری می‌نماید. سازمان هوشمند یک ویژگی مهم در مدل پیشرفته صنعت ٤,۰ محسوب می‌شود. این یافته پژوهش با مطالعات لِیه و همکاران (۲۰۱۹) و الیبال و اوزسیلان (۲۰۲۱) همراستا می‌باشد. در بخش پیشنهاد ارزش یکی از شاخص‌های مهم ارائه خدمات و محصولات هوشمند است که قابلیت هایی نظیر مکان یابی جغرافیایی و یا ارتباطات میان تجهیزات و تسهیلات در شبکه مترو را فراهم نموده و امکان مانیتورینگ کیفیت خدمات از راه دور را میسر می‌سازد. این یافته با نتیجه مطالعات فرانک و همکاران (۲۰۲۲) و ژنگ و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد. همچنین گزینه سفارشی‌سازی خدمات به مشتریان و ارزش پیشنهادی به طور نسبی با نوآوری‌های مدل کسب‌وکار در مترو ارتباط دارد. این امر مستلزم تجزیه‌وتحلیل درآمدهای تجاری شرکت مترو از ارائه خدمات است تا بتواند فرصت‌های نوآورانه را برای توسعه کسب و کارهای نوپا و استارت آپی را در مترو ارائه نماید. از سوی دیگر ارزیابی مطلوبیت خدمات برای رفع نیازهای مسافران از طریق مطالعه کیفی و بررسی رقبا برای کاهش ریسک‌های موجود در بازار حمل‌ونقل همگانی صورت می‌گیرد که با نتایج این بخش تحقیق با مطالعه گیسباور (۲۰۱۹) همسو است. در آخر نیز توصیف جامع صنعت ٤,۰ در شرکت مترو باتوجه‌به تجربه مسافران در امتداد زنجیره ارزش انجام می‌شود و این بدان معنا است که نحوه تعامل شرکت مترو با مشتریان می‌تواند به طور قابل ملاحظه ای می‌تواند بر تصمیمات راهبردی مربوط به پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ تأثیرگذار باشد. این مهم به طور ویژه با ارزش پیشنهادی، تجربه مشتری و سلایق آنها از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها ارتباط دارد که

به هر حال مستلزم راهبرد هماهنگ توزیع در دو بخش بسترهای دیجیتال و فیزیکی است که خود نیازمند تنظیم چشم‌انداز و اعمال راهبرد توزیع در حوزه‌های دیجیتال و فیزیکی است و این امر با یافته‌های گیلانی و همکاران (۲۰۲۳) سازگار است. مدیریت سفر در مترو به‌منظور حصول اطمینان از جلب مشارکت مسافران از عناصر بسیار مهم افزایش سهم بازار است که معمولاً در مدا های بلوغ صنعت ٤,۰ مغفول می ماند.

مطالعه موردی شرکت متروی تهران

تجزیه‌وتحلیل ماتریس همبستگی و مقدار مناسب به‌دست‌آمده (حدود ۰/۹) برای معیار «کایزر–مایر» به‌منظور برازش نمونه‌ها مطالعه گردید. علاوه بر این نتایج تحلیل KMO برای متغیرها نیز نتایج رضایت بخشی را نشان داد.

جدول ۵. مدل سنجش و اندازه‌گیری صنعت ٤,۰ برای شرکت متروی تهران

کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
۰/۰۱۰	۰/٤۳	۰/٤۳	۰/٤۷۵	۰/۵۹۹	طرح نوآوری ساختاریافته برای فناوری اطلاعات و ارتباطات هم‌راستایی کسب و کار و خدمات مسافری	Q1	سطح IT	استراتژی فناوری اطلاعات و ارتباطات و امنیت سایبری
۰/۸۳۲	۰/۵۹۲	۰/۹۹۱	۰/۸۳۵	۰/۹۸٦	جستجوی فعال برای روندهای نوآوری در فناوری اطلاعات و ارتباطات	Q2		
۰/۵۲۱	۰/٤۲۵	۰/٦٦۳	۰/٦٦۳	۰/۷۸۵	پیگیری سیستماتیک طرح‌های نوآورانه فناوری اطلاعات	Q3		
۰/٤۱۲	۰/۳۷۱	۰/۸٦۲	۰/۸٦۲	۰/٦۳٤	استراتژی‌های حفاظت از دارایی‌های نامشهود مبتنی بر امنیت سایبری و ابزارهای مرتبط با آن	Q4	مدیریت ریسک و امنیت فضای سایبری در مترو	
۰/۷۲۲	۰/۳۸۲	۰/۳٦	۰/۷۳	۰/۷٦٦	اطلاعات و برنامه‌های آموزشی برای نیروی کار در زمینه پیشگیری از امنیت سایبری	Q5		
۰/٤۲۲	۰/٦۲۵	۰/۵٦۳	۰/۷٤۳	۰/۸۳۷	شناسایی شایستگی‌های	Q6	مدیریت	توانمندسازها

کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
					لازم برای کارکنان			
					برخورد با طرح نوآوری فناوری اطلاعات و دردسترس‌بودن آموزش		استعداد	
					برنامه‌ها یا جستجوی فعال برای انسان موردنیاز			
					منابع			
۰/۳٤٤	۰/۳٤	۰/۲۸۸	۰/۹۹۳	۰/٦۲٥	دسترسی به فرایندها و ابزارهایی که امکان مشارکت نیروی انسانی در فرایند نوآوری را فراهم می‌نمایند.	Q7	فرهنگ و رهبری	
۰/۲٦۷	۰/۱۹٥	۰/۲۹۷	۰/۱۲۷	۰/٦۲۹	برنامه‌های مدیریت تغییروتحول فعال برای نیروی انسانی در شرکت مترو	Q8		
					همکاری فعال با مؤسسات تخصصی حوزه حمل‌ونقل، تأمین‌کنندگان،	Q9	اکوسیستم‌های نوآوری	
۰/۱۹٤	۰/٤٦۷	۰/۱۸۷	۰/۳٦٤	۰/٤۷٥	مشتریان، سایر شرکا یا رقبا در مترو			
					ارزیابی سیستماتیک ریسک و منافع زنجیره ارزش	Q10		
۰/۲۳۲	۰/۳٤٦	۰/۳۸۲	۰/۲۲۷	۰/٦۷٤	شرکای راهبردی مترو			
					دردسترس‌بودن دستورالعمل‌ها و راهنماها از طریق بسترهای دیجیتال	Q11	دانش	
-۰/۱٥٤	۰/۱٤۳	۰/۲۷۷	۰/٦٦۲	۰/۲٥۸	زیرساخت‌ها، زمینه‌ها		مدیریت	

کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
۰/۱۱۷	۰/۵۳۵	۰/۲۸۳	۰/۷٦۳	۰/۳۲۷	استراتژی‌های حفاظت از مالکیت و سرمایه فکری ساختاریافته شرکت مترو	Q12		
۰/۳۱۵	۰/۱۷٦	۰/۲۲٦	۰/۵۲۵	۰/۲۸٦	وجود قابلیت‌های پردازشی داده‌های تولید شده توسط عملیات و مدیریت تولید فناوری‌هایی که امکان ارتباط بین تجهیزات را در شبکه مترو فراهم می‌کنند.	Q13	فناوری منابع	
۰/۲۷۹	۰/۱۲۸	۰/٤۱۷	۰/۷۲۸	۰/۳۵۳	سیستم‌های اطلاعات مدولار و قابلیت همکاری بین سیستم‌ها، با امکان دسترسی توسط مجاز کارمندان	Q14		
۰/۲۳۵	۰/۵۳۷	۰/۲۰۳	۰/۲۵	۰/۲۱۳	استراتژی رشد ساختاریافته از طریق نوآوری بر اساس تأمین مالی از منابع دولتی و خصوصی	Q15	منابع مالی	
۰/۳۵۹	۰/۳۳۷	۰/۵۸٦	۰/٦۱۳	۰/۳۷۲	ادغام قوی از فرایندهای داخلی، اجازه می‌دهد برای ثبات جریان اطلاعات	Q16	ادغام عمودی و افقی	

کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
۰/۲۷۷	۰/۴۷۷	۰/۶۶۸	۰/۴۱۸	۰/۳۴	یک تکامل قوی در ادغام فرایندهای خارجی با تأمین‌کنندگان، شرکای تجاری و مشتریان که امکان جریان اطلاعات پایدار و قابل‌ردیابی را فراهم می‌کند.	Q17		
۰/۲۳۸	۰/۳۳۷	۰/۷۸۷	۰/۶۳۳	۰/۳۳۶	فرایندهای انعطاف‌پذیر، قابل‌دسترس و طراحی مجدد برای تطبیق ارائه خدمات	Q18	تطبیق‌پذیری	
۰/۱۴۵	۰/۳۷۷	۰/۶۱۷	/۳۳۹	۰/۳۳۹	شناسایی سیستماتیک وظایفی که می‌توانند خودکار. شوند	Q19		
۰/۱۳۶	۰/۳۴۸	۰/۵۵۸	۰/۲۶	۰/۲۵	داده‌هایی که از فرایندهای ارائه خدمات به دست می‌آید و با هدف نظارت و تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار می‌گیرند.	Q20	تصمیم پیشگیرانه	ساخت
۰/۲۱۴	۰/۴۴۲	۰/۷۳۶	۰/۳۶۵	۰/۶۶۳	دردسترس‌بودن ابزارهایی که امکان مدیریت فرایندهای عملیاتی را در زمان واقعی برای شبکه فراهم می‌کند	Q21		

کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
۰/۲۵۳	۰/٤۲۳	۰/۲۸	۰/٦۲٦	-۰/۱۱۹	محصولات یا خدمات شامل فناوری‌های نصب شده در ناوگان قطار یا بسترها هستند که امکان جغرافیایی یا اتصال به شبکه را با امکان نظارت از راه دور بر روی کیفیت فراهم می‌کنند.	Q22	محصولات هوشمند و خدمات	گزاره ارزش
۰/۱۳۳	۰/٦٥٦	۰/٤۹٥	۰/٤٤	۰/۱٥٥	سفارشی‌سازی خدمات شرکت مترو بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از مشتری	Q23		
۰/۲٥٤	۰/۸	۰/۲٥۹	۰/٤۸٥	۰/۳٦٦	تجزیه‌وتحلیل سیستماتیک سودآوری خدمات ارائه شده برای ایجاد فرصت‌های تجاری جدید. در شبکه مترو	Q24	مدل تجاری نوآوری	
۰/۲٥۸	۰/۲۸۲	۰/٤۳	۰/۱٤۲	۰/۳۹۷	بررسی سیستماتیک کفایت محصولات یا خدمات به نیازهای خاص مشتریان	Q25		

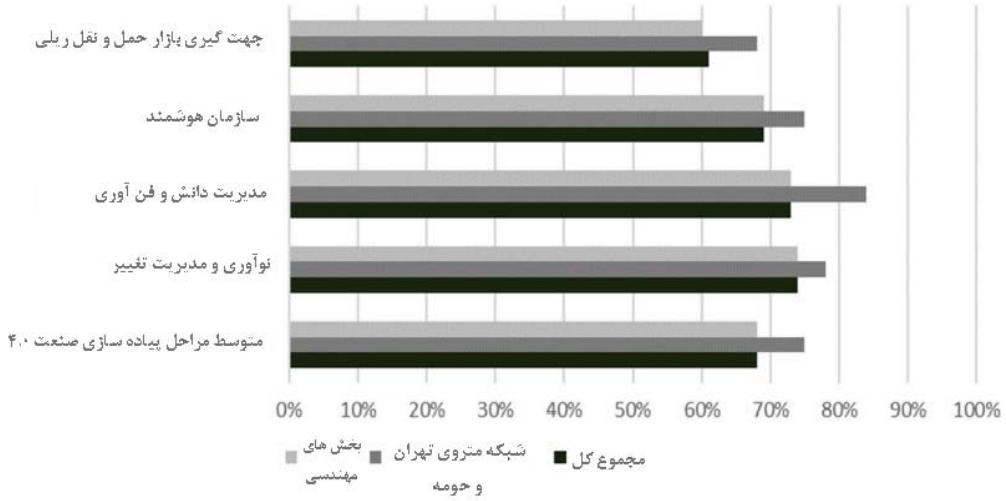
کانال‌های توزیع و ارتباط با مشتری	تجربه مشتری	سازمان هوشمند	دانش و فن آوری	نوآوری و مدیریت تغییر	شاخص‌ها	کد	ابعاد	سازه
۰/۲۳۷	۰/۵۲٤	۰/۳٦۷	-۰/۱۵٤	۰/۳٦٤	شراکت‌های سیستماتیک با مشتریان، تأمین‌کنندگان و رقبا به‌منظور کاهش ریسک‌های بازار.	Q26		
۰/۲۷۳	۰/۵٦۳	۰/۳۲۷	۰/۳۸۲	۰/۲۷۳	جمع‌آوری منظم داده‌ها در مورد ترجیحات مشتریان در مترو	Q27	دانش	تجربه‌ی مشتری
۸/٦۰	۱۳/۸۰	۱۵/۱۰	۱٤/۷۰	۱٦				واریانس بر حسب درصد
۳۷/۲۱	۸٦/۹۸	٤۲/۸۰	۳۱/۷۰	۱٦/٤۰				واریانس کل بر حسب درصد (٪)

جدول ٦. شاخص‌های تمرکز و واریانس هر عامل

	مدیریت نوآوری و تحول	مدیریت دانش و فن آوری	سازمان هوشمند	ارزش مشتری	کانال‌ها و زیرساخت‌های توزیع
واریانس هر عامل	۳/٦۸۳	۳/۷۳۲	۳/۱۳۸	۳/۲٤۷	۲/۸۲۳
وزن نسبی (بر حسب درصد)	٪ ۲۳/۲	٪ ۲۱/٤	٪ ۲۲/۲	٪ ۲۱/۸	٪ ۱۰/۸
وزن هر شاخص (بر حسب درصد)	۲۳/۳	٪ ۲۲/۲	٪ ۲۲/۹	٪ ۳۳/۷	٪ ۱۰/۸

مقدار حدود ۰/۹ برای هر عامل نشان از توفیق رویکرد ترکیبی دارد. بر اساس معیارهای کایزر، پیرسون و نمودار اسکری پنج عامل اصلی حفظ شدند. معیار کایزر نشان می‌دهد که هر عامل با مقدار ویژه بیش از یک برای حالتی که داده‌ها استاندارد شده باشند، می باید در تجزیه‌وتحلیل مد نظر قرار گیرد. از سوی دیگر پنج عامل شناسایی شده بیش از ۷۰ درصد واریانس کل را تشکیل می‌دهد که در نتیجه این امر، مقدار پیرسون را نیز تأیید می‌نماید. در نهایت آنکه تجزیه‌وتحلیل نمودار اسکری نشان می‌دهد که از عامل پنجم به بعد شیب کاهش یافته است. این پنج عامل به نام های نوآوری و مدیریت تغییر، مدیریت دانش و فن آوری، سازمان هوشمند، ارزش پیشنهادی مشتری و راهبرد توزیع دیجیتال نامیده می‌شود. همچنین تکنیک چرخش‌های متعامد یا متمایل در تحلیل عاملی برای اطمینان از تناسب داده‌ها اعمال گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اجرای صنعت ٤,۰ در متروی تهران به بودجه و منابع مالی خاصی متکی نیست. از سوی دیگر دانش برگرفته از ایده‌های مسافران متروی تهران در ابعاد نهفته ای از کانال‌های توزیع و ارتباط قرار گرفته است و بنابراین نتایج نشان می‌دهد که رابطه قوی و مؤثری میان خدمات هوشمند متروی تهران و نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار این شرکت وجود دارد. این امر با ضرورت های سفارشی سازی خدمات مسافری در متروی تهران و ایجاد ارزش مشترک برای بهبود ارزش‌های پیشنهادی مسافران مترو مطابقت دارد. در خصوص تجارب مسافران برای استفاده از سفرهای متروی تهران، اگرچه متروی تهران در پی کسب رضایت مشتری از طریق سفارشی سازی خدمات برای مسافران (درون‌شهری، حومه ای و فرودگاهی) بر اساس داده‌های استفاده مسافران از مترو است اما بااین‌حال این ابعاد برای متروی تهران در مطالعات قبلی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از دلایل این کم توجهی، تک بعدی بودن کانال های توزیع و ارتباط با مسافران مترو بوده است که در نتیجه به‌عنوان یک عامل مجزا شنایی شده و لذا در این پژوهش ساختار تحقیق بر اساس آن جهت یافته است. در مطالعه موردی این تحقیق، شاخص‌های آمادگی و بلوغ شرکت متروی تهران برای پیاده‌سازی و استقرار صنعت ٤,۰ از میانگین وزنی پاسخ‌ها یعنی اوزان واریانس هر عامل به دست آمد. کانال‌های توزیع و ارتباط عاملی است که با استفاده از دو شاخص ارزیابی می‌شود و چنین به نظر می‌رسد که سهم کمی در مقدار نهایی واریانس داشته و در معادلات ساختاری به یک نتیجه ضعیف منتهی می‌شود. از طرفی باتوجه‌به وجود ارتباط قوی میان ارزش پیشنهادی و تجربه مسافری در استفاده از مترو به‌عنوان وسیله سفر و بر اساس آنچه از مطالعات کیفی و کمی به‌دست‌آمده است، یک تحلیل عاملی موازی با چرخش متعامد پرومکس انجام شد که همبستگی ۳۷ ٪ را میان ارزش پیشنهادی و کانل های توزیع و ارتباطات نشان داد. بنابراین بیشترین مقدار ممکن برای همبستگی در مقایسه با سایر عوامل برای کانال‌های توزیع و ارتباطات به دست آمد که میزان تمایل برای حمایت از وجود محتوای مشترک میان عوامل را تأیید نمود. حال با در نظر گرفتن این ابعاد ارزش پیشنهادی در شرکت متروی تهران و کانال‌های توزیع و ارتباطات در یک گروه بندی جدید با عنوان

«جهت‌گیری بازار حمل‌ونقل» قرار می‌گیرند. در جدول شماره ٦ واریانس هر عامل به به ترتیب اهمیت آورده شده است. در تصویر شماره یک نتیجه محاسبه شاخص‌ها نشان‌داده‌شده است. باتوجه‌به آنچه در فوق توضیح داده شد متوسط مقدار میزان اجرای صنعت ٤,۰ برای شرکت متروی تهران به عدد ۵۸ درصد می رسد. این مقدار عمدتاً از وزن هر یک از بخش‌های ستادی و مهندسی (۹۵٪) ناشی می‌شود. بخش‌های فنی و مهندسی در شرکت متروی تهران در همه ابعاد پیشرفته تر هستند و این امر را نتایج مشاهدات میدانی نیز ثابت نموده است. از طرفی باتوجه‌به وجه مسلط نوآوری و مدیریت تغییر و نیز مدیریت دانش و فن آوری در متروی تهران، چنین به نظر می‌رسد که شرکت متروی تهران در بخش‌های مهندسی ناوگان و خط و ابنیه پیشرفت بیشتری نسبت سایر حوزه‌ها برای نیل به سازمان هوشمند و جهت گیری بازار حمل‌ونقل عمومی داشته است. تحلیل شاخص‌ها بر اساس فعالیت های هر بخش نشان می‌دهد که در شبکه متروی تهران ارائه خدمات مسافری بیشترین ارزش مشتری را تولید می‌نماید. علاوه بر این در سازمان هوشمند، ارائه خدمات بیش از وجه تجاری آن، ریشه در دانش و فن آوری دارد که خود نشان می‌دهد شرکت متروی تهران به توسعه شبکه و بهره برداری از ایستگاه‌ها بیشتر تمایل داشته است. در تحقیق حاضر یک مدل سنجش آمادگی و بلوغ در متروی تهران برای اجرای صنعت ٤,۰ ارائه گردید. در بخش مطالعه کیفی نیز مدلی طراحی شد که ابعاد صنعت ٤,۰ را در راستای زنجیره ارزش سازمان هوشمند، ارزش پیشنهادی مشتری و تجربه مشتری به‌صورت یکپارچه ارائه می‌دهد. تصویر شماره ۱. شاخص پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در شبکه متروی تهران را نشان می‌دهد.



تصویر ۱. شاخص پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در شبکه متروی تهران

این ساختار بر اساس راهبردهای فن آوری اطلاعات و امنیت سایبری و نیز توانمندی‌های خاص که برای اجرای مؤثر صنعت ٤,۰ لازم است مورد حمایت قرار گیرد. بااین‌حال به طور معمول مطالعات مربوط با سطح اجرای صنعت ٤,۰ بر اساس فن آوری اطلاعات، امنیت سایبری و نیز توانمندسازهای موجود در زمینه نوآوری و مدیریت دانش و نیز مدیریت تغییر و فن آوری ترکیبی از عوامل مؤثر در توسعه‌ی راهبردهای مرتبط را نشان می‌دهد. به دیگر بیان در مطالعات قبلی دو بُعد متمایز ساختار موردتوجه قرار گرفته است و نتایج بخش کمی نیز وجود این تفاوت را تأیید می‌نماید. رابطه میان فن آوری اطلاعات، مدیریت استعداد و فرهنگ، اکوسیستم نوآوری و مدیریت تغییر اهمیت چشم‌انداز انتقال فن آوری را در سرتاسر شرکت مترو و اکوسیستم خارجی نشان می‌دهد. همچنین پیشگیری از حملات سایبری و امنیت سایبری می‌تواند به‌عنوان یک توانمندساز در شرکت مترو مطرح می‌شود. در زیرساخت‌های یک سازمان هوشمند، یکپارچگی، انعطاف‌پذیری و اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه در زمره ابعادی هستند که به طور خاص به انعطاف‌پذیری و توانایی استخراج و پردازش داده‌ها از فرایندهای بهره‌برداری مترو بازمی‌گردند. یکپارچگی و انطباق‌پذیری منابع امکان تخصیص بهینه با حداقل هزینه را فراهم می‌آورد. بااین‌حال تخصیص بهینه منابع به نظارت

مستمر مدیریت عملیات بستگی دارد. دراین‌بین ارزش پیشنهادی شامل خدمات هوشمند شرکت مترو برای ارائه نوآوری در مدل کسب‌وکار و دانش مشتری است. ترکیب ارزش پیشنهادی، کانال‌های توزیع و ارتباطات باتوجه‌به جهت‌گیری بازار حمل‌ونقل ریلی برای استقرار صنعت ٤,۰ و مقدار به‌دست‌آمده برای شاخص‌های بلوغ و آمادگی شرکت متروی تهران، نشان‌دهنده اهمیت مشتری به‌عنوان یک کنشگر در فعالیت‌های ارزش‌آفرین برای مسافران است. این نتایج با مطالعات اخیر صورت‌گرفته در خصوص مدل‌های کسب‌وکار در صنعت ٤,۰ که ارزش‌افزوده ناشی از تعاملات مشتری را بررسی می‌کند، سازگار است. در متروی تهران مسافران بخشی از شبکه زنجیره تأمین هستند که با استفاده از تعاملات بر خط و زیرساخت‌های توزیع دیجیتال در نهایت ترکیب ارزش پیشنهادی و فرایندهای سازمان هوشمند را تشکیل می‌دهند. ایجاد زنجیره ارزش در شرکت مترو مستلزم وجود شرایط خاصی است که در ذیل شیوه‌های مدیریت نوآوری، دانش و فن آوری قرار دارد. درحالی‌که بخش کیفی تحقیق اهمیت راهبرد IT و استفاده از شیوه های امنیت سایبری را برای پیشگیری از نفوذ مهاجمان باتوجه‌به شرایط مقدماتی تأیید و بخش کمی شفافیت بیشتری را در مورد روابط میان گزینه‌ها ارائه نمود. همسویی IT، آموزش و امنیت سایبری و نیز مدیریت استعداد، فرهنگ و رهبری در اکوسیستم نوآوری، توانمندی‌های ضروری برای حمایت از تقاضاهای فزاینده استفاده از مترو در کلان‌شهر تهران را در زنجیره ارزش این شرکت مشخص می‌نماید. برای این منظور قابلیت‌های شرکت با استفاده از منابعی نظیر دانش، ابزارها و فن آوری‌های پیشگیری از تهاجمات سایبری در زیرساخت‌های متروی تهران تکمیل می‌شود. در این راستا منابع، اصطلاحاً به آن دسته از دارایی‌های شرکت اطلاق می‌گردد که با فرایندهای مدیریتی و مهندسی شرکت مطابقت داشته و به شرکت مترو اجازه می‌دهد تا منابع جدید را برای ایجاد ارزش تحصیل نماید. در ایجاد موقعیت رقابتی بر اساس الگوی صنعت ٤,۰، شرکت مترو باید راهبردهای مناسب برای دسترسی به داده‌ها و ایجاد فرهنگ انعطاف‌پذیری را با استفاده از پیشرفت‌های فن آورانه تعمیق نماید. این امر گاه از تغییرات فرهنگ‌سازمانی ناشی می‌شود که توسط بارهای عاملی Q7 ، Q8 و Q18 تأیید شده است.

تشخیص روابط میان سازه‌ها، ابعاد و شاخص‌های مربوطه در فرایندهای بهره‌برداری از مترو بر اساس مدل اندازه‌گیری میزان آمادگی و بلوغ برای بازطراحی وظایف و فرایندها از طریق بخش کیفی مطالعه یک رویکرد جدید را نسبت به سایر مدل‌های سنجش بلوغ و آمادگی شرکت مترو در استقرار صنعت ٤,۰ ارائه می‌دهد. یکی از ارکان مهم مدل‌های بلوغ در صنعت ٤,۰ امکان خودارزیابی شرکت‌ها است که زمینه بررسی سازه‌ها را بر اساس واقعیت‌ها فراهم می‌نماید.

۵-نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به ارائه یک مدل اندازه‌گیری برای سنجش بلوغ و آمادگی شرکت متروی تهران برای استقرار و پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ پرداخت. این مدل می‌تواند مفاهیم و چارچوب‌های صنعتی را در فرایندهای مدیریتی و مهندسی متروی تهران به سایر بخش‌های خدماتی مترو تعمیم دهد تا از نتایج انقلاب صنعتی ٤,۰ بهره مند شود. مطالعه کیفی به شناسایی سازه‌های مرتبط و تعمیق آن برای شناسایی ابعاد و اندازه‌گیری شاخص‌های مرتبط کمک کرد. از طرفی مطالعه کمی در این تحقیق توانست تا حدودی سازه‌ها را بازسازی نماید. همچنین در این تحقیق با استفاده از رویکرد ترکیبی یک چارچوب سازگار برای اندازه‌گیری و سنجش استفاده از صنعت ٤,۰ فراهم گردید. امکان سنجی استقرار صنعت ٤,۰ از ظهور آن در زنجیره ارزش شرکت مترو و قابلیت‌های موجود در فرایندهای آن برای ایجاد ارزش در شرکت مترو و ذی نفعان آن تحت پارادایم غالب صنعت ٤,۰ اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس نتایج این مدل، شاخص‌های اندازه‌گیری بلوغ و سنجش آمادگی ایجاد گردید که می‌تواند امکان مقایسه بین شرکت بهره‌برداری و سایر بخش‌های مدیریتی و مهندسی را فراهم نماید. بررسی فعالیت‌های زنجیره ارزش در متروی تهران با استفاده از منابع و قابلیت‌های موجود پشتیبانی می‌شود که در نتیجه وجود یک نگرش جامع راهبردی برای صنعت ٤,۰ در متروی تهران از ضرورت برخوردار می‌شود. این دیدگاه یک گام فراتر از مدل‌های بلوغ صنعت ٤,۰ است که می‌تواند مجموعه ای از سازه‌ها و ابعاد را تحت یک توالی از پیش تعیین شده، رتبه‌بندی نماید. نتایج شاخص‌های ارزیابی آمادگی صنعت ٤,۰ در شرکت متروی تهران سطوح مختلف اجرای صنعت ٤,۰ در قسمت های مدیریتی و مهندسی مترو را

به طور نسبی نشان می‌دهد. جهت‌گیری بازار حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری (مترو) ابعادی را نشان می‌دهد که در آن همه شاخص‌ها کمترین رتبه ممکن را دارا هستند و این بیانگر آن است که شرکت متروی تهران دارای انبوه قابل توجهی از ظرفیت ها و منابع است که می‌تواند ارزش پیشنهادی شرکت مترو را برای مطلوبیت مشتریان و جذب سهم بیشتر از بازار افزایش دهد. از طرفی تفاوت معنادار بین بخش‌های ستادی و عملیاتی در شرکت مترو نشان می‌دهد که هر مقدار از سطح بلوغ شرکت برای استقرار صنعت ٤,۰ می‌تواند نشان دهنده سطح متفاوتی از آمادگی برای بخش‌های فنی و ستادی متروی تهران باشد.

از طرفی این تحقیق با چند محدودیت کلی مواجه بوده که لازم است به برخی از آنها اشاره شود. از آن جمله می‌توان به ذهنی بودن سازه‌های معرفی شده باتوجه‌به تفاوت موضوعات در شرکت مترو توسط خبرگان اشاره نمود. همچنین بخش کیفی مطالعه که توسط متخصصان ارائه شده خود مستعد جهت‌گیری توسط ذهنیت‌های آنهاست. از طرفی برخی خدمات جانبی در مترو نظیر رستوران و فست‌فود کم‌اهمیت هستند. همچنین وزن برخی واحدهای ستادی نظیر خدمات عمومی و آموزشی نادیده گرفته شده است که این تفاوت‌ها در مرحله برآورد و پیش‌بینی جبران می‌گردد. همچنین با بهره‌گیری از اوزان مرتبط با برون‌سپاری برخی از فعالیت‌ها، یک برآورد صحیح و متعادل از شاخص‌های نهایی در سطح جامعه هدف ذی‌نفعان مترو به دست می‌آید. سنجش سطح آمادگی شرکت متروی تهران به‌خوبی منعکس‌کننده قابلیت این شرکت برای پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ است. در نهایت آنکه در مطالعه حاضر پذیرش فن آوری‌های نوین و هوشمند نظیر سامانه مدیریت ترافیک اروپایی در مترو برخلاف سایر مطالعات صورت‌گرفته در خصوص بلوغ شرکت‌ها برای اجرای صنعت ٤,۰، در وضع مناسبی است که این نقطه قوت تحقیق حاضر و زمینه پژوهشی پیشنهادی برای تحقیقات آینده است. از سوی دیگر بر اساس یافته‌های تحقیق می‌توان دیگر پیشنهاد پژوهشی تحقیق حاضر را استقرار تصمیمات راهبردی برای اجرای فن آوری‌های جدید مانند اینترنت اشیای، اینترنت انرژی و تحلیل پوشش داده‌ها برای برآورد خرابی‌ها ناوگان و زیرساخت‌های مترو برشمرد. همچنین به‌عنوان یک پیشنهاد دیگر استفاده از تحلیل برخط داده‌ها برای بهینه‌سازی فرایندهای تجاری و ادغام برخی وظایف ستادی و یا عملیاتی در راستای چابک‌سازی فرایندها می‌تواند به مدیریت پیچیدگی‌های انتقال فن آوری کمک نماید. در واقع استفاده از ابزارهای تعاملی و شفافیت اطلاعات می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری عملیاتی فرایندهای صفی و خدماتی در شرکت متروی تهران باشد که از درجه ارزش‌گذاری نسبتاً بالایی برای مشتریان و ذی‌نفعان مترو برخوردار می‌شود.

از منظر تئوری تحقیق حاضر منابع و قابلیت‌های شرکت متروی تهران را برای اجرای صنعت ٤,۰ و ضروریات آن را فراتر از ابعاد فن آوری و فرایند مورد بررسی قرار داد. بنابراین مدل حاضر، اجرای صنعت ٤,۰ را بر اساس منابع، چارچوب ها و مفاهیم موردمطالعه قرار داد. همچنین از آنجا که جهت‌گیری‌های بازار حمل‌ونقل ریلی، نوآوری‌های مدل کسب‌وکار مترو را مشخص می‌سازد، لذا اصول و مبانی صنعت ٤,۰ می‌تواند به اندازه‌گیری امکان استقرار صنعت ٤,۰ برای سایر بخش‌های غیر فنی و ستادی نیز منجر گردد. به‌عنوان یک یافته مهم در پژوهش حاضر می‌توان به استفاده از روش‌های ترکیبی از طریق بینش های برگرفته از تحلیل ادبیات موضوع برای پذیرش فن آوری در شرکت بهره‌برداری اشاره نمود که می‌تواند پیاده‌سازی فرایندهای مرتبط با سازمان هوشمند و ارائه خدمات مسافری بر مبنای دانش مشتری و مدل نوآوری را میسر سازد. در طراحی خط مشی های رقابتی برای شرکت متروی تهران در بازار حمل‌ونقل همگانی، می‌توان بسته به رسالت هر بخش خاص از کسب‌وکار در حوزه حمل مسافر، رویکرد متناسب و متفاوتی را ارائه نمود که درک پویایی و روابط میان سازه‌ها و ابعاد صنعت ٤,۰ را در مدل‌های تصمیم‌گیری امکان پذیر نماید.

٦-مراجع

-Agostini, L., Nosella, A., (2022). The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study. *Manag. Decis*. 58, 625–643.
doi.org/10 .1108/MD-09-2018-0973
-Benitez, G.B., Ayala, N.F., Frank, A.G., (2023). Industry 4.0 innovation ecosystems: an evolutionary perspective on value cocreation. *Int. J. Prod. Econ. 228*, 107735.
doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735
-Björkdahl, J., (2023). Strategies for digitalization in manufacturing firms. *Calif. Manag. Rev. 62*, 17–36.
doi.org/10.1177/0008125620920349
-Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M., (2017). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 perspective. *Int. J. Inf. Commun. Eng.* 8, 37–44.
doi.org/10. 1016/j.procir.2015.02.213
-Calabrese, A., Levialdi Ghiron, N., Tiburzi, L., (2023). 'Evolutions' and 'revolutions' in manufacturers' implementation of industry 4.0: a literature review, a multiple case study, and a conceptual framework. *Prod. Plan. Control.*
doi.org/10. 1080/09537287.2020.1719715
-Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., (2022). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: evidence for the European Union. *Comput. Ind. 107*, 22–32.
doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007
-Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A., Fantoni, G., (2021). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Comput. Ind. 100*, 244–257.
doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.006
-Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., Sartor, M., (2023). Behind the definition of Industry 4.0 :analysis and open questions. *Int. J. Prod. Econ. 226*, 55.
doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617
-Dallasega, P., Rauch, E., Linder, C., (2021). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: a systematic literature review. *Comput. Ind. 99*, 205–225.
doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039
-Elibal, K., Özceylan, E., (2021). A systematic literature review for industry 4.0 maturity modeling: state-of-the-art and future challenges. *Kybernetes 50*, 2957–2994.
doi.org/10.1108/K-07-2020-0472
-Fernandez-Carames, T.M., Fraga-Lamas, P., (2021). A review on human-centered IoTconnected smart labels for the Industry 4.0. *IEEE Access 6*, 25939–25957.
doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501
-Frank, A.G., Mendes, G.H.S., Ayala, N.F., Ghezzi, A., (2022). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: a business model innovation perspective. Technol. Forecast. Soc. *Change 141*, 341–351.
doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014
-Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., Zanardini, M., (2023). The impacts of Industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing sector. *J. Manuf. Technol. Manag.* 31 (5), 1085–1115.
doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0269
-Geissbauer R. , Vedso J. , Schrauf S. , PWC, Industry 4.0: building the digital enterprise 2019 global industry 4.0 survey, (2019). ⟨www.pwc.com/industry40⟩.
-Gillani, F., Chatha, K.A., Jajja, M.S.S., Farooq, S., (2023). Implementation of digital manufacturing technologies. *Antecedents and consequences. Int. J. Prod. Econ*.
doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107748
-Götz, M., (2023). Cluster role in industry 4.0 – a pilot study from Germany. Compet. Rev. 31, 54–82. **doi.org/10.1108/CR-10-2019-0091**
-Hermann M. , Pentek T. , Otto B. , Design principles for industrie 4.0 scenarios, Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 2019-March (2019) 3928–3937.
doi.org/10.1109/HICSS.2016.488
-Horváth, D., Szabó, R.Z., 2022. Driving forces and barriers of Industry 4.0: do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technol. Forecast. Soc. Change 146*, 119–132.
doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021
-Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Özturk, C., Aromaa, S., Boubekeur, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., Walter, T., 2023. Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Comput. Ind. Eng. 139*, 105678.
doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.052
-Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig, (2020). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, **doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966**
-Leyh C. , Bley K. , Schaffer T. , Forstenhausler S. , SIMMI 4.0-a (2019). maturity model for

-Muscio, A., Ciffolilli, A., 2023. What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects. Econ. Innov. New. Technol. 29, 169–183.
doi.org/10.1080/10438599.2019.1597413
-Oesterreich, T.D., Teuteberg, F., (2019). Understanding the implications of digitization and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Comput. Ind.* 83, 121–139.
doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006
-Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F., Mummolo, G., 2022. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Comput. Ind. 113*, 103125.
doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125
-Palinkas, L.A., Horwitz, S.M., Green, C.A., Wisdom, J.P., Duan, N., Hoagwood, K., (2018). Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research. Adm. Policy Ment. Heal. Ment. Heal. Serv. Res. 42, 533–544.
doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y
-Pejic-Bach, M., Bertoncel, T., Meško, M., Krstić, Ž., (2023). Text mining of industry 4.0 job advertisements. Int. J. Inf. Manag. 50, 416–431.
doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.014
-Pencarelli, T., (2023). The digital revolution in the travel and tourism industry. *Inf. Technol. Tour*. 22, 455–476.
doi.org/10.1007/s40558-019-00160-3
-Peppard, J., Ward, J., (2014). Beyond strategic information systems: towards an IS capability. *Strateg. Inf. Syst.* 13, 167–194.
doi.org/10.1016/j.jsis.2004.02.002
-Probst L., Lefebvre V., Martinez-Diaz C., Bohn, PwC N.U., Kitou D., Conrads J., CARSA, Digital Transformation Scoreboard 2018 EU businesses go digital: opportunities, outcomes anduptake, (2021).
doi.org/10.2826/691861
-Qin, J., Liu, Y., Grosvenor, R., (2019). A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP 52*, 173–178.
doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005
classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4. 0 ,Proc. 2016 Fed. Conf. Comput. Sci. Inf. Syst. FedCSIS 2019. 1297–1302. **doi.org/10.15439/2016F478**
-Liboni, L.B., Cezarino, L.O., Jabbour, C.J.C., Oliveira, B.G., Stefanelli, N.O., (2022). Smart industry and the pathways to HRM 4.0: implications for SCM. *Supply Chain Manag*. 24, 124–146.
doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0150
-Lichtblau K. , Stich V. , Bertenrath R. , Blum M. , Bleider M. , Millack A. , Schmitt K. , E.S./ M. Schröter, Industrie 4.0 Readiness, (2018). ⟨https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf⟩.
-Luftman, J., Lyytinen, K., Zvi, T., (2020). Enhancing the measurement of information technology (IT) business alignment and its influence on company performance. *J. Inf. Technol.* 32, 26–46.
doi.org/10.1057/jit.2015.23
-Mariani, M., Borghi, M., (2022). Industry 4.0: a bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technol. Forecast. Soc. Change 149*, 119752.
doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119752
Mithas, S., Rust, R.T., 2016. How information technology strategy and investments influence firm performance: conjecture and empirical evidence. MIS Q 40, 223–245.
-Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D., Wuest, T., (2021). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: implications for small and mediumsized enterprises (SMEs). J. Manuf. Syst. 49, 194–214. **doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005**
-Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., Eburdy, R., (2023). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs.*Int. J. Prod. Res. 58*, 1384–1400.
doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323
-Müller, J.M., (2022). Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: strategies for industry 4.0 providers and users. *J. Manuf. Technol. Manag 30*, 1127–1142.
doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0008

Investigating the Level of Readiness of Intercity Rail Transportation for the Implementation and Establishment of Industry 4.0 (Case Study: Tehran Metro)

Pejman Salehi, Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran.
Mehran Khalaj, Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran.
Davood Jafari, Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran.

E-mail: pejmansalehi.metro@gmail.com

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT
One of the important strategies for the development and smartening of today's cities, which provides the basis for improving the performance of urban management in the public transportation sector, is the implementation and establishment of Industry 4.0. This strategy is mainly proposed to the decision makers according to the limitations and the objective function to solve traffic problems through intercity rail transportation (metro) in the urban space. The current research examines this research question: can solutions based on composite analysis be effective as a new and optimal method in the efficiency of intercity rail transportation (metro)? In today's smart cities, the content and structural function of Industry 4.0 is in explaining customer values and the efficiency of intercity rail transportation management (metro) based on the scope of implementation, communication and innovation. Based on the theory of smart networks in intercity rail transportation, it can be acknowledged that Tehran Metro will be upgraded to Industry 4.0 when its internal communication system is strengthened and technological innovation is formed based on existing infrastructure and innovative platforms. Therefore, the present research has provided a model to measure the level of readiness of Tehran Metro for the establishment of Industry 4.0. In this research, measurement scales in Industry 4.0 based on the research methodology relied on a combined approach.

Keywords: Industry 4.0, Tehran Metro, Digital Readines, Maturity