

مروری بر مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم

ایمان انصاری^۱، مسعود براتی^۲، محمدرضا صادقی مقدم^۳، مرتضی قباخلو^۴

چکیده

با ظهور پدیده‌ای به نام «انقلاب صنعتی چهارم»، سیستم‌ها، فناوری‌ها و کاربردهای آن، کشورهای توسعه‌یافته مانند: آلمان، آمریکا، ژاپن و برخی از کشورهای در حال توسعه مانند: چین، هند، تلاش به ایجاد زیرساخت‌های مناسب، ارزیابی و ارتقاء میزان آمادگی خود جهت ورود مؤلفه‌های انقلاب صنعتی چهارم در صنایع گوناگون نموده تا از طریق دیجیتال‌سازی به کسب مزایای فراوان آن دست یابند؛ بنابراین، ارزیابی میزان آمادگی سازمان‌ها و صنایع برای ورود به این انقلاب صنعتی دیجیتال، ضروری است که در راستای آن، استراتژی‌های لازم برای نیل به میزان آمادگی مطلوب برای پیاده‌سازی فناوری‌ها و سیستم‌های انقلاب صنعتی چهارم تعیین گردد. از این‌رو، پژوهش حاضر پس از مرور گسترده ادبیات تحقیق با هدف معرفی برترین مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم و سپس ارزیابی آنها، به صنعتگران و سازمان‌ها در استفاده از مدل‌های آمادگی مناسب یاری خواهد رساند. نتایج نشان می‌دهد که برترین مدل بر اساس شش معیار ارزیابی پژوهش، مدل آمادگی ایمپالس بوده و با فاصله اندک در رتبه دوم، مدل آمادگی دانشگاه وارویک قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: انقلاب صنعتی چهارم، صنعت ۴.۰، فناوری، مدل آمادگی، ارزیابی

۱- دانشجوی دکتری گروه مدیریت، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- استادیار گروه مدیریت، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران (نویسنده مسؤول)

barati_masoud@yahoo.com

۳- دانشیار گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران

4-Division of Industrial Engineering and Management, Uppsala University, Sweden

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۹

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۵/۲۲

اصطلاح انقلاب صنعتی چهارم یا صنعت ۴.۰ حاکی از چهارمین انقلاب صنعتی بوده و اصطلاح صنعت ۴.۰ از معادل آلمانی واژه یعنی Industrie 4.0 نشأت می‌گیرد. این اصطلاح نخستین بار در سال ۲۰۱۱ در نمایشگاه هانوفر کشور آلمان معرفی شد. در حقیقت، انقلاب صنعتی چهارم موجب اتصال و یکپارچگی ماشین‌آلات، محصول و کلیه تجهیزات تولید جهت ایجاد اتوماسیون بدون عملیات دستی می‌شود (مونوستری^۱، ۲۰۱۴). انقلاب صنعتی چهارم، دیجیتال‌سازی فیزیکی تمام دارایی‌های یک سازمان جهت ایجاد یک زیرساخت یکپارچه با شرکا بوده که منجر به ایجاد یک زنجیره ارزش الکترونیکی می‌شود. به بیان دیگر، استفاده از فناوری‌های مجازی، دیجیتالی و اتوماسیون، قلب تپنده این انقلاب مجازی است.

از زمان مطرح شدن مفهوم انقلاب صنعتی چهارم به‌عنوان پارادایم جدید در صنایع و آگاهی از مزایا و نتایج بسیار مطلوبی که بر عملکرد کلی سازمان‌ها می‌گذارد، کشورهای توسعه‌یافته مانند: آلمان، آمریکا، ژاپن و برخی از کشورهای در حال توسعه مانند: چین، هند تلاش به ارزیابی و ارتقاء میزان آمادگی خود جهت ورود مولفه‌های انقلاب صنعتی چهارم و ایجاد زیرساخت‌های مناسب در صنایع گوناگون نموده تا از طریق دیجیتال‌سازی به کسب مزایای فراوان آن از جمله: ارتقاء بهره‌وری، چابکی و سرعت پاسخ‌گویی، انعطاف‌پذیری، امنیت، کیفیت و کنترل بر فرایندها، سفارشی‌سازی انبوه و هوشمندی، تاب‌آوری، پایداری و یکپارچگی زنجیره تأمین، رفاه کارکنان و در نهایت رضایت مشتری و سودآوری به همراه کاهش هزینه‌ها دست پیدا نمایند (نلین و اولسن^۲، ۲۰۱۶؛ قباخلو^۳، ۲۰۱۸؛ دینگ^۴، ۲۰۱۸) و از این طریق عملکرد کلی خود را بهبود بخشند (انصاری و همکاران^۵، ۲۰۲۳).

¹- Monostori

²- Nolin and Olson

³- Ghobakhloo

⁴- Ding

⁵- Ansari et al

باتوجه به تأثیرات شگرف و فواید بهره‌گیری از صنعت ۴.۰، سازمان‌ها و صنایع کشور به‌منظور ورود به انقلاب صنعتی چهارم باید در ابتدا، وضعیت فعلی خود را از لحاظ زیرساخت کارخانه و عملیات، منابع، کارکنان، مدیریت، مسائل حقوقی و دیگر حوزه‌های مرتبط بسنجند تا بدانند در چه وضعیتی برای شروع هستند و چه قوت‌ها و چه نقصان‌هایی برای ورود به این انقلاب صنعتی دیجیتال دارند و در گام بعد، با دانستن وضعیت و قابلیت‌های کنونی‌شان، می‌بایست به چه سطحی از بلوغ در صنعت ۴.۰ دست یابند. در نتیجه، سازمان‌ها می‌توانند با ایجاد مزایای رقابتی حاصل از به‌کارگیری سیستم‌ها و فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، به‌سرعت از رقبا پیشی گرفته و جایگاه ممتاز در صنعت کسب نمایند.

مرور پیشینه پژوهش بیانگر آن است که اگرچه پژوهش‌های متعددی در حوزه صنعت ۴.۰ و ارائه مدل‌های آمادگی آن انجام شده است، اما پژوهشی که به ارزیابی جامع مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ بپردازد، کمتر موردتوجه قرار گرفته است؛ بنابراین، پژوهش حاضر سعی دارد تا مدل‌های جامع و کاربردی آمادگی سازمان برای ورود به صنعت ۴.۰ را شناسایی و معرفی نماید و سپس با ارزیابی آنها، به سازمان‌ها و صنایع در بهره‌مندی از برترین مدل‌ها که زوایای مورد نیاز و گوناگون انقلاب صنعتی چهارم را در برمی‌گیرند، یاری رساند.

در این مقاله، نخست، در بخش مبانی نظری پژوهش، مفهوم صنعت ۴.۰ معرفی شده و مدل‌های ارزیابی آمادگی برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم بیان می‌شوند. سپس، پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار گرفته و بعد از آن، روش‌شناسی پژوهش تبیین می‌شود. در ادامه، معیارهای ارزیابی مدل‌ها بیان شده و بر آن اساس مدل‌های آمادگی مقایسه و ارزیابی می‌شوند. سپس، مدل‌ها تحلیل و بررسی شده و در بخش نهایی، بحث و نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

مبانی نظری پژوهش

انقلاب صنعتی چهارم یا صنعت ۴.۰

مسیر حرکت صنایع همراه با بروز انقلاب‌های صنعتی متفاوتی همراه بوده که مسیر و سرعت رشد آنها را تغییر داده‌اند. «انقلاب صنعتی اول» با معرفی تجهیزات مکانیکی موتور بخار به وجود آمد. بعد از آن، انقلاب صنعتی دوم با استفاده از فناوری‌های تولید انبوه با استفاده از برق از طریق تقسیم نیروی کار شکل گرفت. در انقلاب صنعتی سوم، مفهوم استفاده از الکترونیک و فناوری اطلاعات جهت ایجاد اتوماسیون و پشتیبانی از فرایندهای مختلف، مطرح گردید. در سال‌های اخیر، همراه با افزایش کاربرد اینترنت اشیاء^۱، اینترنت خدمات، سیستم‌های سایبری فیزیکی^۲، هوش مصنوعی، ابرهای پردازشگر^۳، تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها^۴، تولید افزایشی^۵، روبات‌ها، پرینترهای سه‌بعدی و حسگرها، دولت‌ها و سازمان‌ها با موج جدیدی مواجه شدند که تغییرات شگرفی در سیستم‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی ایجاد کرده و پارادیم جدید به وجود آورده است که به‌عنوان «انقلاب صنعتی چهارم» یا «صنعت ۴.۰» نام‌گرفته است.

پس از مطرح شدن انقلاب صنعتی نسل چهارم، فناوری‌ها، سیستم‌ها، کاربردها و مزایای آن در کشور آلمان در سال ۲۰۱۱ توجه بسیاری از پژوهشگران، مدیران، صنعتگران و جوامع جهانی را به خود جلب نمود و از آن‌پس روند مطالعات در این زمینه به‌مرور سرعت گرفت.

با ظهور «انقلاب صنعتی چهارم» کالا و اشیاء هوشمند، داده و اطلاعات مورد نیاز نظام‌های اطلاعاتی را تولید می‌کنند و آن‌ها را به‌عنوان زیرساخت جهت ذخیره، محاسبه، پردازش و انتقال اطلاعات فراهم می‌سازند تا تصمیم‌سازی و فرآیند خودکارسازی را بهبود بخشند. محیط‌های اطلاعاتی قابل‌اعتماد، نیازمند داده‌هایی هستند تا اشیاء هوشمند بتوانند اطلاعات در حال جریان را بشناسند، مکان‌یابی و آدرس‌دهی نمایند. صنعت ۴.۰

¹ - Internet of things

² - Cyber Physical Systems

³ - Cloud computing

⁴ - Big data

⁵ - Additive manufacturing

تحول سازمان‌ها در جهت دیجیتالی کردن کل فرایند تولید است و شامل ماشین‌آلات، افراد، زیرساخت‌ها و فناوری‌های نوین بوده که هدف از آن ایجاد شبکه‌های سریع، به‌هم‌پیوسته، مبتکرانه و خودکار است و به سازمان‌ها در ایجاد زنجیره‌های ارزش الکترونیکی یاری می‌رساند. (پولیوسکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ تاپسکات و تاپسکات^۲؛ ۲۰۱۶؛ شواب^۳، ۲۰۱۷). به عبارتی دیگر، صنعت ۴.۰ به کاربرد فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی، اتوماسیون صنعتی، شبکه‌های داده و فناوری‌های ساخت مانند: تولید هوشمند، تعامل انسان - کامپیوتر، پرینترهای سه‌بعدی، عملیات از راه دور و غیره گفته می‌شود (بسل^۴، ۲۰۱۷).

مدل‌های ارزیابی آمادگی برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم

آمادگی برای تغییر می‌تواند موفقیت فرایندهای مدیریت تغییر را پیش‌بینی کند و اتخاذ فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌تواند بر چگونگی دستیابی به مراحل و مهارت‌های جدید مورد نیاز عملیات تأثیر بگذارد؛ بنابراین، آمادگی تغییر یک صلاحیت سازمانی است که برای اجرای موفقیت‌آمیز فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم لازم است. مدل‌های آمادگی باهدف یافتن نقطه شروع و امکان ابتکار برای توسعه روندهای موردنظر بوده و سنجش آمادگی قبل از ورود در فرایند بلوغ صورت می‌گیرد(شوماخر^۵ و همکاران، ۲۰۱۶)

مدل سنجش آمادگی IMPULS

در این مدل سنجش میزان آمادگی صنعت ۴.۰ مبتنی بر یک مجموعه داده جامع بوده و جزئیات مربوط به ابعاد، موارد و رویکرد ارزیابی ارائه شده است. ساختار این مدل علمی بوده و نتایج به طور شفاف توضیح داده می‌شود. در این مدل، میزان آمادگی در شش بعد «استراتژی و سازمان»، «کارخانه هوشمند»، «عملیات هوشمند»، «محصولات هوشمند»، «خدمات داده‌محور» و «کارکنان» همراه با شاخص‌هایشان مشخص می‌شود.

1 - Pulevska

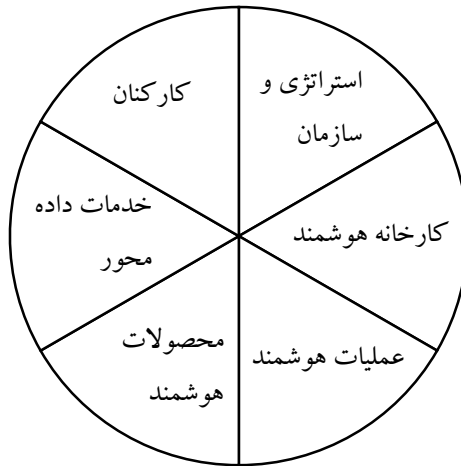
2 - Tapscott and Tapscott

3 - Schwab

4 - Basl

5- Schumacher

در شکل ۱ ابعاد مدل سنجش میزان آمادگی صنعت ۴.۰ این مدل آمده است.



شکل ۱. ابعاد سنجش میزان آمادگی صنعت ۴.۰ مدل IMPULS

در نهایت میزان آمادگی در شش سطح «کاملاً بیگانه»، «مبتدی» به عنوان «تازه‌واردها» و «متوسط» به عنوان «یادگیرنده‌ها» و «آموخته»، «خبره» و «مجری برتر» به عنوان «رهبران» تعیین می‌شود. در گام ابتدایی حیطه عملیاتی، تعداد کارکنان سازمان و تخمینی از درآمد سالانه مشخص گردیده و سپس جایگاه سازمان در انقلاب صنعتی چهارم و شاخص‌های سنجش آن پرسیده می‌شود، در ادامه فناوری‌های صنعت ۴.۰ که در سازمان به‌کارگرفته شده، مشخص می‌شود. سپس میزان سرمایه‌گذاری در اجرای انقلاب صنعتی چهارم در بخش‌های مختلف سازمان مورد پرسش قرار می‌گیرد. به همین منوال پرسش‌هایی در مورد مابقی ابعاد سنجش میزان آمادگی صنعت ۴.۰ مطرح شده و کاربر می‌بایست به آنها پاسخ داده و در نهایت میزان آمادگی سازمان در اجرای فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم مشخص می‌شود. در جدول ۱، دسته‌بندی و نام سطوح آمادگی صنعت ۴.۰ به همراه سطوح آمادگی آنها آمده است.

جدول ۱. سطوح میزان آمادگی صنعت ۴.۰ مدل IMPULS

سطوح آمادگی	نام سطوح	دسته‌بندی سطوح
سطح صفر	کاملاً بیگانه	تازه‌واردها
سطح یک	مبتدی	
سطح دو	متوسط	یادگیرنده‌ها
سطح سه	آموخته	رهبران
سطح چهار	خبیره	
سطح پنج	مجری برتر	

مدل سنجش آمادگی WMG دانشگاه وارویک^۱

در این مدل، میزان آمادگی صنعت ۴.۰ توسط ۶ بعد «تولیدات و خدمات»، «تولید و عملیات»، «استراتژی و سازمان»، «زنجیره تأمین»، «مدل کسب‌وکار» و «ملاحظات حقوقی» و ۳۷ زیر بعد سنجیده می‌شود. این مدل، سطوح آمادگی را به چهار سطح «مبتدی»، «متوسط»، «باتجربه» و «خبیره» تقسیم کرده و توضیحات صریح و واضحی از آنچه برای دستیابی به سطحی خاصی از آمادگی باید کسب شود، بیان می‌دارد. با انتخاب توصیف‌کننده‌ای که به بهترین شکل میزان آمادگی فعلی شرکت را توصیف می‌کند، می‌توان تصویری از میزان آمادگی فعلی صنعت ۴.۰ و شکاف‌های موجود به دست آورد. با استفاده از این مدل آنلاین سازمان یا صنعت می‌تواند قیاسی از میانگین میزان آمادگی سازمان‌ها و یا صنایع شرکت‌کننده در این مدل را کسب نماید.

مدل آمادگی ترستنجاک و اوپتوک^۲، ۲۰۲۰

این مطالعه یک پیش‌نمایش پیشرفته از روش‌های محاسبه ابعاد آمادگی موجود در رویکردهای علمی و تجاری و همچنین رابطه بین صنعت ۴.۰، برنامه‌ریزی فرایند و

^۱-The University of Warwick

^۲- Trstenjak & Opetuk

روش‌های محاسبه ابعاد آمادگی را مورد بررسی قرار می‌گیرد ارائه می‌دهد. پژوهشگران این مطالعه به بررسی کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بخش‌های تولید، اقتصاد، فناوری اطلاعات و برنامه‌ریزی منابع سازمان، لجستیک و زنجیره تأمین و رویکرد کلی پرداختند. این مدل شامل ۳ بعد سخت‌افزار، نرم‌افزار و منابع انسانی و سازمان به همراه مؤلفه‌های آنها است.

مدل آمادگی نیک^۱ و همکاران، ۲۰۲۱

این پژوهشگران با مطالعه پیشینه پژوهش، بیان نمودند که ابعاد استراتژی، سازمان، فناوری، فناوری اطلاعات، کارخانه‌های هوشمند، تولیدات هوشمند، استفاده از داده و نیروی انسانی بیشترین تکرار را در پژوهش‌های مدل آمادگی صنعت ۴.۰ داشته‌اند. این مطالعه جامع به بیان کاستی‌ها و شکاف‌های سطح آمادگی صنعت ۴.۰ شرکت‌ها پرداخته و دستورالعمل‌هایی برای تعیین اهداف و اقدامات بهبود، ارائه نموده است.

مدل آمادگی تریپاتی و گوپتا^۲، ۲۰۲۱

مدل جامع آمادگی صنعت ۴.۰ با هفت بعد، محیط مساعد، نیروی انسانی، زیر ساخت، پایداری زیست‌محیطی، قابلیت نوآوری، امنیت سایبری و مصرف‌کننده به همراه مؤلفه‌های آنها پس از بررسی ادبیات پژوهشی و صنعتی استخراج شده است. در این پژوهش، داده‌ها از منابع معتبری از جمله بانک جهانی، سازمان فرهنگی و علمی سازمان ملل، انجمن جهانی اقتصاد، سازمان بین‌المللی استانداردسازی جمع‌آوری شده است. این تحقیق به ارائه مدل آمادگی صنعت ۴.۰ در دو سطح خرد و کلان و در انتها به سنجش میزان آمادگی صنعت ۴.۰ در ۱۲۶ کشور پرداخته است.

مدل آمادگی هاجواری^۳، ۲۰۲۳

هاجواری (۲۰۲۳) مدل آمادگی صنعت ۴.۰ شامل پنج بعد استراتژی و سازمان، مدل کسب‌وکار، عملیات و ساخت، زنجیره تأمین، تولیدات و خدمات ارائه نمود و با استفاده

¹ - Nick

² - Tripathi & Gupta

³ - Hajoary

از آن، وضعیت فعلی سازمان را ارزیابی نمود تا آن را به سازمانی آماده برای ورود به صنعت ۴.۰ تبدیل نماید. این مطالعه یک تحلیل موردی از بخش‌های اصلی یک شرکت بزرگ تولید فولاد ارائه کرده و شکاف‌ها را شناسایی و توصیه‌هایی برای دستیابی به سطح مطلوب صنعت ۴.۰ در سازمان ارائه می‌نماید.

مدل آمادگی گویندان و آرامپاتزیس^۱، ۲۰۲۳

ایشان در پژوهشی به ارائه مدل سنجش آمادگی صنعت ۴.۰ در یک شرکت خودروسازی بین‌المللی پرداختند. مدل طراحی شده شامل شش بعد مدل‌های کسب‌وکار و محصولات، بازار و فروش، زنجیره ارزش و عملیات، زیر ساخت فناوری اطلاعات، قوانین و امنیت و استراتژی و سازمان است.

جمع‌بندی مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰

در ادامه، کلیه مدل آمادگی ذکر شده به همراه ابعاد و شاخص‌های آنها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. جمع‌بندی مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
IMPULS ۲۰۱۵ (RM1)	سنجش آمادگی صنعت ۴.۰	۱. کاملاً بیگانه ۲. مبتدی ۳. متوسط ۴. آموخته ۵. خبره	استراتژی و سازمان	اجرای استراتژی - تعریف شاخص‌ها - سرمایه‌گذاری - مدیریت نوآوری
			کارخانه هوشمند	زیرساخت تجهیزات (اکنون) - زیرساخت تجهیزات (هدف) - مدل‌سازی دیجیتال - جمع‌آوری داده‌ها - استفاده از داده‌ها - سیستم‌های فناوری اطلاعات

¹ - Govindan and Arampatzis

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
		۶. معجری برتر	عملیات هوشمند	سیستم‌های فناوری اطلاعات - سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات یکپارچه - قطعات دارای سامانه هدایت خودکار - فرایندهای مستقل - امنیت فناوری اطلاعات - استفاده از ابری‌دانشگر
			محصولات هوشمند	قابلیت مضاعف فناوری اطلاعات و ارتباطات - استفاده از داده‌ها
			خدمات داده‌محور	خدمات داده‌محور - میزان استفاده از داده‌ها - سهم درآمد
			کارکنان	مهارت‌های کارکنان
VMG ۲۰۱۷ (RM2)	سنجش آمادگی صنعت ۴.۰	۴ سطح آمادگی: ۱. مبتدی ۲. متوسط ۳. باتجربه ۴. خبره	تولیدات و خدمات	مهارت‌های کارکنان - سفارشی‌سازی محصول - ویژگی‌های دیجیتالی محصولات - خدمات داده‌محور - میزان مصرف داده‌های محصول - سهم درآمد
			تولید و عملیات	امنیت اطلاعات و فناوری اطلاعات - آمادگی تجهیزات صنعت ۴.۰ - قطعات حاوی سامانه هدایت هوشمند اتوماسیون - یکپارچگی ماشین‌آلات و سیستم عملیات ماشین به ماشین - فرایندهای خودبهبوده‌سازی - مدل‌سازی دیجیتال - جمع‌آوری داده‌های عملیات - استفاده از داده‌های عملیات - کاربرد راه‌حل ابری

مروری بر مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم / ۱۱

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
			زنجیره تأمین	زمان‌های تأخیر - کنترل موجودی با استفاده از مدیریت داده‌های زمان واقعی - یکپارچگی زنجیره تأمین - وضوح زنجیره تأمین - انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین
			مدل کسب‌وکار	مدل کسب‌وکار خدمت - تصمیمات داده‌محور - ردیابی زمان واقعی - برنامه‌ریزی زمان واقعی و خودکار - کانال‌های بازاریابی یکپارچه - پشتیبانی فناوری اطلاعات از کسب‌وکار
			ملاحظات حقوقی	مدل‌های پیمانکاری - ریسک - حفاظت داده‌ها - مالکیت معنوی
گوکالپ و همکاران، ۲۰۱۷ (RM3)	ارزیابی فناوری‌های صنعت ۴.۰ برای ارتقاء میزان بلوغ	۶ سطح آمادگی ۱. ناقص ۲. اجرا شده ۳. مدیریت شده ۴. ایجاد شده ۵. قابل پیش‌بینی ۶. بهینه‌سازی	مدیریت دارایی	سیستم‌های فناوری اطلاعات سازمان - آمادگی فناوریانه صنعت ۴.۰ - استفاده از فن‌آوری‌های نوظهور کسب‌وکار - مسائل امنیتی فناوری‌های هوشمند - میزان پشتیبانی سازمان از فناوری‌های برتر
			مدیریت برنامه‌های کاربردی	برنامه‌ریزی، خرید، تولید، فروش و توزیع
			تبدیل فرایندها	ابره‌های پردازشگر - پریترهای سه‌بعدی - اینترنت اشیا - سیستم فیزیکی سایبری - کلان‌داده‌ها
ترسنت‌جاک و اوپتوک،	سنجش آمادگی	بدون سطح آمادگی	سخت‌افزار	اتصال سخت‌افزار - زیرساخت سخت‌افزار - انعطاف‌پذیری

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
۲۰۲۰ (RM4)	صنعت ۴.۰			مدولار بودن
			نرم افزار	اتصال نرم افزار - نگهداشت نرم افزار - سیستم فیزیکی سایبری - ظرفیت پایگاه داده - انعطاف پذیری - پشتیبانی تصمیم گیری - مدولار بودن - سطح خودبهبوده سازی
نیک و همکاران، ۲۰۲۱ (RM5)	سنجش بلوغ صنعت ۴.۰	۵ سطح آمادگی	منابع انسانی و سازمان	انگیزه - آموزش - کاربرد شبکه های اجتماعی - تمرکز دایمی - ارتباط اینترنتی
			دنیای فیزیکی	عملکرد خودکار - قابلیت ارتقاء - دریافت داده ها - تبادل اطلاعات - فناوری های به روز
			دنیای مجازی	جمع آوری و ذخیره داده ها - استفاده از داده ها - دوقلوهای دیجیتالی - فرایندهای هوشمند - آگاهی از امنیت سازمان
			افراد	نقش کارکنان در تولید - استقبال از فناوری های نوین - آموزش داخلی فناوری های دیجیتال - محیط کار دیجیتال - محیط کار ایمن
			خدمات و تولیدات	دیجیتال سازی تولیدات - داده های مربوط به تولیدات - استفاده از داده ها - درک نیاز مشتری - آگاهی زیست محیطی
			زنجیره ارزش	ارتباطات شرکای دیجیتال - مشارکت

مروری بر مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم/ ۱۳

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
				قوی- پژوهش و شبکه نوآوری- نقش مؤثر در زنجیره ارزش- زنجیره تأمین پایدار
			محیط	زیرساخت- فضای نظارتی- منابع مالی- نیروی کار- فرصت‌های همکاری
			استراتژی و فرهنگ	استراتژی نیروی انسانی- استراتژی صنعت ۴.۰- اجرای استراتژی- پژوهش، توسعه و نوآوری- فرهنگ سازمان
تربیتی و گوپتا، ۲۰۲۱ (RM6)	سنجش آمادگی صنعت ۴.۰ کشورها	۲ سطح آمادگی: ۱. سطح خرد (صنعتی) ۲. سطح کلان (ملی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی)	محیط مساعد	فضای سیاسی- فضای نظارتی- فضای کسب‌وکار- استانداردهای
			نیروی انسانی	آموزش پایه- آموزش تکمیلی- اشتغال زایی
			زیرساخت	زیر ساخت فیزیکی- زیر ساخت دیجیتالی
			پایداری زیست‌محیطی	پایداری زیست‌محیطی
			نوآوری	پژوهش- نوآوری صنعتی
			امنیت سایبری	فناوری- دارایی‌های IP- امنیت سایبری
			مصرف‌کننده	احتیاجات اساسی- آگاهی دیجیتالی
			استراتژی و سازمان	درجه استراتژی سازمانی- رهبری- شاخص‌های اندازه‌گیری- همکاری- صلاحیت کارکنان- کسب مهارت
هاجواری، ۲۰۲۳ (RM7)	سنجش آمادگی صنعت ۴.۰	۴ سطح آمادگی	استراتژی و سازمان	درجه استراتژی سازمانی- رهبری- شاخص‌های اندازه‌گیری- همکاری- صلاحیت کارکنان- کسب مهارت

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
			مدل کسب و کار	مدل کسب و کار خدماتی - کانال‌های بازاریابی - تصمیمات داده‌محور
			عملیات و ساخت	اتوماسیون - یکپارچگی ماشین به ماشین - ارتقای تجهیزات - تجهیزات حمل مواد - فرایندهای خود بهینه‌کننده - مدل‌سازی دیجیتال - برنامه‌ریزی و نگهداری - فناوری اطلاعات و امنیت داده‌ها - استفاده از ابر
			زنجیره تأمین	کنترل موجودی با استفاده از داده‌های زمان واقعی - یکپارچگی زنجیره تأمین - وضوح زنجیره تأمین - انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین - زمان‌های تأخیر
			تولیدات و خدمات	شخصی‌سازی محصول - ویژگی‌های دیجیتال - خدمات داده‌محور - سهم درآمد - مکانیزم دریافت داده‌ها - ردیابی محصول
گویندان و آرامپاتزیس، ۲۰۲۳ (RM8)	سنجش آمادگی و بلوغ صنعت ۴.۰	۴ سطح آمادگی	مدل‌های کسب و کار و محصولات	ویژگی‌های دیجیتالی محصول - محصولات شخصی‌سازی شده - دیجیتال نمودن فازهای چرخه عمر محصول - تجزیه و تحلیل داده‌ها - یکپارچگی افقی - جمع‌آوری داده‌ها
			بازار و فروش	کانال‌های یکپارچه فروش - دیجیتال نمودن پرسنل فروش - سیستم قیمت‌گذاری شخصی‌سازی شده - همکاری شرکا برای جذب مشتری

مروری بر مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم / ۱۵

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
			زنجیره ارزش و عملیات	دیجیتال نمودن زنجیره ارزش عمودی - دیجیتال نمودن زنجیره ارزش افقی - کاربرد فرایندهای خود بهینه‌کننده - نگرش زمان واقعی در تولید - سیستم فناوری اطلاعات پایان به پایان ^۱ - دیجیتال نمودن تجهیزات تولید - برنامه‌ریزی نگهداری خدمات محور- مدیریت داده زمان واقعی برای کنترل موجودی- اتوماسیون در تجهیزات فرایند و زیرساخت‌ها- استفاده از قطعات با سامانه هدایت خودکار- یکپارچگی سیستم‌های عملیاتی و ماشین‌ها
			زیر ساخت فناوری اطلاعات	تطابق فناوری اطلاعات با فناوری‌های صنعت ۴.۰ - سیستم اجرایی ساخت (MES) - پردازش داده‌ها و زیر ساخت فناوری اطلاعات - کاربرد راه‌حل‌های ابری - یکپارچگی افقی فناوری اطلاعات - چابکی
			قوانین و امنیت	حمایت از مالکیت فکری - ملاحظات مدیریت ریسک - مفهوم امنیت فناوری اطلاعات برای تولید
			استراتژی و سازمان	خلق ارزش از داده‌ها- پشتیبانی مدیریت ارشد و اجرایی از صنعت ۴.۰ ۴ - همکاری با شرکای خارجی در زمینه صنعت ۴.۰- استراتژی

مدل آمادگی	هدف	سطوح آمادگی	بعد	شاخص
				صنعت ۴.۰ سازمان-سرمایه‌گذاری‌ها در صنعت ۴.۰- کارکنان ماهر

پیشینه پژوهش

اکسمن و هارموکو^۱ (۲۰۲۰) به ارزیابی مدل های آمادگی *IMPULS*, *WGM* و *PWC* با استفاده از روش *SWOT*^۲ پرداختند. آنها «داده»، «نرم‌افزار و فرایند» و «سخت‌افزار» را به‌عنوان ارکان پیاده‌سازی انقلاب صنعتی چهارم معرفی نموده و سه مدل مذکور را بر اساس این ارکان و شاخص‌های آنها ارزیابی نمودند. شاخص‌های رکن «داده» شامل: «اشتراک‌گذاری داده»، «کیفیت داده»، «پردازش داده» و «انبارش داده» و شاخص‌های رکن «نرم‌افزار و فرایند» شامل: «توسعه محصول»، «تأمین هوشمند مواد»، «محصول هوشمند»، «نگهداری هوشمند»، «لجستیک هوشمند» و «امنیت فناوری اطلاعات» و شاخص‌های رکن «سخت‌افزار» شامل: «آمادگی سخت‌افزار» و «اتصال ماشین به ماشین» بوده است.

بسل (۲۰۱۸)، باهدف شناسایی ابعاد و شاخص‌هایی از انقلاب صنعتی چهارم به ارزیابی مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ پرداختند تا بتوانند میزان آمادگی صنعت ۴.۰ سازمان را از منظر سیستم اطلاعاتی آن ارائه نمایند؛ بنابراین این پژوهش به تجزیه و تحلیل شاخص‌های آمادگی صنعت ۴.۰ و مدل‌های بلوغ پرداخته و سپس، ابعاد آمادگی سیستم‌های اطلاعاتی سازمانی را پیشنهاد می‌نماید. پس از ارزیابی مدل‌های آمادگی انقلاب صنعتی چهارم، «استراتژی»، «رهبری»، «فرهنگ»، «منابع انسانی»، «فرایند دیجیتال»، «محصول دیجیتال» و «کنترل دیجیتال» به‌عنوان پرکاربردترین ابعاد معرفی شدند. در نهایت، «برنامه‌های کاربردی» از جمله *ERP*^۳، «اتصال» و «دیجیتال‌سازی» به‌عنوان روندهای موردنیاز ساختار سیستم‌های اطلاعاتی سازمان ارائه گردید.

^۱- Axmann and Harmoko

^۲- Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats

^۳ - Enterprise Resource Planning

گوکالپ^۱ و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل بلوغ انقلاب صنعتی چهارم ارائه نمودند. ساختار این مدل بلوغ به منظور کسب یک مبنای مشترک برای ارزیابی توانایی و گزارش نتایج با استفاده از یک مقیاس اندازه‌گیری مشترک، برگرفته شده از استاندارد ISO/IEC 15504 Part^۲ و ISO/IEC 15504 Part^۵ که قابلیت ارزیابی بر اساس کامل بودن، شفافیت و عدم ابهام را دارد، است. در واقع، این پژوهشگران از مدل روت و توفلی برای انتخاب مدل مرجع استفاده نمودند.

روت و توفلی^۲ (۲۰۰۵)، نحوه ارزیابی و انتخاب مدل بلوغ یکپارچه را با استفاده از استاندارد ایزو ۱۵۵۰۴ را ارائه نمودند. آنها با معرفی مدل‌های بلوغ و با استفاده از معیارهای ارزیابی و امتیازهای مربوطه، مدلی را که بیشترین امتیاز معیارهای ارزیابی را کسب نموده بود را به عنوان مدل مرجع انتخاب و ارائه نمودند.

عارف و همکاران (۱۳۹۸) ابتدا در پایگاه‌های معتبر علمی از جمله Science Direct, Emerald, Sage و Springer چهار مقاله معتبر در خصوص شاخص‌های ارزیابی میزان آمادگی و بلوغ بنگاه‌ها برای مواجه و پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ استخراج و مورد بررسی قرار دادند. سپس از این تعداد، ۱۶ مقاله مرتبط انتخاب و پس از بررسی تطبیقی شاخص‌های پیشنهادی برای ارزیابی میزان آمادگی و بلوغ متناسب با بنگاه‌ها و شهرک‌های صنعتی ایران مستخرج از مطالعات مرتبط و پنل خبرگی ارائه و با استفاده از دیمتل و مدل‌سازی تفسیری ساختاری (ISM^۳) مدل فرایندی آزمایش و اعتبارسنجی اولیه ساختار و محتوای شاخص‌ها و قابلیت اجرای آن در محیط‌های عملیاتی واقعی ارائه شد. در نهایت، این پژوهشگران «محیط‌زیست هوشمند»، «سیستم حمل‌ونقل و ارتباطات هوشمند»، «منابع انسانی هوشمند»، «استراتژی»، «مدیریت لجستیک»، «هوشمندی کسب‌وکار»، «سیستم ایمنی و بهداشت»، «هماهنگی استراتژیک» و «فرهنگ دوسوتوانی» را از مهم‌ترین ابعاد مدل آمادگی صنعت ۴.۰ برشمرده و شاخص‌های آنها را نیز ارائه نمودند.

^۱ - Gökalp

^۲ - Rout and Tuffley

^۳ - Interpretive Structural Modeling

روش‌شناسی

هدف از انجام پژوهش حاضر معرفی و ارزیابی مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به صنعت ۴.۰ است. روش پژوهش، مبتنی بر روش نظام‌مند مرور ادبی^۱ ترن فیلد^۲ و همکاران (۲۰۰۳) و سونی و نایل^۳ (۲۰۱۹) بوده که در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲. فرایند انجام پژوهش

مرحله اول - منابع داده

در مرحله اول، پس از تعریف هدف و قلمرو پژوهش، جستجو در پایگاه‌های معتبر علمی از جمله Taylor، Springer، Google Scholar، Emerald، Science Direct & Francis و وبسایت‌های رسمی شرکت‌های مشاوره دانش‌بنیان بین‌المللی در زمینه صنعت ۴.۰ صورت گرفته است. کلمات کلیدی مورد استفاده برای جستجوی در پایگاه‌های داده عبارتند از: انقلاب صنعتی چهارم، صنعت ۴.۰، مدل آمادگی صنعت ۴.۰،

¹ - Systematic Literature Review

² - Tranfield

³ - Sony and nail

آمادگی سازمانی صنعت ۴.۰، فناوری‌های صنعت ۴.۰، فناوری‌های دیجیتال و تحول دیجیتال.

مرحله دوم - غربالگری

در پژوهش حاضر، به منظور غربالگری مقالات یک پروتکل مرور ادبیات برای محدود کردن خطای سیستماتیک و سوگیری در غربالگری مقالات ایجاد شد. این پروتکل، دامنه، استراتژی و روش استخراج داده‌ها را به منظور بررسی، توضیح می‌دهد (پوپای و همکاران، ۲۰۰۶). اولین گام، جستجوی گسترده ادبیات برای یافتن چکیده مقالاتی بود که معیارهای غربالگری در عنوان یا چکیده مقاله را داشته باشند. عناوین و چکیده‌ها به منظور حذف موارد نامرتب و تکراری تجزیه و تحلیل شدند. به این ترتیب، تعداد ۷۱ مقاله مرتبط در حوزه صنعت ۴.۰ بررسی گردید و سپس ۱۹ مدل آمادگی انقلاب صنعتی چهارم استخراج شد. در نهایت، هشت مدل آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم با بیشترین میزان اهمیت و ارتباط با موضوع پژوهش و همچنین فراوانی، از بین مدل‌ها انتخاب شدند.

مرحله سوم. تحلیل داده

به منظور تحلیل داده‌ها و ارزیابی مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰، از روش پیشنهادی گوکالپ و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شده است. در این روش، شش معیار به شرح جدول زیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول ۳. معیارهای ارزیابی و تعاریف آنها (گوکالپ و همکاران، ۲۰۱۷)

معیار	معیار ارزیابی	تعریف معیار
C1	تناسب مدل باهدف	سطح تناسب مدل آمادگی مورد ارزیابی از نظر اندازه‌گیری سطح آمادگی انقلاب صنعتی چهارم
C2	کامل بودن ابعاد	سطح کامل بودن ابعاد مدل آمادگی از نظر پرداختن به جنبه‌های اصلی انقلاب صنعتی چهارم
C3	توجه به جزئیات ابعاد	سطح پرداختن به جزئیات هر بعد از مدل آمادگی انقلاب صنعتی

چهارم	مدل	
آیا مدل آمادگی، ویژگی‌های شاخص‌های اندازه‌گیری را ارائه می‌نماید یا خیر؟	تعریف ویژگی‌های اندازه‌گیری ابعاد	C4
آیا مدل آمادگی، توصیفی از روش ارزیابی ارائه می‌دهد؟	شرح روش اندازه‌گیری	C5
سطح عینیت روش ارزیابی میزان آمادگی، تعاریف ویژگی‌ها، شیوه‌ها و هر سطح از آمادگی باید بدون ابهام توضیح داده شود و سطح آمادگی کلی باید به‌درستی، تعداد سؤالاتی که به آنها پاسخ مثبت داده شده است را منعکس نماید.	عینیت روش ارزیابی	C6

تحلیل داده‌ها

در پژوهش حاضر مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم بر اساس ۶ معیار زیر، ارزیابی و در نتیجه نقاط قوت و ضعف آن مشخص می‌شود. میزان تحقق اهداف توسط مقدار امتیاز معیارها ارزیابی می‌شود که عبارتند از:

معیارهای ارزیابی مدل آمادگی که بین ۸۶ تا ۱۰۰ درصد به اهداف تحقیق نزدیک بودند با نماد FA^1 به معنی «کاملاً دست‌یافته» نشان داده می‌شوند.

معیارهای ارزیابی مدل آمادگی که بین ۵۱ تا ۸۵ درصد به اهداف تحقیق نزدیک بودند با نماد LA^2 به معنی «تا حد زیادی دست‌یافته» نشان داده می‌شوند. معیارهای ارزیابی مدل آمادگی که بین ۱۶ تا ۵۰ درصد به اهداف تحقیق نزدیک بودند با نماد PA^3 به معنی «تا حدی دست‌یافته» نشان داده می‌شوند.

معیارهای ارزیابی مدل آمادگی که بین ۰ تا ۱۵ درصد به اهداف تحقیق نزدیک بودند با نماد NA^4 به معنی «کاملاً دست نیافته» نشان داده می‌شوند.

در ادامه از نظر ۳ نفر از اساتید دانشگاهی که متخصص در حوزه صنعت ۰.۴ بودند، استفاده گردید و از آنها خواسته شد تا ۸ مدل آمادگی انقلاب صنعتی چهارم را بر اساس

¹- Fully achieved

²- Largely achieved

³- Partially achieved

⁴- Not achieved

معیارهای ارزیابی جدول ۳ بررسی و نظراتشان را اعلام نمایند. نتایج ارزیابی مدل‌ها بر اساس میانگین نظرات خبرگان در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. نتایج ارزیابی مدل‌های آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم

رتبه مدل	جمع امتیاز	معیارهای ارزیابی مدل آمادگی سازمان برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم						مدل
		C6	C5	C4	C3	C2	C1	
۱	۵۶۱	FA۹۸	FA۹۸	FA۹۷	FA۹۲	FA۸۶	FA۹۰	RM1
۲	۵۴۸	FA۹۰	FA۸۸	FA۹۷	FA۹۷	FA۸۶	FA۹۰	RM2
۶	۴۱۳	FA۹۰	PA۵۰	PA۳۰	FA۹۰	LA۷۸	LA۷۵	RM3
۸	۲۸۳	NA۱۵	NA۱۵	PA۳۵	FA۹۰	LA۷۸	PA۵۰	RM4
۵	۴۲۳	PA۲۵	NA۱۵	FA۹۵	FA۹۵	FA۹۵	FA۹۸	RM5
۴	۴۴۴	PA۲۰	FA۹۷	FA۹۷	PA۵۰	FA۸۸	FA۹۲	RM6
۷	۴۰۲	PA۲۲	LA۸۵	NA۱۵	FA۹۵	FA۹۰	FA۹۵	RM7
۳	۴۸۲	PA۵۰	FA۹۵	PA۵۰	FA۹۸	FA۹۲	FA۹۷	RM8

وضعیت مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ به تفکیک معیارهای ارزیابی

۱- معیار تناسب مدل باهدف

در این معیار، مدل RM8 با توجه به پرداختن به جنبه‌های محصول، تولید، خدمت، مشتریان، قیمت‌گذاری، یکپارچگی افقی و عمودی، زمان واقعی در عملیات مختلف، سیستم‌ها و فناوری‌های صنعت ۴.۰، مدیریت ریسک، مالکیت معنوی، کارکنان، سرمایه‌گذاری در صنعت ۴.۰ و استراتژی‌ها در کنار مدل RM5 دارای بیشترین امتیاز برای معیار «تناسب باهدف» به منظور سنجش آمادگی صنعت ۴.۰ هستند. مدل RM5 نسبت به مدل RM8 مختصرتر بوده ولی به جنبه‌های پایداری و محیط‌زیست پرداخته است. به علاوه مدل‌های RM1، RM2، RM6، RM7 و RM8 در دسته FA یا «کاملاً دست یافته» قرار دارند و مدل RM3 در دسته LA یا «تا حد زیادی دست‌یافته» بوده و در نهایت مدل RM4 با کمترین امتیاز در این معیار، در دسته PA یا «تأحدی دست‌یافته» است.

۲- معیار کامل بودن ابعاد

در این معیار، مدل RM5 با توجه به برخورداری از ابعاد زیر ساختی، خرد و کلان سازمان و ابعاد پژوهشی، زیست‌محیطی و پایداری بالاترین امتیاز را در معیار «کامل بودن ابعاد» از نظر پرداختن به جنبه‌های اصلی انقلاب صنعتی چهارم دارا بوده و بعد از آن مدل‌های RM1, RM6, RM7, RM8 و RM2 با فاصله اندکی و در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» قرار دارند. به علاوه، مدل‌های RM3 و RM4 با امتیاز کمتر و در دسته LA یا «تا حد زیادی دست‌یافته» هستند.

۳- معیار توجه به جزئیات ابعاد مدل

در این معیار، مدل RM8 با توجه به برخورداری از جزئیات جامع هر بعد برای سنجش میزان آمادگی انقلاب صنعتی چهارم، امتیاز ۹۸ را کسب نموده و با امتیاز بسیار نزدیک، مدل RM2 پس از آن قرار دارد. در ادامه، مدل‌های RM5, RM7, RM1, RM3 و RM4 در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» قرار داشته و فقط مدل RM6 یا برخورداری از سطح «تا حد زیادی دست‌یافته» در پرداختن به جزئیات، در دسته LA قرار گرفته است. در کل ۷ مدل از ۸ مدل مورد ارزیابی، با کسب امتیاز بالا در این معیار، در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» بوده و فقط مدل RM6 با کسب امتیاز ۵۰ در دسته «تأحدی دست‌یافته» یا PA قرار دارد.

۴- معیار تعریف ویژگی‌های اندازه‌گیری ابعاد

در این معیار، مدل‌های RM1، RM2، RM6 و RM5 با پرداختن به تعاریف دقیق ویژگی‌های اندازه‌گیری ابعاد مدل امتیاز بسیار بالایی کسب نموده و در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» قرار دارند. از طرفی، مدل‌های RM3، RM8 و RM4 با امتیاز بسیار کمتر، به ترتیب در دسته PA یا «تاحدی دست‌یافته» بوده و مدل RM7 تعاریف ویژگی‌های اندازه‌گیری ابعاد را ارائه ننموده و در دسته NA یا «کاملاً دست‌نیافته» قرار گرفته است.

۵- معیار شرح روش اندازه‌گیری

در این معیار، مدل RM1 با توصیف جامع و دقیق از روش ارزیابی، امتیاز ۹۸ را کسب نموده و پس از آن مدل‌های RM6 و RM8 با امتیازهای ۹۷ و ۹۵ و با فاصله از آنها، مدل RM2 در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» قرار دارند. مدل RM7 در دسته LA و مدل RM3 در دسته PA هستند. از طرفی مدل‌های RM4 و RM5 با کسب امتیاز ۱۵، در دسته NA یا «کاملاً دست‌نیافته» قرار گرفته‌اند.

۶- معیار عینیت روش ارزیابی

در این معیار، مدل RM1 با توصیف جامع و دقیق از روش ارزیابی میزان آمادگی، تعاریف ویژگی‌ها، شیوه‌ها و هر سطح از آمادگی و همچنین نمایش درست و واقعی سطح آمادگی کلی بر اساس سوال‌های مدل، امتیاز ۹۸ را کسب نموده و پس از آن مدل‌های RM2 و RM3 با امتیاز ۹۰، در دسته FA یا «کاملاً دست‌یافته» قرار دارند. از طرفی، با فاصله امتیاز زیاد، مدل‌های RM5، RM6، RM7 و RM8 در دسته PA یا «تاحدی دست‌یافته» و مدل RM4، در دسته NA یا «کاملاً دست‌نیافته» قرار گرفتند.

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجایی که انقلاب صنعتی چهارم، هنوز در مراحل اولیه توسعه خود است، ضروری است که ساختار و روش پیاده‌سازی، به طور خاص و به‌وضوح برای صنعت ۴.۰ تعریف

شود. این مسأله به‌ویژه برای صنایع کشور ما که در مراحل نخستین ورود به صنعت ۴.۰ هستند، حایز اهمیت بسیار است؛ بنابراین، پژوهش حاضر باهدف معرفی و ارزیابی مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰، سعی در تعیین مهم‌ترین ابعاد آمادگی سازمان‌ها برای تسهیل مراحل پیاده‌سازی و بهره‌مندی از مزایای صنعت ۴.۰ را داشته است. براین‌اساس، ادبیات به‌طور سیستماتیک بررسی شده تا در مورد مطالعات موجود مرتبط با مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰، اطلاعاتی حاصل شود. در نتیجه بررسی، ۸ مدل معرفی شده‌اند و با مقایسه ویژگی‌های مدل‌ها بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای از پیش تعریف‌شده شامل «تناسب مدل با هدف»، «کامل بودن ابعاد»، «توجه به جزئیات ابعاد»، «تعریف ویژگی‌های اندازه‌گیری ابعاد»، «شرح روش اندازه‌گیری» و «عینیت روش ارزیابی» مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. اگرچه هیچ یک از مدل‌ها، تمام معیارهای مورد انتظار را برآورده نمی‌کنند و نیاز به بهبود دارند، یافته‌ها نشان می‌دهد که مدل آمادگی IMPULS (۲۰۱۵)، با امتیاز ۵۶۱، در رتبه اول و مدل ترستنجاک و اوپتوک (۲۰۲۰) با امتیاز ۲۸۳ در رتبه هشتم قرار دارد.

به‌این ترتیب، این پژوهش، سازمان‌ها را در شناخت مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ و انتخاب بهترین مدل برای پیاده‌سازی و ورود به این انقلاب صنعتی یاری می‌رساند. مدل‌های آمادگی صنعت ۴.۰ نقش قابل توجهی در دستیابی سازمان‌ها به مزایای همچون استانداردسازی در توسعه، کیفیت بالاتر، انعطاف‌پذیری بیشتر، بهبود مستمر، و افزایش قابلیت رقابت جهانی ایفا می‌کنند.

لازم به ذکر است که رتبه‌بندی مدل‌ها در این پژوهش، با توجه به نظر خبرگان منتخب صورت گرفته و این رتبه‌بندی با تغییر نمونه خبرگان، ممکن است تغییر کند. همچنین، مدل‌های معرفی شده در این پژوهش، از لحاظ تجربی اعتبارسنجی نشده‌اند؛ بنابراین به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌شود با یک مطالعه موردی، اعتبارسنجی سودمندی و کاربرد مدل‌های بلوغ انجام شود. ارائه نقشه راه و راهنمایی جامع برای ورود به انقلاب صنعتی چهارم، می‌تواند موضوع پژوهش دیگری برای علاقه‌مندان باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش توسط بنیاد ملی علوم ایران (INSF) تحت پروژه شماره ۹۸۰۱۶۴۶۸ تأمین مالی شده است.

منابع

عارف، محمدرضا؛ جعفرنژاد، احمد و کیانی‌بختیاری، ابوالفضل. (۱۳۹۸). ارائه چارچوب مناسب (شاخص‌های ترکیبی) ارزیابی آمادگی بنگاه‌ها و شهرک‌های صنعتی برای پیاده‌سازی مولفه‌های بنیادین انقلاب صنعتی چهارم و توسعه سرمایه‌گذاری. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۸(۳۱)، ۲۳-۴۸.

- Ansari, I., Barati, M., Sadeghi Moghadam, M.R., and Ghobakhloo, M. (2023), An Industry 4.0 readiness model for new technology exploitation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2022-0331>.
- Axmann, B., Harmoko, H. (2020). Industry 4.0 Readiness Assessment: Comparison of Tools and Introduction of New Tool for SME. *Technical Journal*, 14(2), 212- 217.
- Basl, J. (2017). Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0.
- Burke, L.A., Hutchins, H.M. (2007). Training transfer: an integrative literature review. *Human Resource Development Review*, 6(3), 263-296.
- Conti, M., Passarella, A., and Das, S.K. (2017). The Internet of People (IoP): a new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing*, 41(1), 1-27.
- Ding, B. (2018). Pharma Industry 4.0: literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. *Process Safety and Environment Protection*, 119, 115-130.
- Doshi, A., Smith, R.T., Thomas, B.H., and Bouras, C. (2017). Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(5-8), 1279-1293.

- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(1), 910-936.
- Govindan, K., Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249.
- Hajoary, P. N. (2023). Industry 4.0 Maturity and Readiness- A case of a Steel Manufacturing Organization. *Procedia Computer Science*, 217, 614–619.
- Janev, V., Vraneš, S. (2011). Applicability assessment of semantic web technologies. *Information Processing & Management*, 47(4), 507-517.
- Kocian, J., Tutsch, M., Ozana, S., and Koziorek, J. (2012). Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. *Frontiers in Computer Education*, Springer, Heidelberg, 491lu-499.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13.
- Nick, Gábor., Kovács, Tibor., Kő, Andrea., and Kádár, Botond. (2021). Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment. *Procedia Manufacturing*, 54, 39-44.
- Nolin, J., Olson, N. (2016). The internet of things and convenience. *Internet Research*, 26(2), 360-376.
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., Britten, N., Roen, K., and Duffy, S. (2006) . Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews. a Product from the ESRC Methods Programme Version, Institute of Health Research Lancaster, 1, 1-92.
- Pulevska-Ivanovska, L., N. Kaleshovska. (2013). Implementation of eSupply Chain Management. *TEM Journal*, 2(4), 314-322.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business.

- Schumacher, A., Erol, S., and Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Smith, K.B., Profetto-McGrath, J., and Cummings, G.G. (2009). Emotional intelligence and nursing: an integrative literature review. *International Journal of Nursing Studies*, 46(12), 1624-1636.
- Sony, M., Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(7), 2213-2232
- Tapscott, D., Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. New York: Penguin.
- Tripathi, S. Gupta, M. (2021). A holistic model for Global Industry 4.0 readiness assessment. *Benchmarking: An International Journal*, 28(10), 3006-3039.
- Trstenjak, M., Opetuk, T. (2020). Industry 4.0 Readiness Factor Calculation and Process Planning: State-of-the-Art Review. *Transactions of FAMENA*, 44(3), 1-22.
- Yew, A., Ong, S., and Nee, A. (2016). Towards a Griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 39(1), 43-55.