Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 14, No. 4 (2024) 304-320.

Paper Type: Original Article

An Analysis of the Barriers to the Implementation of Quality 4.0 Utilizing the Approach Fuzzy DANP

Davod Andalib Ardakani[1], Fatemeh Zamzam[1,*], Mehrdad Kiani[1]

[1] Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran; andalib@yazd.ac.ir; fateme.zmzm@stu.yazd.ac.ir; mehrdad.kiani@stu.yazd.ac.ir.

Citation:

Received: 13 June 2024 *Revised: 17 August 2024* *Accepted: 11 September 2024*	Andalib Ardakani, D., Zamzam, F., & Kiani, M. (2024). An analysis of the barriers to the implementation of quality 4.0 utilizing the approach fuzzy DANP. *Journal of Quality Engineering and Management,* 14(4), 304-320.

Abstract

Purpose: This research aims to identify and examine the relationship between the barriers to implementing Quality 4.0 in the Yazd tile and ceramic sector.

Methodology: A systematic review methodology was employed to identify and categorize barriers, while the combined Fuzzy DEMATEL-ANP (FDANP) method was utilized in the quantitative phase to illustrate the relationship patterns among these barriers and their prioritization.

Findings: The qualitative analysis revealed 18 barriers across four categories. The Quantitative findings indicated that "High Cost of Implementation and lack of transparency in Return on Investment" emerged as the most causal barrier, while "failure to consider Quality 4.0 as a strategic issue and source of competitive advantage" was identified as the most consequential barrier to implementing Quality 4.0 in the Yazd tile and ceramic industry. Also, the key obstacles to the implementation of Quality 4.0 in the Yazd ceramic and tile industry include the lack of quantitative metrics for assessing the impact of Industry 4.0 on quality, the failure to consider Quality 4.0 as a strategic issue and a source of competitive advantage, the absence of advanced training programs for personnel, insufficient financial resources for implementing Quality 4.0, and the lack of stakeholder involvement in Quality 4.0 initiatives and projects.

Originality/Value: This study employs a hybrid Fuzzy DANP approach to support managers and decision-makers in strategizing for overcoming obstacles to the adoption of Quality 4.0. It achieves this by identifying barriers, determining the interrelationships among them, and prioritizing them.

Keywords: Fourth industrial revolution (Industry 4.0), Quality management, Quality 4.0, Barriers, Fuzzy DANP.

Corresponding Author: fateme.zmzm@stu.yazd.ac.ir

10.48313/jqem.2025.217977

Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۴، شماره (۴)، (۱۴۰۳)، ۳۲۰-۳۰۴

نوع مقاله: پژوهشی

تحلیلی بر موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ با رویکرد دنپ فازی

داود عندلیب اردکانی[۱]، فاطمه زمزم[۱،*]، مهرداد کیانی[۱]

[۱]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

چکیده

هدف: هدف از پژوهش حاضر شناسایی روابط علت و معلولی موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد است.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش از نظر هدف جزو پژوهش‌های کاربردی ـ توسعه‌ای محسوب می‌شود. در بخش کیفی پژوهش برای شناسایی و دسته‌بندی موانع از روش مرور نظام‌مند و در بخش کمی برای ارایه الگوی روابط علی و معلولی بین موانع و اولویت‌بندی آن‌ها از روش ترکیبی دیمتل ـ فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (دنپ فازی) استفاده شده است.

یافته‌ها: یافته‌های بخش کیفی شامل شناسایی ۱۸ مانع در ۴ بعد بود. در بخش کمی، یافته‌ها نشان داد که «هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه» به‌عنوان تاثیرگذارترین (علت) مانع و «عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی» به‌عنوان تاثیرگذارپذیرترین (معلول) مانع در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شوند. همچنین موانع کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت، عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی، عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل، کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰ و عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰ مهم‌ترین موانع موجود در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شود.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: این پژوهش با استفاده از رویکرد ترکیبی *DANP* فازی با شناسایی موانع کلیدی پذیرش کیفیت ۴٫۰، تعیین میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری و اولویت‌بندی آن‌ها به مدیران و تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی برای رفع این موانع یاری می‌رساند.

کلیدواژه‌ها: انقلاب صنعتی چهارم (صنعت ۴٫۰)، مدیریت کیفیت، کیفیت ۴٫۰، موانع، دنپ فازی.

۱- مقدمه

از زمان ظهور تولید انبوه و آغاز انقلاب صنعتی اول در قرون هجدهم و نوزدهم میلادی، کیفیت و استانداردسازی محصولات و خدمات به یکی از مسایل محوری و دغدغه‌های اساسی در حوزه‌های دانشگاهی، صنعتی و سازمانی تبدیل شده است [1] و در عصر حاضر، کیفیت به‌عنوان شاخص اصلی و بنیادین موفقیت و بقای سازمان‌ها در شرایط متلاطم کسب‌وکار امروزی محسوب می‌شود؛ زیرا تضمین‌کننده قابلیت اطمینان محصولات و

خدمات در انطباق با انتظارات و نیازهای مشتریان است [2] شرایط کسب‌وکار سازمان‌ها در عصر نوین کسب‌وکار موسوم به صنعت ۴٫۰، منجر به معرفی و توسعه روش‌های نوین مدیریت کیفیت تحت عنوان کیفیت ۴٫۰ شده است. کیفیت ۴٫۰ تاثیر بسزایی در شکل‌گیری مدل‌های کسب‌وکار جدید و موفقیت عملکرد سازمانی دارد [3]. کیفیت ۴٫۰ یک مفهوم نوظهور در حوزه مدیریت کیفیت است که اخیرا به دلیل افزایش پیچیدگی الزامات مشتری، همراه با رقابت شدیدتر و تکامل فناوری، توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

به‌طورکلی این مفهوم به آینده کیفیت در محیط صنعت ۴٫۰ اشاره دارد [4]. اصطلاح «کیفیت ۴٫۰» نخستین بار توسط دن جاکوب مطرح شد. وی با تکیه بر تشریح مفاهیم مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم، کیفیت ۴٫۰ را به‌عنوان کاربرد فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در مدیریت کیفیت به‌منظور ارتقای کارایی و عملکرد فعالیت‌های سازمانی و معرفی مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه تعریف نمود [5] .کیفیت ۴٫۰ به همسوسازی رویه‌های مدیریت کیفیت با فناوری‌های صنعت ۴٫۰، مانند هوش مصنوعی و دیجیتال‌سازی می‌پردازد [4]. صنعت ۴٫۰ فرصت‌های قابل‌توجهی را برای مدیریت کیفیت فراهم می‌آورد تا به‌عنوان نیرویی پیشرو در بهبود عملکرد سازمانی تبدیل گردد. با پیشرفت فناوری‌های نوین و تنوع نیازهای مشتریان، دستیابی به سطوح کیفیت بالا با روش‌های سنتی مدیریت کیفیت دشوار است [6]. از طریق پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰، مدیریت کیفیت سنتی به دلیل دیجیتالی شدن کلیه عملکردهای یک شرکت، دستخوش تغییر شده است. از این‌رو هم‌راستا نمودن مدیریت کیفیت با صنعت ۴٫۰ جهت بهبود عملکرد سازمان ضروری به نظر می‌رسد [7]. فناوری‌های صنعت ۴٫۰، هزینه‌های کیفیت، ازجمله هزینه‌های نمونه‌برداری و بازرسی را کاهش داده و با نظارت هم‌زمان بر فرآیندها و محصولات، عملکرد را بهبود بخشیده‌اند. صنعت ۴٫۰ همچنین فعالیت‌های تصمیم‌گیری مرتبط با کیفیت را با پشتیبانی از جریان داده فوری، تقویت نموده است [4]. کیفیت ۴٫۰، با توجه به مزایای قابل‌توجهی که برای سازمان‌ها به ارمغان می‌آورد، درحال‌توسعه و کسب اهمیت فزاینده‌ای است [8–10].

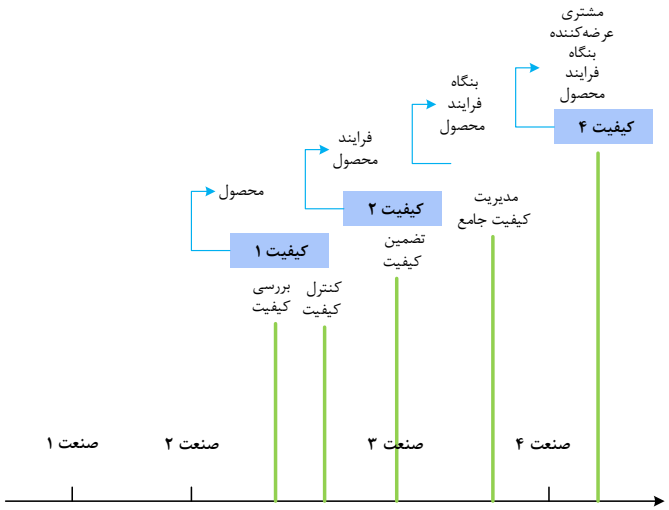
استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای نظیر اتوماسیون، رباتیک، هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها، منجر به بهبود کارایی و بهره‌وری تولید می‌شود. علاوه بر این، این فناوری‌ها با بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش خطاها و تسهیل فرآیندها، به ارتقای عملکرد سازمان کمک می‌کنند. همچنین کیفیت ۴٫۰ از طریق ارایه رصد داده‌ای دقیق، به‌موقع و جامع، امکان تصمیم‌گیری داده‌محور را فراهم می‌سازد [11]. بر این اساس، سازمان‌ها ملزم به بهره‌گیری از تحلیل‌های پیشرفته جهت کشف روندها، شناسایی الگوها در داده‌ها و اتخاذ تصمیمات آگاهانه در راستای بهبود مستمر فرآیندها هستند [12]. از طرف دیگر کیفیت ۴٫۰ با امکان پایش و تحلیل داده‌های بلادرنگ، تشخیص زودهنگام مسایل کیفی را تسهیل نموده و از مدیریت کیفیت پیشگیرانه پشتیبانی می‌کند [13]. این امر به سازمان‌ها در مداخله سریع، پیشگیری از نقص و عدم انطباق و ارتقای کیفیت محصولات یا خدمات یاری می‌رساند [14]. همان‌طور که ذکر شد کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک پارادایم نوین در مدیریت کیفیت، با بهره‌گیری از فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد سازمان‌ها و افزایش رضایت مشتریان دارد. با این حال، پذیرش این پارادایم با چالش‌ها و موانع متعددی روبرو است که می‌تواند مانع از تحقق کامل مزایای آن شود. از آنجایی که شناسایی و رتبه‌بندی این موانع، گام مهمی در جهت تسهیل پذیرش کیفیت ۴٫۰ و بهره‌مندی از مزایای آن می‌باشد؛ بنابراین پژوهش حاضر درصدد شناسایی، تحلیل روابط علت و معلولی و اولویت‌بندی موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک از طریق پاسخ به سوالات ذیل می‌باشد:

۱. موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد کدام‌اند؟
۲. موانع علی و معلولی پذیرش کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک کدام‌اند؟
۳. اولویت‌بندی موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک بر اساس اهمیت آن‌ها چگونه است؟

۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

مدیریت کیفیت جامع[1] رویکردی مدیریتی و فلسفه‌ای است که با تمرکز بر کیفیت و دستیابی به تعالی، کسب‌وکار را هدف قرار می‌دهد [15]، [16]. در بستر صنعت ۴٫۰، مدیریت کیفیت جامع می‌تواند با اصول و فناوری‌های اساسی صنعت ۴٫۰ ارتقا و ادغام شود تا شیوه‌های مدیریت کیفیت بهبودیافته‌ای حاصل گردد [13]، [17]، [18]. همان‌طور که ذکر شد ادغام مدیریت کیفیت جامع و صنعت ۴٫۰ را می‌توان به‌عنوان کیفیت ۴٫۰ (یا مدیریت کیفیت جامع ۴٫۰) تلقی کرد که به دیجیتال‌سازی مدیریت کیفیت جامع اشاره دارد [17]، [19–21]. بر اساس اظهارات انجمن کیفیت آمریکا، کیفیت ۴٫۰، آینده کیفیت و تعالی سازمانی در محیط صنعت ۴٫۰ است [22]. این مفهوم، بیانگر چهارمین مرحله تکامل مدیریت کیفیت است. همان‌طور که در **شکل ۱** مشاهده می‌شود سه مرحله اول مدیریت کیفیت شامل کیفیت از طریق بازرسی و کنترل (کیفیت ۱٫۰)، کیفیت از طریق استانداردها و تضمین کیفیت (کیفیت ۲٫۰) و کیفیت از طریق مدیریت کیفیت جامع (کیفیت ۳٫۰) می‌باشد.

کنترل کیفیت رویکردی محصول‌محور است که هدف آن حصول اطمینان از انطباق تمامی محصولات با مشخصات فنی مورد نیاز برای برآورده‌سازی الزامات مشتریان است. این رویکرد با استفاده از روش‌های بازرسی و آماری، نظیر کنترل کیفیت آماری و کنترل فرآیند آماری محصولات معیوب را از چرخه تولید حذف می‌کند. تضمین کیفیت رویکردی فرآیندمحور است که برای حصول اطمینان از استانداردسازی و نگهداری فرآیندهای تولید به‌منظور حفظ سطح کیفیت یکسان محصولات به کار می‌رود. هدف اصلی آن، تایید صحت عملکرد تمامی فرآیندهای مرتبط با تولید به‌گونه‌ای است که محصولات غیرمعیوب تحویل شوند. مدیریت کیفیت جامع رویکردی سازمان‌محور است که برای اطمینان از اجرای تمامی فعالیت‌های درون یک سازمان به‌منظور برآورده‌سازی الزامات و انتظارات مشتریان به کار می‌رود. کیفیت ۴٫۰ دامنه‌ای گسترده‌تر برای مدیریت کیفیت فراهم می‌کند و نظارت فشرده‌ای بر تمامی فعالیت‌های مؤثر در زنجیره ارزش محصول اعمال می‌کند. این رویکرد، فعالیت‌های مدیریت کیفیت را از حالت واکنشی یا پیشگیرانه به حالت پیش‌بینی‌کننده تبدیل می‌کند. این تحول از طریق بازرسی خودکار، تحلیل داده‌های پیشرفته و یکپارچه‌سازی نتایج تحلیل‌ها محقق می‌شود [4].



شکل ۱- کیفیت ۴٫۰ [4].

Figure 1- Quality 4.0 [4].

[1] Total Quality Management (TQM)

به‌طورکلی، مفهوم کیفیت ۴٫۰ در ابتدا به‌عنوان برآیند ادغام ویژگی‌های صنعت ۴٫۰ با رویه‌های سنتی مدیریت کیفیت ظهور کرد [25–23]. این رویکرد، کیفیت ۴٫۰ را به‌عنوان یکپارچه‌سازی فناوری‌های نوین در سیستم‌های مدیریت کیفیت موجود تعریف می‌کند. در مقابل، رویکرد دیگری که توسط آلکاک [26] مورد حمایت قرار گرفته، کیفیت ۴٫۰ را به‌عنوان مرحله تکاملی چهارم و نوینی در مدیریت کیفیت تلقی می‌کند. این دیدگاه، با فرض وجود سه مرحله تکاملی پیشین در حوزه کیفیت (مطابق **شکل ۲**)، بر تحول پارادایمی در این عرصه تاکید دارد [10]. شیوه‌های مدیریت کیفیت سنتی با دو چالش اساسی تغییرات مستمر در نیازهای مشتریان و حفظ سطوح بالای کیفیت در این شرایط پویا مواجه بودند. در مقابل، کیفیت ۴٫۰ با ارایه راهکارهای نوین، امکان پاسخگویی بهتر به این چالش‌ها را فراهم می‌کند. به‌عنوان مثال، یکپارچه‌سازی مشتری مجازی، سیستمی مشارکتی است که به مشتریان امکان می‌دهد نظرات خود را در مورد طراحی محصولات جدید ارایه دهند. این امر، با بهره‌گیری از بازخورد مشتریان در مراحل اولیه طراحی، خطرات مرتبط با عرضه محصولات جدید را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. همچنین، تحقیقات نشان می‌دهد که روش‌ها و ابزارهای سنتی مدیریت کیفیت در شناسایی خطاها و اتخاذ تصمیمات اصلاحی با تأخیر مواجه هستند. کیفیت ۴٫۰ با ادغام مدیریت کیفیت در فرآیندهای فناورانه، امکان نظارت و واکنش بلادرنگ را فراهم می‌سازد. این ویژگی‌ها، کیفیت ۴٫۰ را به گزینه‌ای مطلوب‌تر نسبت به مدیریت کیفیت سنتی تبدیل می‌کند [5].

در سال‌های اخیر پژوهش‌های محدودی به بررسی موانع پیاده‌سازی و پذیرش کیفیت ۴٫۰ و راه‌حل‌های غلبه بر این موانع پرداخته‌اند. در ادامه و در **جدول ۱** به خلاصه برخی از مطالعات انجام‌شده در این زمینه اشاره می‌گردد. آنتونی و همکاران [22] در پژوهشی به بررسی پذیرش کیفیت ۴٫۰ و ارزیابی عوامل بحرانی شکست[1] در پیاده‌سازی آن پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش مهم‌ترین عوامل بحرانی شکست، مقاومت در برابر تغییر و عدم درک مفهوم صنعت چهارم و عدم دسترسی یا در دسترس نبودن آموزش در زمینه صنعت چهارم شناسایی شدند. در پژوهشی دیگر ویرمانی و همکاران [14] به تحلیل موانع کلیدی و راهکارهای مرتبط با کیفیت ۴٫۰ با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه پرداختند. در نهایت نتایج نشان داد که "عدم استفاده از تحلیل‌های پیشرفته برای کشف ابتکارات کیفیت ۴٫۰" و "عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف در سطح سازمان" از جمله مهم‌ترین موانع و "اجرای برنامه توسعه رهبری با تمرکز بر کیفیت ۴٫۰" و "ایجاد محیط یادگیری همکارانه میان واحدهای سازمانی" به‌عنوان مهم‌ترین راهکارها در زمینه می‌باشند.

روی گاتک و گارزا ریس [27] پژوهشی را با هدف تحلیل گذار به کیفیت ۴٫۰ و تحول داده‌محور در چارچوب‌های سازمانی با استفاده از روش‌های *ISM* و *MICMAC* انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش فقدان استانداردهای کیفیت ۴٫۰ و ابزارهای تحلیل داده‌های کلان به‌عنوان موانع اساسی برای ادغام کیفیت ۴٫۰ در بخش تولیدی کشور هند معرفی شدند. کالو مورا و همکاران [28] در پژوهش خود به تحلیل موانع پیش روی سازمان‌ها در مسیر پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ پرداختند. در نهایت، نتایج نشان داد که هرچه سازمان‌ها آمادگی بیشتری برای پیاده‌سازی Q 4.0 داشته باشند، با موانع کمتری روبه‌رو خواهند شد. در پژوهشی دیگر یوویچیچ و همکاران [3] به بررسی تاثیر رفع موانع اجرای کیفیت ۴٫۰ بر عملکرد سازمان‌ها در عصر صنعت ۴٫۰ پرداختند. تمرکز این پژوهش بر شناسایی موانع و ارایه راهکارهای رفع آن‌ها در زمینه کیفیت ۴٫۰ با هدف غلبه بر مشکلات استقرار کیفیت ۴٫۰ که تاثیر به‌ویژه بالایی بر بهبود عملکرد کلی سازمان دارند، معطوف شد. کومار و همکاران [29] در پژوهشی به بررسی تسهیل‌کننده‌ها و موانع کیفیت ۴٫۰ پرداختند و سپس بر اساس آموخته‌های حاصل از مطالعه تسهیل‌کننده‌ها و موانع، نویسندگان شیوه‌های کیفیت ۴٫۰ را در یک صنعت تولید کاغذ پیاده‌سازی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که پیاده‌سازی فناوری‌های اینترنت اشیا کیفیت محصولات را بهبود بخشیده و ضایعات را کاهش داده است. سونی و همکاران [7] در پژوهش خود به بررسی محرک‌ها، موانع و مشوق‌های پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ پرداختند. در این پژوهش ابتدا پنج عامل برتر در هر یک از حوزه‌های محرک‌ها، موانع و مشوق‌های پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ شناسایی شد و سپس این عوامل بر اساس نظر متخصصان ارشد کیفیت رتبه‌بندی شدند.

[1] Critical Failure Factors (CFFs)

صادقی‌مقدم و همکاران [5] در پژوهشی دیگر به بررسی موانع به‌کارگیری کیفیت ۴٫۰ در موسسه شهر کتاب پرداختند. در این پژوهش پس از شناسایی موانع کیفیت ۴٫۰، با به‌کارگیری تکنیک بهترین- بدترین بیزین به اولویت‌بندی موانع تاییدشده، پرداخته شد. در نهایت بر اساس نتایج پژوهش هزینه‌های بالای استقرار زیرساخت‌های کیفیت ۴٫۰، کمبود نیروی انسانی آموزش‌دیده و واجد شرایط و یکپارچه‌سازی دیجیتال به‌عنوان مهم‌ترین موانع در این زمینه شناسایی شدند.

خوش‌سپهر و همکاران [30] در پژوهش خود به علم‌سنجی و تجزیه‌وتحلیل روند پژوهش‌ها در حوزه انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴٫۰ پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان داد که در سال‌های اخیر، تولید به سمت هوشمندشدن حرکت کرده است و کنترل کیفیت باید اتوماتیک و با کمک ربات‌ها انجام شود، این امر باید در سطحی گسترش یابد که بتوان تمامی بخش‌های سازمان را با کمک فناوری‌های هوشمند، بهبود بخشید که دستیابی به این امر منجر به کیفیت هوشمند یا کیفیت ۴٫۰ می‌شود. طلایی و همکاران [31] در پژوهشی به طراحی ساختار محرک‌های استقرار مناسب کیفیت ۴٫۰ با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی ساختاری تفسیری و مدل‌سازی معادلات ساختاری پرداختند. یافته‌های پژوهش اثرپذیری بالای محرک‌های پاداش و کنترل کلان داده‌ها در استقرار مناسب کیفیت ۴٫۰ را نشان دادند.

جدول ۱- پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰.

Table 1- Studies on the barriers of implementing quality 4.0.

پژوهشگر	هدف	روش	مهم‌ترین نتایج
آنتونی و همکاران [22]	بررسی پذیرش کیفیت ۴٫۰ و ارزیابی عوامل بحرانی شکست در پیاده‌سازی آن	رویکرد کیفی مبتنی بر مصاحبه‌های عمیق	بر اساس نتایج این پژوهش مهم‌ترین عوامل بحرانی شکست: مقاومت در برابر تغییر و عدم درک مفهوم صنعت چهارم و عدم دسترسی یا در دسترس نبودن آموزش در زمینه صنعت چهارم شناسایی شدند.
ویرمانی و همکاران [14]	تحلیل موانع کلیدی و راهکارهای مرتبط با کیفیت ۴٫۰	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی	بر اساس نتایج این پژوهش "عدم استفاده از تحلیل‌های پیشرفته برای کشف ابتکارات کیفیت ۴٫۰ "و "عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف در سطح سازمان" از جمله مهم‌ترین موانع و "اجرای برنامه توسعه رهبری با تمرکز بر کیفیت ۴٫۰ "و "ایجاد محیط یادگیری همکارانه میان واحدهای سازمانی "به‌عنوان مهم‌ترین راهکارها در زمینه شناسایی شدند.
روی گاتک و گارزا ریس [27]	بررسی موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰ در بخش تولیدی کشور هند	مدل‌سازی ساختاری تفسیری و میک‌مک	بر اساس نتایج این پژوهش فقدان استانداردهای کیفیت ۴٫۰ و ابزارهای تحلیل داده‌های کلان به‌عنوان موانع اساسی برای ادغام کیفیت ۴٫۰ در بخش تولیدی کشور هند معرفی شدند.
کالو مورا و همکاران [28]	تحلیل موانع پیش روی سازمان‌ها در مسیر پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰	تحلیل عاملی اکتشافی	بر اساس نتایج این پژوهش؛ موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در سه بعد سازمانی، دانشی و فناوری دسته‌بندی شدند همچنین بر اساس نتایج سرمایه‌گذاری بالای مورد نیاز در فناوری برای پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ و نیاز به آموزش و شایستگی بیشتر کارکنان به‌عنوان مهم‌ترین موانع در این زمینه شناسایی شدند.
یوویچیچ و همکاران [3]	بررسی تاثیر رفع موانع اجرای کیفیت ۴٫۰ بر عملکرد سازمان‌ها در عصر صنعت ۴٫۰	مرور نظام‌مند	بر اساس نتایج پژوهش هفت مانع کلیدی در راستای استقرار کیفیت ۴٫۰ در سازمان‌ها به همراه راهکارهایی جهت رفع این موانع و تاثیر این راهکارها بر عملکرد سازمان‌ها ارایه شد.

جدول ۱- ادامه.
Table 1- Continued.

پژوهشگر	هدف	روش	مهم‌ترین نتایج
سونی و همکاران [7]	بررسی محرک‌ها، موانع و مشوق‌های پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰	نظرسنجی آنلاین از متخصصان ارشد کیفیت شاغل در شرکت‌های پیشرو در اروپا و آمریکا	بر اساس نتایج این پژوهش اطلاعات قابل‌اعتماد به‌عنوان مهم‌ترین محرک پذیرش کیفیت ۴٫۰ و هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه به‌عنوان مهم‌ترین مانع در این زمینه شناسایی شدند.
صادقی‌مقدم و همکاران [5]	بررسی موانع به‌کارگیری کیفیت ۴٫۰ در موسسه شهر کتاب	روش بهترین-بدترین بیزین	بر اساس نتایج این پژوهش هزینه‌های بالای استقرار زیرساخت‌های کیفیت ۴٫۰، کمبود نیروی انسانی آموزش‌دیده و واجد شرایط و یکپارچه‌سازی دیجیتال به‌عنوان مهم‌ترین موانع در این زمینه شناسایی شدند.
طلایی و همکاران [31]	طراحی ساختار محرک‌های استقرار مناسب کیفیت ۴٫۰	مدل‌سازی ساختاری تفسیری و مدل‌سازی معادلات ساختاری	یافته‌های پژوهش اثرپذیری بالای محرک‌های پاداش و کنترل کلان داده‌ها در استقرار مناسب کیفیت ۴٫۰ را نشان دادند.

با بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش، مشخص گردید که اغلب مطالعات انجام‌شده در این زمینه، به رتبه‌بندی موانع پذیرش کیفیت ۴٫۰ پرداخته‌اند و کمتر به تحلیل روابط علی و معلولی بین این موانع توجه نموده‌اند. ازاین‌رو، نوآوری پژوهش حاضر، ارایه یک الگوی روابط علی و معلولی بین موانع و اولویت‌بندی آن‌ها در صنعت کاشی و سرامیک با استفاده از رویکرد ترکیبی *DANP* فازی است.

در روش‌های سنتی و کلاسیک برای حل مدل ترکیبی آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری (*DEMATEL*) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (*ANP*) این کار صورت می‌گرفت که با استفاده از روش دیمتل، ماتریس ارتباطات کل محاسبه می‌شد؛ سپس از آن مقدار آستانه گرفته می‌شد و از روی مقدار آستانه و ماتریس ارتباطات کل، روابط بین ابعاد و معیارها استخراج و به روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای محاسبه می‌شد و سپس دوباره مقایسات زوجی انجام شده و وزن ابعاد و معیارها محاسبه می‌گشت (یکی از معایب این روش این است که با در نظر گرفتن مقدار آستانه تعداد زیادی از روابط درونی حذف می‌شود)؛ اما مزیت رویکرد *DANP* نسبت به رویکرد سنتی این است که دیگر از ماتریس ارتباطات کل مقدار آستانه گرفته نمی‌شود (این کار باعث می‌شود تمام روابط درونی حفظ شود) و با همان اعداد تاثیرگذاری کل، سوپر ماتریس اولیه تشکیل شده و سپس ماتریس موزون به توان بی‌نهایت می‌رسد تا وزن نهایی ابعاد و معیارها محاسبه شود [32]. علاوه براین، با ترکیب دیمتل فازی (برای تحلیل روابط علی) و *ANP* فازی (برای وزن‌دهی)، نیاز به مقایسات متعدد در *ANP* فازی کاهش می‌یابد. رویکرد ترکیبی *DANP* فازی به‌طور هم‌زمان با شناسایی موانع کلیدی، تعیین میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری و اولویت¬بندی آن¬ها به مدیران و تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی برای رفع این موانع یاری می‌رساند.

۳- روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش از نظر هدف جز تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای قلمداد می‌شود زیرا به دنبال توسعه الگویی علمی و نوین از موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در سازمان‌ها می‌باشد. بدین منظور، در مرحله اول موانع موثر در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ از طریق روش مرور سیستماتیک شناسایی شدند و در مرحله دوم تحقیق، محققان از طریق روش ترکیبی *DEMATEL-ANP* فازی به دنبال تعیین میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری موانع شناسایی‌شده و اولویت‌بندی آن‌ها هستند. مرور نظامند متون عبارت است از اقدام هماهنگ برای شناسایی سیستماتیک کلیه پژوهش‌ها و استنباط نتیجه‌ای جدید از نتایج پژوهش‌های قبلی و بررسی داده‌های مطالعات با کیفیت مطلوب و در بعضی موارد تجزیه‌وتحلیل کمی آن‌ها با روشی استاندارد و نظام‌مند که برای پاسخ به سوالی مرتبط انجام می‌شود. مرور نظام‌مند متون شامل چهار مرحله اساسی به شرح ۱- تصمیم‌گیری در زمینه نوع متونی که قرار است مرور شوند، ۲- مطالعه و درک محتوای آثار نویسندگان، ۳- ارزیابی ایده‌ها، روش‌های پژوهشی و نتایج هر یک از مطالعات و ۴- جمع‌بندی و تلفیق محتوای متون یا شواهد مورد بررسی می‌باشد [33].

جامعه آماری در مرحله اول پژوهش شامل کلیه پژوهش‌های منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و خارجی مرتبط با موانع موثر بر اجرای کیفیت ۴٫۰ در سازمان‌ها تا زمان انجام این پژوهش می‌باشد. در مرحله دوم پژوهش، جامعه آماری دربرگیرنده تمامی اساتید و مدیران حوزه کیفیت و آشنا به موضوع صنعت ۴٫۰ و مدیریت کیفیت در صنعت کاشی و سرامیک یزد می‌باشد. خبرگان بر اساس معیارهایی همچون سابقه کاری حداقل ۱۰ سال در حوزه کیفیت و صنعت ۴٫۰، داشتن مدرک تحصیلی مرتبط (کارشناسی ارشد یا دکتری) و سابقه مدیریتی در صنعت کاشی و سرامیک انتخاب شدند. از میان این افراد، ۱۵ نفر شامل ۳ نفر از اساتید دانشگاهی و ۱۲ نفر از متخصصان صنعت کاشی و سرامیک یزد، با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. میانگین سابقه کاری خبرگان ۱۵ سال و تمامی آن‌ها دارای تجربه مستقیم در پیاده‌سازی سیستم‌های کیفیت و آشنایی با فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴٫۰ بودند. علاوه‌براین، برای اعتبارسنجی نتایج پژوهش، از روش مثلث‌سازی استفاده شد که در آن داده‌های حاصل از مرور سیستماتیک و اولویت‌بندی عوامل با نظرات خبرگان مقایسه و تایید شد. در نهایت، نتایج نهایی پژوهش در جلسه‌ای با حضور خبرگان ارایه و تایید شد. در این پژوهش، جهت کاوش روابط علت و معلولی و تعیین میزان درجه‌ی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر یک موانع در و از یکدیگر، از دیمتل فازی مطابق با مراحل ذیل استفاده شد.

گام ۱- عوامل ارزیابی که دارای ماهیت ارتباطات علی هستند و معمولا تعداد زیادی از حالات پیچیده را دربر می‌گیرد تدوین و برای مواجهه با ابهام قضاوت انسانی مقیاس کلامی فازی طبق الگوی **جدول ۲** طراحی می‌شود.

جدول ۲- اعداد فازی مثلثی متغیرهای کلامی.

Table 2- Triangular fuzzy numbers of linguistic variables.

متغیر کلامی	مقیاس عددی	اعداد فازی مثلثی متناظر
بدون تاثیر	0	(0, 0, 0.25)
تاثیر خیلی کم	1	(0, 0.25, 0.5)
تاثیرکم	2	(0.25, 0.5, 0.75)
تاثیر زیاد	3	(0.5, 0.75, 1)
تاثیر خیلی زیاد	4	(0.75, 1, 1)

گام ۲- نظر خبرگان اخذ و میانگین آن‌ها محاسبه می‌شود. برای این‌کار، با درنظر گرفتن تعداد P خبره، P ماتریس $Z^1, Z^2, \ldots, Z^p$ به دست می‌آید که هر درایه‌ی آن‌ها با اعداد فازی مربوط مشخص می‌شدند. برای محاسبه ماتریس میانگین از رابطه $Z = \frac{Z^1 \oplus Z^2 \oplus \ldots Z^P}{P}$ استفاده می‌شود. این ماتریس «ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم» نامیده می‌شود؛ طوری که در آن $Z_{ij} = (I_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ (مقدار هر درایه از ماتریس Z) اعداد فازی مثلثی‌اند. در ضمن با توجه به اینکه عناصر قطر اصلی صفر بودند در ماتریس به‌صورت (۰، ۰، ۰) مشخص می‌شوند.

گام ۳- از طریق روابط زیر مقیاس‌های شاخص‌ها به مقیاس‌های قابل‌مقایسه تبدیل می‌شوند. در رابطه زیر، ماتریس X «ماتریس فازی روابط مستقیم استانداردشده» نامیده می‌شود:

$$a_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{i} I_{ij}, \sum_{j=1}^{i} m_{ij}, \sum_{j=1}^{i} u_{ij}\right). \quad (۱)$$

$$r = max_{1 \leqslant i \leqslant n}\left(\sum_{j=1}^{i} u_{ij}\right). \quad (۲)$$

$$x_{ij} = \frac{Z_{ij}}{r} = (I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij}). \quad (۳)$$

گام ۴- ماتریس فازی روابط مجموع T به دست می‌آید. توضیح آنکه $x_{ij} = (I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ و مقادیر درایه‌های ماتریس‌های X_u, X_m, X_I به ترتیب شامل مقادیر I' و m' و u' در ماتریس X هستند.

$$XI = [I''_{ij}], Xm = [m''_{ij}], Xu = [u''_{ij}]. \quad (۴)$$

نظر به اینکه $t_{ij} = (I_{ij}^{"}, m_{ij}^{"}, u_{ij}^{"})$ است، داریم:

$$[I_{ij}^{"}] = X_I \times (I - X_I)^{-1}. \quad (۵)$$

$$[m_{ij}^{"}] = X_m \times (I - X_m)^{-1}. \quad (۶)$$

$$[u_{ij}^{"}] = X_u \times (I - X_u)^{-1}. \quad (۷)$$

در این رابطه، I ماتریس یکه، XI، Xm و Xu هر کدام ماتریس $n \times n$ هستند که درایه‌های آن به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس X را تشکیل می‌دهد.

گام ۵- به دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T که با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$\tilde{D} = (\tilde{D}_i)_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} \tilde{T}_{ij}\right]_{n\times 1}. \quad (۸)$$

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1\times n} = \left[\sum_{i=1}^{n} \tilde{T}_{ij}\right]_{1\times n}. \quad (۹)$$

که $\tilde{D}$ و $\tilde{R}$ به ترتیب ماتریس $n \times 1$ و $1 \times n$ هستند.

گام ۶- مشخص کردن میزان اهمیت شاخص‌ها $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و روابط بین معیارها $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$. اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i > 0$ باشد، معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است.

گام ۷- دیفازی کردن اعداد فازی $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ به‌دست‌آمده از مرحله قبلی که طبق رابطه زیر انجام می‌شود. در این رابطه، B دیفازی شده عدد $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ می‌باشد.

$$B = \frac{l+m+n}{3}. \quad (۱۰)$$

۱-۳- روش ANP و روش ترکیبی DANP فازی

روش *ANP* حالت عمومی تحلیل سلسله مراتبی *AHP* بوده که در آن روابط فقط به‌صورت سلسله مراتبی تعریف‌نشده شبکه رسم شده در برگیرنده روابط بیشتری می‌باشد. در این روش ابتدا می‌بایست ساختار شبکه‌ای مساله مدل‌سازی شود. به‌منظور این کار از روش دیمتل و ساختار ایجادشده توسط این روش استفاده می‌گردد. پس از ساخت این شبکه در میان معیارهای اصلی مشخص می‌گردد کدام معیارها بر یکدیگر تاثیرگذار بوده (روابط بیرونی) و زیرمعیارهای کدامیک از معیارها بر یکدیگر اثرگذارند (روابط درونی). در مرحله بعدی این روش می‌بایست به ازای تک‌تک روابط موجود در ساختار شبکه مقایسات زوجی بین معیارها و زیر معیارها صورت گیرد. این مقایسات طبق پژوهش ساعتی[1] با ثابت کردن یک عامل میان سایر عوامل باید صورت گیرد که مشخصا پیچیده و زمان‌گیر خواهد بود. همان‌طور که اشاره شد به‌منظور جلوگیری از به وجود آمدن این موضوع روش *DANP* فازی ارایه شد. در این روش از ماتریس ارتباطات کامل به وجود آمده در روش دیمتل فازی به‌عنوان سوپر ماتریس مقایسات زوجی استفاده شده است. مراحل این روش به شرح ذیل می‌باشد:

[1] Saaty

گام ۱- ایجاد ساختار شبکه‌ای میان معیارها و محاسبه ماتریس ارتباطات کامل میان معیارها و زیرمعیارها با استفاده از دیمتل فازی

گام ۲- تشکیل سوپر ماتریس وزن‌دار نشده از روی ماتریس ارتباطات کامل؛ این گام یک‌مرتبه به ازای ماتریس ارتباطات کامل میان معیارها و بار دیگر بر روی ماتریس ارتباطات کامل میان زیر معیارها انجام می‌گردد. اگر ماتریس ارتباطات کامل به‌دست‌آمده از روش دیمتل فازی را T بنامیم برای به دست آوردن سوپر ماتریس وزن‌دار نشده (T_c^{α}) می‌بایست ابتدا داده‌های موجود در هر بلاک مربوط به زیرمعیارهای یک معیار، را نرمال نموده و ترا نهاده ماتریس نهایی به‌دست‌آمده از کنار هم قرار دادن بلاک‌ها را به‌عنوان سوپر ماتریس وزن‌دار شده در نظر می‌گیریم.

$$T=\begin{bmatrix} T^{11} & \cdots & T^{1j} & \cdots & T^{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T^{j1} & \cdots & T^{ij} & \cdots & T^{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T^{m1} & \cdots & T^{mj} & \cdots & T^{mm} \end{bmatrix}. \qquad (۱۱)$$

$$T^{11}=\begin{bmatrix} T_{11}^{11} & \cdots & T_{12}^{11} & \cdots & T_{1m_2}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_{21}^{11} & \cdots & T_{22}^{11} & \cdots & T_{2m_2}^{11} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{m_1 1}^{11} & \cdots & T_{m_1 2}^{11} & \cdots & T_{m_1 m_2}^{11} \end{bmatrix}. \qquad (۱۲)$$

با تقسیم عناصر هر سطر ماتریس T^{ij} بر مجموع عناصر همان سطر و کنار هم قرار دادن آن‌ها ماتریس نرمال شده به دست T^{α} می‌آید. سوپر ماتریس وزن‌دار نشده عبارت خواهد بود از ترانهاده ماتریس به‌دست‌آمده در این مرحله:

$$T_c^{\alpha}=\begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{matrix}\begin{bmatrix} T_c^{\alpha 11} & \cdots & T_c^{\alpha 1j} & \cdots & T_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha i1} & \cdots & T_c^{\alpha ij} & \cdots & T_c^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{\alpha n1} & \cdots & T_c^{\alpha nj} & \cdots & T_c^{\alpha nn} \end{bmatrix}. \qquad (۱۳)$$

گام ۳- تشکیل سوپر ماتریس وزن‌دار؛ در این گام با استفاده از سوپر ماتریس وزن‌دار نشده میان معیارهای اصلی عنصر مربوط به هر بلاک، سوپر ماتریس مربوط به زیر معیارها در عناصر بلاک ضرب شده و سوپر ماتریس وزن‌دار (W) تشکیل می‌گردد.

$$W=(T_c^{\alpha})'=\begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{matrix}\begin{bmatrix} W^{11} & \cdots & W^{i1} & \cdots & W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1j} & \cdots & W^{ij} & \cdots & W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W^{1n} & \cdots & W^{in} & \cdots & W^{nn} \end{bmatrix}. \qquad (۱۴)$$

$$W^{\propto}=T_D^{\propto}W=\begin{bmatrix} T_D^{\propto 11}\times W^{11} & \cdots & T_D^{\propto i1}\times W^{i1} & \cdots & T_D^{\propto n1}\times W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_D^{\propto 1j}\times W^{1j} & \cdots & T_D^{\propto ij}\times W^{ij} & \cdots & T_D^{\propto nj}\times W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_D^{\propto 1n}\times W^{1n} & \cdots & T_D^{\propto in}\times W^{in} & \cdots & T_D^{\propto nn}\times W^{nn} \end{bmatrix}. \qquad (۱۵)$$

گام ۴- تعیین اولویت‌های نهایی؛ پس از تشکیل سوپر ماتریس وزن‌دار شده با استفاده از حد بی‌نهایت ماتریس تشکیل‌شده، وزن‌های نهایی تعیین می‌گردد.

$$\lim_{k\to\infty} W^k. \qquad (۱۶)$$

۴- یافته‌ها

مرحله ۱- استخراج موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰

در مرحله اول مرور سیستماتیک، با هدف شناسایی موانع اجرای کیفیت ۴٫۰ در سازمان‌ها، فرآیندی ساختاریافته و روشمند دنبال شد. در گام نخست، سوال تحقیق به‌طور شفاف تعریف (موانع اجرای کیفیت ۴٫۰ در سازمان‌ها کدام‌اند؟) و معیارهای انتخاب منابع (شامل سال انتشار، حوزه موضوعی، نوع منبع و زبان) مشخص شد. در ادامه، با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با کیفیت ۴٫۰ و موانع اجرایی آن، جستجوی جامعی در پایگاه داده علمی *Scopus* انجام گرفت. این جستجو منجر به شناسایی طیف وسیعی از مقالات شد. در پژوهش حاضر، این کلیدواژه‌ها در پایگاه علمی اسکاپوس به‌صورت زیر انجام شد:

"Quality 4.0"

"Industry 4.0" and "Quality"

"Barriers" or "Challenges"

پس از جمع‌آوری منابع، فرآیند غربالگری با اعمال معیارهای از پیش تعیین‌شده آغاز شد. در این مرحله، عنوان، چکیده و متن کامل منابع به‌دقت بررسی شدند تا تنها مطالعات مرتبط و باکیفیت وارد فرآیند تحلیل شوند. همچنین، کیفیت روش‌شناختی و اعتبار علمی منابع ارزیابی گردید. در گام بعدی، داده‌های مربوط به موانع اجرای کیفیت ۴٫۰ از منابع انتخاب‌شده استخراج شد. این داده‌ها شامل تعاریف، مثال‌ها و تحلیل‌های ارایه‌شده درباره موانع اجرایی بودند که در نهایت به شناسایی ۱۸ مانع اصلی انجامید. در مرحله پایانی، موانع شناسایی‌شده بر اساس تشابه مفهومی و موضوعی در چهار بعد کلی شامل موانع مالی و اقتصادی، فنی و زیرساختی، فرهنگی و انسانی و موانع سازمانی و مدیریتی دسته‌بندی شدند. در **جدول ۳** می‌توان نتایج مرور سیستماتیک و موانع شناسایی‌شده را مشاهده کرد.

جدول ۳- موانع اجرای کیفیت ۴٫۰.

Table 3- Barriers of implementing quality 4.0.

ردیف	ابعاد	موانع اجرای کیفیت ۴٫۰	منابع
1	موانع مالی و اقتصادی	هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه	[7]، [34]
2		کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰	[7]
3		مزیت رقابتی نامشخص	[7]
4	موانع فنی و زیرساختی	کمبود مدل‌ها و چارچوب‌های مرجع و استاندارد برای اجرای کیفیت ۴٫۰	[7]، [10]، [28]، [35]
5		کمبود زیرساخت‌های فنی و دیجیتال در سازمان	[14]، [17]، [28]
6		عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف سازمان	[14]
7		نگرانی از مسایل مربوط به امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	[17]، [36]
8	موانع فرهنگی و انسانی	کمبود نیروی کار ماهر و متخصص (مانند مدیران کیفیت، مهندسان کیفیت و مدیران ارشد کیفیت)	[8]، [10]، [12]، [28]، [36]
9		ترس از دست دادن شغل و مقاومت کارکنان در برابر تغییرات ناشی از اجرای کیفیت ۴٫۰	[12]، [29]، [36]
10		نبود فرهنگ دیجیتال در سازمان	[37]، [38]
11		نبود مهارت‌های اجرایی در بین مدیریت ارشد و کارکنان	[12]
12	موانع سازمانی و	عدم آگاهی و درک کافی از فناوری‌های جدید	[8]، [38–40]
13	مدیریتی	عدم تعهد قوی رهبری و مدیریت ارشد سازمان به کیفیت ۴٫۰	[14]، [28]
14		عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰	[14]
15		عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی	[12]
16		استراتژی دیجیتال نامشخص در سازمان	[36]
17		کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت	[17]
18		عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل	[41]

مرحله ۲- بررسی روابط علت و معلولی و اولویت‌بندی موانع اجرای کیفیت ۴٫۰

در این پژوهش برای تعیین میزان تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری و میزان اهمیت موانع از تکنیک ترکیبی *DEMATEL-ANP* فازی استفاده شد. با توجه به فرآیند انجام این تکنیک که در بخش‌های گذشته تشریح شد، در ابتدا ماتریس‌های اولیه تکمیل‌نشده در اختیار ۱۵ نفر از خبرگان قرارگرفته شد و از

آنان درخواست گردید که با مقایسه زوجی موانع با یکدیگر، شدت تاثیر عامل سطری را بر عوامل ستونی را به‌صورت عددی میان ۰ تا ۴ در خانه‌های مربوط به آن‌ها درج کنند. سپس مطابق با **جدول ۲**، این اعداد، به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند. در مرحله بعد، پس از جمع‌بندی و محاسبه میانگین حسابی نظرات خبرگان و نرمال‌سازی ماتریس اولیه روابط مستقیم فازی، ماتریس روابط مستقیم فازی نرمال شده حاصل شد (**جدول ۴**).

جدول ۴- ماتریس نرمال فازی (شدت روابط مستقیم).

Table 4- Fuzzy normal matrix (direct relationship intensity).

موانع	1	2	.....	17	18
1	(0, 0, 0)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0.045, 0.06, 0.06)	(0.045, 0.06, 0.06)
2	(0, 0.015, 0.03)	(0, 0, 0)	.....	(0.045, 0.06, 0.06)	(0.045, 0.06, 0.06)
3	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0, 0.015, 0.03)	(0.015, 0.03, 0.045)
4	(0.013, 0.028, 0.043)	(0.027, 0.042, 0.057)	.....	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.015, 0.03, 0.045)
5	(0, 0.015, 0.03)	(0, 0.015, 0.03)	.....	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)
6	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0.009, 0.024, 0.039)	(0.015, 0.03, 0.045)
7	(0, 0.015, 0.03)	(0.03, 0.045, 0.06)	.....	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.021, 0.036, 0.048)
8	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)	.....	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.015, 0.03, 0.045)
9	(0.015, 0.03, 0.045)	(0, 0.015, 0.03)	.....	(0.045, 0.06, 0.06)	(0.045, 0.06, 0.06)
10	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)	.....	(0.045, 0.06, 0.06)	(0, 0.01, 0.025)
11	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.045, 0.06, 0.06)	.....	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.03, 0.045, 0.06)
12	(0, 0.015, 0.03)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.03, 0.045, 0.06)
13	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)	.....	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)
14	(0.004, 0.019, 0.034)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0.04, 0.055, 0.06)	(0, 0.015, 0.03)
15	(0.013, 0.028, 0.039)	(0.024, 0.039, 0.049)	.....	(0.031, 0.046, 0.051)	(0.01, 0.021, 0.036)
16	(0.03, 0.045, 0.06)	(0.03, 0.045, 0.06)	.....	(0.021, 0.036, 0.051)	(0.045, 0.06, 0.06)
17	(0.015, 0.03, 0.045)	(0.013, 0.028, 0.039)	.....	(0, 0, 0)	(0.019, 0.034, 0.049)
18	(0, 0.015, 0.03)	(0.015, 0.03, 0.045)	.....	(0.015, 0.03, 0.045)	(0, 0, 0)

بعد از نرمال‌سازی نظر خبرگان در رابطه با ابعاد، ماتریس T طبق روابط مرحله چهارم تکنیک دیمتل فازی برای هرکدام از حدهای فازی (L، M و U) محاسبه و در نهایت با ترکیب سه ماتریس، ماتریس روابط مجموع نهایی T در قالب **جدول ۵** حاصل آمد.

جدول ۵- ماتریس T فازی.

Table 5- Fuzzy T matrix.

موانع	1	2	.....	17	18
1	(0.012, 0.053, 0.169)	(0.033, 0.095, 0.235)	.....	(0.067, 0.134, 0.26)	(0.064, 0.128, 0.251)
2	(0.011, 0.063, 0.188)	(0.016, 0.06, 0.18)	.....	(0.063, 0.126, 0.248)	(0.061, 0.121, 0.239)
3	(0.018, 0.052, 0.151)	(0.02, 0.059, 0.167)	.....	(0.006, 0.049, 0.16)	(0.02, 0.06, 0.168)
4	(0.022, 0.067, 0.182)	(0.039, 0.089, 0.214)	.....	(0.03, 0.086, 0.213)	(0.028,0.081, 0.205)
5	(0.007, 0.051, 0.171)	(0.011, 0.06, 0.19)	.....	(0.042, 0.095, 0.228)	(0.04, 0.09, 0.219)
6	(0.017, 0.046, 0.133)	(0.018, 0.05, 0.146)	.....	(0.013, 0.047, 0.146)	(0.019, 0.052, 0.148)
7	(0.008, 0.054, 0.181)	(0.041, 0.091, 0.229)	.....	(0.044, 0.1, 0.24)	(0.033, 0.086, 0.219)
8	(0.037, 0.082, 0.204)	(0.042, 0.092, 0.225)	.....	(0.045, 0.1, 0.234)	(0.029, 0.081, 0.213)
9	(0.022, 0.067, 0.184)	(0.011, 0.063, 0.189)	.....	(0.057, 0.113, 0.227)	(0.057, 0.109,0.219)
10	(0.037, 0.076, 0.184)	(0.04, 0.084, 0.202)	.....	(0.057, 0.105, 0.211)	(0.013, 0.054, 0.171)
11	(0.022, 0.069, 0.191)	(0.055, 0.107, 0.226)	.....	(0.031, 0.088, 0.223)	(0.043, 0.098, 0.229)
12	(0.008, 0.055, 0.177)	(0.027, 0.079, 0.211)	.....	(0.031, 0.088, 0.221)	(0.043, 0.096, 0.227)
13	(0.037, 0.083, 0.204)	(0.042, 0.094, 0.225)	.....	(0.044, 0.102, 0.236)	(0.044, 0.098, 0.228)
14	(0.007, 0.038, 0.129)	(0.018, 0.053, 0.152)	.....	(0.044, 0.082, 0.173)	(0.003, 0.04, 0.14)
15	(0.015, 0.045, 0.13)	(0.027, 0.06, 0.152)	.....	(0.036, 0.073, 0.161)	(0.015, 0.045, 0.142)
16	(0.035, 0.076, 0.188)	(0.039, 0.085, 0.206)	.....	(0.035, 0.086, 0.208)	(0.056, 0.103, 0.209)
17	(0.017, 0.05, 0.143)	(0.017, 0.053, 0.151)	.....	(0.005, 0.032, 0.122)	(0.025, 0.063, 0.163)
18	(0.003, 0.038, 0.139)	(0.019, 0.058, 0.167)	.....	(0.02, 0.064, 0.175)	(0.005, 0.32, 0.126)

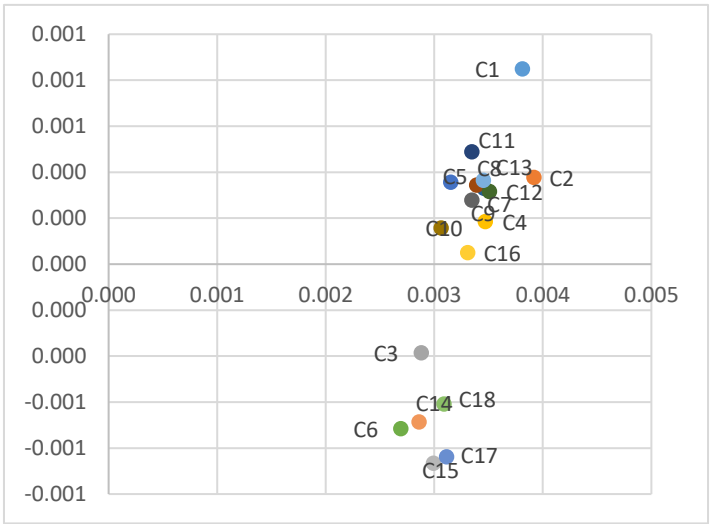
در ادامه، D (جمع سطرها) و R (جمع ستون‌ها) محاسبه و با توجه به روش مرکز ناحیه از حالت فازی خارج شدند. نتیجه به همراه $D+R$ و $D-R$ در **جدول ۶** مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که موانع «هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه»، «نبود مهارت‌های اجرایی در بین مدیریت ارشد و کارکنان» و «کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰» به ترتیب تاثیرگذارترین (علت) موانع و موانع « عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی»، «کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت» و « عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف سازمان» به ترتیب تاثیرگذارپذیرترین (معلول) موانع در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شوند.

جدول ۶- محاسبات D و R.

Table 6- Calculations of D and R.

ردیف	موانع	$(D_i)^{def}$	$(R_i)^{def}$	D+R	D-R	نوع
1	هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه	2.332	1.482	3.814	0.850	علت
2	کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰	2.148	1.770	3.918	0.377	علت
3	مزیت رقابتی نامشخص	1.248	1.633	2.881	-0.385	معلول
4	کمبود مدل‌ها و چارچوب‌های مرجع و استاندارد برای اجرای کیفیت ۴٫۰	1.829	1.643	3.472	0.186	علت
5	کمبود زیرساخت‌های فنی و دیجیتال در سازمان	1.754	1.397	3.151	0.357	علت
6	عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف سازمان	0.988	1.704	2.692	-0.715	معلول
7	نگرانی از مسایل مربوط به امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	1.895	1.565	3.459	0.330	علت
8	کمبود نیروی کار ماهر و متخصص	1.868	1.525	3.393	0.343	علت
9	ترس از دست دادن شغل و مقاومت کارکنان در برابر تغییرات ناشی از اجرای کیفیت ۴٫۰	1.812	1.534	3.346	0.278	علت
10	نبود فرهنگ دیجیتال در سازمان	1.610	1.453	3.064	0.157	علت
11	نبود مهارت‌های اجرایی در بین مدیریت ارشد و کارکنان	1.918	1.430	3.347	0.488	علت
12	عدم آگاهی و درک کافی از فناوری‌های جدید	1.912	1.596	3.508	0.317	علت
13	عدم تعهد قوی رهبری و مدیریت ارشد سازمان به کیفیت ۴٫۰	1.909	1.544	3.453	0.365	علت
14	عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰	1.087	1.773	2.859	-0.686	معلول
15	عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی	1.064	1.929	2.993	-0.865	معلول
16	استراتژی دیجیتال نامشخص در سازمان	1.679	1.629	3.308	0.050	علت
17	کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت	1.138	1.976	3.114	-0.838	معلول
18	عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل	1.241	1.850	3.091	-0.609	معلول

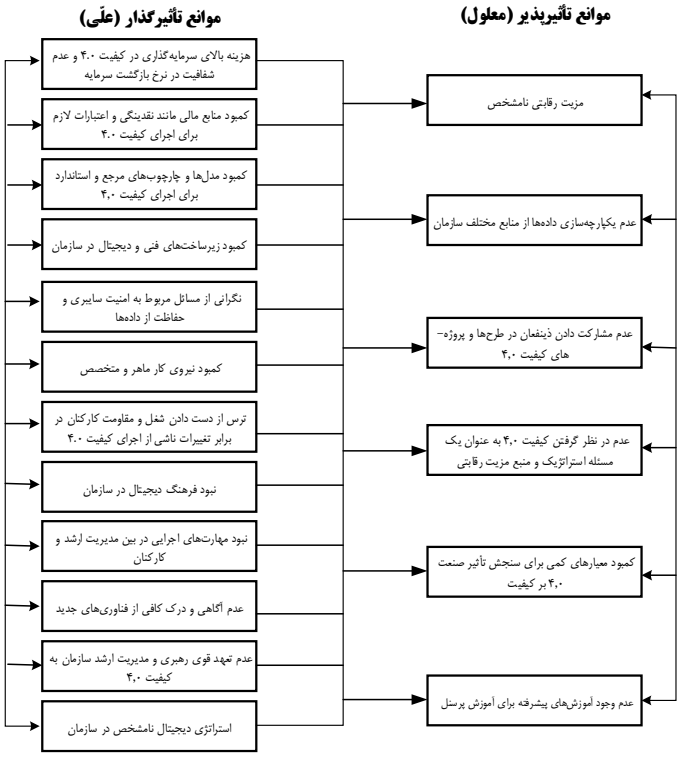
به استناد برآیند نظر خبرگان در ارتباط میان موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ و داده‌های **جدول ۶**، نمودار علت و معلولی به‌صورت **شکل ۲** ترسیم شد.



شکل ۲- موانع علی و معلولی پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد.

Figure 2- Causal and consequential barriers to the implementation of quality 4.0 in the Yazd tile and ceramic industry.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، روابط بین موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد به‌صورت **شکل ۳** می‌باشد.



شکل ۳- روابط بین موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد.

Figure 3- The relationships between the barriers to implementing quality 4.0 in the Yazd tile and ceramics industry.

جدول ۷- ماتریس فازی‌زدایی شده.

Table 7- Defuzzified matrix.

18	17	16	15	14	.....	5	4	3	2	1	
0.148	0.154	0.127	0.142	0.134	.....	0.125	0.128	0.137	0.121	0.078	1
0.141	0.146	0.129	0.144	0.136	.....	0.110	0.131	0.107	0.085	0.087	2
0.082	0.072	0.076	0.079	0.081	.....	0.057	0.093	0.050	0.082	0.074	3
0.105	0.110	0.083	0.132	0.102	.....	0.087	0.069	0.120	0.114	0.091	4
0.116	0.122	0.094	0.119	0.114	.....	0.057	0.081	0.080	0.087	0.076	5
0.073	0.068	0.062	0.059	0.047	.....	0.040	0.068	0.054	0.071	0.065	6
0.113	0.128	0.114	0.126	0.119	.....	0.104	0.103	0.104	0.120	0.081	7
0.107	0.126	0.112	0.133	0.118	.....	0.066	0.086	0.099	0.120	0.108	8
0.128	0.132	0.119	0.119	0.101	.....	0.101	0.096	0.096	0.088	0.091	9
0.079	0.124	0.113	0.108	0.096	.....	0.057	0.104	0.102	0.108	0.099	10
0.123	0.114	0.099	0.135	0.129	.....	0.091	0.102	0.113	0.129	0.094	11
0.122	0.114	0.099	0.125	0.128	.....	0.104	0.124	0.114	0.106	0.080	12
0.124	0.127	0.100	0.135	0.092	.....	0.091	0.087	0.099	0.120	0.108	13
0.061	0.100	0.047	0.074	0.045	.....	0.052	0.072	0.065	0.074	0.058	14
0.068	0.090	0.046	0.047	0.070	.....	0.060	0.085	0.056	0.080	0.063	15
0.123	0.110	0.062	0.117	0.117	.....	0.070	0.093	0.105	0.110	0.100	16
0.083	0.053	0.071	0.066	0.063	.....	0.068	0.050	0.063	0.074	0.070	17
0.054	0.086	0.077	0.071	0.081	.....	0.057	0.073	0.068	0.081	0.060	18

در ادامه طبق روابط مطرح‌شده، سوپرماتریس وزن‌دارنشده موانع ایجاد شده و با ضرب عناصر مربوط به وزن هر بلاک از روی سوپر ماتریس، سوپرماتریس وزن‌دار شده به دست می‌آید (**جدول ۸**).

جدول ۸- سوپرماتریس وزندار.

Table 8- Weighted supermatrix.

18	17	16	15	14	.....	5	4	3	2	1	
0.066	0.065	0.066	0.075	0.068	.....	0.043	0.050	0.059	0.041	0.033	1
0.054	0.055	0.063	0.053	0.060	.....	0.050	0.062	0.066	0.040	0.052	2
0.059	0.044	0.055	0.080	0.066	.....	0.046	0.066	0.040	0.050	0.059	3
0.046	0.060	0.042	0.056	0.048	.....	0.046	0.038	0.074	0.061	0.055	4
0.052	0.045	0.058	0.044	0.060	.....	0.032	0.048	0.046	0.051	0.054	5
0.058	0.061	0.066	0.041	0.054	.....	0.057	0.062	0.052	0.062	0.060	6
0.052	0.058	0.043	0.051	0.050	.....	0.053	0.043	0.049	0.048	0.057	7
0.060	0.057	0.060	0.042	0.050	.....	0.059	0.063	0.041	0.054	0.052	8
0.052	0.048	0.044	0.050	0.059	.....	0.052	0.060	0.042	0.054	0.056	9
0.046	0.039	0.040	0.040	0.039	.....	0.058	0.054	0.062	0.046	0.055	10
0.050	0.051	0.047	0.065	0.051	.....	0.057	0.061	0.061	0.052	0.054	11
0.060	0.060	0.042	0.042	0.041	.....	0.066	0.052	0.049	0.060	0.058	12
0.065	0.055	0.070	0.066	0.041	.....	0.060	0.051	0.048	0.059	0.053	13
0.057	0.058	0.069	0.044	0.068	.....	0.065	0.056	0.065	0.064	0.058	14
0.062	0.062	0.037	0.043	0.044	.....	0.068	0.072	0.064	0.067	0.061	15
0.070	0.047	0.065	0.085	0.092	.....	0.054	0.045	0.061	0.060	0.055	16
0.044	0.073	0.073	0.063	0.056	.....	0.069	0.060	0.058	0.068	0.066	17
0.066	0.065	0.066	0.075	0.068	.....	0.066	0.057	0.066	0.065	0.063	18

سپس می‌بایست این سوپر ماتریس (**جدول ۸**) را به توان بی‌نهایت رساند. به‌منظور محاسبه حد بی‌نهایت، ماتریس وزن‌دار شده را آنقدر به توان می‌رسانیم تا با ۲ رقم اعشار همگرا شود. در این حالت عناصر یک سطر با یکدیگر برابر شده و عدد به‌دست‌آمده وزن نهایی موانع را مشخص می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان در **جدول ۹** مشاهده کرد. یافته‌ها نشان می‌دهد که موانع کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت، عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی، عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل، کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰ و عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰ مهم‌ترین موانع موجود در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شود.

جدول ۹- نتایج رتبه‌بندی موانع با استفاده از روش DANP فازی.

Table 9- Ranking of barriers based on fuzzy DANP.

ردیف	ابعاد	موانع اجرای کیفیت ۴٫۰	وزن نهایی	رتبه
1	مالی و اقتصادی	هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه	0.0521	13
2		کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰	0.0618	4
3		مزیت رقابتی نامشخص	0.0553	8
4	فنی و زیرساختی	کمبود مدل‌ها و چارچوب‌های مرجع و استاندارد برای اجرای کیفیت ۴٫۰	0.0573	6
5		کمبود زیرساخت‌های فنی و دیجیتال در سازمان	0.0478	18
6		عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف سازمان	0.0562	7
7		نگرانی از مسایل مربوط به امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها	0.0529	11
8	فرهنگی و انسانی	کمبود نیروی کار ماهر و متخصص (مانند مدیران کیفیت، مهندسان کیفیت و مدیران ارشد کیفیت)	0.0515	15
9		ترس از دست دادن شغل و مقاومت کارکنان در برابر تغییرات ناشی از اجرای کیفیت ۴٫۰	0.0517	14
10		نبود فرهنگ دیجیتال در سازمان	0.0496	16
11		نبود مهارت‌های اجرایی در بین مدیریت ارشد و کارکنان	0.0479	17
12	سازمانی و مدیریتی	عدم آگاهی و درک کافی از فناوری‌های جدید	0.0539	10
13		عدم تعهد قوی رهبری و مدیریت ارشد سازمان به کیفیت ۴٫۰	0.0524	12
14		عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰	0.0596	5
15		عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی	0.0643	2
16		استراتژی دیجیتال نامشخص در سازمان	0.0552	9
17		کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت	0.0677	1
18		عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل	0.0629	3

۵- نتیجه‌گیری

کیفیت ۴٫۰ نمایانگر روندی نوین در حوزه کیفیت است که از عصر جدید کسب‌وکار یعنی صنعت ۴٫۰ نشات می‌گیرد. این عصر نیازمند درک و دانش جدید، به‌ویژه در مورد فناوری‌های نوین است که کاربرد مناسب آن‌ها تسهیل و کاهش خطاهای مدیریت کیفیت را به همراه داشته و بر عملکرد کلی سازمان‌ها تاثیر می‌گذارد. هدف از پژوهش حاضر، تحلیلی بر موانع استقرار کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد است. بدین منظور در مرحله نخست پژوهش با بررسی مقاله‌های مختلف و استفاده از روش مرور نظام‌مند، موانع مرتبط شناسایی و دسته‌بندی شد که حاصل آن شناسایی ۱۸ مانع در ۴ بعد مالی و اقتصادی، فنی و زیرساختی، منابع فرهنگی و انسانی، سازمانی و مدیریتی بود. در مرحله دوم برای شناسایی موانع علی و معلولی و رتبه‌بندی آن‌ها از تکنیک ترکیبی دنپ فازی استفاده شد.

نتایج پژوهش نشان داد که «هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه»، «نبود مهارت‌های اجرایی در بین مدیریت ارشد و کارکنان» و «کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰» به ترتیب تاثیرگذارترین (علت) موانع و «عدم در نظر گرفتن کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی»، «کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت» و «عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف سازمان» به ترتیب تاثیرگذارپذیرترین (معلول) موانع در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شوند. موانع علی مانند هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، کمبود مهارت‌های اجرایی و محدودیت‌های مالی، به‌عنوان عوامل اصلی بازدارنده شناسایی شده‌اند. این موانع عمدتا به زیرساخت‌ها و منابع مورد نیاز برای تحول دیجیتال مرتبط هستند و نشان می‌دهند که بسیاری از سازمان‌ها در این صنعت با چالش‌های مالی و انسانی مواجه هستند. از سوی دیگر، موانع معلول مانند عدم توجه استراتژیک به کیفیت ۴٫۰، کمبود معیارهای کمی و عدم یکپارچه‌سازی داده‌ها، نشان‌دهنده ضعف در رویکردهای مدیریتی و فنی در بهره‌گیری از فناوری‌های نوین است. این نتایج حاکی از آن است که حتی در صورت وجود منابع مالی و انسانی، فقدان استراتژی‌های مناسب و ابزارهای سنجش می‌تواند مانع از تحقق کامل مزایای کیفیت ۴٫۰ شود. به‌طورکلی، این پژوهش بر ضرورت توجه هم‌زمان به جنبه‌های مالی، انسانی و استراتژیک در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ تاکید می‌کند. برای غلبه بر این موانع، سازمان‌ها باید به دنبال توسعه مهارت‌های مدیریتی و فنی، ایجاد شفافیت در بازگشت سرمایه و تدوین استراتژی‌های بلندمدت باشند که کیفیت ۴٫۰ را به‌عنوان یک مزیت رقابتی در نظر بگیرند. همچنین، یکپارچه‌سازی داده‌ها و توسعه معیارهای کمی برای سنجش تاثیرات صنعت ۴٫۰ می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری و افزایش اثربخشی این تحول کمک کند. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای سایر صنایع نیز مورد استفاده قرار گیرد که با چالش‌های مشابه در مسیر تحول دیجیتال مواجه هستند.

علاوه براین، یافته نشان داد که کمبود معیارهای کمی برای سنجش تاثیر صنعت ۴٫۰ بر کیفیت، عدم در نظر گرفتن کیفیت۴٫۰ به‌عنوان یک مساله استراتژیک و منبع مزیت رقابتی، عدم وجود آموزش‌های پیشرفته برای آموزش پرسنل، کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و اعتبارات لازم برای اجرای کیفیت ۴٫۰ و عدم مشارکت دادن ذینفعان در طرح‌ها و پروژه‌های کیفیت ۴٫۰ مهم‌ترین موانع موجود در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک یزد محسوب می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از سازمان‌ها هنوز به کیفیت ۴٫۰ به‌عنوان یک اولویت استراتژیک نگاه نمی‌کنند و فاقد ابزارهای لازم برای ارزیابی دقیق تاثیرات آن هستند. این مسایل می‌تواند منجر به عدم تخصیص مناسب منابع و کاهش انگیزه برای سرمایه‌گذاری در این حوزه شود. صادقی‌مقدم و همکاران [5] و آنتونی و همکاران [22] نیز از عدم دسترسی یا در دسترس نبودن آموزش و صادقی‌مقدم و همکاران [5] و سونی و همکاران [7] از کمبود منابع مالی مانند نقدینگی و هزینه بالای سرمایه‌گذاری در کیفیت ۴٫۰ و عدم شفافیت در نرخ بازگشت سرمایه به‌عنوان مهم‌ترین موانع در پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ یاد کردند.

۵-۱- محدودیت‌ها و پیشنهادهای پژوهش

یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر، مدت‌زمان طولانی موردنیاز برای تکمیل پرسشنامه‌ها بود. این امر به دلیل نوظهور بودن مفاهیم مرتبط با کیفیت ۴٫۰ در سطح ملی و در نتیجه، آگاهی محدود مدیران و پاسخ‌دهندگان از این مفاهیم و حجم بالای پرسشنامه مقایسه زوجی رخ داد. همچنین محدودیت مهم دیگر پژوهش حاضر، محدود بودن جامعه آماری پژوهش به صنعت کاشی و سرامیک یزد است. این امر، قابلیت تعمیم‌پذیری یافته‌ها به سایر صنایع را محدود می‌کند. لذا، به پژوهشگران توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آتی، مطالعات مشابهی را در صنایع دیگر انجام دهند. این اقدام، امکان استخراج نتایج جامع‌تر و معتبرتر را فراهم می‌کند و در نهایت، منجر به طراحی یک الگوی فراگیرتر در سطح صنایع مختلف خواهد شد. توصیه می‌گردد که نام‌گذاری و دسته‌بندی ابعاد با استفاده از روش‌های کمی انجام دهند. همچنین به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود که نحوه تاثیر

متقابل هر یک از موانع کیفیت ۴٫۰ را با استفاده از سایر روش‌ها نظیر *FCM* یا مدل‌سازی ساختاری تفسیری بررسی کنند. در نهایت توصیه می‌شود که رتبه‌بندی موانع پیاده‌سازی کیفیت ۴٫۰ در صنعت کاشی و سرامیک با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه انجام و نتایج مقایسه گردد. در پژوهش‌های آتی، محققان می‌توانند با بهره‌گیری از رویکردهای کیفی، به ارایه راهکارها و استراتژی‌های مناسب جهت رفع موانع مذکور بپردازند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این تحقیق از تمامی کسانی که در این مسیر همراهی کردند تشکر می‌کنند.

منابع مالی

برای ارایه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است.

تعارض با منافع

هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد، همه نویسندگان، نسخه نهایی ارسال‌شده را مشاهده و تایید کرده‌اند. نویسندگان تضمین می‌کنند که مقاله، اثر اصلی آن‌ها بوده، قبلا چاپ نشده و در حال حاضر تحت انتشار نمی‌باشد.

منابع

[1] Sivandi, S., & Moosavirad, H. (2017). Analysis of quality management system using system dynamics. *Journal of quality engineering and management*, *7*(1), 29–42. (**In Persian**). https://www.pqprc.ir/article_70772_4c53a66dca860edffc487cc45b3ccd5f.pdf

[2] Jasti, N. V. K., Venkateswaran, V., Kota, S., & Sangwan, K. S. (2022). A literature review on total quality management (models, frameworks, and tools and techniques) in higher education. *The tqm journal*, *34*(5), 1298–1319. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2021-0113

[3] Jovičić, A., Savković, M., Mačužić, I., & Stefanović, M. (2023). The impact of solving barriers to the implementation of quality 4.0 on the performance of the organization's. *Conference on performance management* (pp. 83–90). Springer. https://event.fourwaves.com/coperman2023/abstracts/ea178795-f3c1-476f-adfb-ffd40f42e86d

[4] Liu, H. C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of engineering management*, *10*(2), 191–205. https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z

[5] Sadeghi Moghadam, M. R., Sadeghpoor Firoozabad, A., & Ghasemian Sahebi, I. (2023). Evaluation of barriers to applying quality 4.0 in shahr-e ketab institute using bayesian best-worst method. *Modern research in decision making*, *8*(3), 1–22. https://journal.saim.ir/article_708770_67f7256897ff1451b955a095c069d2fb.pdf

[6] Balouei Jamkhaneh, H., Shahin, A., Parkouhi, S. V., & Shahin, R. (2022). The new concept of quality in the digital era: a human resource empowerment perspective. *The tqm journal*, *34*(1), 125–144. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0030

[7] 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. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272

[8] Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2022). Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: A global exploratory qualitative study. *The tqm journal*, *34*(5), 1169–1188. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0215

[9] Zonnenshain, A., & Kenett, R. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality engineering*, *32*, 1–13. http://dx.doi.org/10.1080/08982112.2019.1706744

[10] 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. http://dx.doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082

[11] Broday, E. E. (2022). The evolution of quality: from inspection to quality 4.0. *International journal of quality and service sciences*, *14*(3), 368–382. https://doi.org/10.1108/IJQSS-09-2021-0121

[12] 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

[13] Maganga, D. P., & Taifa, I. W. R. (2022). Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. *The tqm journal*, *35*(2), 389–413. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-11-2021-0328

[14] Virmani, N., Upadhyay, M., Luthra, S., Singh, S., & Upadhyay, A. (2024). Assessing solutions to overcome quality 4.0 barriers: a decision-making framework. *The tqm journal*, *36*(6), 1460–1485. https://doi.org/10.1108/TQM-06-2023-0170

[15] Bajaj, S., Garg, R., & Sethi, M. (2018). Total quality management: a critical literature review using Pareto analysis. *International journal of productivity and performance management*, *67*(1), 128–154. https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2016-0146

[16] Talib, F. (2013). An overview of total quality management: understanding the fundamentals in service organization. *Talib, f.(2013),"an overview of total quality management: understanding the fundamentals in service organization", international journal of advanced quality management*, *1*(1), 1–20. https://ssrn.com/abstract=2725107

[17] Sader, S., Husti, I., & Daróczi, M. (2019). Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. *Periodica polytechnica social and management sciences*, *27*(2), 131–140. http://dx.doi.org/10.3311/PPso.12675

[18] 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
[19] Shang, M., Lee, C., Cao, J., & Liu, Y. (2022). A construction and empirical study of quality management evaluation index system in the internet of things industry. *Systems*, *10*(6), 231. http://dx.doi.org/10.3390/systems10060231
[20] Nguyen, T. A. Van, Tucek, D., & Pham, N. T. (2022). Indicators for TQM 4.0 model: Delphi method and analytic hierarchy process (AHP) analysis. *Total quality management & business excellence*, 1–15. https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2039062
[21] Nguyen, T. A. Van, Tucek, D., Pham, N. T., & Nguyen, K. H. (2024). Quality 4.0 practices toward sustainable excellence in the manufacturing sector. *Total quality management & business excellence*, *35*(13–14), 1593–1610. http://dx.doi.org/10.1080/14783363.2024.2383616
[22] Antony, J., Kaul, A., Bhat, S., Sony, M., Kaul, V., Zulfiqar, M., & McDermott, O. (2024). Critical failure factors for Quality 4.0: an exploratory qualitative study. *International journal of quality & reliability management*, *41*(4), 1044–1062. https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2023-0240
[23] Enke, J., Meister, M., Metternich, J., Genne, M., & Brosche, J. (2017). Der weg zur lean quality 4.0. *Zeitschrift für wirtschaftlichen fabrikbetrieb*, *112*(9), 612–615. http://dx.doi.org/10.3139/104.111782
[24] Nyendick, M. (2016). Qualität 4.0–IT-Rückgrat für einen fertigungsintegrierten Qualitätsmotor. *Zeitschrift für wirtschaftlichen fabrikbetrieb*, *111*(4), 167–168. https://B2n.ir/hu7978
[25] Radziwill, N. M. (2018). *Quality 4.0: Let's Get Digital-the many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality*. http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.1810.07829
[26] Industry, A. S. Q. (2018). Quality 4.0: Bringing them together. *Quality magazine*. http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.176
[27] Roy Ghatak, R., & Garza-Reyes, J. A. (2024). Investigating the barriers to Quality 4.0 adoption in the Indian manufacturing sector: insights and implications for industry and policy-making. *International journal of quality & reliability management*, *41*(6), 1623–1656. http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-09-2023-0277
[28] Calvo-Mora, A., Pedro, E. de M., & Suárez, E. (2024). Exploring barriers to Quality 4.0 implementation: a multivariate analysis. *The tqm journal*. http://dx.doi.org/10.1108/TQM-02-2024-0083
[29] Kumar, A., Jain, S., Kumar, R., & Daniel, N. A. (2023). Process improvement with quality 4.0 in kraft paper manufacturing industry. *International conference on scientific and technological advances in materials for energy storage and conversions* (pp. 193–203). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3173-2_13
[30] Khoshsepehr, Z., AliMohammadlou, M., Mohammadi, A., & Ranaei Kordshouli, H. A. (2023). Scientometrics and analysis of the research trends in the fourth industrial revolution field and quality 0.4. *Sciences and techniques of information management*, *9*(2), 133–166. (**In Persian**). https://stim.qom.ac.ir/article_2283_5c94f27772b7b9822d757649faee50e9.pdf
[31] Talaie, H., Ziaeian, M., & Malekinejad, P. (2022). 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*, *12*(1), 51–68. (**In Persian**). https://www.pqprc.ir/article_164188_92425f6d8c95a64d436326f569210f25.pdf
[32] Titiyal, R., Bhattacharya, S., & Thakkar, J. J. (2019). The distribution strategy selection for an e-tailer using a hybrid DANP VIKOR MCDM model. *Benchmarking: An international journal*, *26*(2), 395–433. https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2018-0018
[33] Mehrshad, A., Rabbani Khorasghani, A., Kalantari, A., & Zolfaghar Zadeh, M. M. (2020). A systematic review of scientific articles about social networks: Case study of Isfahan. *Journal of applied sociology*, *31*(2), 23–40. (**In Persian**). https://doi.org/10.22108/jas.2019.117032.1693
[34] Chandrayan, B., Gupta, S., Kumar, R., Dangayach, G. S., & Jagtap, S. (2023). Modelling and analysis of key enablers of digital transformation in food SMEs using ISM and MICMAC approach. *International journal of intelligent enterprise*, *10*(4), 419–444. https://doi.org/10.1504/IJIE.2023.133826
[35] Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E. A., & Doulatabadi, 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. http://dx.doi.org/10.1080/14783363.2022.2113737
[36] Kupper, D., Knizek, C., Ryeson, D., & Jan, N. (2019). Quality 4. 0 takes more than technology. *Boston consulting group (BCG)*. https://www.bcg.com/publications/2019/quality-4.0-takes-more-than-technology
[37] Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International journal of production economics*, *224*, 107546. https://ideas.repec.org/a/eee/proeco/v224y2020ics092552731930372x.html
[38] Aichouni, A. B. E., Silva, C., & Ferreira, L. M. D. F. (2024). A systematic literature review of the integration of total quality management and industry 4.0: Enhancing sustainability performance through dynamic capabilities. *Sustainability*, *16*(20), 9108. https://doi.org/10.3390/su16209108
[39] Rowlands, H., & Milligan, S. (2021). Quality-driven industry 4.0. In *Key challenges and opportunities for quality, sustainability and innovation in the fourth industrial revolution: quality and service management in the fourth industrial revolution—sustainability and value co-creation* (pp. 3–30). World Scientific. http://dx.doi.org/10.1142/9789811230356_0001
[40] Armani, C. G., de Oliveira, K. F., Munhoz, I. P., & Akkari, A. C. S. (2021). Proposal and application of a framework to measure the degree of maturity in Quality 4.0: A multiple case study. In *Advances in mathematics for industry 4.0* (pp. 131–163). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818906-1.00006-1
[41] Mahmood, A., Arshad Ali, A., Nazam, M., & Nazim, M. (2021). Developing an interplay among the psychological barriers for the adoption of industry 4.0 phenomenon. *PloS one*, *16*(8), e0255115. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255115