



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صص ۹۹-۱۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ در صنعت لوازم خانگی با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری و مدل‌سازی معادلات ساختاری

حمیدرضا طلائی*

استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۲

چکیده

با رشد دیجیتالی شدن صنایع و انقلاب صنعتی چهارم، سازمان‌ها شروع به تغییر فرآیندهای کسب‌وکار خود و اتخاذ فناوری‌هایی به منظور پیشرفته‌تر، مشتری‌مدارتر و پایدارتر شدن کرده‌اند. اگرچه معرفی فناوری‌های جدید و پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی چالش‌های بسیاری را برای سازمان ایجاد می‌کند، اما ارزش خود را در صنایع مختلف به منظور دستیابی به اهداف پایدار اثبات کرده‌است. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی موانع پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی است و براساس مرور ادبیات، ۱۰ مانع مهم شناسایی شده است. روش این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از حیث نحوه گردآوری داده‌ها، توصیفی-همبستگی است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری‌شده، از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری به منظور سطح‌بندی موانع پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی استفاده شده و براین اساس، عوامل در پنج سطح اولویت‌بندی شده‌اند. در مدل ساختاری، کمبود حمایت‌های دولتی به عنوان مانع تاثیرگذار و آغازین شناسایی شده است و موانع انگیزه و تمایل و کمبود جنبه‌های طراحی مدولار دارای اثرپذیری بالایی هستند. در ادامه، به‌منظور برآزش ساختار به‌دست آمده، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. بدین منظور پرسشنامه ای حاوی ۳۳ سوال با طیف ۵ گانه لیکرت طراحی گردید و به منظور تکمیل آن از ۱۷۰ کارکنان صنایع لوازم خانگی کشور نظرخواهی گردید. روایی و پایایی پرسشنامه و همچنین برآزش مدل نیز تأیید شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان چراغ راهی برای استقرار صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در صنایع لوازم خانگی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: صنعت ۴.۰، اقتصاد چرخشی، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مدل‌سازی معادلات ساختاری.



۱- مقدمه و بیان مسئله

امروزه نقش لوازم خانگی در زندگی روزمره به یک موضوع مهم تبدیل شده است، لذا، سازمان‌ها در تلاش هستند تا فناوری‌های مختلفی را برای کاهش هزینه‌ها و ماندن در بازار رقابتی پیاده‌سازی کنند [۱]. همچنین، با توجه به اینکه، رفتار مصرف‌کنندگان با افزایش روز به‌روز آگاهی در حال تغییر است، هندیاتی و همکاران (۲۰۱۵) پیشنهاد کرده‌اند که سازمان‌ها باید رویکرد ارزش‌آفرینی خود را تغییر دهند و از این‌رو، به‌منظور برآورده کردن نیازهای مصرف‌کننده، مدیران شروع به پیشبرد کسب‌وکار به سمت تحول دیجیتال و ایجاد اتحاد با شرکا برای تقویت اقدامات پایدار کرده‌اند [۲]. تحول در صنعت لوازم خانگی را می‌توان از طریق دیجیتالی‌سازی و پذیرش فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا (IoT) مشاهده کرد [۳].

نسل چهارم صنعت بر ایجاد تعامل بین بخش‌های مختلف فرایند تولید، اتوماسیون عملیات، یادگیری ماشین و داده‌های زمانی تمرکز دارد [۴]. پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ می‌تواند میزان شفافیت را افزایش دهد و امکان تحلیل انبوه داده‌ها را در لحظه فراهم کند. همچنین، می‌توان از صنعت ۴.۰ برای ردیابی محصولات در زنجیره‌تامین استفاده کرد [۵]. با توجه به مطالعه بانجری (۲۰۱۹)، پذیرش فناوری اینترنت اشیا و بلاکچین با پرداختن به مسائلی مانند قابلیت ردیابی و در دسترس بودن، تغییری بنیادی در زنجیره‌تامین ایجاد کرده‌است [۶]. علی‌رغم مزیت‌های عمده پذیرش صنعت ۴.۰، هنوز هزینه و هدررفت زیادی به دلیل شیوه‌های مدیریت سنتی در سازمان ایجاد می‌گردد [۷].

در سال‌های اخیر، مدیران به سمت اتخاذ شیوه‌های اقتصاد چرخشی برای ایجاد بازار رقابتی محصولات خود در مقیاس جهانی متمایل شده‌اند [۸]. از آنجایی که تنها پذیرش صنعت ۴.۰ برای جلوگیری از اتلاف کافی نیست، اقتصاد چرخشی نقش مهمی در صنایع ایفا می‌کند [۹]. مفهوم اقتصاد چرخشی پس از گنجاندن آن در اهداف توسعه پایدار توسط سازمان ملل متحد (مجمع عمومی سازمان ملل، ۲۰۱۵) محبوبیت بیشتری به دست آورد [۹]. اقتصاد چرخشی مفهومی است که حداکثر استفاده از منابع را از طریق روش‌های بازیافت، استفاده مجدد و بازیابی را برای صنایع ترویج می‌کند [۱۰]. اقتصاد چرخشی دیدگاه منحصر به‌فردی را در مورد ساختارهای عملیاتی و اداری برای بازیابی کالاهای استفاده‌شده و ضایعات ارائه می‌دهد [۹] و کارایی و اثربخشی اقتصاد چرخشی به عناصر مهمی در تبدیل مدل‌های تجاری مرسوم



به مدل‌های پایدار ایفا می‌کند [۱]. از آنجا که کارایی فرایندهای سازمانی به استفاده از فناوری-های جدید صنعت ۴.۰ وابسته است، بنابراین، ادغام صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در صنایع اهمیت بالایی دارد [۸]. اقتصاد چرخشی باید بر اساس فرآیندهای راهبردی به‌منظور ایجاد محصولات کارآمد با استفاده از رویکرد صنعت ۴.۰ اعمال شود [۱۱]. پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی با استراتژی به اشتراک‌گذاری اطلاعات در دستیابی به مزیت‌های عملیاتی (به عنوان مثال توزیع مجدد محصولات بازیافتی، بازگشت محصول و استفاده مجدد از محصول) مزیت عمده‌ای دارد [۱۲]. پذیرش فناوری‌های هوشمند با در نظر گرفتن اقتصاد چرخشی، باعث ایجاد شفافیت، قابلیت اطمینان، ردیابی و اعتماد در بین همه ذینفعان می‌شود، اما منجر به بار مالی زیادی بر سازمان می‌شود [۱۳]. هالسه و جاگر (۲۰۱۹) بیان کردند که سازمان‌های تولیدی به صورت آهسته به سمت پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ حرکت می‌کنند و در این مسیر لازم است که با آغوشی باز مفاهیم اقتصاد چرخشی را پذیرا باشند. به اعتقاد آن‌ها پیچیدگی‌های زنجیره‌تامین، هماهنگی، عدم وجود طراحی مدولار در محصولات، کیفیت و هزینه‌های بالا مانع پذیرش اقتصاد چرخشی متناسب با صنعت ۴.۰ در صنایع تولیدی می‌باشد [۱۴].

صنعت لوازم خانگی یکی از بزرگترین بخش‌های اشتغال‌زا در ایران است و اشتغال‌زایی این صنعت به کاهش نرخ بیکاری و افزایش رفاه اجتماعی کمک می‌کند. همچنین، صنعت لوازم خانگی نقش مهمی در رشد اقتصادی کشور ایفا می‌کند و با تولید محصولات مختلف، نقش مهمی در تولید ناخالص داخلی دارد و به عنوان یکی از پیشران‌های اقتصادی کشور محسوب می‌شود [۱۵]. ایران، به عنوان یک کشور در حال توسعه، دارای تقاضای بالای لوازم خانگی است. همچنین وجود تحریم‌ها، نوسانات نرخ ارز و تمایل به خودکفایی لوازم خانگی در کشور و کاهش واردات، نیاز به پذیرش صنعت ۴.۰ و رویکرد اقتصاد چرخشی را پررنگ می‌نماید. همچنین، صنعت لوازم خانگی ایران با چالش‌های متعددی از جمله بهره‌وری پایین، مصرف انرژی بالا، و میزان بالای ضایعات مواجه است. این چالش‌ها نیازمند تغییرات اساسی در فرآیندهای تولیدی و مدیریتی هستند. پیاده‌سازی همزمان صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی می‌تواند راه حلی موثر برای این مشکلات ارائه دهد.



مرور ادبیات نشان می‌دهد پژوهش‌های اخیر به بررسی موانع پذیرش صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی در کشورهای مختلف پرداخته‌اند و این موضوع یک روند تحقیقاتی جدید به‌شمار می‌رود. تحقیقات متعددی در مورد یکپارچگی و ارتباط و رابطه صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی در صنایع گوناگون انجام شده‌است (به‌طور مثال [۲۳ و ۲۴]). اما تاکنون تحقیقات معدودی به بررسی موانع پذیرش و پیاده‌سازی موفق رویکرد یکپارچه صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی پرداخته‌اند (به‌طور مثال، [۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۳۴]). با این حال، یکی از شکاف علمی که در پژوهش‌های گذشته مشهود است، عدم بررسی موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در صنعت لوازم خانگی است. تفاوت‌های فرهنگی، زیرساختی و قوانین حاکم در ایران، نیازمند پژوهش‌های بومی‌سازی شده‌ای است که شرایط خاص کشور در صنعت لوازم خانگی را در نظر بگیرد. همچنین، مرور ادبیات مربوطه نشان می‌دهد که تاکنون تحلیل موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ با رویکرد ترکیبی و یکپارچه مدلسازی ساختاری تفسیری و معادلات ساختاری انجام نشده‌است. این رویکرد ترکیبی، به تمایز و برتری پژوهش حاضر نسبت به تحقیقات پیشین کمک می‌کند و می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب راهبردی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعت لوازم خانگی کشور به‌کار گرفته شود. ترکیب این دو روش، یک رویکرد جامع و چندجانبه به تحلیل سیستم پیچیده صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی فراهم می‌کند و مدل‌های مفهومی و آماری را بررسی می‌کند. از این رو، مساله اصلی پژوهش حاضر، بررسی موانع پذیرش و پیاده‌سازی همزمان و یکپارچه صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی کشور است که تاکنون مورد توجه محققان قرار نگرفته است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی دو مفهوم نوظهور در حوزه‌های صنعتی و اقتصادی هستند که به ترتیب در بهبود فرآیندهای تولیدی از طریق فناوری‌های پیشرفته و در توسعه مدل‌های پایدار اقتصادی تمرکز دارند [۱۳]. ترکیب این دو رویکرد می‌تواند منجر به ایجاد سیستم‌های تولیدی کارآمدتر، پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر شود [۱۶]. امروزه سازمان‌ها می‌توانند با پذیرفتن یک سبک چرخشی، جریان مواد، محصولات و زباله‌ها را کاهش دهند [۱۷].

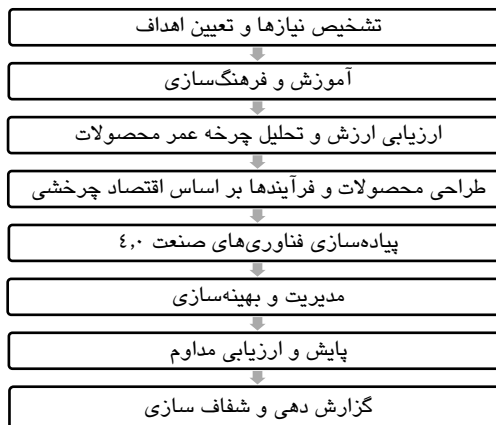


صنعت ۴۰ به انقلاب صنعتی چهارم اشاره دارد که از تکنولوژی‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاکچین، و فناوری‌های مبتنی بر داده‌ها برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولیدی و تجاری بهره می‌برد [۱۸]. فناوری‌های صنعت ۴۰ می‌توانند فرآیندهای تولید را بهبود بخشیده و داده‌های لازم برای بهینه‌سازی مدل‌های اقتصاد چرخشی را فراهم کنند. به عنوان مثال، اینترنت اشیا می‌تواند به ردیابی محصولات در طول چرخه عمر آن‌ها کمک کند و اطلاعات لازم برای بازیافت و بازتولید را فراهم سازد [۱۹]. اقتصاد چرخشی یک مدل اقتصادی است که بر کاهش ضایعات، بازتولید، و بازیافت منابع تأکید دارد تا از مصرف بی‌رویه و تخریب محیط‌زیست جلوگیری شود. ترکیب این دو رویکرد می‌تواند به ایجاد صنایع پایدارتر و کارآمدتر منجر شود [۲۰]. ترکیب صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی می‌تواند نقش مهمی در تحول و بهبود صنعت لوازم خانگی ایران ایفا کند. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته صنعت ۴۰ و بهره‌گیری از مدل‌های پایدار اقتصاد چرخشی، می‌توان بهره‌وری را افزایش داد، هزینه‌ها را کاهش داد و اثرات زیست‌محیطی را به حداقل رساند [۸].

اینترنت اشیا، به عنوان عنصر حیاتی صنعت ۴۰، بستر تولید لوازم خانگی هوشمند را برای رضایت بیشتر مشتری، بهره‌وری انرژی، شخصی‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های کلان پیشرفته فراهم می‌سازد. با این حال، صنایع لوازم خانگی با منابع محدود خود، با چالش‌های متعددی برای تغییر خطوط تولید قدیمی و برآورده کردن نیازهای مشتری مواجه هستند [۱۹]. طبق پژوهش روزا و همکاران (۲۰۲۰)، صنعت ۴۰ تأثیر بسزایی بر اقتصاد چرخشی دارد [۲۱]. همچنین، پیوند اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در دستیابی به اهداف توسعه پایدار موثر است [۲۲]. بررسی ادبیات در مورد ارتباط بین اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی چهارم به درک اینکه چگونه فناوری‌های مختلف انقلاب صنعتی چهارم می‌توانند از استراتژی‌های اقتصاد چرخشی حمایت کنند، به عنوان مبنایی برای فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت عملیات پایدار، کمک می‌کند [۲۳]. یافته‌های پژوهش ساهو و همکاران (۲۰۲۲)، نشان داد که تعداد بسیار کمی از مطالعات به مسائل مربوط به پذیرش و اجرای صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی پرداخته‌اند. علاوه بر این، نشان دادند که فناوری‌های صنعت ۴۰، از جمله دیجیتالی‌سازی، پایش در زمان واقعی و قابلیت‌های تصمیم‌گیری، نقش مهمی در اجرای اقتصاد چرخشی ایفا می‌کنند [۲۴].



پیاده‌سازی اقتصاد یکپارچه چرخشی و صنعت ۴.۰ به صورت یک فرایند منسجم و گام به گام نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و هماهنگی بین جنبه‌های مختلف صنعتی، اقتصادی و فناوری است. با مرور ادبیات صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی می‌توان این مراحل را در شکل ۱ نمایش داد (برگرفته از [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۳۰ و ۳۱]).



شکل ۱- فرایند منسجم و گام به گام پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی (منبع: محقق ساخته)

مرحله اول شامل شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود و تعیین اهداف مشخص در راستای افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات، بهینه‌سازی مصرف منابع، و ارتقاء نوآوری با استفاده از فناوری‌های دیجیتال مدرن است [۲۱]. مرحله دوم شامل آموزش و ایجاد فرهنگ سازمانی است که به نوآوری، پایداری، و استفاده بهینه از منابع اهمیت می‌دهد. در مرحله سوم، برای شناسایی نقاطی که در آن‌ها می‌توان مصرف منابع را کاهش داد و بازیافت را افزایش داد باید چرخه عمر محصولات تحلیل گردد [۲۲]. در مرحله بعد، توسعه محصولات با در نظر گرفتن قابلیت بازیافت، طول عمر بالا، و استفاده از مواد قابل بازیافت و طراحی فرآیندهای تولید به گونه‌ای که ضایعات به حداقل برسد و مواد بازیافتی به راحتی در چرخه تولید وارد شوند اهمیت دارد [۳۰]. در مرحله پنجم بهره‌برداری از فناوری‌های صنعت ۴.۰ اتفاق می‌افتد. در مرحله ششم، ایجاد شبکه‌های بازیافت و بازتولید برای اطمینان از اینکه مواد پس از استفاده دوباره وارد چرخه تولید می‌شوند رخ می‌دهد. مرحله هفتم، استفاده از سیستم‌های پایش خودکار برای ارزیابی مداوم عملکرد فرآیندها و تطبیق آن‌ها با اهداف تعیین شده است [۳۱]. در مرحله آخر



نیز، برای شفاف‌سازی اقدامات و دستاوردها برای سهامداران و جامعه به منظور افزایش اعتماد و حمایت از سوی ذی‌نفعان باید گزارش‌های دوره‌ای و منظم از عملکرد سازمان منتشر نمود. این مراحل به سازمان‌ها کمک می‌کند تا به صورت سیستماتیک و کارآمد به اجرای اقتصاد چرخشی و بهره‌برداری از فناوری‌های صنعت ۴.۰ بپردازند، که نهایتاً منجر به افزایش پایداری و بهره‌وری خواهد شد.

مرور ادبیات نشان می‌دهد پژوهش‌های اخیر توجه زیادی به دو مفهوم اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ در صنایع مختلف داشته‌اند. شریفیان‌جزی و همکاران (۱۴۰۲) نشان دادند که چالش‌های فقدان منابع مالی، کمبود بودجه، عدم حمایت و تعهد مدیریت عالی، فقدان ساختار مدیریت چرخشی و کمبود نیروی کار ماهر به عنوان مهمترین چالش‌ها در اجرای مدیریت زنجیره‌تامین چرخشی محسوب می‌شوند [۱۷]. نتایج پژوهش سلمان‌نژاد و کریمی‌تکلو (۱۴۰۲) نشان داد که مانع فقدان فناوری برای طراحی محصولات قابل بازیافت بیشترین اهمیت را نسبت به سایر موانع موجود در اجرای زنجیره‌تامین چرخشی دارد [۲۰]. همچنین، طلایی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی کیفیت ۴.۰ به عنوان رویکرد کیفیتی صنعت ۴.۰، عامل رهبری را به عنوان مهمترین محرک استقرار نظام کیفیت ۴.۰ به عنوان یکی از رویکردهای مهم صنعت ۴.۰ در صنعت فولاد کشور معرفی کرده‌اند [۲۵]. حسین‌پور و قربان‌پور (۱۴۰۲) در پژوهشی به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل اقتصاد چرخشی، تولید پاک و انقلاب صنعتی نسل چهارم برای بهبود بهره‌وری پایدار صنایع تولیدی پرداخته‌اند و فناوری پرینت سه بعدی، حمایت مدیریت ارشد و بازیافت ضایعات را به عنوان مهمترین عوامل معرفی کرده‌اند [۲۶]. در پژوهش دیگری، راش و همکاران (۱۴۰۲) به شناسایی و رتبه‌بندی چالش‌های پیاده‌سازی زنجیره‌تامین چرخشی در صنعت داروسازی پرداخته و چالش‌های راهبردی، چالش‌های عملیاتی و زیست‌محیطی را به عنوان مهمترین اولویت‌ها تعیین کرده‌اند [۲۷]. به منظور تحلیل محرک‌های زنجیره‌تامین چرخشی پایدار هوشمند در صنعت روغن خوراکی، کریمی‌تکلو و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از روش ترکیبی دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری متخاصم، محرک شایستگی سازمانی را به عنوان تاثیرگذارترین عامل شناسایی کرده‌اند [۲۸]. طبق پژوهش خدایی و همکاران (۱۴۰۲)، تسهیلات و مشوق‌های مالی در فراهم نمودن مقدمات اجرا و موفقیت مدل‌های کسب‌وکار چرخشی در حوزه کشاورزی-غذایی اثرگذار هستند [۲۹].



تغییر روش‌های عملیاتی کسب‌وکارها به شیوه‌های مدرن صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی کار آسانی نیست و در مطالعات قبلی موانعی چون هزینه‌ها، کمبود مهارت، از دست رفتن شغل‌ها و عدم تناسب فرآیندها، محصولات یا تأسیسات تولیدی با صنعت ۴.۰ شناسایی شده‌است. به دلیل این موانع، شرکت‌ها به کندی به سمت اقدامات پایدار و اقتصاد چرخشی از جمله تولیدات سفارشی، زمان‌های تحویل کوتاه‌تر و عملیات و محصولات پایدارتر حرکت می‌کنند [۳۰]. یو و همکاران (۲۰۲۲) نقش صنعت ۴.۰ را بر اقتصاد چرخشی و قابلیت زنجیره‌تأمین به‌منظور بهبود عملکرد شرکت بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که صنعت ۴.۰ نقش مثبتی در اجرای اقتصاد چرخشی و قابلیت زنجیره‌تأمین ایفا می‌کند. علاوه بر این، شیوه‌های اقتصاد چرخشی، رابطه مثبتی با عملکرد عملیاتی و اقتصادی دارد [۳۱]. کومار و همکاران (۲۰۲۱) موانع پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در زنجیره‌تأمین کشاورزی هند را با استفاده از روش ترکیبی ISM-ANP بررسی کردند و نتایج نشان داد که عدم حمایت و مشوق‌های دولتی و فقدان سیاست‌ها و پروتکل‌ها، موانع مهمی برای اجرای مدل صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی هستند [۸]. براساس پژوهش کومار و همکاران (۲۰۲۴)، محدودیت فناوری، سرمایه‌گذاری بالا، کمبود آگاهی و پذیرش مشتری و کمبود نوآوری اکولوژیکی به عنوان برجسته‌ترین موانع برای پذیرش صنعت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین غذای پایدار شناسایی شده‌اند [۱۶]. کانداسامی و همکاران (۲۰۲۳) موانع پذیرش فناوری‌های دیجیتال در شبکه اقتصاد چرخشی را شناسایی کرده و مهم‌ترین مانع برای پذیرش فناوری‌های دیجیتال در صنعت ۴.۰ را نگرش منفی نسبت به فناوری بیان کرده‌اند. براساس نظر نویسندگان، این مانع به سایر موانع وابسته نیست و بنابراین مدیران باید اولویت بالایی برای رفع این مشکل قائل شوند تا از ایجاد اختلال در سیستم جلوگیری کنند. همچنین، این مطالعه موانع دیگری مانند مزایای نامشخص و کمبود آگاهی را نیز به‌عنوان موانع پذیرش فناوری‌های دیجیتال در اقتصاد چرخشی دانسته است [۱۳]. همچنین مطابق با نظر بادهوتیا و همکاران (۲۰۲۲)، کمبود تقاضا و پذیرش محصولات بازتولیدشده و پس از آن، کمبود حمایت دولتی و موانع قانونی مهم‌ترین موانع پذیرش اقتصاد چرخشی در صنایع هستند [۳۲]. با مرور ادبیات و پیشینه مرتبط با صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی با تمرکز پذیرش همزمان هر دو، موانع پذیرش همزمان صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در جدول ۱ نشان داده شده‌است.



جدول ۱- موانع پذیرش صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی

منابع	شرح	موانع پذیرش
[۱۶ و ۸]	علیرغم حجم بالای پژوهش‌های مربوط به صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی، هنوز این دو مفهوم در صنایع ناشناخته است.	کمبود آگاهی و دانش
[۳۰ و ۱۶]	سازمان‌ها در اجرای صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی به دلیل در دسترس نبودن فرآیندهای پذیرفته شده جهانی با مشکلات مواجه هستند.	کمبود استانداردها و مراجع
[۱۶ و ۱۳]	مهارت‌ها و دانش فنی نیروی کار برای اجرا و درک سیستم‌های پیشرفته فناوری صنعت ۴۰۰ و مفهوم اقتصاد چرخشی کم است.	کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی منسجم
[۲۴ و ۲۳، ۸]	زیرساخت مناسبی برای ارتباط برقرار شده بین محیط فیزیکی و دیجیتال وجود ندارد. ساختار متعارف فعلی برای یک مفهوم مدرن مناسب نیست.	کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات
[۲۸ و ۱۳]	شایسته‌محوری، به دلیل نبود پاداش برای اجرای برنامه‌ها و نبود مهارت‌های مرتبط با صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی و همچنین عدم توجه به تخصص و یا احتمالاً فساد و رانت کم است.	کمبود شایسته-محوری
[۳۲ و ۸]	حمایت‌های دولتی شامل مشوق‌های دولتی، یارانه‌های مالی و برنامه‌های عمومی آموزشی برای پذیرش صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی است.	کمبود حمایت‌های دولتی
[۳۰ و ۱۳]	منظور از اقدامات پایداری، شیوه‌های ناب، حلقه بسته و سبز برای ارتقاء به تکنیک‌های مدرن تولید است.	کمبود اقدامات پایداری
[۱۲، ۸، ۱۱] و [۲۲]	هزینه سرمایه‌گذاری بالا و عدم وجود نمونه واقعی از امکان‌سنجی مالی و مسائل امنیتی فناوری‌ها و...، نرخ انگیزه پذیرش و تمایل را کاهش می‌دهد.	کمبود تمایل و انگیزه
[۳۱، ۲۳، ۳۰] و [۳۲]	عدم طراحی محصول با جنبه‌های طراحی مجدد، ساخت مجدد و بازسازی برای توسعه مدل‌های تجاری اقتصاد چرخشی به دلیل فناوری ناکارآمد و عدم دیجیتالی شدن مشهود است.	کمبود جنبه‌های طراحی مدولار (چرخشی)
[۸، ۹، ۱۱] و [۱۳]	به دلیل ترس، تغییرات مالی، نوسازی و اقدامات زیست‌محیطی اولویت مدیران نیست. آنها معمولاً به بازپرداخت‌های طولانی و سرمایه‌گذاری بلندمدت اعتقادی ندارند.	ترس از تغییر فرهنگ

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از منظر هدف، کاربردی، از منظر نحوه جمع‌آوری داده‌ها، توصیفی و از منظر ماهیت، همبستگی است. در این پژوهش، ابتدا براساس مرور ادبیات پژوهش، موانع پذیرش صنعت ۴۰۰ و اقتصاد چرخشی در صنعت شناسایی شده‌است. سپس موانع شناسایی شده با



استفاده از نظر ۱۰ خبره صنعت لوازم خانگی کشور بومی‌سازی گردیده است. موانع شناسایی شده در قالب پرسشنامه ای با طیف ۱ تا ۵ در اختیار خبرگان قرار گرفت. اگر میانگین حسابی نمره هر عامل بالاتر از ۸۰٪ بالاترین نمره یعنی معادل ۴ باشد، موید تایید آن عامل می باشد [۳۳]. باتوجه به اینکه میانگین نمرات تمام عوامل بالاتر از ۴ شد، در نتیجه تمام موانع شناسایی شده به عنوان موانع پذیرش صنعت ۴۰٪ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی کشور در نظر گرفته شدند. سپس، با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مدل ارتباطی میان موانع پذیرش صنعت ۴۰٪ و اقتصاد چرخشی طراحی شد. بدین منظور پرسشنامه مقایسات زوجی میان موانع پذیرش در اختیار خبرگان قرار گرفت. روایی و پایایی پرسشنامه ISM براساس روایی محتوا و آزمون مجدد تأیید شد [۳۴]. روایی محتوا از طریق بررسی نظرات خبرگان مطالعه سنجیده شد. بدین منظور، سوالات و عناصر مدل توسط گروهی از خبرگان بررسی شد تا اطمینان حاصل شود که تمام جنبه‌های مهم پوشش داده شده است. همچنین، پرسشنامه ISM سه مرتبه با ۴ نفر از خبرگان اجرا و نتایج مشابهی به دست آمد که نشانه از پایایی پرسشنامه بود. تعداد خبرگان برای پر کردن پرسشنامه روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری بین ۸ تا ۱۵ خبره کفایت می‌کند [۳۵]. بر همین اساس، در این قسمت از نظر ۱۰ خبره آشنا به موضوع پژوهش با حداقل ۸ سال سابقه کاری در صنعت لوازم خانگی به عنوان نمونه آماری مبتنی بر روش گلوله برفی استفاده گردید. مراحل روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری برگرفته از پژوهش دیکسیت و همکاران (۲۰۲۴)، به شرح زیر است [۳۶].

۱) تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM)^۱: این ماتریس روابط دودویی میان موانع را نشان می‌دهد که باید از لحاظ انتقال پذیری بررسی گردد. برای تهیه ماتریس خودتعاملی ساختاری از روابط جدول ۲ استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است برای تشکیل ماتریس خودتعاملی از روش مد براساس بیشترین فراوانی در هر درایه استفاده شده است.

جدول ۲- نمادهای تعیین روابط در مقایسات زوجی ISM

V	برای نشان دادن تاثیر یک طرفه (معیار A به معیار Z منجر می شود)
A	برای نشان دادن تاثیر یک طرفه (معیار Z به معیار A منجر می شود)
X	برای نشان دادن تاثیر دو طرفه
O	برای نشان دادن عدم رابطه

¹ Structural Self-Interaction Matrix



۲) ایجاد ماتریس دستیابی اولیه^۱: به منظور بدست آوردن ماتریس دستیابی باید نمادهای فوق به صفر و یک تبدیل شوند. اگر خانه (i, j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد v گرفته است، خانه مربوطه در ماتریس دستیابی عدد ۱ و خانه قرینه آن یعنی خانه (j, i) عدد صفر می‌گیرد. اگر خانه (i, j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد A است، خانه مربوطه در ماتریس دستیابی عدد صفر و خانه قرینه آن، یعنی خانه (j, i) عدد ۱ می‌گیرد. اگر خانه (i, j) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد X است، خانه مربوطه در ماتریس دستیابی عدد ۱ و خانه قرینه آن، یعنی خانه (j, i) هم عدد ۱ می‌گیرد. اگر خانه (j, i) در ماتریس خودتعاملی ساختاری نماد O است، خانه مربوطه در ماتریس دستیابی عدد صفر و خانه قرینه آن، یعنی خانه (j, i) هم عدد صفر می‌شود.

۳) ماتریس دستیابی نهایی: پس از به دست آوردن ماتریس دستیابی اولیه، با در نظر گرفتن خاصیت انتقال پذیری، ماتریس دستیابی نهایی به دست می‌آید. بدین منظور باید ماتریس اولیه را به توان $k+1$ رساند تا حالت پایدار ایجاد گردد.

۴) تعیین سطح عوامل: برای تعیین سطح، با استفاده از ماتریس دستیابی مجموعه قابل دستیابی (خروجی) و مجموعه پیش‌نیاز (ورودی) برای هر عامل تعیین می‌شود. مجموعه قابل دستیابی هر عامل شامل عواملی می‌شود که از طریق این عامل می‌توان به آن‌ها رسید و مجموعه پیش‌نیاز شامل عواملی می‌شود که از طریق آن‌ها می‌توان به این عامل رسید. پس از تعیین مجموعه قابل دستیابی و پیش‌نیاز برای هر عامل، عناصر مشترک در دو مجموعه قابل دستیابی و پیش‌نیاز شناسایی می‌شود. در اولین جدول عاملی دارای بالاترین سطح می‌باشد که مجموعه دستیابی و عناصر مشترک آن کاملاً یکسان باشند. پس از تعیین این عوامل، آن‌ها را از جدول حذف کرده و با بقیه عوامل باقیمانده جدول بعدی تشکیل می‌شود. در جدول دوم نیز همانند جدول اول متغیر سطح دوم مشخص می‌شود و این کار تا تعیین سطح همه عوامل ادامه می‌یابد.

۵) ترسیم مدل ساختاری تفسیری: براساس سطوح تعیین‌شده و ماتریس دستیابی نهایی، چارچوب مفهومی پژوهش ترسیم می‌گردد.

¹ Initial Reachability Matrix



۶) تحلیل میک‌مک: بعد از به دست آوردن چارچوب نهایی، تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی (MICMAC)^۱ انجام می‌شود. میک‌مک بر اساس خاصیت ضرب ماتریس است. هدف میک‌مک تعیین عوامل تاثیرگذار و تاثیرپذیر است. عوامل در ۴ دسته خودمختار^۲، پیوندی^۳، وابسته^۴، مستقل^۵ با توجه به درجه قدرت نفوذ و یا وابستگی طبقه بندی می‌شوند. گروه خود مختار، قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. گروه پیوندی، قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند. گروه وابسته، قدرت نفوذ ضعیف ولی وابستگی بالایی دارند. گروه مستقل، قدرت نفوذ بالا و وابستگی پائینی دارند.

برای تحلیل برازش مدل طراحی شده ساختاری تفسیری، از نرم افزار Smart PLS 3.0 استفاده شده است. برای این منظور پرسشنامه‌ای حاوی ۳۳ سوال مبتنی بر طیف ۵ گانه لیکرت بر اساس مرور ادبیات و نظر خبرگان طراحی گردید و در اختیار ۱۷۰ نفر از کارکنان صنایع لوازم خانگی کشور قرار گرفت. در روش مدل‌سازی معادلات ساختاری، برای محاسبه حجم نمونه معمولاً از رابطه $5q < n < 15q$ استفاده می‌شود که در فرمول فوق q تعداد سوالات پرسشنامه و n اندازه نمونه است [۳۷]. تعداد سوالات پرسشنامه ۳۳ سوال بوده و حداقل حجم نمونه کافی ۱۶۵ نفر می‌باشد. در پژوهش حاضر نیز از رابطه فوق برای محاسبه حجم نمونه استفاده می‌شود و ۱۷۰ نفر به عنوان نمونه آماری و بر اساس نمونه‌گیری در دسترس در نظر گرفته می‌شوند.

در روش مدل‌سازی معادلات ساختاری، سه سطح مدل بیرونی (روایی و پایایی)، مدل درونی (مدل ساختاری) و برازش کلی مدل ارزیابی می‌گردد. در این پژوهش، به منظور بررسی روایی، از روایی همگرا به معنی همبستگی سوالات مرتبط با یک متغیر با همان متغیر استفاده شده که با دو معیار ضرایب بار عاملی (حد قابل قبول ۰/۴) و میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده (AVE) (حد قابل قبول ۰/۵) سنجیده می‌گردد. برای سنجش پایایی از معیارهای آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شده است که حد قابل قبول این دو معیار ۰/۷ است. آلفای کرونباخ نشانگر همبستگی یک سازه و شاخص‌های مربوط به آن است و پایایی ترکیبی، پایایی سازه‌ها

¹ Matrice d'Impacts Croises-Multiplication Appliqué an Classment

² Autonomous

³ linkage

⁴ Dependent

⁵ Independent



را نه به صورت مطلق بلکه با توجه به همبستگی سازه‌هایشان با هم محاسبه می‌کند [۳۷]. برای سنجش برازش مدل درونی از معیارهای Q^2 و R^2 استفاده شده است. معیار Q^2 برای سازه‌های درون‌زا استفاده شده و قدرت پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. در صورتی که مقدار Q^2 سه مقدار ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳۵ را کسب نماید، به ترتیب نشان از قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی مدل دارد. معیار R^2 تنها برای سازه‌های وابسته مدل محاسبه می‌گردد و در مورد سازه‌های برون‌زا (مستقل) صفر است. سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ به‌عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی R^2 معرفی شده و هر چه مقدار R^2 مربوط به سازه‌های درون‌زای یک مدل بیشتر باشد، نشان از برازش بهتر مدل است [۳۸].

در این پژوهش، برازش کلی مدل با شاخص SRMR مورد سنجش قرار گرفته است. این شاخص بین صفر تا یک است و هر قدر که کوچکتر باشد بیانگر برازش بیشتر کل مدل است. خط برش این شاخص ۸٪ است [۳۷ و ۳۸]. به عبارت دیگر چنانچه SRMR یک مدل ۸٪ یا کمتر باشد بیانگر برازش کلی بالای مدل است و هر قدر که بیشتر از ۸٪ باشد بیانگر برازش کمتر مدل است.

۴- یافته‌های پژوهش

باتوجه به موانع شناسایی شده پذیرش صنعت ۴۰٪ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی کشور و نظرات خبرگان در مقایسه‌های زوجی، ارتباط بین موانع در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- ماتریس خودتعاملی ساختاری

موانع	کمبود آگاهی و دانش	کمبود استاندارد مرجع	کمبود نیروی ماهر	کمبود زیرساخت IT	کمبود تمایل و انگیزه	کمبود حمایت‌های	کمبود اقدامات پایدار	کمبود شایسته‌محوری	کمبود طراحی مولار	ترس از تغییر فرهنگ
کمبود آگاهی و دانش		V	A	O	V	A	V	V	V	X
کمبود استاندارد مرجع			A	A	O	A	O	V	V	A
کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی				V	X	A	V	V	V	A



موانع	کمبود آگاهی و دانش	کمبود استاندارد مرجع	کمبود نیروی ماهر	کمبود زیرساخت IT	کمبود تمایل و انگیزه	کمبود حمایت های	کمبود اقدامات پایداری	کمبود شایسته‌محوری	کمبود طراحی مدولار	ترس از تغییر فرهنگ
کمبود زیرساخت های فناوری اطلاعات					V	A	V	V	V	A
کمبود تمایل و انگیزه						A	V	V	V	V
کمبود حمایت های دولتی							V	V	V	V
کمبود اقدامات پایداری								V	V	A
کمبود شایسته‌محوری									X	A
کمبود جنبه های طراحی مدولار										A
ترس از تغییر فرهنگ										

با استفاده از جدول ۳، ماتریس دستیابی اولیه (تبدیل به ۰ و ۱) تشکیل داده شد و سپس جدول دستیابی نهایی به دست آمد. برای تعیین سطح موانع، نیاز به شناسایی مجموعه‌های دستیابی، پیش‌نیاز و مشترک است که در جدول ۴ مشخص شده‌است.

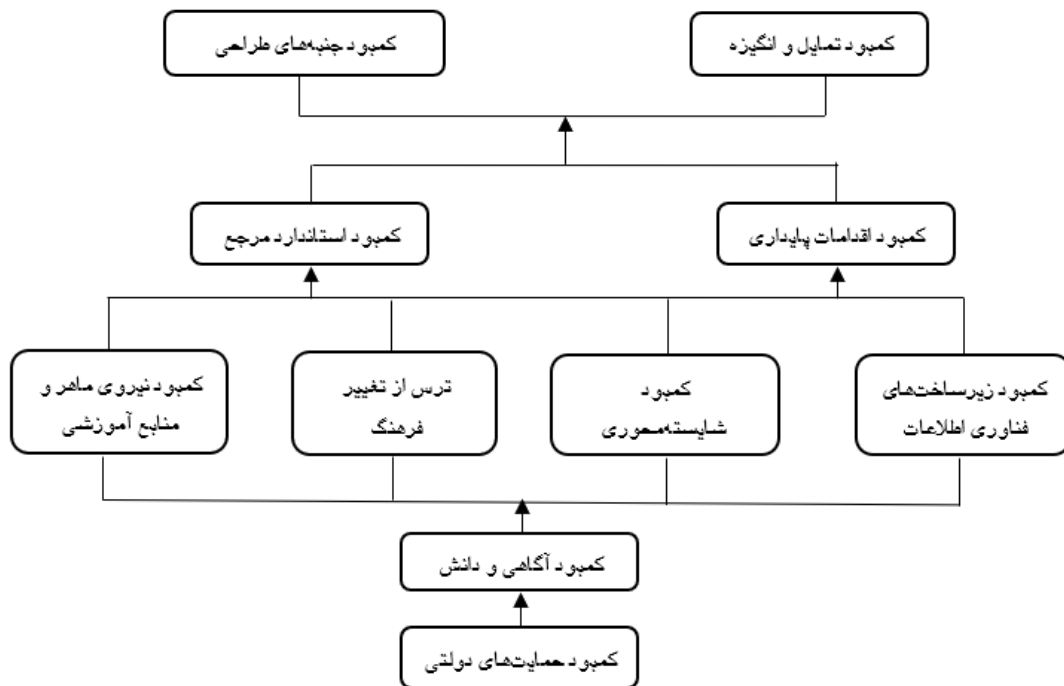
جدول ۴- تعیین سطح موانع پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی کشور

عوامل	مجموعه دستیابی	مجموعه مقدم	مجموعه مشترک	سطح
کمبود آگاهی و دانش	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱۰ و ۶ و ۵ و ۳ و ۱	۱۰ و ۵ و ۳ و ۱	چهارم
کمبود استاندارد مرجع	۹ و ۸ و ۲	۱۰ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۲	دوم
کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱۰ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۱۰ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	سوم
کمبود زیرساخت های IT	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲	۱۰ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۱۰ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	سوم
کمبود تمایل و انگیزه	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱۰ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۱۰ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	سوم
کمبود حمایت های دولتی	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱۰ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۶ و ۱۰	پنجم
کمبود اقدامات پایداری	۹ و ۸ و ۷	۱۰ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۷	دوم



عوامل	مجموعه دستیابی	مجموعه مقدم	مجموعه مشترک	سطح
کمیود شایسته‌محوری	۸ و ۹	۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ ۱ و ۲ و ۳	۸ و ۹	اول
کمیود جنبه‌های طراحی مدولار	۸ و ۹	۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ ۱ و ۲ و ۳	۸ و ۹	اول
ترس از تغییر فرهنگ	۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱	۱۰ و ۹ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱	۱۰ و ۹ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۱ ۱	سوم

براساس خروجی جدول ۴، مدل ساختاری تفسیری در شکل ۲ نمایش داده شده‌است.



شکل ۲- چارچوب ساختاری تفسیری



شکل ۳ نمودار نفوذ-وابستگی مستقیم و غیر مستقیم میان موانع را با استفاده از نرم افزار میک مک نسخه ۵.۳.۰ نشان می‌دهد. محور افقی نمایانگر قدرت وابستگی و محور عمودی نشانگر قدرت نفوذ است.



شکل ۳- نمودار نفوذ-وابستگی موانع در دو حالت مستقیم و غیر مستقیم (براساس خروجی نرم‌افزار میک‌مک)

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در حالت مستقیم، کمبود حمایت‌های دولتی، کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی در گروه مستقل، کمبود تمایل و انگیزه و کمبود جنبه‌های طراحی مدولار در گروه وابسته و کمبود استانداردهای مرجع، کمبود دانش و آگاهی، کمبود شایسته‌محوری، کمبود اقدامات پایداری و ترس از تغییر فرهنگ در گروه پیوندی قرار گرفتند. همچنین، در حالت غیر مستقیم، کمبود دانش و آگاهی و استانداردهای مرجع به گروه مستقل تغییر یافته‌اند و کمبود اقدامات پایداری نیز به گروه وابسته اضافه شده‌است. در هر دو حالت متغیری در گروه خودمختار وجود نداشت.

به‌منظور برازش آماری مدل ساختاری تفسیری، داده‌های جمع‌آوری شده از ۱۷۰ تن از کارکنان صنعت لوازم خانگی کشور در نرم افزار Smart PLS 3.0 تحلیل شد (براساس پرسشنامه پیوست). جدول ۵ مقادیر روایی و پایایی برای هر یک از ابعاد مدل را نشان می‌دهد.



جدول ۵- مقادیر پایایی و روایی

پایایی ترکیبی	آلفای کرونباخ	AVE	بار عاملی	گویه	متغیر
۰/۸۶۲	۰/۹۱۹	۰/۸۶۲	۰/۹۷۱	Q1	کمیود حمایت‌های دولتی
			۰/۹۵۱	Q2	
			۰/۸۵۹	Q3	
۰/۹۳۱	۰/۹۰۰	۰/۷۷۱	۰/۹۳۶	Q4	کمیود آگاهی و دانش
			۰/۸۸۴	Q5	
			۰/۸۵۷	Q6	
			۰/۸۳۲	Q7	
۰/۸۹۷	۰/۸۲۷	۰/۷۴۴	۰/۸۳۱	Q8	کمیود نیروی ماهر و منابع آموزشی
			۰/۸۸۴	Q9	
			۰/۸۷۱	Q10	
۰/۹۲۷	۰/۸۹۴	۰/۷۶۰	۰/۸۶۰	Q11	ترس از تغییر فرهنگ
			۰/۹۱۲	Q12	
			۰/۸۸۹	Q13	
			۰/۸۲۳	Q14	
۰/۹۴۰	۰/۹۱۵	۰/۷۹۷	۰/۹۰۷	Q15	کمیود شایسته‌محوری
			۰/۸۲۴	Q16	
			۰/۹۳۲	Q17	
			۰/۹۰۴	Q18	
۰/۸۶۹	۰/۷۷۶	۰/۶۹۰	۰/۸۷۲	Q19	کمیود زیرساخت IT
			۰/۹۰۱	Q20	
			۰/۷۰۶	Q21	
۰/۹۰۸	۰/۸۴۷	۰/۷۶۷	۰/۸۴۴	Q22	کمیود استانداردهای مرجع
			۰/۸۴۵	Q23	
			۰/۹۳۵	Q24	
۰/۹۱۵	۰/۸۶۰	۰/۷۸۱	۰/۸۵۴	Q25	کمیود اقدامات پایداری
			۰/۹۱۶	Q26	
			۰/۸۸۰	Q27	
۰/۹۰۱	۰/۸۳۵	۰/۷۵۳	۰/۸۹۱	Q28	کمیود جنبه‌های طراحی مدولار
			۰/۸۷۱	Q29	



متغیر	گویه	بار عاملی	AVE	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
کمبود انگیزه و تمایل	Q30	۰/۸۳۹	۰/۷۴۳	۰/۸۲۷	۰/۸۹۷
	Q31	۰/۸۴۰			
	Q32	۰/۸۸۱			
	Q33	۰/۸۶۵			

با توجه به جدول ۵، روایی و پایایی پرسشنامه معادلات ساختاری تایید شده است. تمام مقادیر AVE بالاتر از ۰/۵ و تمام مقادیر آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بالاتر از ۰/۷ هستند که نشان از تاثیر روایی و پایایی پرسشنامه معادلات ساختاری پژوهش است.

بر اساس جدول ۶، مقادیر Q^2 و R^2 برای متغیرهای وابسته مدل محاسبه شده است. بر اساس مقادیر جدول ۵، برازش ساختاری مورد تایید قرار گرفته است چرا که مقادیر Q^2 در بازه بالاتر از ۰/۳۵ هستند که نشان از قدرت بالای پیش بینی متغیرهای وابسته توسط متغیر مستقل است. مقادیر R^2 هم بالاتر از ۰/۶۷ هستند که این مقادیر بالای R^2 نشان از برازش مطلوب مدل پیش بینی دارد. همچنین، مقدار SRMR برابر با ۰/۰۵۹ به دست آمده است، که نشان از برازش مناسب کلی مدل پژوهش دارد.

جدول ۶- معیارهای مرتبط با برازش مدل ساختاری

ردیف	متغیرهای درون زا	R^2	Q^2
۱	کمبود آگاهی و دانش	۰/۷۹۲	۰/۵۷۱
۲	کمبود استاندارد مرجع	۰/۹۱۶	۰/۶۴۶
۳	کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی	۰/۷۸۴	۰/۵۵۱
۴	کمبود زیرساخت های IT	۰/۸۷۳	۰/۵۶۱
۵	کمبود شایسته محوری	۰/۷۹۱	۰/۵۸۷
۶	کمبود اقدامات پایداری	۰/۹۶۰	۰/۶۹۹
۷	کمبود انگیزه و تمایل	۰/۸۶۰	۰/۵۹۸
۸	کمبود جنبه های طراحی مدولار	۰/۸۸۳	۰/۶۱۹
۹	ترس از تغییر فرهنگ	۰/۹۵۳	۰/۶۷۷

در جدول ۷ مقادیر ضرایب مسیر و آماره تی نشان داده شده است. طبق نتایج، مقادیر آماره تی برای تمامی مسیرها بالاتر از قدر مطلق ۱/۹۶ است. همچنین ضرایب مسیر هم عمدتاً بالا هستند که نشان می دهد قدرت پیش بینی هر مسیر (تاثیر متغیر مستقل بر وابسته) قابل است.

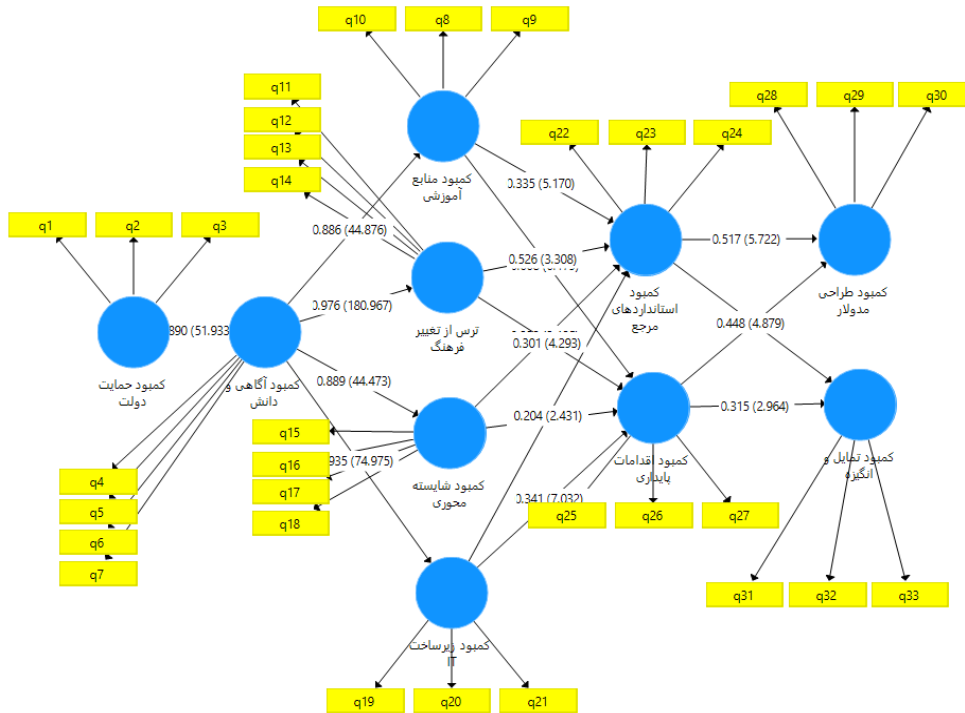


طبیعتاً هرچه مقدار ضریب مسیر بالاتر باشد، شدت رابطه میان دو متغیر بیشتر است. همچنین، تمام مقادیر ضریب مسیر در تمام روابط مثبت است که نشان می‌دهد تمام روابط به صورت مستقیم هستند.

جدول ۷- آماره تی و ضرایب مسیر

نتیجه آزمون	آماره تی	ضریب مسیر	رابطه	فرضیه
تائید	۵۴/۹۱۰	۰/۸۹۰	کمبود حمایت دولت بر کمبود آگاهی	۱
تائید	۴۵/۲۸۱	۰/۸۸۶	کمبود آگاهی بر کمبود منابع آموزشی	۲
تائید	۱۸۹/۵۴۸	۰/۹۷۶	کمبود آگاهی بر ترس تغییر	۳
تائید	۴۴/۰۴۷	۰/۸۸۹	کمبود آگاهی بر کمبود شایسته‌محوری	۴
تائید	۷۳/۱۶۷	۰/۹۳۶	کمبود آگاهی بر کمبود زیرساخت فناوری اطلاعات	۵
تائید	۵/۳۳۳	۰/۳۳۵	کمبود منابع آموزشی بر کمبود استاندارد	۶
تائید	۳/۲۵۳	۰/۵۲۶	ترس تغییر بر کمبود استاندارد مرجع	۷
تائید	۳/۱۱۲	۰/۳۳۲	کمبود شایسته‌محوری بر کمبود استاندارد	۸
تائید	۲/۳۲۹	۰/۲۰۴	کمبود زیرساخت فناوری اطلاعات بر کمبود استاندارد	۹
تائید	۰/۲۷۴	۰/۱۲۸	کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی بر کمبود اقدامات پایداری	۱۰
تائید	۴/۲۵۰	۰/۳۰۱	ترس تغییر بر کمبود اقدامات پایداری	۱۱
تائید	۱۰/۹۸۹	۰/۳۷۰	کمبود شایسته‌محوری بر کمبود اقدامات پایداری	۱۲
تائید	۶/۸۸۹	۰/۳۴۱	کمبود زیرساخت فناوری اطلاعات بر کمبود اقدامات پایداری	۱۳
تائید	۶/۱۴۸	۰/۶۳۵	کمبود استاندارد مرجع بر کمبود تمایل و انگیزه	۱۴
تائید	۵/۸۶۹	۰/۵۱۷	کمبود استاندارد بر کمبود طراحی مدولار	۱۵
تائید	۲/۹۷۲	۰/۳۱۵	کمبود اقدامات پایداری بر کمبود تمایل و انگیزه	۱۶
تائید	۵/۰۲۵	۰/۴۴۸	کمبود اقدامات پایداری بر کمبود طراحی مدولار	۱۷

در شکل ۴ ضرایب مسیر و آماره تی نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴- ضرایب مسیر و آماره تی برای هر مسیر مدل

۵- بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در صنعت لوازم خانگی کشور با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) بود.

نتایج حاصل از مدل‌سازی ساختاری تفسیری داد که مهمترین مانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در صنعت لوازم خانگی کشور، کمبود حمایت‌های دولتی است. بنابراین، دولت باید با ایجاد سیاست‌ها و قوانین حمایتی، ارائه یارانه‌ها و تسهیلات مالی، به تسریع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ کمک کنند. این یافته با پژوهش با نتایج تحقیق خدایی و همکاران (۱۴۰۲)، کومار و همکاران (۲۰۲۱) و بادھوتیا و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد [۸ و ۲۹ و ۳۲].



در سطح بعدی، مانع کمبود دانش و آگاهی است. افزایش آگاهی عمومی و تخصصی از طریق برنامه‌های آموزشی، سمینارها و کارگاه‌ها می‌تواند به پر کردن این شکاف کمک کند. این نتیجه همراستا با پژوهش کومار و همکاران (۲۰۲۴) و کومار و همکاران (۲۰۲۱) است. آن‌ها نیز اعتقاد داشتند که فقدان برنامه‌های آموزشی و عدم اطلاع افراد از این رویکردها منجر به عدم پذیرش آن‌ها در صنعت می‌گردد [۸ و ۱۶]. همچنین، کانداسامی و همکاران (۲۰۲۳) مهم‌ترین مانع برای پذیرش فناوری‌های دیجیتال در صنعت ۴.۰ را نگرش منفی نسبت به فناوری بیان معرفی کرده‌اند که رفع آن مستلزم افزایش آگاهی و دانش افراد است [۱۳]. همان‌طور که در مراحل اجرایی رویکرد یکپارچه (شکل ۱) مشهود است گام اول شناسایی نیازها، فرصت‌ها و چالش‌ها است که مانع دانش و آگاهی دقیقاً در همین گام باعث بروز مشکلات حاد می‌شود که با اهمیت این مانع در پژوهش حاضر نیز همسو است. بنابراین، دولت، دانشگاه‌ها و سایر متولیان وظیفه جدی دارند دانش و آگاهی سازمان‌ها در حوزه صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی را تقویت نمایند. در سطح بعدی مدل ساختاری، موانع ترس از تغییر فرهنگ، کمبود نیروی ماهر و منابع آموزشی، کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و کمبود شایسته‌محوری شناسایی شده‌اند. ایجاد برنامه‌های آموزشی و تربیت نیروی کار متخصص در این زمینه‌ها از طریق همکاری با دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی می‌تواند به حل این مشکل کمک کند. همچنین، سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند بستری مناسب برای پذیرش این مفاهیم در صنعت لوازم خانگی کشور فراهم کند. ارائه مشوق‌های مالی و غیرمالی، از جمله جوایز و تقدیرنامه‌ها و اهمیت امنیت شغلی افراد می‌تواند فرهنگ پرسنلی را برای تمایل به اجرای صحیح صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی تقویت نماید. به‌علاوه، فرهنگ‌سازی و تغییر نگرش‌ها از طریق آموزش و ترویج مفاهیم جدید می‌تواند به کاهش ترس از تغییرات جدید به سمت صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی کمک کند. این نتایج با پژوهش‌های خدایی و همکاران (۱۴۰۲) و کریمی‌تکلو و همکاران (۱۴۰۳) از منظر انگیزه افراد و شایستگی سازمانی [۲۸]، [۲۹]، هالسه و جاگر (۲۰۱۹) از منظر اهمیت امنیت شغلی [۱۴] و کومار و همکاران (۲۰۲۱) و سلمان‌نژاد و کریمی‌تکلو (۱۴۰۲) از منظر اهمیت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات [۸ و ۲۰] افراد همسو است. مطابق با مراحل اجرایی رویکرد (شکل ۱) دومین گام مهم آموزش و فرهنگ‌سازی است که در مدل ساختاری پژوهش حاضر نیز ترس از تغییر فرهنگ



و نبود آموزش دو مانع مهم شناسایی شده‌اند. از این رو، لازم است مدیران سازمان‌ها و متولیان کلان، در راستای تامین منابع آموزشی و ایجاد فرهنگ مدرن اقتصاد چرخشی در کشور همت بیشتری نمایند که این خلا به شدت محسوس است. در سطح بعدی مدل، موانع کمبود اقدامات پایداری و کمبود چارچوب‌ها و استانداردها مرجع قرار گرفته‌اند. عدم وجود استانداردهای مشخص و قابل قبول در سطح ملی و بین‌المللی باعث می‌شود که شرکت‌ها دچار سردرگمی شوند و نتوانند به درستی از تکنولوژی‌های جدید بهره ببرند. بنابراین، تدوین و ترویج استانداردهای ملی و بین‌المللی برای اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ می‌تواند به عنوان راهنمایی برای شرکت‌ها عمل کند و پیاده‌سازی این مفاهیم را تسهیل نماید. همچنین، دولت و سازمان‌های مرتبط می‌توانند با ارائه سیاست‌های تشویقی، مانند کاهش مالیات برای شرکت‌هایی که به مسئولیت اجتماعی و محیط زیست، اقدامات پایداری را تقویت کنند. نتایج اهمیت مانع کمبود اقدامات پایدار با نتایج پژوهش‌های شریفیان‌جری و همکاران (۱۴۰۲)، حسین‌پور و قربان‌پور (۱۴۰۲)، کومار و همکاران (۲۰۲۴) و بادهوتیا و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد [۱۶ و ۱۷ و ۲۶ و ۳۲]. مطابق با گام سوم مراحل اجرایی، تحلیل چرخه عمر محصول همراستا یا مانع کمبود اقدامات پایداری است. عدم توجه به مدیریت چرخه عمر محصولات لوازم خانگی یکی از نقاط ضعف بزرگ اقدامات پایدار در سازمان است که در اکثر سازمان‌های تولیدکننده لوازم خانگی مغفول مانده است و می‌توان در این حوزه اقدامات وسیعی مانند پیاده‌سازی استاندارد ایزو ۱۵۲۸۸ و نرم‌افزارهای مدرن مدیریت چرخه عمر محصول انجام داد. در آخرین سطح مدل موانع کمبود انگیزه و تمایل و کمبود جنبه‌های طراحی مدولار قرار گرفته‌اند. طراحی مدولار به معنای طراحی محصولاتی است که قابلیت جدا شدن و بازسازی مجدد دارند. این جنبه یکی از کلیدهای موفقیت در پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی است. برای رفع این مانع، نیاز به آموزش و ترویج استانداردهای طراحی مدولار در میان طراحان و مهندسان وجود دارد. همچنین، ارائه مشوق‌های مالی و غیرمالی برای شرکت‌هایی که به سمت طراحی مدولار حرکت می‌کنند، می‌تواند موثر باشد. همچنین، هزینه سرمایه‌گذاری بالا و عدم وجود نمونه واقعی از سازمانی با مختصات صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی و پایین بودن امنیت فناوری‌ها، نرخ تمایل به پذیرش را در میان شرکت‌ها کاهش می‌دهد. نشان دادن نمونه‌های موفق و مطالعات موردی می‌تواند اعتماد به این تکنولوژی‌ها را افزایش دهد. این نتیجه با نتایج پژوهش



کومار و همکاران (۲۰۲۱) و شریفیان‌جزی و همکاران (۱۴۰۲) در رابطه با عدم تعهد و اعتماد مدیران ارشد به صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی [۸ و ۱۷]، طلایی و همکاران (۱۴۰۱) در باب اهمیت رهبری مطمئن سازمان [۱۸]، حسین‌پور و قربان‌پور (۱۴۰۲) و کومار و همکاران (۲۰۲۴) همراستا است [۱۶ و ۲۶]. مطابق شکل ۱، گام چهارم طراحی محصولات و فرآیندها بر اساس اصول اقتصاد چرخشی متناسب با مانع کمبود طراحی مدولار محصولات لوازم خانگی است. بنابراین، مدیران باید مقدمات و زیرساخت‌های طراحی و تولید محصولات لوازم خانگی بر مبنای اصول اقتصاد چرخشی که بارزترین آن‌ها طراحی مدولار محصولات است اقدام نمایند. براساس تحلیل میک‌مک، در حالت مستقیم، موانع کمبود حمایت‌های دولتی، کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، کمبود نیروی ماهر و کمبود منابع آموزشی در دسته مستقل قرار گرفته‌اند. این موانع دارای تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری کم هستند و به عنوان محرک‌های اصلی عمل می‌کنند و سایر موانع را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در حالت روابط غیر مستقیم نیز، متغیرهای کمبود دانش و آگاهی و استانداردهای مرجع نیز به دسته مستقل اضافه شده‌اند که نشان می‌دهد که در ارزیابی تأثیرات غیرمستقیم، این دو مانع به عنوان موانع اساسی شناسایی شده‌اند که نقش مهمی در هدایت تغییرات در سیستم پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی دارند. بهبود یا برطرف کردن موانع گروه مستقل می‌تواند تغییرات عمده‌ای در کل سیستم ایجاد کند. بنابراین، برطرف کردن این موانع باید در اولویت برنامه‌ریزی‌ها و استراتژی‌ها قرار گیرند، زیرا تغییرات در این حوزه‌ها می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر سیستم کلی پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ در صنعت لوازم خانگی داشته باشد. همچنین، موانع کمبود استانداردهای مرجع، کمبود دانش و آگاهی، کمبود شایسته‌محوری، کمبود اقدامات پایداری و ترس از تغییر فرهنگ در دسته پیوندی و یا به اصطلاح کلیدی قرار گرفتند. این موانع هم تأثیرگذاری و هم تأثیرپذیری بالایی دارند و به عنوان موانع کلیدی در سیستم عمل می‌کنند. تغییر در این موانع می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای در سیستم پذیرش صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی داشته باشد و باید به شدت تحت نظر مدیران ارشد باشند. در هر دو حالت (مستقیم و غیرمستقیم)، هیچ مانعی در گروه خودمختار قرار نگرفت. این نتیجه می‌تواند به این معنی باشد که سیستم مورد بررسی دارای پیچیدگی و پیوستگی بالایی است و تمامی موانع به صورت شبکه به یکدیگر مرتبط هستند. در نهایت، حضور موانع تمایل و انگیزه و عدم طراحی



مدولار در گروه وابسته نشان می‌دهد این دو مانع کاملاً تحت تاثیر سایر موانع هستند و با کنترل دیگر موانع می‌توان این دو مانع را کنترل نمود.

براساس نتایج تحلیل مدلسازی معادلات ساختاری، کمبود حمایت‌های دولتی بر کمبود آگاهی و دانش در خصوص صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی تأثیر دارد. اگر دولت منابع مالی و انسانی کافی برای ترویج و آموزش مفاهیم اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ اختصاص ندهد، برنامه‌های آموزشی و ترویجی لازم برگزار نخواهند شد. این امر منجر به کمبود آگاهی در میان جامعه و صنعت می‌شود. کمبود آگاهی و دانش نیز بر کمبود نیروی ماهر تأثیر می‌گذارد. وقتی آگاهی در جامعه و صنعت نسبت به مفاهیم جدید کم باشد، تقاضا برای دوره‌های آموزشی و برنامه‌های توسعه مهارت نیز کاهش می‌یابد. این امر منجر به کمبود نیروی ماهر و متخصص در زمینه‌های نوظهور می‌شود. کمبود آگاهی و دانش بر ترس از تغییر فرهنگ نیز تأثیر دارد. یکی از دلایل اصلی ترس از تغییر، ناشناخته بودن آن است. طبق نظر یو و همکاران (۲۰۲۲)، وقتی افراد و سازمان‌ها از مفاهیم جدید و تغییرات مرتبط با آنها آگاهی نداشته باشند، دچار ترس و اضطراب می‌شوند، زیرا نمی‌دانند این تغییرات چه تأثیری بر روی آنها خواهد داشت [۳۱]. به علاوه، کمبود آگاهی بر کمبود شایسته‌محوری تأثیر دارد. براساس نتایج مطالعه ساهو و همکاران (۲۰۲۲)، کمبود آگاهی از فناوری‌ها و روش‌های جدید مانند اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ منجر به عدم شناخت دقیق نیازهای جدید شغلی و تخصصی می‌شود و باعث شود که سازمان‌ها نتوانند شایستگی‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری از این فناوری‌ها را شناسایی کنند [۲۴]. کمبود آگاهی بر کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات تأثیر دارد. کمبود آگاهی از فناوری‌ها و روش‌های جدید منجر به عدم شناخت دقیق نیازهای زیرساختی می‌شود. این امر می‌تواند باعث شود که سازمان‌ها نتوانند به موقع و به درستی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات مورد نیاز خود را توسعه دهند. کمبود منابع آموزشی و نیروی ماهر، ترس از تغییر فرهنگ، کمبود شایسته‌محوری و کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات بر کمبود استاندارد مرجع تاثیر مثبت دارند. فرهنگ یکی از محرک‌های اصلی پذیرش صنعت ۴.۰ در سازمان‌های بهداشت و درمان شناسایی شده است. ترس از تغییر فرهنگ می‌تواند منجر به مقاومت در برابر پذیرش و تدوین استانداردهای جدید شود. افرادی که از تغییر می‌ترسند، ممکن است از اجرای استانداردهای جدید خودداری کنند یا در تدوین آن‌ها مشارکت نکنند. همچنین، نیروی ماهر با



دانش و تجربه خود می‌تواند به ارتقای استانداردهای مرجع بر اساس تحولات جدید فناوری کمک کند. کمبود این نیروها منجر به نقص در این فرآیند می‌شود. ترس از تغییر فرهنگ، کمبود شایسته‌محوری، کمبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و کمبود منابع آموزشی و نیروی ماهر نیز بر کمبود اقدامات پایداری تاثیر مثبت و معناداری داشتند. اقدامات پایداری می‌توانند به کمک فناوری‌ها و سیستم‌های مدیریتی مانند سیستم‌های مدیریت محیط زیست (EMS) و استانداردهای پایداری (مانند ISO 14001) اجرا شوند. در نهایت براساس نتایج، کمبود استاندارد مرجع بر کمبود انگیزه و کمبود طراحی مدولار تاثیر مثبت دارد. همچنین، کمبود اقدامات پایداری بر کمبود انگیزه و کمبود طراحی مدولار تاثیر مثبتی دارد.

به‌عنوان پیشنهادها کاربردی، براساس اهمیت بالای مانع کمبود حمایت‌های دولتی، پیشنهاد می‌گردد دولت به منظور تقویت صنعت ۴۰ در صنعت لوازم خانگی، با دادن تسهیلات، تامین مالی و کاهش موانع مالیاتی اقدامات مفیدی انجام دهد. براساس مانع کمبود دانش و آگاهی، پیشنهاد می‌گردد شرکت‌ها با استفاده از متخصصین و اساتید دانشگاه به آموزش ابعاد صنعت ۴۰ و اقتصاد چرخشی و تشویق به مهارت‌آموزی و توسعه مهارت‌های دیجیتال برای مدیران و کارکنان توجه نمایند. به منظور کاهش موانع فنی، سازمان‌ها باید در به‌روزرسانی و ارتقاء زیرساخت‌های فنی خود سرمایه‌گذاری کنند. این شامل تجهیزات نوین، اتصال دستگاه‌ها به اینترنت اشیاء، و پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی متقابل (ERP) است. ایجاد استانداردهای فنی تعریف استانداردهای مشترک برای تبادل داده‌ها و اطلاعات در صنایع لوازم خانگی بسیار اهمیت دارد. تشویق به تولید لوازم خانگی پایدار و محافظت از محیط‌زیست و ارائه تخفیفات مالی به شرکت‌های تولیدی که به روش‌های پایدار تمایل دارند نیز بسیار موثر است.

از جمله زمینه‌ها در پژوهش‌های آینده، ترکیب رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری و یکی از رویکردهای رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر AHP و یا ANP می‌باشد، تا علاوه بر گراف سطح بندی شده عوامل، بتوان وزن هر کدام از آن‌ها را نیز به دست آورد. همچنین، انجام تحقیق در صنایع دیگر و مقایسه با صنعت لوازم خانگی نیز توصیه می‌گردد. با توجه به معیارهای شناسایی شده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود از رویکردهای تئوری فازی و یا خاکستری به منظور رتبه‌بندی موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در صنایع استفاده کرد. با توجه به مدل‌سازی موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴۰ در صنعت لوازم



خانگی در این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی، مدل‌هایی جهت شناسایی عوامل رفع موانع پذیرش اقتصاد چرخشی و صنعت ۴.۰ در صنعت لوازم خانگی و یا سایر صنایع کشور ارائه گردد. از آنجا که استفاده از رویکردهای کیفی و مصاحبه‌های عمیق می‌تواند منجر به شناخت موانع تخصصی دیگر شود، لذا پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آینده محققان از رویکردهای کیفی مانند رویکرد تئوری برخاسته از داده و تحلیل محتوا و سپس رویکردهای کمی استفاده نمایند.

۶- منابع

- [1] A. K. Tyagi, S. Dananjayan, D. Agarwal, and H. F. Thariq Ahmed, "Blockchain—Internet of Things applications: Opportunities and challenges for industry 4.0 and society 5.0," *Sensors*, vol. 23, no. 2, p. 947, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23020947>.
- [2] Y. Handayati, T. M. Simatupang, and T. Perdana, "Agri-food supply chain coordination: the state-of-the-art and recent developments," *Logistics Research*, vol. 8, pp. 1–15, 2015, doi: <https://doi.org/10.1007/s12159-015-0125-4>.
- [3] H. Chen and W. Su, "Innovation and application of enterprise's supply chain management mode under the background of Industry 4.0," *International Journal of Technology Management*, vol. 91, no. 1–2, pp. 19–38, 2023, doi: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2023.127855>.
- [4] R. Rosati et al., "From knowledge-based to big data analytic model: a novel IoT and machine learning based decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0," *J Intell Manuf*, vol. 34, no. 1, pp. 107–121, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01960-x>.
- [5] R. Casado-Vara, J. Prieto, F. De la Prieta, and J. M. Corchado, "How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain," *Procedia Comput Sci*, vol. 134, pp. 393–398, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.193>.
- [6] A. Banerjee, "Blockchain with IOT: Applications and use cases for a new paradigm of supply chain driving efficiency and cost," in *Advances in computers*, vol. 115, Elsevier, 2019, pp. 259–292. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.07.007>.
- [7] A. Chauhan, H. Kaur, S. Yadav, and S. K. Jakhar, "A hybrid model for investigating and selecting a sustainable supply chain for agri-produce in India," *Ann Oper Res*, vol. 290, pp. 621–642, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03190-6>.
- [8] S. Kumar, R. D. Raut, K. Nayal, S. Kraus, V. S. Yadav, and B. E. Narkhede, "To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply



- chain by using ISM-ANP,” *J Clean Prod*, vol. 293, p. 126023, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126023>.
- [9] J. Kirchherr, N.-H. N. Yang, F. Schulze-Spüntrup, M. J. Heerink, and K. Hartley, “Conceptualizing the circular economy (revisited): an analysis of 221 definitions,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 194, p. 107001, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>.
- [10] L. R. Luttenberger, “Waste management challenges in transition to circular economy—case of Croatia,” *J Clean Prod*, vol. 256, p. 120495, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120495>.
- [11] H. Lu, G. Zhao, and S. Liu, “Integrating circular economy and Industry 4.0 for sustainable supply chain management: A dynamic capability view,” *Production Planning & Control*, vol. 35, no. 2, pp. 170–186, 2024, doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2063198>.
- [12] N. K. Dev, R. Shankar, and F. H. Qaiser, “Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 153, p. 104583, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583>.
- [13] J. Kandasamy, V. Venkat, and R. S. Mani, “Barriers to the adoption of digital technologies in a functional circular economy network,” *Operations Management Research*, vol. 16, no. 3, pp. 1541–1561, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00375-y>.
- [14] L. L. Halse and B. Jæger, “Operationalizing industry 4.0: Understanding barriers of industry 4.0 and circular economy,” in *Advances in Production Management Systems. Towards Smart Production Management Systems: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2019, Austin, TX, USA, September 1–5, 2019, Proceedings, Part II*, Springer, 2019, pp. 135–142. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_16.
- [15] A. Safardoust, M. Pourqasem sostani, and R. Salami, “Identifying strategic components affecting the position of small home appliance industry,” *Journal of Strategic Management Studies*, vol. 14, no. 53, pp. 1–24, 2023, doi: [10.22034/smsj.2023.169392](https://doi.org/10.22034/smsj.2023.169392) [In Persian].
- [16] A. Kumar, S. K. Mangla, and P. Kumar, “Barriers for adoption of Industry 4.0 in sustainable food supply chain: a circular economy perspective,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 73, no. 2, pp. 385–411, 2024, doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2020-0695>.
- [17] S. Sharifian jazi, A. Mohammadi, A. Abbasi, and M. Alimohammadlou, “Identifying and prioritizing the challenges of implementing circular supply chain management in the Premiumbond company,” *Modern Research in Decision Making*, vol. 8, no. 3, pp.



- 24–53, 2023, [Online]. Available: https://journal.saim.ir/article_709358.html [In Persin].
- [18] H. Talaie, M. Ziaeian, and P. Malekinejad, “Towards quality 4.0 in home appliances: definitions, deployment scenarios, and future perspectives,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2024, doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2023-0044>.
- [19] S. Aheleroff et al., “IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study,” *Advanced engineering informatics*, vol. 43, p. 101043, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101043>.
- [20] M. salmannezhad and S. karimi takalo, “Evaluating the Circular Supply Chain Implementation Barriers Using Ordinal Priority Approach,” *Supply Chain Management*, vol. 25, no. 80, pp. 89–100, 2023, doi: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089198.1402.25.80.6.2>. [In Persin].
- [21] P. Rosa, C. Sassanelli, A. Urbinati, D. Chiaroni, and S. Terzi, “Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review,” *Int J Prod Res*, vol. 58, no. 6, pp. 1662–1687, 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>.
- [22] T. E. T. Dantas, E. D. de-Souza, I. R. Destro, G. Hammes, C. M. T. Rodriguez, and S. R. Soares, “How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals,” *Sustain Prod Consum*, vol. 26, pp. 213–227, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>.
- [23] S. Rajput and S. P. Singh, “Connecting circular economy and industry 4.0,” *Int J Inf Manage*, vol. 49, pp. 98–113, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>.
- [24] A. Sahu, S. Agrawal, and G. Kumar, “Integrating Industry 4.0 and circular economy: a review,” *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 35, no. 3, pp. 885–917, 2022, doi: <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0465>.
- [25] H. Talaie, M. Ziaeian, and P. Malekinejad, “Designing the establishment and implementation model of quality 4.0 with the integrated approach of interpretive structural modeling and structural equation modeling,” *Journal of Quality Engineering and Management*, vol. 12, no. 1, pp. 51–68, 2022, doi: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23221305.1401.12.1.4.4>. [In Persin].
- [26] A. Hosseinpour and A. ghorbanpour, “Provide a model based on the dimensions of circular economy, clean production and the fourth-generation industrial revolution to improve the sustainable productivity of manufacturing industries,” *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, vol. 20, no. 2, pp. 165–185, 2023, doi: [10.22055/jqe.2022.39085.2433](https://doi.org/10.22055/jqe.2022.39085.2433). [In Persin].



- [27] S. Rash, M. Ebrahimpour Azbari, and M. R. Ramazanian, "Identifying and ranking the circular supply chain implementation challenges using pythagorean fuzzy SWARA approach (case of study: pharmaceutical industry of Guilan province)," *Journal of Decisions and Operations Research*, vol. 8, no. 4, pp. 1015–1031, 2023, doi: 10.22105/dmor.2023.392276.1727. [In Persin].
- [28] S. karimi takalo, H. Sharifi, and E. Bakhshi Khorde Blagh, "Analyzing the drivers of the Smart sustainable circular supply chain using the combined methods of Dematel and adversarial interpretative structural modeling," *Industrial Management Studies*, p., 2024, doi: 10.22054/jims.2024.77945.2899. [In Persin].
- [29] A. Khodaei, M. Hosseinpour, M. Jamshidi, and Y. Mohammadifar, "Meta-synthesis the benefits of using circular business models in the agri-food sector," *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, vol. 11, no. 2, pp. 1–16, 2024, doi: 10.22069/jead.2023.21484.1737. [In Persin].
- [30] D. L. de Mattos Nascimento, D. de Oliveira-Dias, J. Moyano-Fuentes, J. M. Maqueira Marín, and J. A. Garza-Reyes, "Interrelationships between circular economy and Industry 4.0: A research agenda for sustainable supply chains," *Bus Strategy Environ*, vol. 33, no. 2, pp. 575–596, 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/bse.3502>.
- [31] Z. Yu, S. A. R. Khan, and M. Umar, "Circular economy practices and industry 4.0 technologies: A strategic move of automobile industry," *Bus Strategy Environ*, vol. 31, no. 3, pp. 796–809, 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/bse.2918>.
- [32] G. K. Badhotiya, S. Avikal, G. Soni, and N. Sengar, "Analyzing barriers for the adoption of circular economy in the manufacturing sector," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 71, no. 3, pp. 912–931, 2022, doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2021-0021>.
- [33] V. Braun, V. Clarke, and D. Gray, "Innovations in qualitative methods," *The Palgrave handbook of critical social psychology*, pp. 243–266, 2017, doi: https://doi.org/10.1057/978-1-137-51018-1_13.
- [34] R. Kumar and P. Goel, "Exploring the domain of interpretive structural modelling (ISM) for sustainable future panorama: a bibliometric and content analysis," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 29, no. 5, pp. 2781–2810, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09675-7>.
- [35] S. Shoar and N. Chileshe, "Exploring the causes of design changes in building construction projects: an interpretive structural modeling approach," *Sustainability*, vol. 13, no. 17, p. 9578, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13179578>.
- [36] A. Dixit, P. Suvadarsini, and D. V. Pagare, "Analysis of barriers to organic farming adoption in developing countries: a grey-DEMATEL and ISM approach," *J Agribus*



- Dev Emerg Econ, vol. 14, no. 3, pp. 470–495, 2024, doi: <https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2022-0111>.
- [37] J. F. Hair Jr, M. Sarstedt, L. Hopkins, and V. G. Kuppelwieser, “Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research,” *European business review*, vol. 26, no. 2, pp. 106–121, 2014, doi: <https://doi.org/10.1108/EBR-10-2013-0128>.
- [38] J. F. Hair Jr et al., “An introduction to structural equation modeling,” *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: a workbook*, pp. 1–29, 2021, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7_1.
- [39] M. Nasrabadi, E., Sadeqi Arani, Z., “Strategic analysis of industry 4.0 acceptance factors in healthcare: scenario analysis approach,” *Modern Research in Decision Making*, vol. 8, no. 3, pp. 79–102, 2023 [In Persian].