



Analysis and assessment of the challenges of adapting quality management operations to industry 4.0 (Case Study: Target Industry Northwest Region)

Mehdi Ajalli*¹

1. Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Accounting, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received Date: 07 November 2024 Accepted Date: 07 January 2025

Abstract

Background and Aim: Adapting to quality operations in the 4.0 industry has become one of the most important challenges of recent industries; because in order to compete and survive in markets that are compatible with the advanced technologies of the Fourth Industrial Revolution, industries are forced to use high-quality, innovative and intelligent systems of this revolution. The main objective of this study is to analysis and assessment the challenges of adapting quality management operations in the Northwest region rubber industry to the 0.4 industry.

Methods: The research method is based on the purpose and method of data collection of the applied-descriptive type and in terms of analysis, qualitative (Delphi) and quantitative research (statistical test and multi-criteria decision-making technique). The statistical population of this study is experts and specialists of companies active in the rubber industry with sufficient knowledge of the quality management system, especially the dimensions and challenges of the industry 4.0, whose number is assumed to be unlimited due to their unknown nature. In order to access a sufficient sample, questionnaires were designed online and provided to the subjects. The number of samples required to test the main hypothesis of the research: ("There is an inappropriate gap between the current and desired state of quality management 4.0 in the industry") and to appropriately assess the challenges through the Morgan and Krejci sampling table is 384. Finally, after continuous follow-up by the researcher, supplementary questionnaires for 395 experts were provided online in Excel software. In order to identify key challenges in the industry, the Delphi method was used and fifteen indicators were confirmed. Paired comparison tests and t-statistics were used to examine the current and desired state.

Findings and Conclusion: The results showed that the industry is in a favorable situation in seven challenges and is somewhat far from the desired situation in eight challenges, which requires serious attention and planning from managers; but overall, the industry's situation is somewhat favorable in terms of all challenges. Finally, the SWARA technique was used to rank the challenges in terms of importance for coping. The output showed that the fourth key challenge (lack of skills) with the highest weight is ranked first, and the thirteenth challenge (cybersecurity and data protection) and the first (lack of management support) were ranked second and third. Also, the fifteenth challenge (internet speed) was ranked last with the least importance. Finally, practical suggestions were presented to the industry.

Key words: Challenge, quality management operations, quality 4.0, industry 4.0, SWARA.

* Corresponding Author Email: m.ajalli@basu.ac.ir

Cite this article: Ajalli, M. (2025). Analysis and assessment of the challenges of adapting quality management operations to industry 4.0 (Case Study: Target Industry Northwest Region). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(1), 119-139.

تحلیل و ارزیابی چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰ (مطالعه موردی: صنعت هدف منطقه شمال غرب)

مهدی اجلی*

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: تطبیق با عملیات کیفیت در صنعت ۴/۰ به یکی از مهم‌ترین چالش‌های اخیر صنایع تبدیل شده است؛ چرا که صنایع به منظور رقابت و بقا در بازارهای منطبق با فناوری‌های پیشرفته انقلاب صنعتی چهارم، ناگزیر به بکارگیری سیستم‌های باکیفیت، نوآورانه و هوشمندانه این انقلاب می‌باشد. هدف اصلی از این مطالعه، تحلیل و ارزیابی چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت صنعت لاستیک منطقه شمال غرب با صنعت ۴/۰ می‌باشد.

روش بررسی: روش تحقیق بر مبنای هدف و چگونگی جمع‌آوری داده‌ها از نوع کاربردی- توصیفی و از لحاظ تحلیل، تحقیقی کیفی (دلفی) و کمی (آزمون آماری و تکنیک تصمیم‌گیری چندشاخصه) است. جامعه آماری این مطالعه، کارشناسان و متخصصان شرکت‌های فعال در حوزه صنعت لاستیک منطقه شمال غرب و با دانش کافی در رابطه با سیستم مدیریت کیفیت به ویژه ابعاد و چالش‌های صنعت ۴/۰ است که تعداد آن‌ها به دلیل نامعلوم بودن، نامحدود فرض شده است. به منظور دسترسی به نمونه کافی، پرسشنامه‌ها به صورت آنلاین، طراحی و در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. تعداد نمونه لازم برای آزمون فرضیه اصلی پژوهش: ("بین وضعیت موجود و مطلوب مدیریت کیفیت ۴ در صنعت، شکاف نامناسبی وجود دارد") و ارزیابی مناسب چالش‌ها از طریق جدول نمونه‌گیری مورگان و کرجسی به تعداد ۳۸۴ است که نهایتاً پس از پیگیری‌های مستمر محقق، پرسشنامه‌های تکمیلی ۳۹۵ نفر از کارشناسان به صورت آنلاین در نرم‌افزار اکسل فراهم شدند. به منظور شناسایی چالش‌های کلیدی در صنعت از روش دلفی بهره گرفته شد و پانزده شاخص تأیید شدند. جهت بررسی وضعیت موجود و مطلوب از آزمون مقایسه زوجی و آماره t استفاده شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتیجه نشان داد که صنعت در هفت چالش در وضعیت مطلوبی قرار داشته و در هشت چالش تا حدی از وضعیت مطلوب فاصله دارد که نیازمند توجه و برنامه‌ریزی جدی مدیران است؛ اما در کل، وضعیت صنعت از نظر کل چالش‌ها، تا حدی مساعد است. در نهایت به منظور رتبه‌بندی چالش‌ها از نظر اهمیت جهت مقابله، از تکنیک سوارا استفاده گردید. خروجی نشان داد که چالش کلیدی چهارم (کمبود مهارت‌ها) با بالاترین وزن در رتبه اول جای گرفته است و چالش‌های سیزدهم (امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها) و اول (کمبود حمایت مدیریت) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. همچنین چالش پانزدهم (سرعت اینترنت) با کمترین اهمیت در رتبه آخر قرار گرفت. در پایان، پیشنهادها کاربردی به صنعت ارائه شد.

کلید واژه‌ها: چالش، عملیات مدیریت کیفیت، کیفیت ۴، صنعت ۴/۰، سوارا.

* نویسنده مسئول m.ajalli@basu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اجلی، مهدی. (۱۴۰۴). تحلیل و ارزیابی چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰ (مطالعه موردی: صنعت هدف منطقه شمال غرب). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۱)، ۱۱۹-۱۳۹.

مقدمه و بیان مسأله

انقلاب صنعتی چهارم، چالش‌هایی را برای شرکت‌های تولیدی از نظر فناوری، سازمانی و مدیریتی ایجاد می‌کند. با به کارگیری فناوری‌های جدید و دگرگونی فرآیندها، تغییرات قابل توجهی در زمینه کار انتظار می‌رود و سیستم‌های تولیدی آینده، شایستگی‌های جدیدی را از کارکنان می‌طلبند. انتظار می‌رود که سازمان کاری در زمان و مکان انعطاف پذیرتر شود و جریان‌های کاری شفاف‌تر، غیرمتمرکزتر و سلسله مراتبی‌تر شوند. پیش‌بینی دقیق خطر دیجیتالی شدن دشوار است، اما امروزه مشخص شده است که کارگران در برخی کشورها بی‌دفاع‌تر از سایرین هستند. به عنوان مثال، در برخی مناطق، بیش از ۲۵ درصد مشاغل در معرض خطر بالای اتوماسیون هستند در دنیای سیستم‌های تولید آینده، انتظار می‌رود برخی از فرآیندها ساده شده و برخی دیگر بسیار پیچیده‌تر و جاسازی شوند. این احتمالاً منجر به افزایش تعداد مشاغل با مهارت بالاتر و کاهش مشاغلی می‌شود که به صلاحیت‌های پایین‌تر نیاز دارند دورا و رولاند^۱ (۲۰۱۹).

در چشم‌انداز پویای کسب‌وکاری، عصر دیجیتال یک دوره تحول‌آفرین است که با ادغام جامع فناوری دیجیتال در تمام جنبه‌های زندگی مشخص می‌شود. عصر صنعت ۴/۰، که با تکامل سریع فناوری مشخص می‌شود، شاهد آن است که ابزارها و پلتفرم‌های دیجیتال به‌عنوان عناصر اساسی در حوزه‌های شخصی و حرفه‌ای تبدیل می‌شوند (چاولا و گوپال^۲، ۲۰۲۲). رویکرد سنتی دیجیتالی‌سازی آن را به‌عنوان «استفاده از فناوری رایانه و اینترنت برای فرآیند خلق ارزش اقتصادی کارآمدتر و مؤثرتر تعریف می‌کند (ردی و راینارتز^۳، ۲۰۱۷).

دیجیتالی‌شدن پدیده‌ای است که همه بخش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، جایی که محصولات سنتی با همتابان دیجیتال جایگزین می‌شوند یا حداقل به ویژگی‌های دیجیتال جدید مجهز می‌شوند (پرم^۴، ۲۰۱۵). صنعت ۴/۰، فناوری‌های دیجیتال را در فرآیندهای تولید ادغام می‌کند و به «کارخانه‌های هوشمند» منجر می‌شود که در آن سیستم‌های سایبر-فیزیکی نظارت می‌کنند، نسخه‌های مجازی ایجاد می‌کنند و تصمیمات غیرمتمرکز اتخاذ می‌کنند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، رباتیک و تجزیه و تحلیل داده‌های کلان، اتوماسیون، ارتباطات و ایجاد ماشین‌های هوشمند را افزایش می‌دهند. از سوی دیگر، مدیریت کیفیت در زمینه‌های سازمانی بسیار حیاتی است و کارایی عملیاتی، رضایت مشتری و مزیت رقابتی را افزایش می‌دهد. دمی‌نگ و ژوران بر ادغام کیفیت در فرآیندهای سازمانی و اهمیت استراتژیک آن در هم‌راستا کردن اهداف کسب‌وکار با نیازهای مشتری تأکید می‌کنند. با این حال، پذیرش گسترده فناوری‌های دیجیتال در عصر صنعت ۴/۰ تأثیرات عمیقی بر سازمان‌ها و عملیات مدیریت کیفیت آن‌ها داشته است (آنتونی^۵ و همکاران، ۲۰۲۲).

در عصر صنعت ۴/۰، نقش مدیریت کیفیت پیچیده‌تر و مهم‌تر شده است (سونی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). سرعت سریع پیشرفت‌های فناوری ابعاد جدیدی به مدیریت کیفیت معرفی کرده و آن را به آنچه که به‌عنوان کیفیت ۴/۰ شناخته می‌شود، تکامل می‌دهد. سوزا^۷ و همکاران (۲۰۲۲) پیشنهاد می‌کنند که فناوری‌های دیجیتال نیاز به رویکردی تطبیقی در مدیریت کیفیت دارند تا چالش‌های تحول دیجیتال را برطرف کنند. دیجیتالی‌سازی نیاز به رویکردهای مدیریت کیفیت چابک و پیشگیرانه دارد که امکان نظارت در زمان واقعی، نگهداری پیش‌بینانه و مکانیزم‌های کنترل کیفیت پیشرفته را فراهم می‌کند. تحقیقات گسترده دانشگاهی، چالش‌های کیفیت ۴ را در فرهنگ سازمانی، تداوم کسب‌وکار، نوآوری، کیفیت داده و امنیت سایبری مورد بررسی قرار داده است. علاوه بر این، تحقیقات همچنین بر بررسی‌های جغرافیایی و خاص بخش در عملیات مدیریت کیفیت در عصر صنعت ۴/۰ تمرکز کرده است. با وجود تحقیقات گسترده، هنوز شکاف‌هایی در درک جامع موانع پذیرش مؤثر عملیات مدیریت کیفیت در این

¹ Dóra & Roland

² Chawla & Goyal

³ Reddy and Reinartz

⁴ Prem

⁵ Antony

⁶ Sony

⁷ Souza

چشم‌انداز دیجیتالی وجود دارد. تحقیق ما به دنبال روشن‌سازی این موانع است و به دانش علمی و کاربرد عملی در هدایت عملیات مدیریت کیفیت در دنیای دیجیتالی کمک می‌کند (دیسکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۴).

مطابق گزارشات، در حالیکه صنایع خودروسازی و فناوری اطلاعات به دلیل نقش پیشرو در اتوماسیون صنعتی مورد توجه قرار گرفته‌اند، سایر صنایع نیز شروع به ارتقاء عملیات خود کرده‌اند و در نتیجه نیاز به دستگاه‌های هوشمند، نرم افزارها، تجهیزات اتوماسیون، ربات‌های معمولی یا ربات‌های مبتنی بر همکاری و سایر محصولات را افزایش داده‌اند. شرکت‌های فعال در صنعت لاستیک به خوبی تشخیص داده‌اند که تولید هوشمند از نظر کاهش هزینه‌های کلی، نظارت و تشخیص عملیات کارخانه از راه دور، کاهش مداخله‌ی نیروی انسانی و همچنین حداقل زمان از کار افتادن ماشین‌ها چه مزایایی دارد. در حال حاضر تعداد روزافزونی از شرکت‌ها در این صنایع در حال راه‌اندازی کارخانه‌های هوشمند هستند. بدیهی است که در میان صنایع مختلف، تقاضا برای فناوری‌های تولید هوشمند در زمینه‌ی تولید لاستیک به منظور پیشرو بودن رقابت زیاد بوده است. صنایع لاستیک در قبول این تغییرات سریع بوده‌اند و در حال حاضر از طریق دیجیتالی‌شدن، هوش مصنوعی و فناوری ابری برای چالش‌های تولید، در حال گذار به سوی این هدف هستند. در حالیکه سرمایه‌گذاری‌ها برای راه‌حل‌های تولید هوشمند نسبتاً زیاد است، افزایش دسترسی به اینترنت 5G و همچنین راه‌حل‌های نوآورانه در گسترش این پیشرفت انقلابی در صنایع لاستیک و همچنین سایر صنایع مرتبط در سراسر جهان موثر بوده است. بنابراین در پیش گرفتن راه‌حل‌های تولید هوشمند در صناعی مانند تولید لاستیک برای رونق داشتن و باقی‌ماندن در عرصه‌ی رقابت مهم تلقی می‌شود. هوشمندسازی صنایع لاستیک به کیفیت بالای محصولات آنها منجر می‌شود. از طرفی به منظور ایجاد کارخانه‌های هوشمند در زمینه لاستیک استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و با کیفیت بالای کلاس جهانی ضروری است. بدین منظور تطبیق با عملیات کیفیت ۴ در صنعت لاستیک، امری حیاتی است. با این توصیف‌ها، مطالعه پیش رو به دنبال شناسایی، تحلیل و رتبه‌بندی چالش‌های کلیدی در تطبیق صنعت لاستیک با عملیات کیفیت در صنعت ۴/۰ است. بررسی وضعیت موجود و مطلوب از نظر بکارگیری عملیات کیفیت ۴ و رتبه‌بندی این چالش‌ها در صنعت از نوآوری‌های اصلی پژوهش محسوب می‌شود که در هیچ پژوهش داخلی در این صنعت مورد بررسی قرار نگرفته است. صنعت لاستیک کشور از صنایع تأثیرگذار در سایر صنایع به ویژه خودروسازی بوده به طوری که ارتقای کیفیت این صنعت با بکارگیری مهارت‌ها، سیستم‌ها و فناوری‌های پیشرفته مطابق با تحولات انقلاب صنعتی چهارم ضروری به نظر می‌رسد. جهت تحقق این اهداف، سوالات پژوهش به صورت زیر مطرح می‌شوند:

- چه چالش‌هایی در تطبیق سیستم مدیریت کیفیت صنعت لاستیک با صنعت ۴/۰ وجود دارند؟
- آیا بین وضعیت موجود و مطلوب مدیریت کیفیت ۴ صنعت، شکاف معناداری وجود دارد؟
- رتبه‌بندی چالش‌ها از نظر اهمیت در تطبیق صنعت با عملیات کیفیت ۴، به چه ترتیبی است؟
- چه پیشنهادهایی به منظور بهبود وضعیت سیستم مدیریت کیفیت صنعت در تطبیق موفق با صنعت ۴/۰ می‌توان ارائه داد؟

مبانی نظری

در این بخش، در ابتدا به مرور مبانی نظری کلیدی مطالعه پرداخته می‌شود؛ سپس پیشینه پژوهش‌های مرتبط داخلی و خارجی ارائه می‌شوند؛ در انتها مدل مفهومی مورد بررسی پژوهش جهت سنجش در صنعت مورد مطالعه آورده خواهد شد.

¹ Diska

صنعت ۴/۰ و مدیریت کیفیت در صنعت ۴/۰

فناوری سهم اصلی در پیاده‌سازی صنعت ۴/۰ در شرکت‌های تولیدی است. صنعت ۴/۰، همچنین به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی توصیف می‌شود و نشان‌دهنده روند فعلی فناوری‌های اتوماسیون در صنعت تولید است و به ویژه فناوری‌های توانمند (مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های فیزیکی سایبری و رایانش ابری) را پوشش می‌دهد (اجلی، ۱۴۰۳). مدیریت کیفیت شامل استانداردهای تأسیس‌شده، مدل‌های برتری و رویکردهای متنوعی است که برای موفقیت سازمانی حیاتی هستند. به‌ویژه، عملیات مدیریت کیفیت به روزهایی اشاره دارد که اطمینان حاصل می‌کنند محصولات یا خدمات با استانداردهای برتری مطابقت دارند. عملیات مدیریت کیفیت بر اساس تمرکز بر مشتری، رهبری، مشارکت کارکنان، رویکرد فرآیندی و سیستماتیک به مدیریت، بهبود مستمر، تصمیم‌گیری مبتنی بر واقعیت و روابط سودمند با تأمین‌کنندگان بنا شده است (دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴).

با ظهور صنعت ۴/۰، سازمان‌های معاصر تغییرات دگرگون‌کننده‌ای را تجربه می‌کنند که با افزایش دیجیتالی شدن و اتوماسیون همراه می‌شود. این دیجیتالی‌سازی، راه را برای شرکت‌ها هموار می‌کند تا فناوری‌های پیشرفته را ادغام کنند و کارایی عملیاتی استثنایی، عملکرد و نبوغ را تقویت کنند (سانتوس^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). مدیریت کیفیت، یکی از جنبه‌های حیاتی هر سازمان، در عصر صنعت ۴/۰ در حال تغییر است. ادغام فناوری صنعت ۴/۰ در مدیریت کیفیت، کیفیت ۴ نامیده می‌شود. این مفهوم توسط دان جاکوب^۲ معرفی شد که توضیح داد که کیفیت ۴، فناوری‌های جدید را با رویکردهای کیفیت سنتی ادغام می‌کند (سونی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). اساساً کیفیت ۴، مدیریت کیفیت را در چارچوب معاصر صنعت ۴/۰ نشان می‌دهد. در نتیجه، کیفیت ۴ شامل ادغام فناوری‌های نوآورانه صنعت ۴/۰ با سیستم‌ها، ابزارها و تکنیک‌های مدیریت کیفیت مرسوم برای دستیابی به عملکرد استثنایی، برتری عملیاتی پیشرفته و نوآوری ایده‌آل است (رادزیویل^۴، ۲۰۱۸).

با دیجیتالی‌سازی و اتوماسیون مداوم که توسط صنعت ۴/۰ ایجاد شد، کیفیت ۴، در ترکیب مدیریت کیفیت با فناوری‌های جدید در صنایع صنعتی و خدماتی حیاتی شده است (تکوت^۵، ۲۰۲۲). این توسعه، نیاز مستمر برای بهبود کارایی عملیاتی و برآوردن نیازهای فزاینده مشتری را نشان می‌دهد که نظارت دقیق بر فرآیندهای تولید را برای جلوگیری از خطاها و انحرافات ضروری می‌کند (آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳). اگرچه کیفیت ۴، این پتانسیل را دارد که ظرفیت‌های سازمانی را تا حد زیادی افزایش دهد، پیاده‌سازی و درک کیفیت ۴، در سازمان‌ها در مراحل اولیه خود باقی مانده است (چیارینی و کومار^۶، ۲۰۲۲). هدف کیفیت ۴، دستیابی به استانداردهای کیفیت بهینه در صنایع مختلف با ترکیب دیجیتالی‌شدن در سیستم‌های مدیریت کیفیت است (سالیماوا^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). در عصر صنعت ۴/۰، مدیریت کیفیت و عملیات مدیریت کیفیت، با ادغام فناوری‌های پیشرفته و اتخاذ رویکردی پیشگیرانه تکامل یافته‌اند. صنعت ۴/۰ که با ادغام فناوری دیجیتال در عملیات صنعتی مشخص می‌شود، تأثیر عمیقی بر تکامل مدیریت کیفیت داشته و هدف آن افزایش هم‌زمان کارایی و کیفیت در تولید از طریق تحول دیجیتال است (گونا سکاران^۸ و همکاران، ۲۰۱۹).

صنعت ۴/۰، نشان‌دهنده یک تغییر عمده صنعتی است که اتوماسیون و تبادل داده‌ها را از طریق اینترنت اشیا، رایانش ابری، هوش مصنوعی و سیستم‌های سایبر- فیزیکی معرفی می‌کند (استنتوف و راجکومار^۹، ۲۰۲۱). این انقلاب منجر به ایجاد کارخانه‌های هوشمند متصل برای فرآیندهای تولیدی کارآمدتر و قابل تطبیق‌تر شده است (بای^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، تحول دیجیتال در مدیریت کیفیت، بیشتر از صرفاً پذیرش فناوری‌های جدید است و نمایانگر یک تغییر پارادایمی در درک و

¹ Santos² Dan Jacob³ Sony⁴ Radziwill⁵ Thekkoote⁶ Chiarini & Kumar⁷ Salimova⁸ Gunasekaran⁹ Stentoft & Rajkumar¹⁰ Bai

مدیریت کیفیت است (میلوشفیچ^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). از این تغییر پارادایمی، مفهوم کیفیت ۴ به وجود آمد. کیفیت ۴ از فناوری‌های دیجیتال برای مدیریت کیفیت استفاده می‌کند (سادر^۲ و همکاران، ۲۰۲۲).

کیفیت ۴ از داده‌های سیستم‌های هوشمند صنعت ۴/۰ بهره می‌برد و کنترل کیفیت را از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در زمان واقعی بهبود می‌بخشد (سایچی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). کیفیت ۴، به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که عیوب را پیش‌بینی و از آن‌ها جلوگیری کنند، کیفیت تولید را بهینه‌سازی کنند و به سرعت به مسائل کیفیت پاسخ دهند (آنتونی و همکاران، ۲۰۲۲). به‌عنوان مثال، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کیفیت ۴، تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته‌ای برای استراتژی‌های پیش‌بینی کیفیت و نگهداری ارائه می‌دهند. فناوری‌های کیفیت ۴ می‌توانند به تحلیل داده‌های تاریخی و در زمان واقعی کمک کنند، مسائل بالقوه را پیش از وقوع شناسایی کنند، ضایعات را کاهش دهند و کیفیت محصول را بهبود بخشند (چیرینی و کومار، ۲۰۲۲). کیفیت ۴ از کنترل کیفیت سنتی به رویکردی پویا و مبتنی بر داده‌ها با استفاده از اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل داده‌های کلان و رایانش ابری منتقل می‌شود (مگانگا و تایفا، ۲۰۲۳). این تغییر امکان بازخورد فوری، کنترل کیفیت پیشگیرانه و فرآیندهای هوشمندتر را فراهم می‌کند. تصمیم‌گیری، بهبود شناسایی و رسیدگی به مسائل کیفیت، افزایش کارایی و کاهش ضایعات را تقویت می‌کند (تکوت، ۲۰۲۲). با این حال، پذیرش عملیات مدیریت کیفیت در دنیای دیجیتال و به‌ویژه کیفیت ۴، چالش‌های قابل توجه و منحصر به فردی را برای سازمان‌ها به همراه دارد (سادر و همکاران، ۲۰۲۲).

چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰

دیسکا و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به مرور جامع چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰ پرداختند که مبنای اصلی بررسی در این پژوهش قرار گرفت. جدول ۱، چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰ را نشان می‌دهد:

جدول ۱. چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰

ردیف	چالش	توصیف چالش	منبع
۱	کمبود حمایت مدیریت	این چالش به عدم مشارکت کافی از سوی مدیران ارشد در پذیرش شیوه‌های جدید مدیریت کیفیت دیجیتال اشاره دارد. این چالش منجر به مشکلاتی در مدرن‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های کیفیت می‌شود که در محیط دیجیتال در حال تحول امروز ضروری است.	(گوناسکاران و همکاران، ۲۰۱۹؛ سونی و همکاران، ۲۰۲۱؛ علی و جوهر ^۴ ، ۲۰۲۲؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ میلوشفیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۲	ساختار سازمانی ضعیف	این چالش به یک ساختار نامنظم اشاره دارد که ادغام بی‌وقفه شیوه‌های مدیریت کیفیت دیجیتال را مختل می‌کند و ارتباط و هماهنگی تیمی را دشوار می‌سازد. این نقص ساختاری می‌تواند مانع از سازگاری موفق با نیازهای عصر صنعت ۴/۰ شود.	(سونی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سوزا و همکاران، ۲۰۲۲؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۳	مسائل مالی	این چالش به محدودیت‌های تخصیص بودجه برای پیاده‌سازی شیوه‌های مدیریت کیفیت دیجیتال اشاره دارد که ممکن است سرمایه‌گذاری در فناوری و منابع لازم برای سازگاری بهینه با الزامات کیفیت عصر صنعت ۴/۰ را محدود کند. این چالش مالی می‌تواند توانایی سازمان را برای رقابت و انطباق در فضای دیجیتال مختل کند.	(آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۴	کمبود مهارت‌ها	این چالش به کمبود مهارت‌ها و تخصص‌های لازم برای پیاده‌سازی و مدیریت مؤثر شیوه‌های کیفیت دیجیتال اشاره دارد که ممکن است منجر به ناکارآمدی‌ها و شکاف‌های کیفیت در تلاش‌های تحول دیجیتال سازمان شود. این شکاف مهارتی می‌تواند مانع از سازگاری موفق با نیازهای عصر صنعت ۴/۰ شود.	(زون‌شاین ^۵ و کنت، ۲۰۲۰؛ کتان و گاراد ^۶ ، ۲۰۲۰؛ علی و جوهر، ۲۰۲۲؛ میلوشفیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۵	مقاومت در	این چالش به عدم تمایل کارکنان برای پذیرش روش‌های جدید مدیریت کیفیت	(آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ ویرمانی ^۱ و

¹ Milošević

² Sader

³ Saihi

⁴ Ali & Johl

⁵ Zonnenshain

⁶ Kannan & Garad

	برابر تغییر	دیجیتال اشاره دارد که انتقال و پذیرش شیوه‌های نوآورانه را که برای رقابت در عصر صنعت ۴/۰ ضروری است، مختل می‌کند.	همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴
۶	رهبری	این چالش بر نقش حیاتی رهبری قوی و دوراندیش در هدایت پذیرش شیوه‌های مدیریت کیفیت دیجیتال تأکید می‌کند. رهبری مؤثر برای راهنمایی سازمان در این مسیر ضروری است.	(سونی و همکاران، ۲۰۲۰؛ استنتوفت و همکاران، ۲۰۲۱؛ میلوشفیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ سادر و همکاران، ۲۰۲۲؛ ریکو ^۲ و همکاران، ۲۰۲۴؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۷	ادغام داده‌ها و مدیریت داده‌ها	این چالش به دشواری‌های ادغام بی‌وقفه و مدیریت مؤثر داده‌ها از منابع دیجیتال مختلف اشاره دارد که بر توانایی سازمان در استخراج بینش‌های ارزشمند و حفظ کیفیت داده‌ها تأثیر می‌گذارد.	(علی و جوهر، ۲۰۲۲؛ رانجیت کومار و همکاران، ۲۰۲۲؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ سایچی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۸	تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت	این چالش شامل پیمایش در چارچوب‌های قانونی پیچیده و تأمین حمایت دولت برای ابتکارات مدیریت کیفیت دیجیتال است که می‌تواند زمان بر و چالش‌برانگیز باشد، اما برای انطباق و موفقیت در عصر صنعت ۴/۰ ضروری است.	(سونی و همکاران، ۲۰۲۱؛ مگانگا و تایفا، ۲۰۲۲؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۹	رویکرد سیستم‌محور	این چالش بر نیاز به تغییر از تفکر جزیره‌ای به تفکر جامع در مدیریت کیفیت تأکید می‌کند و وابستگی‌های فرآیندهای دیجیتال را شناسایی می‌کند. پذیرش این رویکرد برای سازگاری مؤثر با عصر صنعت ۴/۰ حیاتی است.	(آنتونی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ویرمانی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۰	اکوسیستم نوآوری	این چالش به ضرورت ایجاد محیطی مساعد برای نوآوری مداوم در شیوه‌های مدیریت کیفیت اشاره دارد که شامل همکاری، آزمایش و پذیرش فناوری است. پرورش این اکوسیستم برای رقابت و سازگاری در عصر دیجیتال حیاتی است.	(میلوشفیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ سوزا و همکاران، ۲۰۲۲؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۱	سازمان یادگیرنده	این چالش بر اهمیت پرورش فرهنگ یادگیری مداوم و سازگاری با روش‌های جدید مدیریت کیفیت و ابزارهای دیجیتال تأکید می‌کند. تبدیل شدن به یک سازمان یادگیرنده کلید موفقیت در چشم‌انداز دیجیتال در حال تحول است.	(استنتوفت و راجکومار، ۲۰۲۰؛ میلوشفیچ و همکاران، ۲۰۲۲؛ آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳؛ ریکو و همکاران، ۲۰۲۴؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۲	امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	این چالش شامل محافظت از سیستم‌های مدیریت کیفیت دیجیتال و داده‌های حساس در برابر تهدیدات سایبری است که نیازمند تدابیر امنیتی قوی و انطباق با مقررات حفاظت از داده‌ها برای حفظ اعتماد و یکپارچگی در عصر صنعت ۴/۰ است.	(سونی و همکاران، ۲۰۲۱؛ سادر و همکاران، ۲۰۲۲؛ سایچی و همکاران، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۳	فناوری‌های مناسب	این چالش بر نیاز به انتخاب و پیاده‌سازی ابزارها و فناوری‌های دیجیتال مناسب برای مدیریت کیفیت تأکید می‌کند و اطمینان حاصل می‌کند که این فناوری‌ها با اهداف و فرآیندهای سازمان هم‌راستا هستند تا عملکرد را در عصر دیجیتال بهینه کنند.	(زون‌شاین و کنت، ۲۰۲۰؛ سادر و همکاران، ۲۰۲۲؛ چیرینی و چهرافی ^۳ ، ۲۰۲۳؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۴	مشارکت افراد	این چالش بر اهمیت درگیر کردن و انگیزه دادن به کارکنان برای پذیرش فعال شیوه‌های مدیریت کیفیت دیجیتال تأکید می‌کند، زیرا همکاری و حمایت آن‌ها برای سازگاری موفق و بهبود کیفیت در عصر صنعت ۴/۰ ضروری است.	(گوناسکاران و همکاران، ۲۰۱۹؛ مارتین ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱؛ ریکو و همکاران، ۲۰۲۴؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)
۱۵	سرعت اینترنت	این چالش به وابستگی به اتصالات اینترنتی سریع و پایدار برای پیاده‌سازی مؤثر شیوه‌های مدیریت کیفیت دیجیتال اشاره دارد، زیرا اینترنت کند یا نامعتبر می‌تواند انتقال داده، ارتباط و دسترسی به ابزارهای دیجیتال را مختل کند و بر فرآیندهای کیفیت کلی در عصر صنعت ۴/۰ تأثیر بگذارد.	(آنتونی و همکاران، ۲۰۲۴؛ دیسکا و همکاران، ۲۰۲۴)

¹ Virmani

² Rico

³ Chiarini & Cherrafi

⁴ Martin

پیشینه پژوهش

مروتی شریف‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی نقش صنعت ۴/۰ در کیفیت محصولات و خدمات صنعت لوازم خانگی پرداختند. با استفاده از نقشه شناختی فازی، وضعیت فعلی هر یک از دستاوردهای شناسایی شده مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با طراحی سناریوی روعقب نشان داده است که به منظور کاهش ضایعات و هزینه‌های تولید چه دستاوردهایی می‌بایست بهبود یابد. همچنین این پژوهش با تدوین و طراحی سناریوی روبه جلو، دنبال این است که در صورتی که هزینه‌های ضایعات و تولید، کاهش یابد، چه دستاوردهایی به منظور بهبود کیفیت محصولات و خدمات در صنعت لوازم خانگی کشور بهبود خواهد یافت.

خوش سپهر و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به علم‌سنجی و تجزیه و تحلیل روند پژوهش‌ها در حوزه انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴/۰ پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، در پی تحولات صورت گرفته در انقلاب صنعتی چهارم، فناوری‌ها به طور کلی دستخوش تغییر شدند و فناوری‌هایی مانند سیستم‌های سایبر- فیزیکال، چاپ سه بُعدی، بلاکچین، داده‌های بزرگ و... فرآیندهای تولید و ارائه خدمات را متحول ساخته‌اند. همچنین در سال‌های اخیر بسیاری از سازمان‌ها در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته سعی کرده‌اند مفاهیم کیفیت ۴/۰ را در بخش‌های مختلفی مانند رهبری، فرهنگ، تدوین استراتژی و... بکار گیرند و از فناوری‌های هوشمند، جهت کنترل کیفیت هوشمند سازمان استفاده نمایند. بنابراین، می‌توان افق دید پژوهش‌های آتی در حوزه صنعت ۴/۰ و کیفیت ۴/۰ را ورود به مباحثی مانند رهبری دیجیتال، فرهنگ دیجیتال، ساختار سازمانی دیجیتال و... در نظر گرفت. فریدنی (۱۴۰۲) نقش صنعت ۴/۰ در بهبود عملکرد زنجیره تامین با میانجی‌گری چابکی و انعطاف‌پذیری پرداخته است. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش مشخص می‌شود که برای بهبود عملکرد، سازمان‌ها باید منابع خود را به خوبی برنامه‌ریزی کنند. این را می‌توان از طریق فناوری‌های صنعت ۴/۰ به دست آورد. صنعت ۴/۰ و فناوری‌های مربوط به آن می‌تواند به توسعه قابلیت‌های منحصر به فرد و کسب مزیت رقابتی کمک کند. همچنین، اتوماسیون گسترده اقدامات زنجیره تامین که در اثر بکارگیری صنعت ۴/۰ حاصل می‌شود، زمینه لازم برای افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تامین را فراهم می‌کند. از طرف دیگر گسترش اتوماسیون اقدامات زنجیره تامین سطح چابکی زنجیره را بهبود بخشیده و از این رو زمینه لازم برای بهبود عملکرد کل زنجیره تامین فراهم می‌شود.

اجلی (۱۴۰۳) در پژوهشی به بررسی تأثیر ابعاد کلیدی انقلاب صنعتی چهارم بر پایداری محیط‌زیستی و اجتماعی شهری در صنعت روی پرداخته است. نتیجه حاکی از آن است که "هوش مصنوعی" با بیشترین وزن در رتبه اول، و ابعاد "فناوری بلاکچین" و "اینترنت اشیا" در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. همچنین بعد "رباتیک" با کمترین وزن در اولویت ششم اهمیت جای گرفت. دورا و رولاند (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی نیروهای محرک و موانع صنعت ۴/۰ و فرصت‌ها در شرکت‌های چندملیتی و کوچک و متوسط پرداختند. نویسندگان دریافتند که تمایل مدیریت برای افزایش کنترل و فعال کردن اندازه‌گیری عملکرد در زمان واقعی، در کنار عوامل تولید، یک نیروی محرکه مهم در پشت صنعت ۴/۰ است. مقاومت سازمانی در سطوح مدیریت میانی و کارمند می‌تواند به طور قابل توجهی مانع از معرفی فناوری‌های صنعت ۴/۰ شود، اگرچه این فناوری‌ها همچنین می‌توانند عملکردهای مدیریتی را تغییر دهند. شرکت‌های چند ملیتی نسبت به شرکت‌های کوچک و متوسط، نیروهای محرکه بالاتر و موانع کمتری برای صنعت ۴/۰ دارند، اما شرکت‌های کوچک‌تر نیز فرصت‌های خوبی دارند.

سانتوس و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به بررسی مهارت‌های جدید مدیریت کیفیت مورد نیاز برای مدیران کیفیت ۴ پرداختند. این پژوهش بر روی کارکنان مدیریت کیفیت در پرتغال انجام شده است و هدف آن بررسی این است که آیا چنین کارکنانی از تأثیر صنعت ۴/۰ در حرفه مدیریت کیفیت و مهارت‌های مورد نیاز برخوردار هستند یا خیر. پس از تجزیه و تحلیل پرسشنامه‌های پاسخ داده شده، ۹۰ نتیجه معتبر در نظر گرفته شد. علاوه بر این محققان به دنبال بررسی و تحلیل موضوعات اصلی در دست اقدام مرتبط با مدیریت کیفیت برای انقلاب چهارم صنعتی و چگونگی ظهور کیفیت از این تغییر بودند. متخصصانی که روی مدیریت کیفیت کار می‌کنند باید تفکر خلاق داشته باشند، رهبر باشند، نحوه برقراری ارتباط و کار تیمی را بدانند و همچنین دانش و درک فناوری

اطلاعات و ارتباطاتو ارکان اصلی صنعت ۴/۰ را داشته باشند. اینها یافته‌های اصلی هستند. علاوه بر این، آنها باید بدانند که چگونه به تیم کاری خود انگیزه بدهند، برای تغییر آماده باشند، بدانند چگونه از داده‌های بزرگ برای تصمیم‌گیری استفاده کنند و مهمتر از همه، باید بدانند که چگونه تعارضات را مدیریت کنند. علاوه بر این، متخصصان با کیفیت باید طراحی و تولید محصولات درجه یک را ترویج دهند، مدافع مشتریان خود در سازمان باشند و در نهایت باید برای ذینفعان ارزش‌آفرینی کنند.

مرام^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی چشم‌انداز کیفیت ۴/۰ با تأکید بر مزایا، چالش‌ها و عوامل حیاتی موفقیت پرداختند. در این پژوهش، ابتدا به مرور مقالات از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۳ پرداخته شده و با تمرکز بر مزایا، چالش‌ها و عوامل حیاتی موفقیت اجرای کیفیت ۴، مزایای قابل توجه از جمله افزایش کارایی عملیاتی و نوآوری را بحث می‌کنند، در حالی که شکاف‌های مهارتی، محدودیت‌های منابع و هزینه‌های قابل توجه در سرمایه‌گذاری را به عنوان چالش‌های اصلی شناسایی کردند. نتیجه نهایی نشان داد که رهبری استراتژیک و چارچوب‌های جامع برای غلبه بر این چالش‌ها و تسهیل اجرای موفق کیفیت ۴ ضروری هستند. این بینش‌ها برای کمک به سازمان‌ها در جهت‌یابی در چشم‌انداز پیچیده کیفیت ۴ در نظر گرفته شده است.

آندره^۲ و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله‌ای به طراحی نقشه راه توانایی به سمت مدیریت کیفیت در صنعت ۴/۰ پرداختند. "نقشه راه کیفیت ۴" به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا موقعیت خود را داشته باشند و به آرامی به کیفیت ۴ منتقل شوند. این شیوه‌های اساسی مدیریت کیفیت را برای ارتقای پیشرفت پایدار به سمت مراحل یکپارچه‌سازی فناوری پیشرفته، ادغام می‌کند. در هر مرحله، «نقشه راه کیفیت ۴» قابلیت‌های لازمی را که سازمان‌ها برای توسعه نیاز دارند، برجسته می‌کند و آنها را از مشکلات احتمالی آگاه می‌کند. این نقشه راه یک ابزار اصلی برای کمک به سازمان‌ها در دستیابی و توسعه قابلیت‌های موردنیاز برای پیگیری گذار دیجیتال با دیدگاه عملیاتی و انسان محور ارائه می‌دهد. همچنین مراحل حیاتی در انتقال کیفیت ۴ را تعریف می‌کند و نیازمندی‌های در حال تحول را شناسایی می‌کند و مرزها و نقاط تماس بین فناوری و مدیریت کیفیت را مشخص می‌کند.

روش تحقیق

پژوهش پیش رو، به دلیل آنکه، به استفاده از دانش کاربردی در زمینه سیستم مدیریت کیفیت صنعت ۴/۰ می‌پردازد و مدل چالش‌های شناسایی شده را به صورت مطالعه‌ای و با استفاده از پرسشنامه در یک صنعت مورد بررسی قرار می‌دهد، از نظر هدف، مطالعه‌ای «کاربردی» و از نظر چگونگی جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات پرسشنامه، از نوع «توصیفی-همبستگی» از نوع تحلیل ترکیبی (کیفی- کمی) است. جامعه آماری این مطالعه، کلیه خبرگان و متخصصان صنعت لاستیک و با دانش کافی در رابطه با سیستم مدیریت کیفیت به ویژه ابعاد و چالش‌های صنعت ۴/۰ است که تعداد آن‌ها به دلیل نامعلوم بودن، نامحدود فرض شده است. به منظور دسترسی به نمونه کافی جهت استخراج عقاید خبرگان، پرسشنامه‌ها به صورت آنلاین با ویژگی‌های کامل توصیفی و پرسش‌های کلیدی سیستم سنجش چالش‌ها و ارزیابی آن‌ها، طراحی شد و با اطلاع‌رسانی کافی در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. تعداد نمونه لازم برای آزمون فرضیه اصلی پژوهش ("بین وضعیت موجود و مطلوب مدیریت کیفیت ۴، شکاف نامناسبی وجود دارد") و ارزیابی مناسب چالش‌ها از طریق جدول نمونه‌گیری مورگان و کرجسی به تعداد ۳۸۴ است که نهایتاً پس از پیگیری‌های مستمر محقق، پرسشنامه‌های تکمیلی ۳۹۵ نفر از کارشناسان در نرم‌افزار اکسل فراهم شدند. این آزمودنی‌ها شامل متخصصین شرکت‌های فعال در حوزه صنعت لاستیک در سرتاسر کشور هستند. در این پژوهش، در پرسشنامه اول و با تکنیک دلفی در سه دور رفت و برگشت پرسشنامه‌ها، چالش‌های نهایی تأثیرگذار بر سیستم مدیریت کیفیت ۴ در صنعت شناسایی شد. سپس در ابتدا به تحلیل داده‌های پرسشنامه با استفاده از آزمون‌های «چولگی^۳ و کشیدگی^۴» در نرم‌افزار SPSS اقدام شد. خروجی آزمون حاکی از آن است که تمامی مقادیر آماری چولگی و کشیدگی بین ۲- تا ۲ قرار دارند، بنابراین توزیع داده‌های پرسشنامه، نرمال می‌باشد و با

¹ Maram

² Andre

³ Skewness

⁴ Kurtosis

این خروجی، توزیع تفاوت‌ها در جامعه مشاهدات زوجی همبسته، نرمال یا تقریباً از توزیع نرمال برخوردار است و می‌توان با آزمون مقایسه زوجی، فرضیه اصلی پژوهش را آزمون کرد؛ در این شرایط، آماره آزمون از نوع t است (آذر و مومنی، ۱۴۰۱) و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}}$$

لذا با عنایت به فرضیه پژوهشی مطرح‌شده و ادعای صورت‌گرفته، فرضیه‌های آماری زیر ارائه می‌شوند:

$$\begin{cases} H_0: \mu_d \geq 0 \\ H_1: \mu_d < 0 \end{cases}$$

بنابراین با پرسشنامه دوم و اجرای آزمون مقایسه زوجی با توزیع t ، وضعیت موجود و مطلوب صنعت در زمینه تطبیق چالش‌های کیفیت ۴ در صنعت موردبررسی قرار گرفت.

در انتها از طریق پرسشنامه سوم و تکنیک نسبت ارزیابی وزن‌دهی ترجیحی (سوارا) به عنوان یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه با کارایی آسان، ارزیابی و رتبه‌بندی چالش‌های مذکور از نظر اهمیت در تطابق صنعت با کیفیت ۴، انجام. روش سوارا یک روش ذهنی خبرگی برای تعیین وزن شاخص‌ها است که پس از رتبه‌بندی شاخص‌ها، وزن آن‌ها را نیز محاسبه می‌کند (اجلی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اجلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ اجلی و همکاران، ۱۴۰۳).

مراحل قدم به قدم اجرایی این تکنیک در شکل ۱ آورده شده است (اجلی و همکاران، ۲۰۲۴):



شکل ۱. قدم‌های اجرایی تکنیک سوارا

در مطالعات معتبر، محققان جهت اجرای تکنیک‌های وزن‌دهی عوامل، عقاید حداقل ۲۰ خبره را کافی دانسته‌اند که در پژوهش حاضر، نظرات ۳۹۵ متخصص و خبره صنعت در دور سوم پیگیری در پاسخ به سوالات پرسشنامه سوم، جمع‌آوری و تحلیل شدند. همان‌گونه که گفته شد، ابزار اصلی گردآوری اطلاعات در این بخش پرسشنامه است. برای سنجش روایی پرسشنامه از روش «روایی محتوا» استفاده گردید. به منظور ایجاد روایی، پس از طراحی چارچوب اولیه پرسشنامه با استفاده از مطالعات و ارزیابی‌های گسترده و دقیق پیشینه، چالش‌های (شاخص‌های) استخراجی جهت ارزیابی با تعدادی از خبرگان (شامل: مدیران و متخصصان صنعت) مورد بحث و بررسی قرار گرفت و اصلاحات لازم اعمال گردید و روایی صوری تأیید شد. در پژوهش حاضر از نظرات ۳۰ خبره برای تأیید روایی پرسشنامه استفاده گردید. برای تعیین پایایی کل پرسشنامه، داده‌های جمع‌آوری شده با نرم‌افزار SPSS مورد سنجش قرار گرفت و ضریب آلفای کرونباخ معادل $0.78/91$ حاصل شد که با توجه به اینکه از مقدار استاندارد 0.7 بیشتر می‌باشد، پرسشنامه مربوطه از پایایی قابل‌قبولی برخوردار است. جدول ۲ مقادیر آلفای کرونباخ برای هر کدام از عوامل استفاده از نرم‌افزار را نشان می‌دهد:

جدول ۲. آلفای کرونباخ هر کدام از عوامل

کمبود حمایت مدیریت	۰/۷۶۴
ساختار سازمانی ضعیف	۰/۸۰۵
مسائل مالی	۰/۷۹۱
کمبود مهارت‌ها	۰/۷۷۶
مقاومت در برابر تغییر	۰/۸۱۱
رهبری	۰/۷۸۷
ادغام داده‌ها و مدیریت داده‌ها	۰/۷۷۲
تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت	۰/۷۵۳
رویکرد سیستم‌محور	۰/۷۶۱
اکوسیستم نوآوری	۰/۷۹۸
سازمان یادگیرنده	۰/۷۸۸
امنیّت سایبری و حفاظت از داده‌ها	۰/۸۰۱
فناوری‌های مناسب	۰/۷۵۵
مشارکت افراد	۰/۷۷۳
سرعت اینترنت	۰/۷۸۵

به طور خلاصه مراحل اجرای تحقیق، در شکل ۲ نشان داده شده است:

تجزیه و تحلیل داده‌ها

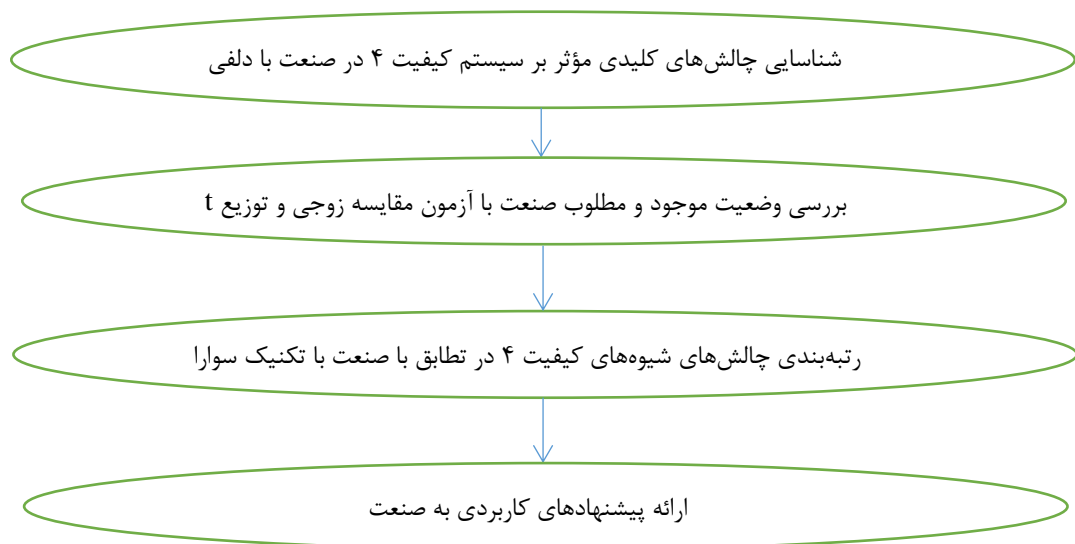
اجرای رویکرد دلفی و استخراج شاخص‌های نهایی

در جدول ۳، خروجی نهایی نظرات خبرگان در خصوص چالش‌ها و تحلیل نظرات در نرم‌افزار اکسل با دلفی آورده شده است:

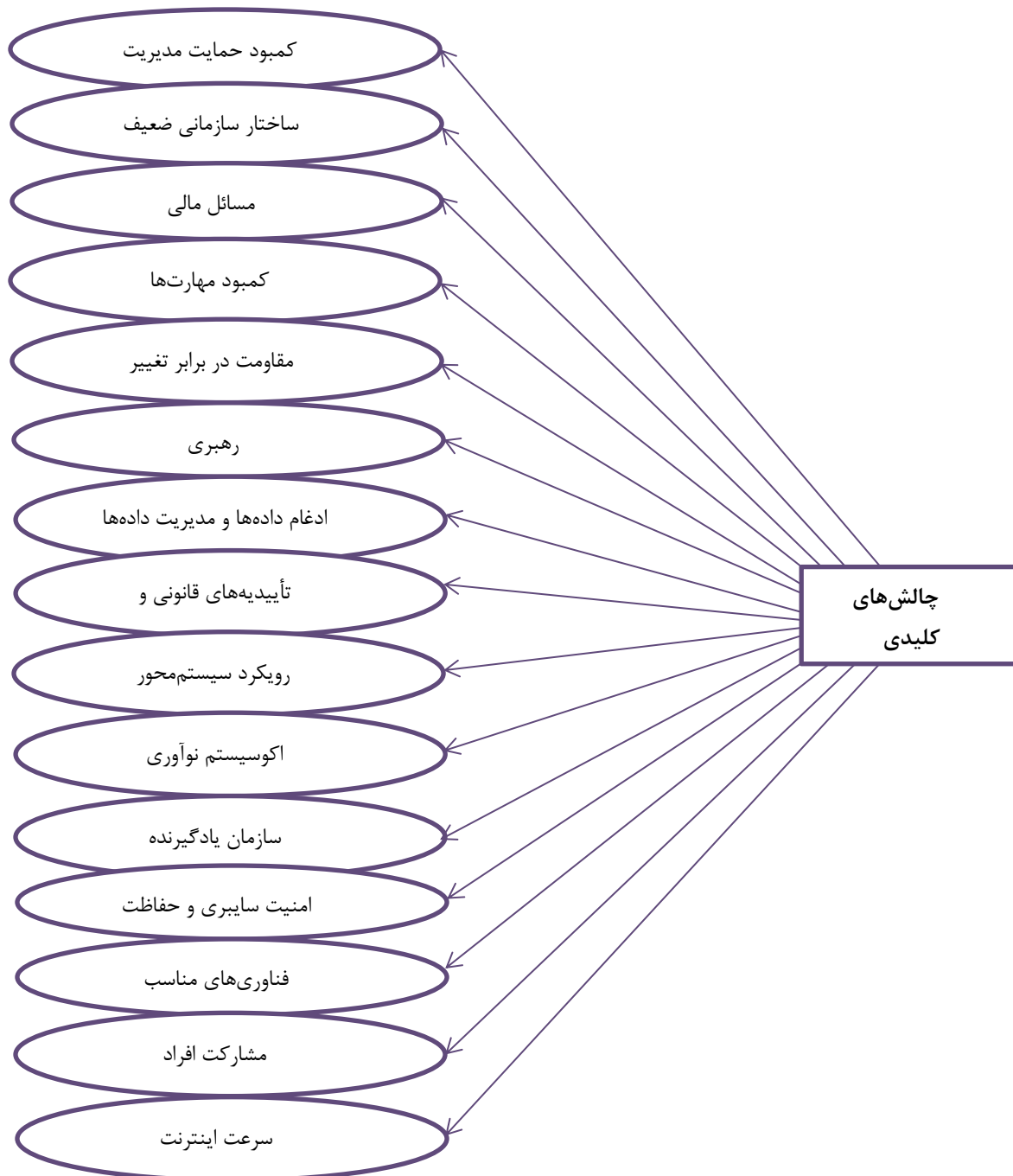
جدول ۳. خروجی بررسی عوامل از نظر خبرگان صنعت با حد آستانه ۰/۷۴۳

چالش‌ها کلیدی	میانگین نظرات	پنداش یا رد
کمبود حمایت مدیریت	۰/۷۶۴	✓
ساختار سازمانی ضعیف	۰/۸۰۵	✓
مسائل مالی	۰/۷۹۱	✓
کمبود مهارت‌ها	۰/۷۷۶	✓
مقاومت در برابر تغییر	۰/۸۱۱	✓
رهبری	۰/۷۸۷	✓
ادغام و مدیریت داده‌ها	۰/۷۷۳	✓
تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت	۰/۷۵۳	✓
رویکرد سیستم‌محور	۰/۷۶۱	✓
اکوسیستم نوآوری	۰/۷۹۸	✓
سازمان یادگیرنده	۰/۷۸۸	✓
امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	۰/۸۰۱	✓
فناوری‌های مناسب	۰/۷۵۵	✓
مشارکت افراد	۰/۷۷۳	✓
سرعت اینترنت	۰/۷۸۵	✓

با عنایت به جدول ۳، پانزده چالش استخراجی از ادبیات، به عنوان چالش‌های کلیدی موثر در سیستم مدیریت کیفیت صنعت لاستیک در تطابق با صنعت ۴/۰ تأیید شدند. لذا مدل مفهومی پژوهش مشتمل بر چالش‌ها به عنوان شاخص‌های مورد ارزیابی در صنعت را می‌توان به صورت شکل ۳ ارائه داد:



شکل ۲. مراحل اجرای تحقیق



شکل ۳. مدل مفهومی چالش‌های کلیدی تأثیرگذار بر سیستم مدیریت کیفیت صنعت لاستیک در تطابق با صنعت ۴/۰

آزمون فرضیه پژوهش (ارزیابی وضع موجود و مطلوب سیستم کیفی صنعت در تطابق با صنعت ۴/۰) خروجی آزمون مقایسه زوجی، در شکل ۴ قابل مشاهده است:

چالش‌ها	درجه آزادی	مقدار بحرانی از جدول	مقدار آماره آزمون t	تأیید یا عدم تأیید ادعا	وضعیت چالش‌ها در صنعت
کمبود حمایت مدیریت	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۷۲۸	تأیید	نامطلوب
ساختار سازمانی ضعیف	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۰۹۵	عدم تأیید	مطلوب
مسائل مالی	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۵۶۸	تأیید	نامطلوب
کمبود مهارت‌ها	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۶۷۱	تأیید	نامطلوب
مقاومت در برابر تغییر	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۱/۸۲۷	عدم تأیید	مطلوب
رهبری	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۲۱۸	عدم تأیید	مطلوب
ادغام و مدیریت داده‌ها	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۸۳۷	تأیید	نامطلوب
تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۱/۹۹۴	عدم تأیید	مطلوب
رویکرد سیستم‌محور	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۸۵۹	تأیید	نامطلوب
اکوسیستم نوآوری	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۴۶۲	تأیید	نامطلوب
سازمان یادگیرنده	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۲۶۱	عدم تأیید	مطلوب
امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۲۱۸	عدم تأیید	مطلوب
فناوری‌های مناسب	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۳۸۲	تأیید	نامطلوب
مشارکت افراد	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۱/۸۳۶	عدم تأیید	مطلوب
سرعت اینترنت	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۱۱۶	عدم تأیید	مطلوب
کل چالش‌ها	۳۹۴	-۲/۳۴۰	-۲/۳۱۱	رد	نسبتاً مطلوب

شکل ۴. وضعیت چالش‌ها در صنعت (با فرض پنج درصد خطای آزمون)

همانگونه که در شکل بالا ملاحظه می‌شود، صنعت در ۷ چالش در وضعیت مطلوبی قرار داشته و در ۸ چالش تا حدی از وضعیت مطلوب فاصله دارد که نیازمند توجه و برنامه‌ریزی جدی مدیران است. در کل، وضعیت صنعت از نظر کل چالش‌ها، تا حدی مساعد است. لذا دلایل کافی برای پذیرش فرضیه اصلی پژوهش (ادعا) وجود ندارد.

اجرای تکنیک سوارا و رتبه‌بندی چالش‌ها

با ورود داده‌ها در نرم‌افزار اکسل، خروجی قدم اول در جدول ۴ آورده شده است:

جدول ۴. درصد نظرات و اولویت هر چالش

چالش‌ها	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
تعداد	۱۷۵	۷۳	۱۵۹	۱۹۷	۱۳۲	۶۵	۸۸	۱۱۲	۴۷	۱۴۴	۹۶	۵۷	۱۸۳	۱۲۴	۳۶
نظرات															
درصد	۰/۷۴۵	۰/۳۱۱	۰/۶۷۷	۰/۸۳۸	۰/۵۶۲	۰/۲۷۷	۰/۳۷۴	۰/۴۷۷	۰/۲۰۰	۰/۶۱۳	۰/۴۰۹	۰/۲۴۳	۰/۷۷۹	۰/۵۲۸	۰/۱۵۳
نظرات															
اولویت	۳	۱۱	۴	۱	۶	۱۲	۱۰	۸	۱۴	۵	۹	۱۳	۲	۷	۱۵

در ادامه، خروجی نهایی گام‌های دوم تا ششم در جدول ۵ آورده شده است:

جدول ۵. مقادیر S_j ، k_j ، q_j و w_j

اولویت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
چالش	C4	C13	C1	C3	C10	C5	C14	C8	C11	C7	C2	C6	C12	C9	C15
درصد	۰/۸۳۸	۰/۷۷۹	۰/۷۴۵	۰/۶۷۷	۰/۶۱۳	۰/۵۶۲	۰/۳۷۴	۰/۴۷۷	۰/۴۰۹	۰/۳۷۴	۰/۳۱۱	۰/۲۷۷	۰/۲۴۳	۰/۲۰۰	۰/۱۵۳
نظرات															
Sj	---	۰/۰۵۹۶	۰/۰۳۴۰	۰/۰۶۸۱	۰/۰۶۳۸	۰/۰۵۱۱	۰/۰۳۴۰	۰/۰۵۱۱	۰/۰۶۸۱	۰/۰۳۴۰	۰/۰۶۳۸	۰/۰۳۴۰	۰/۰۳۴۰	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۶۸
Kj	۱	۱/۰۵۹۶	۱/۰۳۴۰	۱/۰۶۸۱	۱/۰۶۳۸	۱/۰۵۱۱	۱/۰۳۴۰	۱/۰۵۱۱	۱/۰۶۸۱	۱/۰۳۴۰	۱/۰۶۳۸	۱/۰۳۴۰	۱/۰۳۴۰	۱/۰۴۲۶	۱/۰۴۶۸
qj	۱/۰۰۰	۰/۹۴۴	۰/۹۱۳	۰/۸۵۵	۰/۸۰۳	۰/۷۶۴	۰/۶۴۴	۰/۷۱۷	۰/۶۷۱	۰/۶۴۹	۰/۶۱۰	۰/۵۹۰	۰/۵۷۱	۰/۵۴۷	۰/۵۲۳
Wj	۰/۰۹۳	۰/۰۸۷	۰/۰۸۵	۰/۰۷۹	۰/۰۷۴	۰/۰۷۱	۰/۰۶۰	۰/۰۶۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶۰	۰/۰۵۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۳	۰/۰۵۱	۰/۰۴۸

در نهایت خروجی قدم هفتم در جدول ۶ ارائه شده است:

جدول ۶. وزن هر چالش پس از مرتب‌سازی

رتبه	وزن (اهمیت)	توصیف چالش	چالش
۳	۰/۰۸۵	کمبود حمایت مدیریت	C1
۱۱	۰/۰۵۶	ساختار سازمانی ضعیف	C2
۴	۰/۰۷۹	مسائل مالی	C3
۱	۰/۰۹۳	کمبود مهارت‌ها و شایستگی‌ها	C4
۶	۰/۰۷۱	مقاومت در برابر تغییر	C5
۱۲	۰/۰۵۵	رهبری	C6
۱۰	۰/۰۶۰	ادغام و مدیریت داده‌ها	C7
۸	۰/۰۶۶	تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت	C8
۱۴	۰/۰۵۱	رویکرد سیستم‌محور (تفکر سیستمی)	C9
۵	۰/۰۷۴	اکوسیستم نوآوری	C10
۹	۰/۰۶۲	سازمان یادگیرنده	C11
۱۳	۰/۰۵۳	امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	C12
۲	۰/۰۸۷	فناوری‌های مناسب	C13
۷	۰/۰۶۰	مشارکت افراد	C14
۱۵	۰/۰۴۸	سرعت اینترنت	C15

با عنایت به جدول بالا مشاهده می‌شود که چالش کلیدی چهارم (کمبود مهارت‌ها) با بالاترین وزن در رتبه اول جای گرفته است و چالش‌های سیزدهم (امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها) و اول (کمبود حمایت مدیریت) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. همچنین چالش پانزدهم (سرعت اینترنت) با کمترین اهمیت در رتبه آخر قرار گرفت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیریت کیفیت، یکی از جنبه‌های حیاتی هر سازمان، در عصر صنعت ۴/۰ در حال تغییر است. ادغام فناوری صنعت ۴/۰ در مدیریت کیفیت، کیفیت ۴ نامیده می‌شود که فناوری‌های جدید را با رویکردهای کیفیت سنتی ادغام می‌کند. با ظهور صنعت ۴/۰، سازمان‌های معاصر تغییرات دگرگون‌کننده‌ای را تجربه می‌کنند که با افزایش دیجیتالی‌شدن و اتوماسیون روشن می‌شود. این دیجیتالی‌سازی راه را برای شرکت‌ها هموار می‌کند تا فناوری‌های پیشرفته را ادغام کنند و کارایی عملیاتی استثنایی، عملکرد و نبوغ را تقویت کنند (سانتوس^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). در نتیجه، کیفیت ۴ شامل ادغام فناوری‌های نوآورانه صنعت ۴/۰ با سیستم‌ها، ابزارها و تکنیک‌های مدیریت کیفیت مرسوم برای دستیابی به عملکرد استثنایی، تعالی عملیاتی پیشرفته و نوآوری ایده‌آل است (رادزیویل، ۲۰۱۸). کیفیت ۴، فناوری‌های دیجیتال جدید را با مدیریت کیفیت سنتی ادغام می‌کند تا تعالی عملیاتی را در سراسر صنایع بهبود بخشد. هدف کیفیت ۴ دستیابی به استانداردهای کیفیت مطلوب در صنایع مختلف با گنجاندن دیجیتالی‌شدن در سیستم‌های مدیریت کیفیت است. بر این اساس، درک کامل هر دو جنبه عملی و نظری برای پیاده‌سازی و ادغام موفقیت‌آمیز این سیستم‌ها در مشاغل معاصر ضروری است. استفاده از رویکردهای تجسم و مفهوم‌سازی برای درک عناصر پیچیده، بسیار مهم شناخته شده است (مرام و همکاران، ۲۰۲۴). در پژوهش حاضر به استخراج چالش‌های تطبیق عملیات مدیریت کیفیت با صنعت ۴/۰ از طریق مرور ادبیات پرداخته شده؛ سپس با رویکرد دلفی، چالش‌های نهایی در صنعت لاستیک شناسایی شده؛ در ادامه وضعیت موجود و مطلوب صنعت مورد مقایسه قرار گرفته و چالش‌های مطلوب و نامطلوب شناسایی شده؛ در نهایت چالش‌های کلیدی شناسایی شده، رتبه‌بندی شده‌اند.

با توجه به رتبه‌بندی حاصل‌شده در رابطه با چالش‌های تطبیق سیستم کیفی صنعت مورد مطالعه با عملیات کیفیت صنعت ۴/۰، پیشنهادهای کاربردی زیر به ترتیب اهمیت ارائه می‌شود:

- کمبود مهارت‌ها و شایستگی‌ها: در این زمینه یک رویکرد متمرکز برای توانمندسازی کارکنان، با تاکید بر مزایای تغییر و ارائه آموزش‌های هدفمند برای پرکردن شکاف‌های دانش، ضروری است. این استراتژی، که توسط رهبری فعال و تعهد قاطع به سازگاری دیجیتال مبتنی بر کیفیت پشتیبانی می‌شود، برای پیمایش موفقیت‌آمیز چالش‌های تحول دیجیتال ضروری است.
- بهره‌گیری از فناوری‌های مناسب: پذیرش و بکارگیری فناوری‌های مناسب، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تحلیل کلان‌داده‌ها و رایانش ابری، برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل مؤثر داده‌ها ضروری هستند (سونی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). عدم وجود چنین فناوری‌هایی منجر به یکپارچه‌سازی ناکافی داده‌ها می‌شود و در نتیجه کارایی عملیات مدیریت کیفیت را کاهش می‌دهد (بوسدکیس^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). این تجزیه و تحلیل لایه‌ای، مسیر روشنی را برای افزایش عملکرد مدیریت کیفیت صنعت با پرداختن به این چالش‌های رتبه‌بندی شده با تمرکز ویژه بر تعامل بین پذیرش فناوری و استراتژی سازمانی برای غلبه بر موانع یکپارچه‌سازی داده‌ها نشان می‌دهد (کریستو^۴ و همکاران، ۲۰۲۲).
- کمبود حمایت مدیریت و مقاومت در برابر تغییر: کمبود پشتیبانی مدیریت با جایگاه سوم و مقاومت در برابر تغییر با جایگاه ششم، پیچیدگی‌های پویایی انسانی در تحول سازمانی را برجسته می‌کنند. عدم تمایل نیروی کار به اتخاذ

¹ Santos

² Sony

³ Bousdekis

⁴ Christou

شیوه‌های جدید، ناشی از ترجیح دادن به روال‌های آشنا، مانعی اساسی برای پذیرش فناوری‌های مدیریت کیفیت پیشرفته ایجاد می‌کند (آنتونی و همکاران، ۲۰۲۳). این مقاومت با فقدان رهبری حمایتی ترکیب می‌شود، که برای ارائه جهت، منابع و ارتباطات روشن برای ایجاد محیطی مساعد برای تغییر حیاتی است.

- مسائل مالی و تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت: مسائل مالی با جایگاه چهارمبه عنوان یکی از ابعاد توانمندساز به طور خاص به چالش‌های اقتصادی که عمدتاً توسط شرکت‌های کوچک و متوسط فعال در صنعت در پذیرش فناوری‌های دیجیتال با آن‌ها مواجه هستند، می‌پردازد. این چالش نیاز به برنامه‌ریزی مالی دقیق و تجزیه و تحلیل هزینه-فایده برای پایدار کردن انتقال دیجیتال از نظر مالی را برجسته می‌کند (مسعود و سونتگ^۱، ۲۰۲۰). از طرفی، تأییدیه‌های قانونی و حمایت دولت با جایگاه هشتم به عنوان یک مانع مهم اما غیرقابل عبور شناخته می‌شود، در حالی که مسائل مالی همچنان حوزه مهمی برای مدیریت مالی استراتژیک و برنامه‌ریزی، به ویژه برای شرکت‌هایی است که پیچیدگی‌های پذیرش دیجیتال را دنبال می‌کنند.
- اکوسیستم نوآوری، مشارکت افراد و سازمان یادگیرنده: اکوسیستم نوآوری که در جایگاه پنجم قرار دارد، بر اهمیت پرورش محیطی تأکید می‌کند که در آن از فناوری‌ها و روش‌های نوآورانه برای رسیدگی خلاقانه به چالش‌های مدیریت کیفیت استفاده می‌شود. این چالش تأثیر درک‌شده آن را نسبت به سایر چالش‌ها منعکس می‌کند و بر ارزش ترویج فرهنگ مبتنی بر نوآوری برای هدایت پیچیدگی‌های مدیریت کیفیت در عصر دیجیتال تأکید می‌کند (بنیتز^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). این موضوع، اهمیت هر مانع در بعد توانمندسازهای اکوسیستم را روشن می‌کند و سازمان‌ها را راهنمایی می‌کند که تلاش‌های استراتژیک خود را برای ارتقای مؤثر عملیات مدیریت کیفیت در کجا متمرکز کنند. با پرداختن به این چالش‌های رتبه‌بندی‌شده، سازمان‌ها می‌توانند نیروی کار نوآورتر، سازگارتر و متعهدتری را که آماده پاسخگویی به خواسته‌های صنعت ۴/۰ هستند، پرورش دهند. در رتبه نهم، سازمان یادگیرنده مکمل مشارکت افراد با جایگاه هفتم نه تنها با درگیرکردن کارکنان، بلکه آماده‌سازی آنها برای تغییرات ظریف دیجیتالی، نشان‌دهنده اهمیت پایین‌تر و در عین حال حیاتی پرورش محیطی است که در آن یادگیری و سازگاری در آن وجود دارد (اسوارناکار^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).
- ساختار سازمانی ضعیف: ساختار سازمانی ضعیف به عنوان یازدهمین چالش مهم برای ادغام مؤثر عملیات مدیریت کیفیت در زمینه تحول دیجیتال شناسایی شده است (زنگ و همکاران، ۲۰۱۷). رواج سیلوهای سازمانی، همکاری بین عملکردی ضروری را پیچیده می‌کند (برودی، ۲۰۲۲)، و مانع از ساده‌سازی یکپارچه فرآیندهای لازم برای سازگاری دیجیتال می‌شود. پرداختن به این چالش مستلزم یک تغییر عمده به سمت تجدید ساختار سازمانی متمرکز بر چابکی است. این تغییر کار گروهی بین رشته‌ای را تشویق می‌کند و نقش‌های دیجیتالی را در سازمان همسو می‌کند، در نتیجه انتقال نرم‌تر به عملیات دیجیتال را تسهیل می‌کند و آمادگی صنعت را برای پذیرش تغییرات دیجیتالی افزایش می‌دهد.
- ادغام و مدیریت داده‌ها و رویکرد تفکر سیستمی: در عصر دیجیتال، ادغام و مدیریت داده‌ها، به عنوان یک چالش مهم ظاهر می‌شود و در بین پانزده مانع در رتبه دهم قرار گرفته است و نقش مهم آن را در تلاش‌های مدیریت کیفیت برجسته می‌کند. تکه‌تکه‌شدن داده‌ها در ابزارهای دیجیتال متنوع، تصمیم‌گیری را پیچیده می‌کند و بر ضرورت یکپارچه‌سازی داده‌ها تأکید می‌کند. این چالش به همراه رویکرد تفکر سیستمی در جایگاه چهاردهم، وابستگی‌های متقابل حیاتی در سیستم‌های سازمانی را روشن می‌کند و نیاز به یک دید جامع که توسط داده‌های یکپارچه تسهیل می‌شود، دارد. دستیابی به این سطح از یکپارچگی، مقابله با این چالش را الزامی می‌کند.
- رهبری: رهبری به عنوان یک چالش برجسته با بالاترین رتبه جهانی ظاهر می‌شود و با بینش ارائه شده توسط سونی و همکاران (۲۰۲۲) همسو می‌شود. یافته‌های این مطالعه نقش ضروری رهبری در صنعت را از طریق مرحله پرتلاطم تحول

¹ Masood and Sonntag

² Benitez

³ Swarnakar

دیجیتال ترسیم می‌کند. نقش رهبری صرفاً تعیین جهت استراتژیک برای مدیریت کیفیت را در بر نمی‌گیرد، بلکه به حصول اطمینان از همسویی ابتکارات کیفی با اهداف سازمانی گسترده تر گسترش می‌یابد. دیدگاهی که توسط آنتونی و همکاران (۲۰۲۳) نیز تکرار شده است. چالش‌های چندوجهی پذیرش فناوری، مدیریت منابع و طراحی مجدد فرآیند توسط فونسکا^۱ و همکاران (۲۰۲۱) به عنوان مناطقی که در آن رهبری مؤثر به شدت مورد نیاز است، تاکید شده است. به موجب آن توسعه رهبری، تغییر فرهنگی، سازمانی و همسویی استراتژیک به عنوان استراتژی‌های به هم پیوسته ضروری برای پیمایش پیچیدگی‌های پذیرش دیجیتال تلقی می‌شوند. چنین رویکردی کارایی عملیات مدیریت کیفیت را افزایش می‌دهد و نقشه راه شرکت‌هایی را ارائه می‌دهد که در تلاش برای برتری در چشم‌انداز صنعت ۴/۰ هستند.

- امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها: چالش امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها به عنوان سیزدهمین نگرانی مهم ظاهر شده است که با ظهور فناوری ابری، اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ که به طور قابل توجهی قرار گرفتن در معرض خطرات سایبری را افزایش می‌دهد، تاکید شده است (آوایشه^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). وضعیت مستلزم یک چارچوب قوی برای یکپارچگی داده‌ها و دفاع در برابر تهدیدات سایبری است که برای حفظ انطباق با استانداردهای کیفیت ضروری است (دیا^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). چشم‌انداز دیجیتالی در حال تحول مستلزم آن است که سازمان‌ها نه تنها این خطرات را بشناسند، بلکه به طور فعال اقداماتی را برای کاهش آن‌ها، تضمین حفاظت از داده‌های حساس و تداوم عملیات مدیریت کیفیت در مواجهه با تهدیدات سایبری همیشه اجرا کنند.

- سرعت اینترنت: سرعت اینترنت که در جایگاه پانزدهم قرار دارد، به عنوان کمترین رتبه و در عین حال مانع حیاتی در بعد فعال‌کننده‌های اکوسیستم است و اهمیت اساسی آن را در عصر تحول دیجیتال برجسته می‌کند. سرعت پایین اینترنت چالش‌های مهمی را برای اشتراک‌گذاری کارآمد داده و استفاده مؤثر از برنامه‌های کاربردی مبتنی بر ابر ایجاد می‌کند، مانعی که به‌ویژه در مناطق در حال توسعه که دسترسی به اتصالات اینترنتی پرسرعت و قابل اعتماد ندارند مشهود است (ماگانگا و تایفا^۴، ۲۰۲۳). پرداختن به این موضوع مستلزم تلاشی هماهنگ برای بهبود زیرساخت اینترنت است که نیاز به ابتکارات مشترک میان نهادهای دولتی، بخش خصوصی و سازمان‌های بین‌المللی برای اطمینان از دسترسی گسترده به خدمات اینترنتی قوی دارد. با وجود رتبه‌بندی، این مانع بر نیاز اساسی و در عین حال حیاتی برای تسهیل پذیرش دیجیتال و بهینه‌سازی مزایای فناوری‌های صنعت ۴/۰ در جوامع جهانی تأکید می‌کند.

از محدودیت‌های پژوهش نیز می‌توان به شناسایی خبرگان و متخصصان صنعت لاستیک در خصوص صنعت ۴/۰ و عملیات کیفیت ۴ و آشنایی به تکنیک تصمیم‌گیری چندشاخصه جهت تکمیل دقیق پرسشنامه‌ها اشاره کرد. از طرفی عدم دسترسی راحت به این متخصصان، موجب شد که محقق به طراحی و توزیع پرسشنامه به صورت آنلاین اقدام نماید. از پیشنهادها علمی آینده تحقیقات، می‌توان به استفاده از سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در ارزیابی و رتبه‌بندی چالش‌ها اشاره کرد. همچنین روابط علی- معلولی میان چالش‌ها را با تکنیک‌های دیمتل و مدلسازی ساختاری تفسیری بررسی و تبیین کرد. علاوه بر این در مطالعات آتی، می‌توان شرکت‌های کلیدی فعال در صنعت لاستیک را از نظر تطبیق موفقیت‌آمیز با عملیات کیفیت صنعت ۴/۰ اولویت‌بندی کرد.

منابع و ماخذ

اجلی، مهدی (۱۴۰۳). ۹. تأثیر ابعاد کلیدی انقلاب صنعتی چهارم بر پایداری محیط‌زیستی و اجتماعی شهری (مورد مطالعه: صنعت روی شهر زنجان). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۵(۴)، ۱۱۵-۱۲۹.

¹ Fonseca

² Alwaysseh

³ Dias

⁴ Maganga & Taifa

دوره ۶، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۹، بهار ۱۴۰۴

اجلی، مهدی؛ اسدی موید، امیررضا؛ محمدی، محمدقائم (۱۴۰۳). ارزیابی عوامل تأثیرگذار کیفیت سیستم اطلاعات بر کیفیت داده حسابداری مدیریت در صنعت لبنی، سومین کنفرانس ملی مدیریت کیفیت و قابلیت اتکاء، تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

اجلی، مهدی؛ زینتی، بابک؛ صابری فرد، نیما (۱۴۰۱). رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ناب با تکنیک ارزیابی نسبت افزودنی (مطالعه موردی: صنعت خودروسازی)، نشریه علمی اندیشه آماد، دوره بیست و یکم، شماره ۸۱.

آذر، عادل؛ مومنی، منصور (۱۴۰۱). آمار و کاربرد آن در مدیریت جلد دوم: تحلیل آماری، انتشارات سمت، چاپ سیزدهم، ویراست خوش سپهر، زهرا؛ علی محمدلو، مسلم؛ محمدی، علی؛ رعنائی کردشولی، حبیب‌الله (۱۴۰۲). علم‌سنجی و تجزیه و تحلیل روند پژوهش‌ها در حوزه انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴/۰. علوم و فنون مدیریت اطلاعات، ۹(۲)، ۱۳۳-۱۶۶.

فریدنی، فرانک (۱۴۰۲). نقش صنعت ۴/۰ در بهبود عملکرد زنجیره تامین با میانجی‌گری چابکی و انعطاف‌پذیری، رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، دوره ۷، شماره ۲۶، ۸۵۹-۸۷۱.

مروتی شریف آبادی، علی؛ ضیائیان، مهران؛ میرفخرالدینی، سید حیدر؛ زنجیرچی، سید محمود (۱۴۰۱). بررسی چگونگی نقش صنعت ۴/۰ در کیفیت محصولات و خدمات (مورد مطالعه: صنعت لوازم خانگی). نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت کیفیت، ۱۲ (۳). ۳۱۹-۳۴۲.

Ajalli, M. (2024). Conceptual modeling of determining factors in the assessment of sustainability and resilience of the supply chain: a study of rubber industry suppliers in Iran. *Journal of Rubber Research*, 27, 259–274.

Ajalli, M. Saberifard, N., Zinati, B. (2021). Evaluation and Ranking the Resilient Suppliers with the Combination of Decision Making Techniques, *Management and Production Engineering Review*, Volume 12, Number 3, September, pp. 129–140, DOI: 10.24425/mper.2021.137685.

Ali, K., & Johl, S. K. (2022). Soft and hard TQM practices: Future research agenda for industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(13–14), 1625–1655. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1985448>.

André M. Carvalho, Ana Rita Dias, Ana Margarida Dias & Paulo Sampaio (2024) The Quality 4.0 Roadmap: Designing a capability roadmap toward quality management in Industry 4.0, *Quality Management Journal*, 31:2, 117-137, DOI: 10.1080/10686967.2024.2317478.

Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E. A., & Doulatbadi, M. (2023). Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0—a qualitative global study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(7–8), 827–846. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2113737>.

Antony, J., Sony, M., Furterer, S., McDermott, O., & Pepper, M. (2022). Quality 4.0 and its impact on organisational performance: An integrative viewpoint. *The TQM Journal*, 34(6), 2069–2084. <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2021-0242>.

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>.

Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2020). Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation. *International Journal of Production Economics*, 228, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735>.

Bousdekis, A., Lepenioti, K., Apostolou, D., & Mentzas, G. (2023). Data analytics in quality 4.0: Literature review and future research directions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(5), 678–701. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2128219>.

Chawla, R. N., & Goyal, P. (2022). Emerging trends in digital transformation: A bibliometric analysis. *Benchmarking: An International Journal*, 29(4), 1069–1112. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2021-0009>.

Chiarini, A., & Cherrafi, A. (2023). Integrating ISO 9001 and Industry 4.0. An implementation guideline and PDCA model for manufacturing sector. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(13–14), 1629–1654. <https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2192916>.

Chiarini, A., & Kumar, M. (2022). What is Quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 60(16), 4890–4910. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1942285>.

Christou, I. T., Kefalakis, N., Soldatos, J. K., & Despotopoulou, A.-M. (2022). End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications. *Computers in Industry*, 137, 103591. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103591>.

Dias, A. M., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (2022). Quality 4.0: Literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1312–1335. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0247>.

Diska Prini Fadilasari, Ranjit Roy Ghatak, Jose Arturo Garza-Reyes, Rohit Joshi & Jayakrishna Kandasamy (2024) Adopting quality management practices in the industry 4.0 era: an investigation into the challenges, *Total Quality Management & Business Excellence*, 35:9-10, 1098-1123, DOI: 10.1080/14783363.2024.2354840.

Dóra, H., Roland Zs. S. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? , *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 146, Pages 119-132, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>.

Fonseca, L., Amaral, A., & Oliveira, J. (2021). Quality 4. 0: The efqm 2020 model and industry 4. 0 relationships and implications. *Sustainability*, 13(6), 3107. <https://doi.org/10.3390/su13063107>.

Ghobakhloo, M. (2020a). Industry 4.0, digitisation, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>.

Ghobakhloo, M. (2020b). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–2405. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>.

Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Ngai, W. T. E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207, 125–129. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.005>.

Kannan, K. S. P. N., & Garad, A. (2020). Competencies of quality professionals in the era of industry 4.0: A case study of electronics manufacturer from Malaysia. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 839–871. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2019-0124>.

Keršulienė V, Zavadskas EK, Turskis Z (2010) Selection of rational dispute resolution method by applying new step- wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.

Maganga, D. P., & Taifa, I. W. R. (2023). Quality 4.0 conceptualisation: An emerging quality management concept for manufacturing industries. *The TQM Journal*, 35(2), 389–413. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2021-0328>.

Maram, M., Nasser, K., Abdullah, A. & Saja, A. (2024) Exploring the landscape of quality 4.0: a comprehensive review of its benefits, challenges, and critical success factors, *Production & Manufacturing Research*, 12:1, 2373739, DOI: 10.1080/21693277.2024.2373739

Martin, J., Elg, M., Gremyr, I., & Wallo, A. (2021). Towards a quality management competence framework: Exploring needed competencies in quality management. *Total Quality*

Management & Business Excellence, 32(3-4), 359–378.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1576516>.

Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>.

Milošević, I., Ruso, J., Glogovac, M., Arsić, S., & Rakić, A. (2022). An integrated SEM-ANN approach for predicting QMS achievements in Industry 4.0. *Total Quality Management and Business Excellence*, 33(15–16), 1896–1912. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.2011194>.

Prem, E., (2015). A digital transformation business model for innovation. In: *ISPIM Innovation Summit*, (Brisbane).

Radziwill, N. M. (2018). Let's get digital: The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. *Quality Progress*, 24–29. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.07829>.

Reddy, S., Reinartz, W., (2017). Digital transformation and value creation: sea change ahead. *Value Digit. Era* 9, 11–17.

Rico, J. P., Calvo-Mora, A., Medina-Molina, C., & Alves, H. (2024). Quality 4.0 social and strategic readiness factors: Sufficient and Necessary Condition Analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 559–583. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2323185>.

Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2022). A review of quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(9-10), 1164–1182. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>.

Saihi, A., Awad, M., & Ben-Daya, M. (2023). Quality 4.0: Leveraging Industry 4.0 technologies to improve quality management practices – A systematic review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(2), 628–650. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2021-0305>.

Salimova, T., Vatulkina, N., Makolov, V., & Anikina, N. (2020). The perspective of quality management system development in the era of industry 4.0. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 8(4), 483–495. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8447>.

Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability*, 13(11), 6149. <https://doi.org/10.3390/su13116149>.

Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability*, 13(11), 6149. <https://doi.org/10.3390/su13116149>.

Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. *The TQM Journal*, 32(4), 779–793. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0275>.

Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., & McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: An exploratory study. *The TQM Journal*, 33(6), 1502–1515. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272>.

Souza, F. F. D., Corsi, A., Pagani, R. N., Balbinotti, G., & Kovaleski, J. L. (2022). Total quality management 4.0: Adapting quality management to Industry 4.0. *The TQM Journal*, 34(4), 749–769. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0238>.

Stentoft, J., & Rajkumar, C. (2020). The relevance of Industry 4.0 and its relationship with moving manufacturing out, back and staying at home. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2953–2973. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1660823>.

Thekkoote, R. (2022). Enabler toward successful implementation of Quality 4.0 in digital transformation era: A comprehensive review and future research agenda. *International Journal of*

Quality & Reliability Management, 39(6), 1368–1384. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0206>.

Virmani, N., Upadhyay, M., Luthra, S., Singh, S., & Upadhyay, A. (2023). Assessing solutions to overcome Quality 4.0 barriers: A decision-making framework. *The TQM Journal*, <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2023-0170>.

Zonnenshain, A., & Kenett, R. S. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, 32(4), 614–626. <https://doi.org/10.1080/08982112.2019.1706744>.