

صنعت ۴.۰ و تاب‌آوری صنعتی در ایران: تحول دیجیتال، موانع ساختاری و مسیرهای توسعه

محسن محمدی خیاره^۱

^۱ هیات علمی گروه اقتصاد، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران

چکیده

این پژوهش کیفی به بررسی چگونگی انطباق بخش‌های صنعتی نوظهور، به‌ویژه بنگاه‌های خرد، کوچک و متوسط (MSMEs)، با فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بستری از محدودیت‌های اقتصاد کلان و فشارهای ساختاری می‌پردازد. هدف اصلی، تحلیل پیشران‌ها، گلوگاه‌های نهادی و جهت‌گیری‌های استراتژیک برای تقویت تاب‌آوری صنعتی دیجیتال در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران است. این مطالعه با بهره‌گیری از چارچوب‌های نظری “فناوری-سازمان-محیط” (TOE) و “دیدگاه مبتنی بر منابع” (RBV)، استدلال می‌کند که گذار موفق دیجیتال تنها یک تغییر فنی نیست، بلکه نیازمند همسویی پیچیده میان آمادگی تکنولوژیکی، قابلیت‌های سازمانی و حمایت‌های محیطی است. سنتز شواهد تجربی نشان می‌دهد که اگرچه پذیرش اولیه فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیاء و تحلیل کلان‌داده‌ها می‌تواند بهره‌وری نیروی کار را تا ۷ درصد افزایش دهد و کارایی عملیاتی را از طریق کاهش زمان توقف بهبود بخشد، اما تحقق این مزایا در اقتصادهای در حال توسعه به‌شدت تحت تأثیر موانع مالی، شکاف مهارتی و ضعف حمایت‌های دولتی قرار دارد. یافته‌ها بر ضرورت اتخاذ مدل‌های پذیرش تدریجی (مانند بازسازی دیجیتال)، بهره‌گیری از نوآوری‌های مالی (فین‌تک) برای غلبه بر محدودیت‌های سرمایه، و توسعه راهبردهای متناسب با بخش (تولید در برابر خدمات) تأکید دارند. این مقاله با ارائه یک تحلیل کیفی عمیق، بینش‌های سیاستی حیاتی برای طراحی مسیرهای توسعه صنعتی پایدار و مقاوم در برابر شوک‌های خارجی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: صنعت ۴.۰، تاب‌آوری صنعتی، تحول دیجیتال، بنگاه‌های کوچک و متوسط، بازسازی دیجیتال، فین‌تک.

۱. مقدمه

در چشم‌انداز پویای اقتصاد جهانی معاصر، ظهور پارادایم صنعت ۴.۰ که با همگرایی فناوری‌های نوظهوری همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا (IoT) و کلان‌داده‌ها مشخص می‌شود، ماهیت سیستم‌های تولیدی را به کلی دگرگون ساخته است. این گذار دیجیتال، یک ضرورت برای بقا و رقابت‌پذیری بنگاه‌ها محسوب می‌شود. با این حال، پذیرش و استقرار این فناوری‌ها در بسترهای اقتصادی مختلف یکسان نیست و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، با پیچیدگی‌های منحصربه‌فردی همراه است. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که اگرچه فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین پتانسیل‌های عظیمی برای تحول فرآیندهای صنعتی دارند، اما پیاده‌سازی آن‌ها نیازمند طبقه‌بندی دقیق و رویکردهای بومی‌سازی شده است (العززی و همکاران^۱، ۲۰۲۳). در این میان، مفهوم “تاب‌آوری صنعتی” به عنوان قابلیت سیستم‌ها برای جذب شوک‌ها و بازیابی در برابر اختلالات، پیوندی ناگسستنی با تحول دیجیتال یافته است.

برای اقتصاد ایران که همواره با فشارهای ناشی از تحریم‌های بین‌المللی و نوسانات اقتصاد کلان دست‌به‌گریبان بوده است، صنعت ۴.۰ می‌تواند به عنوان یک اهرم حیاتی عمل کند. مطالعات نشان داده‌اند که در خوشه‌های صنعتی تحت فشار تحریم، تاب‌آوری سازمانی نقشی کلیدی در بقای کسب‌وکارها ایفا می‌کند (تسلیمی و همکاران^۲، ۲۰۲۱). با این وجود، مسیر این گذار هموار نیست. شواهد تجربی حاکی از آن است که ساختار اقتصاد سیاسی ایران، که متأثر از ویژگی‌های دولت رانتیر و برنامه‌ریزی متمرکز است، موانع ساختاری عمیقی را بر سر راه نوآوری منطقه‌ای و توسعه متوازن ایجاد کرده است (فاطمی و همکاران، ۲۰۲۴). این تمرکزگرایی و فقدان استراتژی‌های نوآوری منطقه‌ای (RIS^۳)، منجر به ایجاد شکاف‌های توسعه‌ای شده و مانع از آن می‌شود که پتانسیل‌های دیجیتال در تمامی استان‌ها به صورت عادلانه شکوفا گردد. علاوه بر این، سیاست‌های صنعتی در دوران پس از انقلاب، علی‌رغم تلاش برای اصلاحات، همچنان با چالش‌های ناشی از محیط متلاطم و عدم قطعیت‌های نهادی روبرو بوده‌اند که تداوم توسعه صنعتی را دشوار می‌سازد (رضوی، ۲۰۱۸).

در سطح خرد، بنگاه‌های کوچک و متوسط (SMEs) که موتور محرک اشتغال و نوآوری هستند، با چالش‌های ملموس‌تری مواجه‌اند. محدودیت‌های مالی، فقدان استانداردهای امنیتی و مقاومت‌های سازمانی، از جمله موانع اصلی پذیرش فناوری در این بنگاه‌ها شناسایی شده‌اند. پژوهش‌ها تأکید دارند که پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ در SMEs نیازمند رویکردهای ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره است تا بتوان بر پیچیدگی‌های سازمانی و فنی غلبه کرد (علی‌محمدلو و شریفیان، ۲۰۲۳). به طور خاص، در صنایعی نظیر لوازم خانگی، اگرچه حرکت به سمت هوشمندسازی آغاز شده، اما چالش‌های زیرساختی و عدم قطعیت‌های محیطی همچنان به عنوان موانع جدی باقی مانده‌اند (مروتی شریف‌آبادی و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، شناسایی و اولویت‌بندی موانع پذیرش در اقتصادهای نوظهور نشان می‌دهد که عوامل فرهنگی و انسانی در کنار محدودیت‌های تکنولوژیک، نقشی تعیین‌کننده در شکست یا موفقیت پروژه‌های تحول دیجیتال دارند (دهویی و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی از شکاف‌های اصلی در ادبیات موجود، فقدان مدل‌های ارزیابی آمادگی است که بتوانند پویایی‌های خاص محیط صنعتی ایران را پوشش دهند. توسعه مدل‌های نقشه‌برداری شناختی فازی (FCM) برای سنجش آمادگی صنعت ۴.۰، گامی ضروری برای درک روابط علی و معلولی میان متغیرهای تأثیرگذار بر تحول دیجیتال است (منشی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، استراتژی‌های گذار باید فراتر از ابعاد فنی رفته و ملاحظات پایداری و زنجیره تأمین را نیز در بر گیرند. به عنوان مثال، در صنعت

^۱ Alenizi et al^۲ Taslimi et al

فولاد، تحلیل‌های استراتژیک نشان می‌دهد که شکاف‌های قابل توجهی در یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین و زیرساخت‌های دیجیتال وجود دارد که نیازمند مداخلات سیاستی فوری است (مطلبی و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین، ادغام مفاهیم لجستیک معکوس پایدار با صنعت ۴.۰، چالش‌های جدیدی را پیش روی مدیران قرار داده است که نیازمند راهکارهای نوآورانه برای مدیریت جریان مواد و اطلاعات است (پورمهدی و همکاران، ۲۰۲۲).

ضرورت این پژوهش از آنجا ناشی می‌شود که مدل‌های خطی مرسوم، قادر به تبیین پیچیدگی‌های تعامل میان “سرمایه فکری” و “تاب‌آوری” در شرایط تحریم نیستند. یافته‌های نوین پیشنهاد می‌کنند که سرمایه فکری می‌تواند به عنوان یک سپر دفاعی در برابر فساد و ناکارآمدی در شرایط فشار اقتصادی عمل کند و تاب‌آوری بنگاه‌ها را افزایش دهد (بذرافشان، ۲۰۲۴). لذا، این مقاله با اتخاذ رویکردی جامع و با بهره‌گیری از مدل‌های ارزیابی آمادگی سیستماتیک و نقشه‌راه استراتژیک (انصاری و همکاران، ۲۰۲۵)، تلاش دارد تا نه تنها موانع موجود را واکاوی کند، بلکه مسیرهای توسعه‌ای مشخصی را برای گذار از موانع ساختاری و دستیابی به تاب‌آوری صنعتی پایدار ترسیم نماید. تمرکز بر هم‌افزایی میان تحول دیجیتال و قابلیت‌های سازمانی در بستر خاص اقتصاد ایران، نوآوری اصلی این مطالعه محسوب می‌شود.

۲. مرور ادبیات

ادبیات پژوهشی پیرامون صنعت ۴.۰ و تحول دیجیتال در بنگاه‌های خرد، کوچک و متوسط (MSMEs) طی سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و بستری غنی برای تحلیل چالش‌ها و فرصت‌های موجود فراهم آورده است. این بخش با رویکردی انتقادی و ترکیبی، به سنتز نظام‌مند شواهد تجربی و چارچوب‌های نظری می‌پردازد تا بستری برای تحلیل وضعیت منحصربه‌فرد ایران فراهم آورد. تمرکز اصلی بر درک پیشران‌ها، موانع ساختاری و عوامل زمینه‌ای است که مسیر پذیرش و اثربخشی این فناوری‌ها را در اقتصادهای در حال توسعه شکل می‌دهند و در نهایت به مفهوم تاب‌آوری صنعتی پیوند می‌خورند.

۲.۱. مبانی نظری پذیرش فناوری و تاب‌آوری سازمانی

درک پیچیدگی‌های گذار به صنعت ۴.۰ نیازمند فراتر رفتن از مدل‌های فنی صرف و بهره‌گیری از چارچوب‌های چندبعدی است. نظریه “سیستم‌های اجتماعی-فنی” به عنوان یک سنگ بنای مفهومی، تأکید دارد که پیاده‌سازی موفق فناوری‌های نوین، حاصل تعامل پویا و هم‌افزای میان ابزارهای تکنولوژیکی و ابعاد انسانی، فرهنگی و ساختاری سازمان است (جاموال و همکاران^۱، ۲۰۲۵). این دیدگاه، به‌ویژه در بافت MSME ها که در آن‌ها فرهنگ سازمانی و نقش رهبری اغلب تأثیر مستقیمی بر فرآیندها دارد، بسیار حیاتی است. در همین راستا، مدل‌های ارزیابی آمادگی سیستماتیک و نقشه‌راه استراتژیک به عنوان ابزارهای ضروری برای هدایت این تعامل پیچیده شناخته می‌شوند (انصاری و همکاران، ۲۰۲۵). در امتداد همین رویکرد، چارچوب “فناوری-سازمان-محیط” (TOE) به طور گسترده‌ای برای تحلیل پذیرش نوآوری به کار رفته است. این مدل استدلال می‌کند که تصمیم یک بنگاه برای پذیرش یک فناوری جدید، تحت تأثیر سه حوزه اصلی قرار دارد: نخست بستر تکنولوژیکی که شامل آمادگی زیرساختی و دسترسی به فناوری‌های مرتبط است؛ دوم بستر سازمانی که قابلیت‌هایی نظیر حمایت مدیریت ارشد، اندازه بنگاه و مهارت‌های دیجیتال نیروی کار را در بر می‌گیرد (وانگ و کی^۲، ۲۰۲۲)؛ و سوم بستر محیطی که شامل فشارهای رقابتی، حمایت‌های دولتی و چارچوب‌های نظارتی است (باکار و همکاران^۳، ۲۰۲۴).

^۱ Jamwal et al

^۲ Wong & Kee

^۳ Bakar et al

برای کشوری مانند ایران که در آن عوامل محیطی نظیر تحریم‌ها و عدم قطعیت‌های سیاستی نقش پررنگی ایفا می‌کند، چارچوب TOE لنز تحلیلی قدرتمندی را فراهم می‌آورد. مطالعات نشان می‌دهند که در چنین بسترهایی، سرمایه فکری و نوآوری سازمانی می‌تواند به عنوان سپری در برابر فشارهای خارجی عمل کرده و تاب‌آوری بنگاه‌ها را در برابر نوسانات ناشی از تحریم‌ها افزایش دهد (بذرافشان، ۲۰۲۴). علاوه بر این، “دیدگاه مبتنی بر منابع” (RBV) توضیح می‌دهد که چرا دو بنگاه با دسترسی یکسان به فناوری، نتایج متفاوتی کسب می‌کنند. بر اساس این دیدگاه، مزیت رقابتی پایدار از منابع منحصربه‌فرد، غیرقابل تقلید و ارزشمند داخلی نشأت می‌گیرد (بتیول و همکاران^۱، ۲۰۲۱). در زمینه صنعت ۴.۰، این منابع شامل رهبری تحول‌گرا، قابلیت‌های تحقیق و توسعه (R&D) و سرمایه انسانی ماهر است (آگاروال و اوجها^۲، ۲۰۲۳). بنابراین، سرمایه‌گذاری صرف بر روی سخت‌افزار بدون توسعه این قابلیت‌های نرم، منجر به استخراج ارزش نخواهد شد. در نهایت، با توجه به محدودیت‌های شدید منابع در MSMEها، “مدل‌های پذیرش تدریجی” اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. به جای یک انقلاب پرهزینه و پریسک، این مدل‌ها بر دیجیتالی‌سازی گام‌به‌گام تأکید دارند. مفاهیمی مانند “بازسازی دیجیتال” با استفاده از راه‌حل‌های کم‌هزینه مانند کامپیوترهای تک‌بردی و “پوسته مدیریت دارایی” به بنگاه‌ها اجازه می‌دهند تا تجهیزات موجود خود را به تدریج هوشمند سازند، داده‌های عملیاتی را جمع‌آوری کرده و کارایی کلی تجهیزات (OEE) را بهبود بخشند (آیت بریک^۳ و همکاران، ۲۰۲۵؛ بار و کلمبو^۴، ۲۰۲۳؛ تروک^۵ و همکاران، ۲۰۲۴).

۲.۲. موانع ساختاری و چالش‌های پیاده‌سازی در بستر اقتصادهای نوظهور

علیرغم مزایای بالقوه، ادبیات پژوهشی به طور گسترده‌ای موانع بازدارنده پذیرش صنعت ۴.۰ در MSMEها، به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور را مستند کرده است. این موانع را می‌توان در دسته‌های سازمانی، مالی، مهارتی و نهادی طبقه‌بندی کرد. مهم‌ترین و رایج‌ترین مانع گزارش‌شده، “محدودیت‌های مالی” و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه است (راوات و همکاران^۶، ۲۰۲۴). بسیاری از MSMEها فاقد سرمایه در گردش لازم برای خرید تجهیزات پیشرفته، نرم‌افزارها و پرداخت هزینه‌های یکپارچه‌سازی هستند. این چالش در بخش تولیدی اقتصادهای در حال توسعه، مانند بنگلادش یا کشورهای آفریقایی که نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین در اتوماسیون هستند، به مراتب شدیدتر است (سلمان^۷ و همکاران، ۲۰۲۴؛ پیتر^۸ و همکاران، ۲۰۲۲).

در ایران نیز شناسایی و اولویت‌بندی موانع با استفاده از رویکردهای فازی نشان می‌دهد که چالش‌های مالی در کنار موانع فرهنگی و زیرساختی، گلوگاه‌های اصلی پذیرش فناوری هستند (دهویی و همکاران، ۲۰۲۲). حتی در صورت تأمین مالی، کمبود شدید “سواد دیجیتال” و مهارت‌های فنی لازم برای بهره‌برداری از فناوری‌های نوین، یک گلوگاه حیاتی محسوب می‌شود (محمد شبین^۹ و همکاران، ۲۰۲۴). این شکاف مهارتی نه تنها در سطح کارگران خط تولید، بلکه در سطح مدیران میانی نیز وجود دارد که مانع از درک صحیح پتانسیل‌های این فناوری‌ها می‌شود. در سطح بنگاه، فقدان “حمایت مدیریت ارشد” و نبود یک “برنامه‌ریزی استراتژیک” مدون برای تحول دیجیتال، اغلب منجر به شکست پروژه‌ها می‌شود (تچانامورتی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۵). مقاومت

^۱ Bettiol et al

^۲ Agarwal & Ojha

^۳ Ait Brik

^۴ Bär & Colombo

^۵ Treuk

^۶ Rawat et al

^۷ Salman

^۸ Peter

^۹ Mohammed Shebeen

^{۱۰} Techanamurthy

فرهنگی در برابر تغییر و ترس از ناشناخته‌ها، پذیرش را کند می‌کند. پژوهش‌ها تأکید دارند که پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ در بنگاه‌های کوچک و متوسط نیازمند غلبه بر این چالش‌های سازمانی از طریق رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است (علی‌محمملو و شریفیان، ۲۰۲۳).

علاوه بر این، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که «آمادگی برای تغییر» به عنوان یک بعد مهم آمادگی سازمانی، اغلب نادیده گرفته می‌شود، در حالی که برای پایداری تحولات دیجیتال ضروری است (هیزام-حنفیه^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). ارزیابی دقیق این آمادگی با استفاده از مدل‌های نقشه‌برداری شناختی فازی می‌تواند پویایی‌های پیچیده میان متغیرهای سازمانی را آشکار سازد (منشی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳). در سطح کلان، «حمایت ناکافی دولت» و «عدم شفافیت رگولاتوری، ریسک سرمایه‌گذاری را برای MSME ها افزایش می‌دهد (نوررحمان^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). این چالش‌ها در صنایع خاصی نظیر لوازم خانگی ایران نیز مشهود است، جایی که علی‌رغم حرکت به سمت هوشمندسازی، موانع زیرساختی و عدم قطعیت‌های محیطی همچنان پابرجا هستند (مروتی شریف‌آبادی و همکاران، ۲۰۲۴). در بسیاری از اقتصادهای نوظهور، فقدان استانداردهای ملی یکپارچه برای تبادل داده و نگرانی‌های جدی در مورد «امنیت سایبری»، بنگاه‌ها را از پذیرش کامل فناوری‌های متصل باز می‌دارد (راوات و همکاران، ۲۰۲۴؛ تامسن^۳ و همکاران، ۲۰۲۴).

۲.۳. توانمندسازهای کلیدی و مسیرهای توسعه‌ای

ادبیات موجود صرفاً به تشریح موانع بسنده نکرده و راهکارهایی را نیز برای غلبه بر آن‌ها شناسایی کرده است. در سطح بنگاه، «رهبری» و «حمایت قاطع مدیریت ارشد» به عنوان حیاتی‌ترین عامل موفقیت شناسایی شده است؛ این عامل می‌تواند همبستگی بالایی با موفقیت پیاده‌سازی داشته باشد (تچانامورتی و همکاران، ۲۰۲۵). موفقیت زمانی به حداکثر می‌رسد که حمایت رهبری با «صلاحیت فناورانه» و «حمایت تأمین‌کنندگان» ترکیب شود (ژو^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). علاوه بر این، وجود تیم‌های تحقیق و توسعه (آگاروال و اوجها، ۲۰۲۳) و ترویج «فرهنگ سازمانی باز» مبتنی بر اشتراک دانش، به ویژه در بنگاه‌های خرد، نقشی اساسی در نوآوری و پذیرش فناوری دارد (میچنا و کمیچیاک^۵، ۲۰۲۰). برای مقابله با مانع اصلی یعنی محدودیت مالی، ظهور فین‌تک و مدل‌های «تأمین مالی جایگزین» بسیار امیدبخش بوده است. پلتفرم‌های فین‌تک می‌توانند وام‌های در دسترس و اغلب بدون وثیقه را فراهم کنند (راهایو^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). ابزارهایی مانند تأمین مالی جمعی و ارزیابی اعتبار مبتنی بر بلاک‌چین، دسترسی به سرمایه را بهبود بخشیده و ریسک را کاهش می‌دهند (آرگاد^۷ و همکاران، ۲۰۲۴؛ چیاو^۸، ۲۰۲۴). البته، اثربخشی این ابزارها مستلزم ارتقای «سواد مالی دیجیتال» در میان مدیران MSME ها است تا بتوانند تصمیمات تأمین مالی بهتری اتخاذ کنند (این‌دراواتی^۹ و همکاران، ۲۰۲۵؛ روهانی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۵).

^۱ Hizam-Hanafiah

^۲ Nurrahman et al

^۳ Thomsen

^۴ Zhou

^۵ Michna & Kmieciak

^۶ Rahayu et al

^۷ Argade

^۸ Qiao

^۹ Indrawati

^{۱۰} Rohaeni

در سطح سیاست‌گذاری، مداخلات دولتی مانند ارائه "مشوق‌های مالی" و تدوین استانداردها، می‌تواند به کاهش موانع کمک کند (نوررحمان و همکاران، ۲۰۲۵). به طور خاص در ایران، پیاده‌سازی استراتژی‌های منطقه‌ای تحقیق و نوآوری (RIS^۳) برای تخصص‌گرایی هوشمند می‌تواند به عنوان یک پیشران کلیدی برای توسعه متوازن صنعتی عمل کند (فاطمی و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، "شبکه‌های همکاری" و یادگیری هم‌تا-به-هم‌تا از طریق انجمن‌های صنعتی و خوشه‌های تخصصی، نقش مهمی در ایجاد قابلیت‌ها و ترویج نوآوری دارند (محمد شبین و همکاران، ۲۰۲۴؛ کوکو و همکاران^۱، ۲۰۲۴). نمونه‌ای از این تاب‌آوری شبکه‌ای در خوشه تجهیزات پزشکی تهران مشاهده شده است که همکاری‌های درون‌خوشه‌ای نقشی حیاتی در بقای بنگاه‌ها ایفا کرده‌اند (تسلیمی و همکاران، ۲۰۲۱).

۲.۴. تفاوت‌های زمینه‌ای و تأثیرات عملکردی

شواهد به وضوح نشان می‌دهند که یک استراتژی واحد برای همه بنگاه‌ها کارساز نیست و اثربخشی صنعت ۴۰٪ به شدت به زمینه وابسته است. در بخش "تولید"، تمرکز اصلی بر اتوماسیون، رباتیک و سیستم‌های سایبری-فیزیکی برای افزایش بهره‌وری، کیفیت و سفارشی‌سازی است (کولکرنی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ راخ و همکاران، ۲۰۱۹). به عنوان مثال در صنعت فولاد، ارزیابی استراتژیک زنجیره تأمین با استفاده از تحلیل شکاف و نظریه بازی‌ها نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی دیجیتال برای حفظ رقابت‌پذیری ضروری است (مطلبی و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین در همین صنعت، انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تاب‌آور با توجه به معیارهای صنعت ۵۰٪ و انسان‌محوری اهمیت فزاینده‌ای یافته است (بیات‌زاده و طلایی، ۲۰۲۴). در مقابل، بخش "خدمات" بیشتر بر ابزارهایی مانند بازاریابی دیجیتال، تجارت الکترونیک و رایانش ابری برای گسترش دسترسی به بازار و انعطاف‌پذیری عملیاتی تکیه دارد (گوستجاهجانتی^۳ و همکاران، ۲۰۲۵).

بنگاه‌های مستقر در مناطق شهری و بنگاه‌های با اندازه متوسط به دلیل دسترسی بهتر به زیرساخت‌ها و منابع، معمولاً فناوری‌های پیشرفته‌تری را اتخاذ می‌کنند (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ زیدی و همکاران، ۲۰۲۳). در حالی که بنگاه‌های خرد و روستایی با محدودیت‌های شدیدتری مواجه‌اند (بارمن و ماهانتا^۴، ۲۰۲۵). شواهد اولیه از تأثیرات مثبت صنعت ۴۰٪ بر عملکرد حکایت دارند. مطالعات نشان داده‌اند که بهره‌وری نیروی کار در بنگاه‌های پذیرنده می‌تواند به طور متوسط ۷ درصد طی دو سال اول افزایش یابد (بتیول و همکاران، ۲۰۲۴). فناوری‌هایی مانند IoT و کلان‌داده‌ها از طریق نظارت بلادرنگ و نگهداری پیشگیرانه، مستقیماً به کاهش زمان توقف و ضایعات کمک می‌کنند (نارخده و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، این مزایا خودکار نیستند. سودآوری و رقابت‌پذیری پایدار تنها در بنگاه‌هایی با "شدت پذیرش متوسط تا بالا" مشاهده می‌شود (زیدی و همکاران، ۲۰۲۵؛ بتیول و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، "رایانش ابری" نقشی حیاتی به عنوان یک میانجی ایفا می‌کند که گذار دیجیتال را مقرون‌به‌صرفه، مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر می‌سازد و مستقیماً بر نوآوری و عملکرد زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد (باکار و همکاران، ۲۰۲۴؛ سوماسوندارام^۵ و همکاران، ۲۰۲۵). این مرور ادبیات نشان می‌دهد که مسیر MSME ها به سوی صنعت ۴۰٪، مسیری پیچیده و مشروط به مجموعه‌ای از عوامل در هم تنیده است که نیازمند استراتژی‌های بومی‌سازی شده برای بافت صنعتی ایران است.

^۱ Coco et al

^۲ Kulkarni

^۳ Goestjahjanti

^۴ Barman & Mahanta

^۵ Somasundaram

۳. روش‌شناسی

این پژوهش از رویکرد "سنتز کیفی"^۱ و روش "تحلیل مضمون"^۲ برای بررسی عمیق و چندبعدی دینامیک‌های پذیرش صنعت ۴.۰ در ایران استفاده می‌کند. انتخاب این روش‌شناسی مبتنی بر ماهیت پیچیده و وابسته به زمینه تحول دیجیتال در سیستم‌های اجتماعی-فنی است، که در آن تعاملات ظریف میان فرهنگ سازمانی، رهبری، و محدودیت‌های ساختاری با روش‌های صرفاً کمی قابل تبیین نیست. هدف، فراتر رفتن از آمارهای توصیفی و دستیابی به درکی عمیق از "چگونگی" و "چرایی" موفقیت یا شکست پروژه‌های دیجیتال در بستری مانند ایران است.

۳.۱. طرح پژوهش و چارچوب تحلیلی

طرح پژوهش بر مبنای یک رویکرد ترکیبی قیاسی-استقرایی استوار است. در مرحله نخست (قیاسی)، از چارچوب‌های نظری معتبر شامل "فناوری-سازمان-محیط" و "دیدگاه مبتنی بر منابع" به عنوان لنزهای اولیه برای هدایت فرآیند جمع‌آوری و کدگذاری داده‌ها استفاده شد. چارچوب TOE امکان دسته‌بندی نظام‌مند عوامل مؤثر را در سه سطح فراهم می‌کند: (۱) فناوری (مانند آمادگی زیرساختی و امنیت)، (۲) سازمان (مانند مهارت‌ها، حمایت رهبری، و فرهنگ)، و (۳) محیط (مانند فشارهای رقابتی، حمایت دولت، و قوانین). همزمان، چارچوب RBV به شناسایی منابع داخلی منحصربه‌فرد بنگاه‌ها (مانند قابلیت‌های مدیریتی و دانش فنی) که منجر به مزیت رقابتی پایدار می‌شوند، کمک می‌کند. در مرحله دوم (استقرایی)، به داده‌ها اجازه داده شد تا مضامین جدید و خاص زمینه ایران (مانند نقش تحریم‌ها یا فرهنگ سازمانی خاص) را آشکار سازند.

۳.۲. استراتژی انتخاب و سنتز داده‌ها

داده‌های این پژوهش از طریق سنتز نظام‌مند شواهد تجربی موجود در ادبیات جهانی و منطقه‌ای، با تمرکز ویژه بر مطالعات انجام‌شده در اقتصادهای در حال توسعه و نوظهور که دارای شباهت‌های ساختاری با ایران هستند (مانند هند، اندونزی، و کشورهای اروپای شرقی)، استخراج شده است. منابع داده شامل طیف متنوعی از مطالعات است:

- **مرور سیستماتیک ادبیات (SLR):** برای شناسایی جامع موانع، پیشران‌ها و مدل‌های بلوغ.
 - **مطالعات موردی بخشی:** برای درک تفاوت‌های ظریف میان بخش‌های تولید (متمرکز بر اتوماسیون) و خدمات (متمرکز بر دیجیتال مارکتینگ).
 - **تحلیل‌های کمی و ترکیبی:** شامل مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای استخراج شواهد آماری در مورد تأثیرات عملکردی.
 - **مدل‌های پذیرش تدریجی:** بررسی مطالعات فنی در مورد راهکارهای کم‌هزینه مانند بازسازی دیجیتال.
- تمرکز ویژه‌ای بر مطالعاتی قرار گرفت که تأثیرات اولیه (۲ تا ۳ سال نخست) پذیرش را بررسی کرده‌اند، زیرا این دوره برای بقای MSME ها حیاتی است و بیشترین ریسک شکست در آن وجود دارد.

۳.۳. روش تحلیل و تضمین روایی

داده‌های استخراج‌شده با استفاده از روش تحلیل مضمون شش مرحله‌ای براون و کلارک کدگذاری و تحلیل شدند. مضامین اصلی شناسایی‌شده شامل "موانع مالی و ساختاری"، "پیشران‌های سازمانی" (نظیر فرهنگ باز و رهبری تحول‌گرا)، "نقش میانجی فناوری‌های نوین" (مانند رایانش ابری و فین‌تک)، و "تفاوت‌های زمینه‌ای" (اندازه بنگاه و نوع صنعت) بودند.

^۱ Qualitative Synthesis^۲ Thematic Analysis

برای تضمین روایی و اعتبار یافته‌ها، از روش "مثلث‌سازی"^۱ استفاده شد. یافته‌های حاصل از سنتز کیفی با نتایج مدل‌های کمی موجود در ادبیات و همچنین با مبانی نظری (TOE و RBV) مقایسه و تطبیق داده شدند. این فرآیند اطمینان حاصل کرد که نتایج نهایی، هم از نظر تجربی مستحکم هستند و هم از نظر نظری قابل تبیین می‌باشند. این رویکرد روش‌شناختی دقیق، امکان شناسایی مکانیسم‌های علی پنهان-مانند نقش تعدیل‌گر فرهنگ سازمانی در اثربخشی فناوری-را فراهم آورد که در مطالعات صرفاً کمی اغلب نادیده گرفته می‌شوند.

۴. یافته‌ها و بحث

تحلیل کیفی و سنتز شواهد جهانی و منطقه‌ای گردآوری‌شده، چارچوبی نظام‌مند برای درک پویایی‌های پیچیده پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بنگاه‌های خرد، کوچک و متوسط فراهم می‌سازد. در این بخش، یافته‌ها در سه حوزه اصلی شامل پیشران‌ها، موانع و تمایزهای بخشی بررسی و سپس در چارچوب اقتصاد ایران و نیاز آن به تاب‌آوری صنعتی تفسیر می‌شود.

۴.۱. پیشران‌های کلیدی تحول دیجیتال

یافته‌ها نشان می‌دهند که آمادگی سازمانی، ظرفیت انسانی، نوآوری مالی و حمایت سیاستی از مهم‌ترین عوامل پیش‌برنده پذیرش فناوری‌های دیجیتال هستند. آمادگی سازمانی و رهبری تحول‌گرا بیش از هر عامل دیگر در موفقیت پیاده‌سازی نقش دارد. شواهد موجود تأکید می‌کند که حمایت مدیریت ارشد، فرهنگ باز سازمانی و چشم‌انداز استراتژیک از مؤلفه‌های حیاتی موفقیت دیجیتالی‌سازی محسوب می‌شوند (تچانامورتی و همکاران، ۲۰۲۵). در صنایع ایرانی که اغلب دارای ساختارهای سلسله‌مراتبی و محافظه‌کارانه هستند، اهمیت این عامل دوچندان است و رهبران باید با هم‌افزایی فرهنگی و فنی، تغییرات فناورانه را هدایت کنند.

توان تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی از دیگر عوامل کلیدی است. بنگاه‌هایی که دارای بخش R&D و نیروی انسانی متخصص هستند، بهتر می‌توانند فناوری‌های نوین را شناسایی و بومی‌سازی کنند (آگاروال و اوجها، ۲۰۲۳). در ایران با وجود تعداد بالای فارغ‌التحصیلان فنی، مسئله اصلی ناهماهنگی میان مهارت‌های دانشگاهی و نیازهای واقعی صنعت است و بنابراین بازآموزی نیروی کار از اهمیت ویژه برخوردار است.

نوآوری‌های مالی و فین‌تک نیز در کاهش موانع تأمین مالی نقش دارند. در شرایطی که محدودیت مالی مانع اصلی دیجیتالی‌سازی است، ابزارهایی چون فین‌تک و بلاک‌چین می‌توانند منابع مالی جایگزین فراهم کنند (ماهشواری و کامبل^۲، ۲۰۲۳). در ایران، با توجه به تورم و محدودیت‌های بانکی، توسعه فین‌تک به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است.

در سطح سیاست‌گذاری، حمایت‌های مالی، مشوق‌های مالیاتی و شبکه‌های همکاری صنعتی از پیشران‌های محیطی محسوب می‌شوند. ایجاد خوشه‌های صنعتی و تبادل دانش میان بنگاه‌ها می‌تواند یادگیری فناورانه را تسریع کند (کوکو و همکاران، ۲۰۲۴).

^۱ Triangulation

^۲ Maheshwari & Kamble

جدول ۱. پیشران‌ها و توانمندسازهای کلیدی پذیرش صنعت ۴.۰

سطح تحلیل	پیشران یا توانمندساز	مصادق در ادبیات جهانی	اهمیت در بافت ایران
سازمانی	رهبری و چشم‌انداز استراتژیک	همبستگی بالا با موفقیت پیاده‌سازی (تچانامورتی و همکاران، ۲۰۲۵)	حیاتی برای مقابله با مقاومت فرهنگی و شرایط نامطمئن محیطی
سازمانی	فرهنگ سازمانی باز	اشتراک دانش در بنگاه‌های خرد (میچنا و کمیچیاک، ۲۰۲۰)	ضروری برای شکستن سیلوهای اطلاعاتی در ساختارهای سنتی
قابلیتی	سرمایه انسانی و R&D	مهارت‌های دیجیتال و توان فنی (آگاروال و اوجها، ۲۰۲۳)	نیازمند رفع شکاف مهارتی و بازآموزی تخصصی
مالی	فین‌تک و تأمین مالی جایگزین	دسترسی آسان‌تر به اعتبار (راهایو و همکاران، ۲۰۲۳)	ابزار کلیدی برای عبور از محدودیت‌های بانکی و تورمی
محیطی	حمایت سیاستی و شبکه‌ای	مشوق‌های مالی و یادگیری همتا-به-همتا (کوکو و همکاران، ۲۰۲۴)	نیازمند ایجاد نهادهای استانداردساز و اکوسیستم‌های نوآوری

۴.۲ موانع ساختاری و گلوگاه‌های نهادی

سنتز مطالعات نشان می‌دهد مسیر دیجیتالی‌سازی بنگاه‌های کوچک در کشورهای در حال توسعه با موانع عمیق مالی، سازمانی و نهادی روبه‌روست. هزینه‌های بالای گذار، کمبود مهارت و حمایت ناکافی سیاستی از موانع اصلی هستند (راخ و همکاران، ۲۰۱۹؛ راوات و همکاران، ۲۰۲۴). در ایران، این موانع به واسطه تحریم‌ها، تورم و نوسانات سیاستی شدت بیشتری یافته‌اند.

جدول ۲. موانع شناسایی شده در چارچوب TOE

بعد تحلیل	موانع کلیدی	مصادیق و پیامدها
فناوری	هزینه‌های بالای گذار	ترس از انتخاب فناوری اشتباه و هزینه‌های اولیه بالا (راخ و همکاران، ۲۰۱۹)
فناوری	زیرساخت ضعیف و امنیت سایبری	عدم اعتماد به پلتفرم‌های ابری و خطر نشت داده (تامسن و همکاران، ۲۰۲۴)
سازمان	کمبود مهارت دیجیتال	مقاومت نیروی کار در برابر فناوری‌های نو (محمد شبین و همکاران، ۲۰۲۴)
سازمان	نبود حمایت مدیریتی	پروژه‌های کوتاه‌مدت و پراکنده (تچانامورتی و همکاران، ۲۰۲۵)
محیط	محدودیت مالی	تمرکز بر بقای کوتاه‌مدت به جای سرمایه‌گذاری بلندمدت (راوات و همکاران، ۲۰۲۴)
محیط	ضعف حمایت دولت	ریسک بالا و نبود شفافیت در مقررات (سلمان و همکاران، ۲۰۲۴)

جدول ۳. تفکیک موانع داخلی و محیطی

نوع مانع	مانع کلیدی	توصیف
سازمانی	مقاومت فرهنگی	ترس از شفافیت داده و تغییر فرآیندها
سازمانی	فقدان چشم‌انداز	ناتوانی در درک بازده سرمایه‌گذاری فناوری

محیطی	محدودیت سرمایه	عدم دسترسی به وام بانکی و منابع مالی پایدار
محیطی	نوسانات سیاستی	تغییر مکرر مقررات و نرخ ارز

۴.۳ تمایزهای بخشی و مسیرهای انطباق

الگوی دیجیتالی سازی در بخش تولید و خدمات تفاوت چشمگیری دارد. تولید بر فناوری‌هایی چون رباتیک، IoT و سیستم‌های سایبری-فیزیکی تمرکز دارد و هدف آن افزایش بهره‌وری است (کولکاری و همکاران، ۲۰۲۰). در مقابل، بخش خدمات از ابزارهای بازاریابی دیجیتالی، رایانش ابری و هوش مصنوعی برای افزایش انعطاف‌پذیری استفاده می‌کند (گوستجاهجانی و همکاران، ۲۰۲۵). در ایران، بنگاه‌های متوسط نسبت به خرده‌ها در پذیرش فناوری‌ها پیشروترند، در حالی که اکثر بنگاه‌های خرد در مراحل ابتدایی دیجیتالی سازی قرار دارند (بارمن و ماهانتا، ۲۰۲۵).

جدول ۴. مقایسه الگوهای پذیرش در بخش‌های تولید و خدمات

ویژگی	بخش خدمات	بخش تولید
فناوری‌های کلیدی	رایانش ابری، داده کاوی، هوش مصنوعی	رباتیک، IIoT، دوقلوهای دیجیتالی
هدف اصلی	گسترش بازار و بهبود تجربه مشتری	بهره‌وری، کیفیت و کاهش ضایعات
چالش‌ها	امنیت داده و کمبود مهارت نرم دیجیتالی	هزینه‌های بالا، پیچیدگی فنی
منبع	(گوستجاهجانی و همکاران، ۲۰۲۵)	(کولکاری و همکاران، ۲۰۲۰)

۴.۴ سنتز یافته‌ها در چارچوب تاب‌آوری صنعتی ایران

تحلیل نهایی نشان می‌دهد که ایران با پارادوکس بهره‌وری مواجه است؛ بنگاه‌ها نیازمند افزایش بهره‌وری هستند، اما توان مالی کافی برای پذیرش گسترده فناوری ندارند (بتیول و همکاران، ۲۰۲۴؛ زیدی و همکاران، ۲۰۲۵). رایانش ابری اگرچه ابزار کلیدی برای کاهش هزینه‌هاست، اما وابستگی به پلتفرم‌های خارجی به دلیل تحریم‌ها می‌تواند تهدیدی راهبردی باشد (باکار و همکاران، ۲۰۲۴). در نتیجه، توسعه زیرساخت‌های ابری ملی و ارتقای حاکمیت دیجیتالی از الزامات اساسی است. همچنین، تغییر فرهنگ سازمانی و ذهنیت مدیریتی در بنگاه‌های ایرانی پیش شرط موفقیت هرگونه سیاست صنعتی در این حوزه است (میچنا و کمیچیاک، ۲۰۲۰).

جدول ۵. خلاصه سنتز یافته‌های جهانی و انطباق با ایران

یافته جهانی	پیامد و انطباق برای ایران
افزایش بهره‌وری ۷٪ در دو سال نخست (بتیول و همکاران، ۲۰۲۴)	معیار بقا در محیط تورمی، نه صرفاً سودآوری
نیاز به شدت پذیرش بالا (زیدی و همکاران، ۲۰۲۵)	ضرورت اتخاذ مدل‌های تدریجی و کم‌هزینه
اهمیت فین تک در تأمین مالی (ماهشوری و کامبل، ۲۰۲۳)	راه حل جایگزین برای عبور از محدودیت‌های بانکی
نقش رایانش ابری (باکار و همکاران، ۲۰۲۴)	نیاز فوری به زیرساخت‌های ابری ملی
بازسازی دیجیتالی (آیت بریک و همکاران، ۲۰۲۵)	مسیر واقع‌بینانه برای صنایع ایران در چارچوب اقتصاد مقاومتی

شکاف مهارتی (محمد شبین و همکاران، ۲۰۲۴)	ضرورت بازآموزی و حفظ سرمایه انسانی متخصص
---	--

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات سیاستی

تحلیل کیفی مبتنی بر ادبیات جهانی صنعت ۴.۰ و انطباق آن با ساختار اقتصاد ایران نشان می‌دهد که دیجیتالی‌سازی اگرچه به‌عنوان محرک اصلی افزایش بهره‌وری و تاب‌آوری صنعتی شناخته می‌شود، اما تحقق اثرات مثبت آن در ایران مستلزم رفع مجموعه‌ای از موانع نهادی، مالی و فرهنگی است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ایران در موقعیتی دوگانه قرار دارد: از یک سو برخوردار از ظرفیت انسانی، زیرساخت دانشی و نیروی مهندسی بالا، و از سوی دیگر گرفتار محدودیت‌های ساختاری ناشی از تورم مزمن، تحریم‌ها و ضعف نهادی در هماهنگی سیاست‌های صنعتی و فناوری.

از منظر نظری، صنعت ۴.۰ نه صرفاً یک پروژه فناورانه بلکه یک فرایند "تحول سیستمی" است که مستلزم هم‌افزایی میان سه بعد فناوری، سازمان و محیط است. شواهد موجود تأکید می‌کند که اثر دیجیتالی‌سازی بر بهره‌وری و رقابت‌پذیری در صورتی پایدار خواهد بود که هم‌زمان اصلاحات نهادی، توسعه مهارت‌های دیجیتال و نوآوری مالی نیز در دستور کار قرار گیرد (آگاروال و اوجها، ۲۰۲۳؛ ماهشوری و کامبل، ۲۰۲۳؛ زیدی و همکاران، ۲۰۲۵). در غیاب این هم‌افزایی، شکاف میان بنگاه‌های دیجیتال محور و سنتی افزایش یافته و خطر شکل‌گیری "نابرابری فناورانه" در ساختار صنعتی کشور وجود دارد.

از منظر سیاست‌گذاری، نخستین و مهم‌ترین اولویت، ایجاد "چارچوب سیاست صنعتی دیجیتال" است که در آن نهادهای کلیدی چون وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت ارتباطات و معاونت علمی و فناوری نقش مکمل و نه موازی ایفا کنند. این چارچوب باید به‌جای سیاست‌های بخشی و مقطعی، بر ایجاد یک اکوسیستم پیوسته از "نوآوری صنعتی" متمرکز شود. در این راستا، راه‌اندازی "پلتفرم‌های داده صنعتی ملی" و توسعه استانداردهای بومی برای اینترنت اشیاء، امنیت سایبری و رایانش ابری، از پیش‌شرط‌های حیاتی است (باکار و همکاران، ۲۰۲۴؛ تامسن و همکاران، ۲۰۲۴).

در سطح بنگاه، یافته‌ها نشان می‌دهد که مسیر تدریجی و کم‌هزینه موسوم به "بازسازی دیجیتال"^۱ واقع‌بینانه‌ترین گزینه برای اکثریت صنایع ایران است (آیت بریک و همکاران، ۲۰۲۵). این رویکرد به‌جای جایگزینی کامل تجهیزات، با افزودن حسگرها و ابزارهای هوشمندسازی به ماشین‌آلات موجود، امکان ارتقای بهره‌وری را بدون فشار مالی گسترده فراهم می‌سازد. چنین مدلی می‌تواند به‌طور ویژه در صنایع کوچک و متوسط ایرانی که به دنبال افزایش کارایی و کاهش اتلاف انرژی هستند، تأثیرگذار باشد. از نظر مالی، نتایج بر نقش حیاتی فین‌تک و ابزارهای تأمین مالی نوین در عبور از تنگنای اعتباری تأکید دارد. در شرایطی که نظام بانکی کشور عمدتاً درگیر تأمین مالی کوتاه‌مدت است، توسعه پلتفرم‌های همتا به‌همتا و صندوق‌های نوآوری دیجیتال می‌تواند موتور محرک سرمایه‌گذاری فناورانه در بنگاه‌های کوچک باشد. علاوه بر آن، ادغام داده‌های مالی غیررسمی (مانند سوابق پرداخت دیجیتال و عملکرد کسب‌وکار) در نظام ارزیابی اعتبار، می‌تواند دسترسی MSME ها به منابع مالی را تسهیل کند (راهیو و همکاران، ۲۰۲۳؛ کوکو و همکاران، ۲۰۲۴).

از منظر سرمایه انسانی، راهبرد اصلی باید بر "ارتقای مهارت‌های دیجیتال میان‌سطحی" متمرکز باشد؛ یعنی پرورش مدیران و تکنسین‌هایی که بتوانند فناوری را به فرآیندهای تولیدی و خدماتی ترجمه کنند. نظام آموزش عالی کشور لازم است از آموزش‌های

^۱ Digital Retrofit

نظری به آموزش‌های مهارت‌محور و پروژه‌محور گذار کند. هم‌افزایی دانشگاه و صنعت، از طریق مراکز آموزش فنی مشترک و پروژه‌های بازآموزی، می‌تواند شکاف مهارتی موجود را کاهش دهد (محمد شبین و همکاران، ۲۰۲۴).

در نهایت، سیاست صنعتی دیجیتال ایران باید متکی بر سه ستون اصلی باشد: حاکمیت داده، تاب‌آوری فناوریانه، و فرهنگ سازمانی یادگیرنده. حاکمیت داده مستلزم توسعه زیرساخت‌های ابری ملی و چارچوب‌های امنیت سایبری داخلی است تا وابستگی به پلتفرم‌های خارجی کاهش یابد (باکار و همکاران، ۲۰۲۴). تاب‌آوری فناوریانه مستلزم پذیرش مسیرهای تدریجی و بومی برای دیجیتالی‌سازی است که با محدودیت‌های ارزی و مالی کشور سازگار باشد. و در نهایت، بدون اصلاح فرهنگ سازمانی و ذهنیت مدیریتی در بنگاه‌ها، هیچ فناوری پایداری نخواهد یافت. همان‌گونه که مطالعات نشان داده‌اند، داده‌ها تنها زمانی به منبع مزیت رقابتی تبدیل می‌شوند که فرهنگ اعتماد، شفافیت و اشتراک دانش در سازمان نهادینه شود (میچنا و کمیچیاک، ۲۰۲۰).

به طور کلی، تجربه ایران در ورود به عصر صنعت ۴.۰ می‌تواند نمونه‌ای از گذار فناوریانه در شرایط محدودیت باشد؛ گذاری که اگر به‌درستی هدایت شود، نه تنها بهره‌وری را افزایش می‌دهد، بلکه به تقویت استقلال صنعتی، ثبات اقتصادی و مقاوم‌سازی ساختار تولید ملی نیز خواهد انجامید. از این رو، گذار دیجیتال برای ایران صرفاً یک انتخاب فناوریانه نیست، بلکه یک ضرورت راهبردی در مسیر توسعه پایدار و خوداتکایی اقتصادی است.

منابع

- Agarwal, A., & Ojha, R. (۲۰۲۳). Prioritising the determinants of Industry ۴.۰ for implementation in MSME in the post-pandemic period—a quality function deployment analysis. *The TQM Journal*, 35(۸), ۲۱۸۱-۲۲۰۲.
- Ait Brik, A., En-nhaili, A., & Meddaoui, A. (۲۰۲۵). Enhancing Operational Performance through Digitalization and Industry ۴.۰: A Comprehensive Model for Data Reliability and OEE Optimization. *Data and Metadata*, 4, ۴۷۵-۴۷۵.
- Alenizi, F. A., Abbasi, S., Mohammed, A. H., & Rahmani, A. M. (۲۰۲۳). The artificial intelligence technologies in Industry ۴.۰: A taxonomy, approaches, and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 185, ۱۰۹۶۶۲.
- Alimohammadlou, M., & Sharifian, S. (۲۰۲۳). Industry ۴.۰ implementation challenges in small-and medium-sized enterprises: an approach integrating interval type-۲ fuzzy BWM and DEMATEL. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies & Applications*, 27(۱).
- Ansari, I., Barati, M., Moghadam, M. R. S., & Ghobakhloo, M. (۲۰۲۵). Empowering Industry ۴.۰: systemizing readiness assessment and strategic roadmapping for digital transformation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, (ahead-of-print).
- Argade, N. U., Chandak, P., Bansal, N., & Dubey, S. (۲۰۲۵). Alternative Financing Mechanisms: Increase Access to Finance for MSMEs in India. In *The Future of Indigenous Inclusivity: Unlocking Finance for Economic Development* (pp. ۲۰۱-۲۲۶). IGI Global Scientific Publishing.
- Bakar, M. R. A., Razali, N. A. M., Ishak, K. K., Ismail, M. N., & Sembok, T. M. T. (۲۰۲۴). Adoption of industry ۴.۰ with cloud computing as a mediator: Evaluation using TOE framework for SMEs. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 8(۲), ۵۵۴-۵۶۳.

۸. Bär, M. A., & Colombo, A. W. (۲۰۲۳, September). Industry ۴.۰-compliant asset administration shell service collector using single-board computers. In *Low-Cost Digital Solutions for Industrial Automation (LoDiSA 2023)* (Vol. ۲۰۲۳, pp. ۱۹-۲۷). IET.
۹. Barman, A., & Mahanta, M. (۲۰۲۵). Digital marketing adoption among MSMEs in Assam. *International Research Journal of Multidisciplinary Scope*. <https://doi.org/10.47857/irjms,۷۰۶۱۰۱>.
۱۰. Bettiol, M., Capestro, M., & Di Maria, E. (۲۰۲۲). Industry ۴.۰ adoption in manufacturing SMEs: Exploring the role of industry and regional scale in Northern Italy. *Scienze Regionali*, 21(۱), ۸۳-۱۱۰.
۱۱. Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E., & Ganau, R. (۲۰۲۴). Is this time different? How Industry ۴.۰ affects firms' labor productivity. *Small Business Economics*, 62(۴), ۱۴۴۹-۱۴۶۷.
۱۲. Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E., & Micelli, S. (۲۰۲۱). SMEs@ Industry ۴.۰: a comparison between top and average performers. *Sinergie Italian Journal of Management*, 39(۳), ۲۷-۴۸.
۱۳. Coco, N., Colapinto, C., & Finotto, V. (۲۰۲۴). Fostering digital literacy among small and micro-enterprises: digital transformation as an open and guided innovation process. *R&D Management*, 54(۱), ۱۱۸-۱۳۶.
۱۴. Dahooie, J. H., Habibollahi, H., & Qorbani, A. R. (۲۰۲۱, June). Identifying and prioritizing barriers of industry ۴.۰ adoption, using fuzzy Delphi and group ZBWM: A case study in an emerging economy. In *The International Workshop on Best-Worst Method* (pp. ۲۰۹-۲۲۷). Cham: Springer International Publishing.
۱۵. Esmaeili Shayan, S., & Sadeghi Moghadam, M. R. (۲۰۲۵). Prioritizing Quality ۴.۰ enablers in the Iranian ICT industry: an improved hybrid BWM-multicriteria approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
۱۶. Fatemi, M., Pakzad, M., & Ghazinoory, S. (۲۰۲۴). Implementing RIS^۳ (Research and Innovation Strategies for Smart Specialization) to unlock Iran's regional potential. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, ۱-۱۸.
۱۷. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., & Amran, A. (۲۰۲۲). Drivers and barriers of industry ۴.۰ technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(۶), ۱۰۲۹-۱۰۵۸.
۱۸. Goestjahjanti, F. S., Hasna, S., Tan, P. H. P., Wardhani, Y., Yusuf, F. A., Watini, S., & Rahardja, R. (۲۰۲۵, August). Digital Strategies Boosting MSME Growth in Industry ۴.۰ Transformation. In *2025 4th International Conference on Creative Communication and Innovative Technology (ICCIT)* (pp. ۱-۶). IEEE.
۱۹. Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. A., Abdullah, N. L., & Jusoh, M. S. (۲۰۲۱). Change readiness as a proposed dimension for industry ۴.۰ readiness models. *Logforum*, 17(۱), ۸۳-۹۶.
۲۰. Hrbić, R. (۲۰۲۵). Assessing the Early Impact of Industry ۴.۰ Technologies on the Activity, Efficiency, and Profitability of Croatian Micro-, Small-, and Medium-Sized Enterprises. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(۱۰), ۵۹۰.
۲۱. Indrawati, N. K., Muljaningsih, S., Juwita, H. A. J., Jazuli, A. M., Nurmasari, N. D., & Fahlevi, M. (۲۰۲۵). The mediator role of risk tolerance and risk perception in the relationship between financial literacy and financing decision. *Cogent Business & Management*, 12(۱), ۲۴۶۸۸۷۷.

۲۲. Jamwal, A., Palit, N., Kumari, S., Agrawal, R., & Sharma, M. (۲۰۲۰). A decision framework for SMEs to address sustainability issues with Industry ۴.۰ technologies. *Annals of Operations Research*, ۱-۲۹.
۲۳. Kiani, M., & Andalib Ardakani, D. (۲۰۲۳). Finding causal relationship and ranking of industry ۴.۰ implementation challenges: a fuzzy DEMATEL-ANP approach: M. Kiani, D. Andalib Ardakani. *Soft Computing*, 27(۲۱), ۱۰۴۷۹-۱۰۴۹۶.
۲۴. Kulkarni, P. M., Mutkekar, R. R., Ingalagi, S. S., & Mane, G. (۲۰۲۰, September). Manufacturing Strategy in the Era of Industry ۴.۰. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. ۹۲۰, No. ۱, p. ۰۱۲۰۴۰). IOP Publishing.
۲۵. Maheshwari, P., & Kamble, S. (۲۰۲۳). A comparative approach for sustainable supply chain finance to implement Industry ۴.۰ in Micro-, Small-, and Medium-sized enterprises. In *Digital Transformation and Industry 4.0 for Sustainable Supply Chain Performance* (pp. ۲۰۷-۲۳۰). Cham: Springer International Publishing.
۲۶. Michna, A., & Kmiecik, R. (۲۰۲۰). Open-mindedness culture, knowledge-sharing, financial performance, and industry ۴.۰ in SMEs. *Sustainability*, 12(۲۱), ۹۰۴۱.
۲۷. Mohammed Shebeen, T., Shanthi, R., & Mathiyarasan, M. (۲۰۲۴). Navigating Industry ۴.۰: Skill Development Strategies for Empowering MSMEs in the Digital Age. In *Anticipating Future Business Trends: Navigating Artificial Intelligence Innovations: Volume 2* (pp. ۴۰۳-۴۶۲). Cham: Springer Nature Switzerland.
۲۸. Monshizadeh, F., Moghadam, M. R. S., Mansouri, T., & Kumar, M. (۲۰۲۳). Developing an industry ۴.۰ readiness model using fuzzy cognitive maps approach. *International Journal of Production Economics*, 255, ۱۰۸۶۰۸.
۲۹. Morovati Sharifabadi, A., Ziaei, M., Mirfakhradini, S. H., & Zanjirchi, S. M. (۲۰۲۴). Toward Industry ۴.۰ in home appliance industry: challenges and future perspectives. *Journal of Advances in Management Research*, 21(۳), ۳۰۴-۳۷۰.
۳۰. Motallebi, S., Zandieh, M., Tabriz, A. A., & Tirkolaee, E. B. (۲۰۲۰). Assessing the industry ۴.۰ strategies for a steel supply chain: SWOT, game theory, and gap analysis. *Heliyon*, 11(۱).
۳۱. Narkhede, R., & Chaudhari, T. (۲۰۲۴). Significance of Industry ۴.۰ technologies in major work functions of manufacturing for sustainable development of small and medium-sized enterprises. *Business Strategy & Development*, 7(۱), e۳۲۰.
۳۲. Nurrahman, A., Sa'idah, N. F., Hung, H. C., & Wiratmadja, I. I. (۲۰۲۴, September). Barrier Model Development for Industry ۴.۰ Technologies Adoption in Small-to-Medium Food and Beverage Industry in Indonesia. In *Proceedings of the International Manufacturing Engineering Conference & The Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems* (pp. ۲۳۹-۲۴۸). Singapore: Springer Nature Singapore.
۳۳. Peter, O., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (۲۰۲۳). Industry ۴.۰ concepts within the sub-Saharan African SME manufacturing sector. *Procedia Computer Science*, 217, ۸۴۶-۸۵۰.
۳۴. Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P., & Azadnia, A. H. (۲۰۲۲). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry ۴.۰ and sustainable steel reverse logistics network. *Computers & Industrial Engineering*, 163, ۱۰۷۸۰۸.
۳۵. Qiao, T. (۲۰۲۴). The value and impact of alternative data in micro and small business financing. In *Exploring the Financial Landscape in the Digital Age* (pp. ۷۲۸-۷۳۶). CRC Press.
۳۶. Rahayu, S. K., Budiarti, I., Firdaus, D. W., & Onegina, V. (۲۰۲۳). Digitalization and informal MSME: Digital financial inclusion for MSME development in the formal economy. *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 10(۱), ۹-۱۹.

۳۷. Rauch, E., Dallasega, P., & Unterhofer, M. (۲۰۱۹). Requirements and barriers for introducing smart manufacturing in small and medium-sized enterprises. *IEEE Engineering Management Review*, 47(۳), ۸۷-۹۴.
۳۸. Rawat, P., Yashpal, & Purohit, J. K. (۲۰۲۴). Evaluating and prioritizing the barriers of industry ۴.۰ implementation in Indian SMEs: An ISM approach. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 105(۳), ۵۴۳-۵۶۰.
۳۹. Rohaeni, N., Indriana, I., & Januarsi, Y. (۲۰۲۵). Digital Financial Literacy and Technology Adoption for Strengthening Financial Inclusion and MSMEs' Performance in Banten, Indonesia. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 5, ۲۲۲۷-۲۲۲۷.
۴۰. Salman, S., Hasanat, S., Rahman, R., & Moon, M. (۲۰۲۴). Analyzing the key barriers of adopting Industry ۴.۰ in Bangladesh's ready-made garment industry: an emerging economy example. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 6(۳), ۲۳۲-۲۵۵.
۴۱. Singh, S., & Rahman, A. (۲۰۲۵). Barriers to Industry ۴.۰ Implementation in Indian Manufacturing SMEs Using Integrated AHP-VIKOR Framework. In *Sustainable Advanced Manufacturing and Logistics in ASEAN* (pp. ۲۴۹-۲۶۸). IGI Global Scientific Publishing.
۴۲. Somasundaram, R., Mohammed, S., Shaji George, A., Chandrakala Naik, B., Meghana, C., & Bhutani, M. (۲۰۲۵, February). Leveraging Cloud Computing for the Growth and Resilience of Small and Medium Enterprises. In *International Conference On Innovative Computing And Communication* (pp. ۲۸۷-۳۰۷). Singapore: Springer Nature Singapore.
۴۳. Taslimi, M. S., Azimi, A., & Nazari, M. (۲۰۲۱). Resilience to economic sanctions; case study: hospital equipment cluster of Tehran (HECT). *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 12(۱), ۱۳-۲۸.
۴۴. Techanamurthy, U., Iqbal, M. S., & Abdul Rahim, Z. (۲۰۲۵). Industry ۴.۰ readiness and strategic plan failures in SMEs: A comprehensive analysis. *PLoS One*, 20(۵), e۰۳۲۴۰۵۲.
۴۵. Thomsen, H., Antonsen, M. G., & Rosenkilde, B. (۲۰۲۴, September). Digitalization and Cybersecurity challenges and solutions for Industry ۴.۰ in manufacturing SMEs. In *2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)* (pp. ۱-۴). IEEE.
۴۶. Treuk, I. M., Júnior, A. O., Lopes, R. P., Mota, G., Mira, J. J., & Leitao, P. (۲۰۲۴, May). Digitalization of industrial inspection assets through the asset administration shell. In *2024 IEEE 7th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)* (pp. ۱-۶). IEEE.
۴۷. Wong, A. P. H., & Kee, D. M. H. (۲۰۲۲). Driving factors of industry ۴.۰ readiness among manufacturing SMEs in Malaysia. *Information*, 13(۱۲), ۵۵۲.
۴۸. Zaidi, N. I. N., Nazmudeen, M. S., & Mohiddin, F. (۲۰۲۲). Segmentation analysis of MSMEs in Brunei Darussalam based on IR۴.۰ technology adoption. In *The Implementation of Smart Technologies for Business Success and Sustainability: During COVID-19 Crises in Developing Countries* (pp. ۹۴۹-۹۵۹). Cham: Springer International Publishing.
۴۹. Zaidi, N. I. N., Nazmudeen, M. S., & Mohiddin, F. (۲۰۲۵). An Empirical Study of the Mediating Effect of the Adoption Level of IR۴.۰ technologies with MSMEs' Performance in Brunei Darussalam. *Journal of Information & Knowledge Management*, 24(۰۲), ۲۵۵۰۰۱۷.
۵۰. Zheng, B., Yuan, Y., Li, H., & Jiang, Y. (۲۰۲۳). A study of digital transformation and MSMEs performance from a spatial perspective: Evidence from China. *Journal of Economics and Management*, 45, ۳۱۹-۳۴۳.

۵۱. Zhou, H., Zhou, B., Nie, Z., & Zheng, L. (۲۰۲۴). Identifying Key Success Factors for Industry ۴.۰ Implementation: An Empirical Analysis Using SEM and fsQCA. *Applied Sciences*, 14(۱۲), ۵۲۴۴.
- ۵۲.