Ind. Manag. Persp. 2023, 13(4), 85-107; doi: 10.48308/JIMP.13.4.85

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Modeling Organizational Readiness Factors for Smart Statistical Process Control in the Era of Industry 4.0 with Fuzzy Interpretative Structural Modeling

Ali Mohaghar*, Iman Ghasemian Sahebi**,
Alireza Sadeghpour Firouzabad***

Abstract

One of the characteristics of the fourth industrial revolution is the creation of production intelligence through real-time data to make accurate and timely decisions. Therefore, data-driven statistical process control is expected to significantly contribute to the advancement of intelligent manufacturing. For this reason, statistical process control has become one of the most widely used tools to maintain an acceptable level of quality characteristics in the era of Industry 4.0. In this article, organizational readiness factors for the establishment of intelligent statistical process control in the age of the fourth industrial revolution in the gas industry were investigated. For this purpose, after identifying the control structure of the intelligent statistical process of applying the literature review, 12 factors of organizational readiness in order to achieve this goal were presented in the form of a framework. Then the relationship and sequence of these factors were determined by fuzzy interpretive structural modeling. Next, the obtained model was verified using the structured equation modeling approach. The presented model can be a guide for the gas industry in implementing an intelligent statistical process control system to provide better services and less defects.

Keywords: Industry 4.0; Intelligent Statistical Process Control; Organizational Readiness; Fuzzy Interpretive Structural Modeling; Structural Equation Modeling.

How to Cite: Mohaghar, Ali; Ghasemian Sahebi, Iman; Sadeghpour Firouzabad, Alireza (2023). Modeling Organizational Readiness Factors for Smart Statistical Process Control in the Era of Industry 4.0 with Fuzzy Interpretative Structural Modeling, *Ind. Manag. Persp.*, 13(4), 85-107 *(In Persian)*.

Received: Jun. 24, 2023; Revised: Aug. 23, 2023; Accepted: Sep. 10, 2023; Published Online: Oct. 11, 2023.

* Professor, Industrial Management Department, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. Corresponding author. Email:amohaghar@ut.ac.ir

** Ph.D Candidate, Industrial Management Department, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

*** Master Student, Industrial Management Department, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۲، دوره ۱۳، شماره ۴، صص ۸۵ – ۱۰۷، doi: 10.48308/JIMP.13.4.85

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=fa

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند در عصر صنعت ۴.۰ با رویکرد ساختاری-تفسیری فازی

علی محقر*، ایمن قاسمیان صاحبی**، علیرضا صادقپور فیروزآباد***

چکیده

یکی از ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم، ایجاد هوشمندی تولید از طریق داده‌های بلادرنگ برای اخذ تصمیم‌های دقیق و به‌موقع است؛ بنابراین انتظار می‌رود که کنترل فرآیندهای آماری مبتنی بر داده به میزان زیادی به پیشرفت تولید هوشمند کمک کند. به همین سبب کنترل فرایند آماری به یکی از پرکاربردترین ابزارها برای حفظ سطح قابل‌قبولی از خصوصیات کیفی در عصر صنعت ۴.۰ تبدیل شده است. در این پژوهش، عوامل آمادگی سازمانی برای استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند در عصر انقلاب صنعتی چهارم در صنعت گاز موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور پس از شناسایی ساختار کنترل فرایند آماری هوشمند با به‌کارگیری مبانی نظری، ۱۲ عامل آمادگی سازمانی در راستای دستیابی به این مهم در قالب یک چارچوب ارائه شد؛ سپس ارتباط و توالی این عوامل با مدل‌سازی ساختاری ـ تفسیری فازی مشخص شد. در ادامه مدل به‌دست‌آمده با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاریافته تأیید شد. مدل ارائه‌شده می‌تواند راهنمای صنعت گاز در پیاده‌سازی سیستم کنترل فرایند آماری هوشمند برای ارائه خدمات بهتر و نقص کمتر باشد.

کلیدواژه‌ها: صنعت ۴.۰؛ کنترل فرایند آماری هوشمند؛ آمادگی سازمانی؛ مدل‌سازی ساختاری ـ تفسیری فازی؛ مدل‌سازی معادلات ساختاری.

استناددهی: محقر، علی؛ قاسمیان صاحبی، ایمن؛ صادقپور فیروزآباد، علیرضا (۱۴۰۲). مدل‌سازی عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند در عصر صنعت ۴.۰ با رویکرد ساختاری – تفسیری فازی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۳(۴)، ۸۵-۱۰۷.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹.

* استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: Email:amohaghar@ut.ac.ir

** دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*** دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

در صنعت گاز ایران نیز از کنترل فرایند آماری در پالایشگاه‌های گازی استفاده می‌شود؛ اما با توجه به چالش‌های یادشده در بسیاری از فرآیندهای صنعتی استفاده از روش‌های کلاسیک کنترل فرایند آماری توصیه نمی‌شود [۳۴]. برای مثال، طبق گزارش صورت مالی مجتمع گازی پارس جنوبی، نقص در کنترل فرایندهای این شرکت موجب هدررفت سه میلیون تن گاز مایع در سال ۱۳۹۷ شده است. خبرگان صنعت گاز پیش‌بینی کرده‌اند با بهره‌گیری از شیرهای کنترلی و حسگرهای هوشمند خطوط انتقال گاز و بهره‌گیری از تجهیزات پیشرفته به‌وسیله هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی، بهره‌وری این صنعت افزایش خواهد یافت؛ اما با افزایش تولید و وجود داده‌های زیاد در پالایشگاه‌های بزرگ کنترل بر این‌گونه از فرایندها با مشکل روبه‌رو شده و دچار نقص می‌شود. اخیراً راه‌حل‌های متعددی برای حل این‌گونه از چالش‌ها نام‌برده شده است و بسیاری از مطالعات روش‌هایی را برای استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی فناوری حسگر، ذخیره‌سازی داده‌ها[1] و فناوری هوش مصنوعی ارائه کرده‌اند [۳۵، ۳۴، ۱۳].

با توجه به پژوهش‌های پیشین و بررسی مبانی نظری، مشخص شد که این مدل‌ها وجوه مشترک زیادی با یکدیگر دارند و شامل مدل‌های نوآورانه‌ای از ادغام فناوری‌های یادشده با کنترل فرایند آماری هستند [۸]؛ اما بررسی‌ها نشان می‌دهد، مدل استاندارد و موردقبولی در این حوزه وجود ندارد و بیشتر مطالعات روی جنبه‌های اجرای کنترل فرایند آماری و بررسی عوامل موفقیت تمرکز کرده‌اند [۳۷]؛ به همین سبب سازمان‌ها همیشه با چالش‌هایی مواجه بوده و متعاقباً برخی از پروژه‌های کنترل فرایند آماری محکوم به شکست و ضرر مالی بیشتری هستند. در این راستا در پژوهش حاضر پژوهشگران به دنبال تحقق دو هدف ۱. شناسایی عوامل آمادگی سازمانی برای اجرای کنترل فرآیند آماری هوشمند در صنعت گاز و ۲. مدل‌سازی روابط میان عوامل آمادگی سازمانی برای اجرای کنترل فرایند آماری هوشمند در بستر انقلاب صنعتی چهارم و صحت‌سنجی مدل ارائه‌شده هستند.

پژوهش‌های بررسی‌شده در پیشینه با ارائه عوامل کلیدی موفقیت به‌عنوان راه‌حل به این مشکل پرداخته‌اند و هیچ مطالعه‌ای هنوز به بررسی مؤلفه مهم دیگری در استقرار موفقیت‌آمیز کنترل فرایند آماری که سطح آمادگی یک شرکت برای استقرار کنترل فرایند آماری است، نپرداخته است. ازآنجاکه در پژوهش‌های اخیر کمتر به عوامل آمادگی سازمانی اشاره کرده‌اند، نیاز به درک اجزای کلیدی ضروری برای آمادگی سازمان به‌منظور پیاده‌سازی کنترل فرایند آماری هوشمند در یک دیدگاه جامع وجود دارد.

1. Sensor technology, data storage

در ادامه در بخش دوم مقاله به تشریح مفاهیم صنعت ۴.۰، کنترل فرایند آماری هوشمند و مرور پیشینه پژوهش پرداخته شده و درنهایت عوامل آمادگی سازمانی کنترل فرایند آماری هوشمند استخراج می‌شود. در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم یافته‌های حاصل از اجرای ابزارهای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها تشریح می‌شود و درنهایت بخش آخر به ارائه بحث و بیان نتیجه‌گیری پژوهش اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

صنعت ۴.۰. صنعت ۴.۰ نماد آغاز انقلاب صنعتی چهارم است که تأثیر آن بر صنایع نه‌تنها معرفی یک «کارخانه هوشمند»[1]، بلکه معرفی اصطلاح «محصول هوشمند»[2] است تا در عین حفظ بهره‌وری، رضایت مصرف‌کننده را از طریق ادغام دنیای فیزیکی و مجازی[3] در قالب ترکیب روند کلاسیک در فناوری‌های اتوماسیون سازمان به ارمغان بیاورد [۲۲، ۸]. بدین منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات بلادرنگ برای بهبود فرآیندهای تولید و ایجاد روابط بین سازمان و محیط، سازمان و جوامع، سازمان و زنجیره‌های ارزش و سازمان و انسان‌ها قرار می‌گیرد [۸، ۹] این تعریف بیانگر آن است که تأثیر صنعت ۴.۰ بر تولید شامل هدف قراردادن تمام فرآیندها و عملکردها برای دستیابی به هوشمندی و انعطاف‌پذیری است [۲۹].

مدیریت کیفیت به‌عنوان یکی از اجزای حیاتی فرایند تولید شناخته می‌شود و تأثیر بسزایی در شهرت یک شرکت دارد. انقلاب صنعتی چهارم، مفهوم مدیریت کیفیت را نیز دستخوش تغییر کرده است [۳۱]. سیستم مدیریت کیفیت دیجیتال که عموماً به‌عنوان «کیفیت ۴.۰» نیز نامیده می‌شود، شاخه‌ای از صنعت ۴.۰ است که سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا به ارزش‌های واقعی مانند سهم بازار بهتر، هزینه‌های کمتر، بهبود کیفیت محصول/ خدمات و بهبود کارایی و دست یابند [۳۱، ۲]. طبق نظر سیف[4]، (۲۰۱۱) کیفیت ۴.۰ را می‌توان دیجیتالی‌کردن رویکردهای کیفیت سنتی و تمرکز بر استفاده از ابزارهای دیجیتال برای بهبود توانایی سازمان برای برآورده‌کردن نیازهای مشتریان با کیفیت بالا دانست. کیفیت ۴.۰ به‌عنوان هسته اصلی ایجاد زنجیره ارزش در سازمان در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا با تمام جنبه‌های عملیاتی و مدیریتی فرآیندهای زنجیره ارزش ارتباط دارد [۳۱].

کنترل فرایند آماری هوشمند. کنترل فرایند آماری یکی از پیشرفت‌های مدیریت کیفیت است که در حوزه عنوان بازرسی قرار می‌گیرد. در این حوزه از روش‌ها و ابزارهای مربوط به کنترل

1. Smart Factory
2. Smart Products
3. Cyber-Physical
4 Abdul-Wahid Saif

کیفیت، برای بازرسی کیفیت اقلام تولیدی استفاده می‌شود [۳۱]. کنترل فرایند آماری به‌عنوان مجموعه‌ای قدرتمند از ابزارهای حل مسئله برای دستیابی به ثبات فرآیند و بهبود قابلیت از طریق کاهش تنوع تعریف می‌شود [۱]. هدف اصلی کنترل فرایند آماری شناسایی و کاهش تغییرات علل خرابی برای ثبات و حفظ فرآیند و جلوگیری از کاهش کیفیت محصول در فرایند تولید است [۳۸، ۱].

کنترل فرایند آماری در قالب کلاسیک خود به‌عنوان یک فعالیت خسته‌کننده تلقی می‌شود؛ همچنین پژوهش‌های پیشین چالش‌هایی را مانند تجزیه‌وتحلیل دوره‌ای داده‌های تاریخی و ناتوانی در پیوند بین اقدامات اصلاحی و رویدادهای خارج از کنترل برای آن برشمرده‌اند [۳۱]. به همین دلیل صنعت ۴.۰ برای بهبود و به‌روزرسانی شکاف‌های به‌وجودآمده در کنترل فرانید آماری کلاسیک، کنترل فرایند آماری را قادر خواهد ساخت تا از کنترل آماری صرف به اهداف تشخیص بلادرنگ عملی کند. چندین نوع از این پیشرفت‌ها را می‌توان در مبانی نظری دید. برای مثال، یکپارچه‌سازی کنترل فرایند آماری و سیستم‌های خبره (ES)[1]، مجموعه‌های فازی برای تشخیص خودکار و هوشمند، استفاده از شبکه‌های عصبی (NN)[2]، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، محاسبات مبتنی بر ابر[3]، استفاده از دوقلوهای دیجیتال[4] و ابزارهای تجزیه‌وتحلیل کلان داده‌ها[5] را می‌توان نام برد [۱۱، ۲۵، ۲۹] همان‌طور که در نتایج این پژوهش‌ها بیان شده است، در مقایسه با روش کلاسیک کنترل فرایند آماری، سیستم‌های پیشرفته با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، امکان استفاده مفیدتر در زمان واقعی را فراهم می‌کند که نتیجه آن کاهش زمان و هزینه تولید، بهبود کیفیت محصول، شناسایی علل ریشه‌ای و عیوب احتمالی برای نظارت بر فرایندهایی است که ابعاد بالایی دارند و به‌صورت پویا تغییر می‌کنند [۲، ۷، ۹، ۴۱]. کنترل فرایند آماری هوشمند با توجه به اینکه از سیستم‌های پیشرفته‌ای که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد، برای کنترل فرایندها استفاده می‌کند، به‌طور مداوم بر داده‌هایی که وارد سیستم می‌شود نظارت دارد. این تجزیه‌وتحلیل بلادرنگ زمان شناسایی رویدادهای خارج از کنترل را به‌شدت کاهش می‌دهد و تثبیت ویژگی‌های خاص فرایند تولید را تسهیل می‌کند و به مهندسان کیفیت اجازه می‌دهد تا حد امکان داده‌های اندازه‌گیری را جمع‌آوری، امکان تشخیص عیوب را کاهش و اثربخشی اقدامات اصلاحی را افزایش دهند [۷، ۱۷]. چنین سیستمی با استخراج اطلاعات معنادار از حجم زیادی از داده‌ها می‌تواند برای شناسایی بی‌ثباتی در فرآیند با حداقل زمان و هزینه و حداکثر دقت انجام پذیرد؛ بنابراین با تکیه بر نظر

1. Expert System
2. Neural Networks
3. Cloud-based computing
4. Digital twins
5. Big Data

اظم‌فیری[1]، (۲۰۲۱) می‌توان ویژگی کنترل فرایند آماری در صنعت ۴.۰ را به‌صورت شکل ۱، خلاصه کرد.

شکل ۱. ویژگی‌های کنترل فرایند آماری هوشمند[۴]

در جدول ۱، نیز به مرور مهم‌ترین پژوهش‌های این حوزه پرداخته شده است.

جدول ۱. مرور پیشینه عوامل موفقیت و آمادگی کنترل فرایند آماری هوشمند

عنوان	تکنیک مورداستفاده	یافته‌ها	منبع
آمادگی کنترل فرآیندهای آماری در صنایع غذایی: توسعه یک ابزار خودارزیابی	مرور مبانی نظری	احساس فوریت در سیستم اندازه‌گیری، مشارکت کارکنان و آمادگی فرهنگی از عوامل آمادگی هستند.	[۱۵]
توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های پیشرفته برای کنترل فرایند آماری	بهینه‌سازی	توسعه سیستم یکپارچه‌سازی فرآیندهای جدید در یک محیط مشترک	[۷]
کنترل فرآیند چند عامله مبتنی بر قراردادهای هوشمند بلاک چین در صنعت ۵.۰	شبیه‌سازی عامل‌بنیان	تبیین رویکرد کنترل فرآیند مستقل چندعاملی به‌منظور بهبود و سازگاری در کنترل	[۲۴]
کمّی‌سازی عوامل کلیدی در ساخت بهینه آند و کاتد باتری لیتیوم یون از طریق هوش مصنوعی	شبیه‌سازی	توسعه کنترل فرایند مبتنی بر یادگیری ماشین به‌منظور تعیین کمیت خواص الکترود	[۶]

عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند. هدف اصلی مدل‌های آمادگی، گرفتن نقطه شروع و اجازه‌دادن به اولیه‌سازی فرآیند توسعه یک علم است [۳]؛ اگرچه مفهوم

1. Victor Azamfirei

آمادگی توسط جکسون[1] (۱۹۵۷)، معرفی شد؛ اما در مبانی نظری فعلی، کنترل فرایند آماری به‌سختی موردبحث قرار گرفته است و به همین دلیل استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند عمدتاً به‌دلیل عدم‌درک تکنیک‌ها و اتخاذ روش‌های غلط در استقرار، با شکست مواجه می‌شود. عوامل آمادگی در مورد پیش‌نیازها و ساختار سازمانی موردنیاز برای اجرا مورداستفاده قرار می‌گیرد که به‌طور کامل نحوه عملکرد یک سازمان را از لحاظ فنی، فرهنگی و فناوری تغییر می‌دهد [۸، ۱۲]. به‌منظور افزایش تأثیر عوامل آمادگی، عوامل حیاتی موفقیت نیز در کنار این عوامل در نظر گرفته شده است تا با هم‌افزایی این دو گونه از عوامل، بتوان موفقیت اجرای فرایند کنترل فرایند آماری هوشمند را تضمین کرد. به‌طورکلی کنترل فرایند آماری هوشمند متشکل از فرایندی برای مدیریت و کنترل کیفیت محصولات در یک سازمان است. عوامل آمادگی سازمانی کنترل فرایند آماری هوشمند شامل تمامی اصول و مفاهیمی است که نیاز است تا سازمان برای پیاده‌سازی کامل این سیستم آمادگی داشته باشد. در مبانی نظری عوامل متعددی در آمادگی سازمانی پیشنهاد شده است که در جدول ۲، مرتب شده‌اند. با درنظرگرفتن تمامی این عوامل، سازمان بهترین سناریو را برای پیاده‌سازی کنترل فرایند آماری هوشمند ایجاد می‌کند و به بهترین نتیجه ممکن در جهت بهبود کیفیت محصولات خود می‌رسد.

جدول ۲. عوامل آمادگی و موفقیت کنترل فرایند آماری هوشمند

ابعاد	عوامل	نوع عامل		منبع
		آمادگی سازمانی	موفقیت	
کار گروهی	تعهد مدیریت ارشد	✓	✓	[۱۲، ۱۸]
	توانایی‌های رهبری	✓		[۱۵]
	کار گروهی	✓	✓	[۱، ۷، ۱۵، ۱۸]
	مشارکت کارکنان در تصمیم‌گیری		✓	[۴۰]
	کاربرد تسهیل‌کننده SPC هوشمند	✓	✓	[۱۵]
	ترویج مشارکت کارکنان در مسائل کیفیت	✓		[۱۵]
آموزش	تمرکز بر بهبود مستمر، آموزش و بازخورد	✓	✓	[۱، ۲۷، ۱۲، ۴۰]
	آموزش شاخص‌های فرآیندی	✓		[۱۲، ۳۶]
	آموزش در تمام سطوح سازمان	✓		[۱۲، ۳۶]
فرهنگ	عدم‌مقاومت در برابر تغییر	✓	✓	[۱، ۲۷، ۳۶]
	تغییر فرهنگی	✓	✓	[۱۸]
	ارتقای فرهنگ یادگیری کارکنان	✓		[۱۵]
	تشویق به اتخاذ فرهنگ اشتراک دانش	✓		[۱۵]

1. Jackson

بهبود مستمر	درک و شناسایی اقدامات اصلاحی	✓	✓	[۱۸، ۲۷]
	ارزیابی چارچوب سنجش هوشمند		✓	[۱۵]
	تمایل به ارزیابی و پذیرش تغییرات		✓	[۱۵]
	شناسایی ویژگی‌های بحرانی کیفیت		✓	[۱۵]
	توسعه برنامه‌ریزی استراتژیک		✓	[۱۵]
سیستم و فرایند	استانداردکردن رویه‌های حل مسئله	✓		[۱]
	استفاده از بسته هوشمند SPC		✓	[۱۵]
	استفاده از ابزارهای مناسب نظارت بر فرآیند	✓	✓	[۱، ۸، ۱۲، ۳۶]
	استفاده مؤثر و تفسیر صحیح نمودارهای کنترلی هوشمند	✓		[۱۵]
	شناسایی ویژگی‌های فرآیند، محصول و فناوری		✓	[۱۵]
	دسترسی‌پذیری داده‌های بلادرنگ	✓	✓	[۱، ۱۵]
	تعریف و اولویت‌بندی فرایند	✓	✓	[۱۵]

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از لحاظ جمع‌آوری داده‌ها، توصیفی ـ پیمایشی است. پس از شناسایی شاخص‌های آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرآیند آماری هوشمند، برای بومی‌سازی شاخص‌ها، از نظرهای ۲۰ نفر از خبرگان که از مدیران ارشد صنعت گاز بودند، استفاده شد. درنهایت از میان ۲۵ عامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند، ۱۲ عامل موردتوافق و اجماع خبرگان قرار گرفت که نام آن‌ها به همراه علامت اختصاریشان در جدول ۳، درج شده است.

جدول ۳. فهرست نهایی عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند

عامل	علامت اختصاری
درگیری و تعهد مدیریت ارشد	C_1
استفاده از بسته هوشمند SPC	C_2
دسترسی‌پذیری داده‌های بلادرنگ	C_3
ارزیابی چارچوب سنجش هوشمند	C_4
تعریف و اولویت‌بندی فرایند	C_5
آموزش	C_6
اشتراک‌گذاری دانش	C_7
انتخاب نمودارهای کنترلی هوشمند	C_8
تغییر فرهنگی	C_9
شناسایی ویژگی‌های بحرانی کیفیت	C_{10}
کاربرد تسهیل‌کننده SPC هوشمند	C_{11}
کار گروهی	C_{12}

در گام بعدی برای سطح‌بندی عوامل نهایی‌شده از تکنیک مدل‌سازی ساختاری ـ تفسیری فازی[1] (FISM)، استفاده شد و در انتها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری فازی، مدل ساختاری طراحی‌شده در مرحله قبلی موردسنجش قرار گرفت. خبرگان پژوهش در فاز اول (بومی‌سازی عوامل آمادگی سازمانی شناسایی‌شده) و فاز دوم (اجرای تکنیک FISM) شامل ۲۰ مدیر ارشد ستاد شرکت ملّی گاز ایران بودند که به روش قضاوتی هدفمند انتخاب شدند. مشخصات گروه خبرگان مرحله نخست پژوهش در جدول ۴، ذکر شده است.

جدول ۴. مشخصات خبرگان مرحله نخست پژوهش

شماره خبره	سِمت سازمانی	تحصیلات	سابقه کار (سال)
۱	رئیس اندازه‌گیری و توزیع	دکتری	۱۷
۲	رئیس بازرسی فنی	کارشناسی ارشد	۷
۳	رئیس بهینه‌سازی مصرف	کارشناسی ارشد	۶
۴	رئیس امور مهندسی	کارشناسی ارشد	۹
۵	رئیس پروژه‌ها	کارشناسی ارشد	۱۱
۶	رئیس برنامه‌ریزی	کارشناسی ارشد	۱۵
۷	معاون بهره‌برداری	دکتری	۱۰
۸	رئیس بهره‌برداری	دکتری	۱۴
۹	رئیس خدمات فنی	کارشناسی ارشد	۱۷
۱۰	مسئول گازرسانی به صنایع	کارشناسی ارشد	۶
۱۱	رئیس تدارک	دکتری	۸
۱۲	رئیس عملیات کالا	دکتری	۷
۱۳	رئیس فناوری اطلاعات	کارشناسی ارشد	۹
۱۴	مسئول بازرسی فنی	کارشناسی ارشد	۹
۱۵	مدیر مهندسی و اجرا	کارشناسی ارشد	۱۱
۱۶	مدیر دیسپچیگ	دکتری	۱۴
۱۷	رئیس توزیع شهرستان	کارشناسی ارشد	۷
۱۸	مدیر بهره‌برداری استان	کارشناسی ارشد	۱۶
۱۹	مدیر گازرسانی به صنایع	کارشناسی ارشد	۱۱
۲۰	معاون مالی	دکتری	۱۴

جامعه آماری در فاز سوم پژوهش (اعتبارسنجی مدل ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی) شامل مدیران ارشد شرکت ملّی گاز ایران و شرکت‌های گاز استانی بود که با نمونه‌گیری طبقه‌ای تعداد نمونه محاسبه شد و در جدول ۵، نشان داده شده است.

1. Fuzzy interpretive structural modeling

جدول ۵. اندازه جامعه و نمونه در فاز سوم پژوهش

	ستاد شرکت ملّی گاز	گاز تهران	شرکت‌های گاز استانی	مجموع
تعداد مدیران	۶۰	۵۰	۹۰	۲۰۰
درصد در جامعه	۳۰٪	۲۵٪	۴۵٪	۱۰۰٪
تعداد نمونه	۴۶	۳۹	۷۰	۱۵۵

مدل‌سازی ساختاری ـ تفسیری فازی. در این پژوهش برای مقابله با عدم‌قطعیت ناشی از نظرات قضاوتی خبرگان، از اعداد فازی مثلثی[1] استفاده شده است که مراحل اجرایی به شرح زیر هستند:

۱. مقایسه‌ی زوجی متغیرها: در گام نخست باید با استفاده متغیرهای فازی مندرج در جدول ۶، به مقایسه زوجی هریک از عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند پرداخته شود.

جدول ۶. اعداد فازی و متغیرهای زبانی مورداستفاده برای مقایسه زوجی

علامت اختصاری	طیف زبانی	عدد فازی مثلثی متناظر
AR	کاملاً دارای ارتباط	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
SR	به‌شدت دارای ارتباط	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
FR	نسبتاً دارای ارتباط	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
LR	دارای ارتباط کم	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
UN	فاقد ارتباط	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)

۲. ادغام آرای خبرگان: برای تجمیع نظر خبرگان از روش میانگین هندسی آرا مطابق با رابطه ۱، استفاده شد.

$$(a_l, a_m, a_u) = \left(\prod_{i=1}^{n} a_L^{(i)}\right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{i=1}^{n} a_m^{(i)}\right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{i=1}^{n} a_u^{(i)}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۳. فازی‌زدایی: برای فازی‌زدایی نتایج فاز قبل از روش مرکز ثقل مطابق رابطه ۲، استفاده شد.

$$\pi_{ij} = \frac{l_i + m_i + u_i}{3} \quad \text{رابطه (۲)}$$

1. Triangular Fuzzy Numbers

۴. ایجاد ماتریس دسترسی اولیه: پس از انجام محاسبات گام قبل، یک حد آستانه (t) برابر با میانگین ماتریس مرحله قبل در نظر گرفته شد و با استفاده از رابطه ۳، ماتریس دسترسی اولیه ایجاد شد.

رابطه (۳)

$$\text{if } \pi_{ij} \geq t \rightarrow \pi_{ij} = 1 \text{ و } \pi_{ji} = 0$$

$$\text{if } \pi_{ij} < t \rightarrow \pi_{ij} = 0 \text{ و } \pi_{ji} = 1$$

۵. ایجاد ماتریس دسترسی نهایی: برای تشکیل این ماتریس، ماتریس دسترسی اولیه به توان K+1 رسانیده شد؛ بنابراین ماتریس دسترسی اولیه با یک ماتریس یکه مطابق رابطه ۵، جمع شد تا ماتریس دسترسی نهایی ایجاد شود.

رابطه (۵)

$$M = D + I$$
$$M^* = M_k + 1 \qquad k > 1$$

۶. سطح‌بندی شاخص‌ها: پس از شناسایی مجموعه مقدم و مجموعه دستیابی و تعیین اشتراک بین این دو مجموعه، معیارهایی که مجموعه اشتراکی با مجموعه دستیابی برابر باشد، در سطح اول جای می‌گیرند؛ سپس با حذف این معیارها و تکرار این فرآیند، سطوح تمام شاخص‌ها معین شده و بر اساس ساختار سلسله‌مراتبی ترسیم می‌شود.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از پیاده‌سازی FISM. پس از جمع‌آوری آرای قضاوتی خبرگان جدول ۷، نمایانگر ماتریس تجمیعی فازی خبرگان است که پس از جمع‌آوری نظر خبرگان مطابق با مقیاس زبانی مندرج در جدول ۶ و رابطه ۱، حاصل شده است. یادآوری این نکته لازم است که به‌دلیل فضای زیاد ماتریس، ماتریس تجمیعی فازی خبرگان ماتریس به‌صورت ترانهاده درج شده است. حد آستانه درنظرگرفته‌شده برابر با ۰/۴۳۳۲ بوده است.

جدول ۷. ماتریس تجمیعی فازی خبرگان

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	1	0	0	0	0	0/25	0	0	0/75	0	0/25	0
	1	0	0	0	0/25	0/5	0	0	1	0/25	0/5	0
	1	0/25	0/25	0/25	0/5	0/75	0/25	0/25	1	0/5	0/75	0/25
C2	0	1	0/25	0	0/25	0/25	0/25	0/75	0	0	0	0
	0	1	0/5	0/25	0/5	0/5	0/5	1	0/25	0	0	0
	0/25	1	0/75	0/5	0/75	0/75	0/75	1	0/5	0/25	0/25	0/25
C3	0/25	0/5	1	0	0/25	0	0/25	0/75	0	0	0	0
	0/5	0/75	1	0	0/5	0	0/5	1	0	0	0	0
	0/75	1	1	0/25	0/75	0/25	0/75	1	0/25	0/25	0/25	0/25
C4	0/5	0/25	0	1	0	0	0	0/25	0	0/25		0
	0/75	0/5	0/25	1	0/25	0/25	0	0/5	0	0/5	0	0

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	1	0/75	0/5	1	0/5	0/5	0/25	0/75	0/25	0/75	0/25	0/25
	0/5	0/75	0/25	0	1	0	0	0/5	0	0/25	0/25	0
C5	0/75	1	0/5	0/25	1	0/25	0	0/75	0/25	0/5	0/5	0
	1	1	0/75	0/5	1	0/5	0/25	1	0/5	0/75	0/75	0/25
	0/75	0	0	0	0/25	1	0/25	0/25	0/5	0/25	0/25	0
C6	1	0	0	0	0/5	1	0/5	0/5	0/75	0/5	0/5	0
	1	0/25	0/25	0/25	0/75	1	0/75	0/75	1	0/75	0/75	0/25
	0/5	0	0/5	0	0/5	0	1	0/75	0/25	0/25	0	0/25
C7	0/75	0	0/75	0	0/75	0/25	1	1	0/5	0/5	0	0/5
	1	0/25	1	0/25	1	0/5	1	1	0/75	0/75	0/25	0/75
	0	0	0/75	0/25	0	0	0/5	1	0	0	0	0/25
C8	0/25	0/25	1	0/5	0/25	0	0/75	1	0	0	0	0/5
	0/5	0/5	1	0/75	0/5	0/25	1	1	0/25	0/25	0/25	0/75
	0/75	0	0	0	0	0/75	0	0	1	0	0/25	0
C9	1	0	0	0/25	0/25	1	0/25	0	1	0/25	0/5	0
	1	0/25	0/25	0/5	0/5	1	0/5	0/25	1	0/5	0/75	0/25
	0/5	0/5	0	0/5	0/75	0/25	0	0	0	1	0	0
C10	0/75	0/75	0	0/75	1	0/5	0/25	0/25	0	1	0/25	0
	1	1	0/25	1	1	0/75	0/5	0/5	0/25	1	0/5	0/25
	0/75	0	0	0/25	0/75	0	0	0	0/75	0/5	1	0/25
C11	1	0	0	0/5	1	0	0/25	0	1	0/75	1	0/5
	1	0/25	0/25	0/75	1	0/25	0/5	0/25	1	1	1	0/75
	0	0/25	0/25	0/5	0/5	0/25	0/25	0	0	0/25	0	1
C12	0/25	0/5	0/5	0/75	0/75	0/5	0/5	0/25	0/25	0/5	0/25	1
	0/5	0/75	0/75	1	1	0/75	0/75	0/5	0/5	0/75	0/5	1

با توجه به ماتریس به‌دست‌آمده و قواعد گفته‌شده، ماتریس دسترسی و قدرت محرک و وابستگی عوامل محاسبه شد که در جدول ۸، ارائه شده است.

جدول ۸. ماتریس دسترسی نهایی

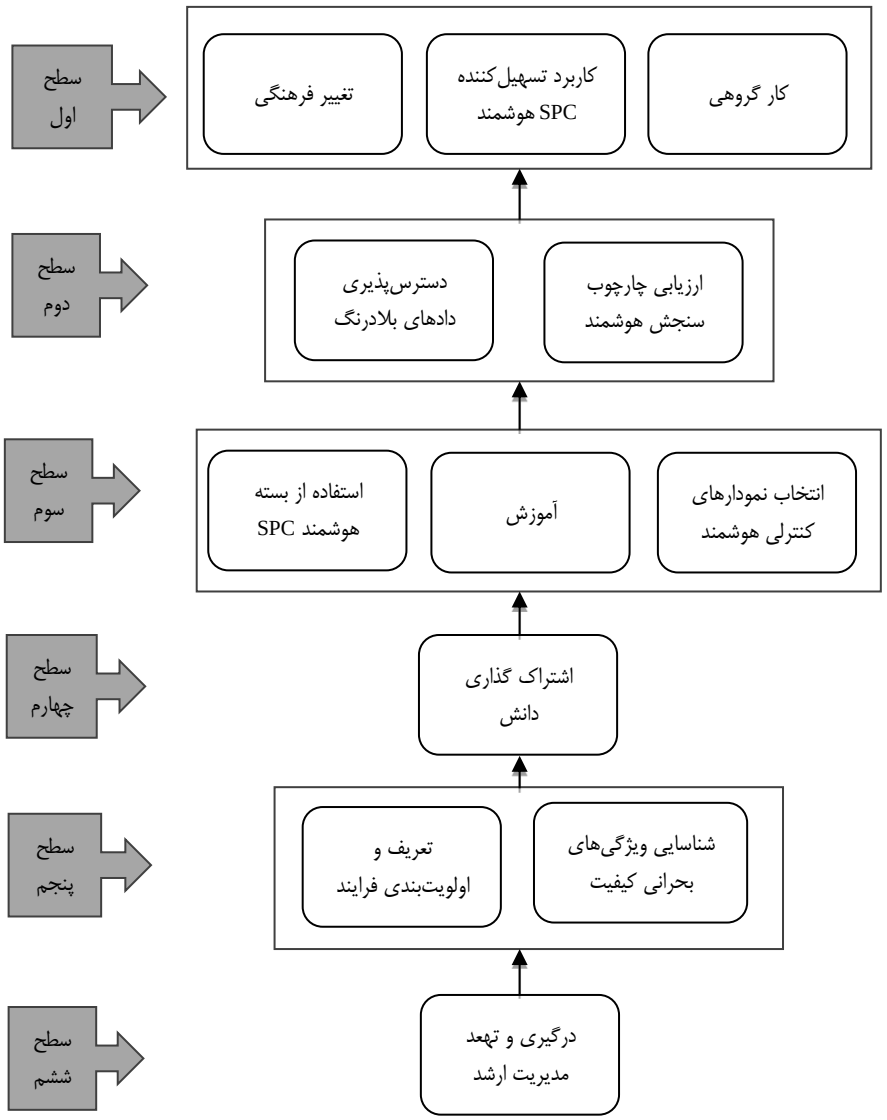
ردیف	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	محرک
C1	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۹
C2	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۶
C3	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۶
C4	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۵
C5	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۸
C6	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۶
C7	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۶
C8	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۷
C9	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۵
C10	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۷
C11	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۵
C12	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۴
وابستگی	۴	۶	۶	۵	۷	۸	۸	۴	۶	۷	۸		

بر اساس نتایج ماتریس دسترسی نهایی، سطح‌بندی عوامل آغاز شد که نتایج در جدول ۹، نشان داده شده است:

جدول ۹. نتایج سطح‌بندی تکنیک FISM

عامل	مجموعه دستیابی	مجموعه مقدم	مجموعه اشتراکی	سطح
۱	۱۰-۵-۱	۱	۱	۶
۲	۱۰-۵-۲	۱۰-۸-۷-۶-۵-۲	۱۰-۵-۲	۳
۳	۸-۷-۵-۳-۲	۸-۷-۵-۳-۲-۱	۸-۷-۵-۳-۲	۲
۴	۱۰-۸-۴	۱۰-۸-۴-۲-۱	۱۰-۸-۴	۲
۵	۵	۱۰-۵	۵	۵
۶	۱۰-۶-۲-۱	۱۰-۸-۷-۶-۵-۲-۱	۱۰-۶-۲-۱	۳
۷	۷	۱۰-۷-۵-۱	۷	۴
۸	۸-۷	۸-۷-۶-۵-۲	۸-۷	۳
۹	۱۱-۹-۷-۶-۱	۱۱-۹-۷-۶-۳-۱	۱۱-۹-۷-۶-۱	۱
۱۰	۱۰-۵	۱۰-۵-۱	۱۰-۵	۵
۱۱	۱۲-۱۱-۹-۶-۵-۱	۱۲-۱۱-۱۰-۹-۶-۵-۴-۱	۱۱-۹-۶-۵-۱	۱
۱۲	۱۲-۱۱-۸-۷	۱۲-۱۱-۱۰-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲	۱۲-۱۱-۸-۷	۱

درنهایت مطابق با نتایج جدول ۹، ساختار سلسله‌مراتبی عوامل به‌صورت شکل ۲، طراحی شد.



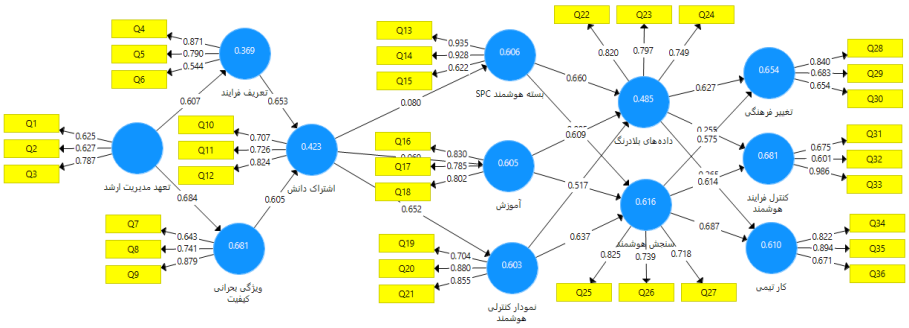
شکل ۲. مدل نهایی ساختاری تفسیری فازی

نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری. مطابق با نتایج فاز سوم، در این قسمت به اعتبارسنجی مدل طراحی‌شده پرداخته می‌شود. برای تحقق این امر پرسشنامه ۳۶ گویه‌ای طراحی و توسط ۱۵۵ نفر از اعضای جامعه آماری مرحله دوم تکمیل شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها از نرم‌افزار Smart PLS3 استفاده شد. جدول ۱۰، شاخص‌های روایی و پایایی مدل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد که حاکی از مناسب‌بودن وضعیت شاخص‌ها است.

جدول ۱۰. شاخص‌های روایی و پایایی مدل اندازه‌گیری

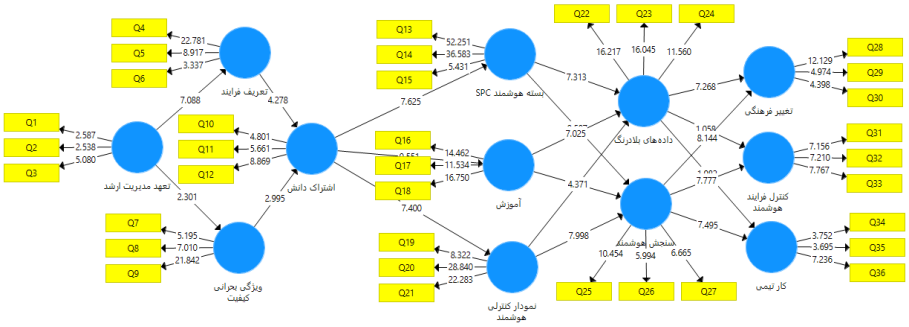
عوامل آمادگی سازمانی	تعداد سؤال‌ها	آلفای کرونباخ	AVE	CR
شناسایی ویژگی‌های بحرانی کیفیت	۳	۰/۸۷۶	۰/۵۶۳	۰/۸۶۸
انتخاب نمودارهای کنترلی هوشمند	۳	۰/۶۸۵	۰/۶۱۲	۰/۷۵۲
آموزش	۳	۰/۸۷۲	۰/۶۱۴	۰/۶۴۷
ارزیابی چارچوب سنجش هوشمند	۳	۰/۷۱۹	۰/۴۸۷	۰/۸۸۴
اشتراک‌گذاری دانش	۳	۰/۸۱۳	۰/۶۳۲	۰/۷۱۸
دسترس‌پذیری داده‌های بلادرنگ	۳	۰/۷۵۱	۰/۵۴۳	۰/۶۲۷
تغییر فرهنگی	۳	۰/۷۵۴	۰/۵۷۳	۰/۷۵۶
کاربرد تسهیل‌کننده کنترل فرایند آماری	۳	۰/۷۳۹	۰/۶۰۷	۰/۵۶۶
کار گروهی	۳	۰/۷۸۳	۰/۴۹۷	۰/۷۶۲
تعریف و اولویت‌بندی فرایند	۳	۰/۶۷۱	۰/۵۴۱	۰/۶۶۷
درگیری و تعهد مدیریت ارشد	۳	۰/۷۱۹	۰/۵۱۲	۰/۷۵۸
استفاده از بسته هوشمند SPC	۳	۰/۷۹۶	۰/۵۸۱	۰/۷۴۲

در گام بعد به محاسبه بارهای عاملی میان گویه‌ها و متغیرها و ضرایب مسیر میان متغیرها پرداخته شده است. مطابق با شکل ۳، ازآنجاکه هر یک از ضرایب مسیر و بارهای عاملی مقداری بیشتر از ۰/۵ را نشان می‌دهد، وجود روابط قوی بین مسیرها تأیید می‌شود.



شکل ۳. خروجی مدل اندازه‌گیری

در گام بعدی ضرایب معناداری مسیرها بررسی شد. در این گام مقدار t باید بیشتر از ۱/۹۶- و ۱/۹۶+ باشد تا از لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید شود. با توجه به شکل ۴، مقادیر معناداری از ۱/۹۶ بالاتر است و نشان می‌دهد که مدل طراحی‌شده به‌خوبی در سنجش عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرآیند آماری هوشمند نقش دارد.



شکل ۴. مقادیر ضرایب معناداری

درنهایت شاخص نیکویی برازش (GOF) برابر با ۰/۵۴۲ به‌دست آمد و برازش کلی مدل تأیید شد.

بحث. همان‌طور که مشخص شد، نخستین عامل مربوط به علاقه، اهتمام و تعهد مدیریت ارشد سازمان به اجرای این‌گونه از برنامه‌ها است. به عقیده ایوانز و ماهانتی[1]، (۲۰۱۲)، تعهد مدیریت در بالاترین جایگاه در میان عوامل آمادگی کنترل فرایند آماری هوشمند قرار دارد [۱۰]؛ زیرا سیستم کنترل فرایند آماری در قالب کیفیت ۴.۰ به‌جای اینکه به‌عنوان یک سیستم مستقل و غیر یکپارچه در سازمان اداره شود، باید در سطح سازمانی اجرا شود[۳۱]؛ علاوه بر این فقدان این حمایت، علی‌رغم اشتیاق اولیه کارکنان، ضامن ازبین‌رفتن انگیزه کارکنان و ازبین‌رفتن ظرفیت کل روش‌های مدیریت آماری خواهد بود [۱۰]. پیگیری در آموزش و ایجاد انگیزه مستمر و بلندمدت و بنانهادن این تفکر که کنترل فرایند آماری تنها یک برنامه زودگذر[2] نیست، بلکه یک فرآیند جاری برای توانمندسازی سرکارگران و بهبود کیفیت محصول/ فرآیند است، سبب تغییراتی در کارکنان می‌شود که آن‌ها را به سازگاری با ابعاد مختلف کنترل فرایند آماری هوشمند سوق می‌دهد[۸]؛ زیرا مرتبط‌ساختن آموزش کنترل فرایند آماری هوشمند با ارتقا، انگیزش کارکنان برای یادگیری و به‌کارگیری آن ارتباط مستقیمی دارد [۳۱]. برای مثال، کارکنان باید با یادگیری مهارت‌های جدید فناوری اطلاعات و تفکر انتقادی عجین شوند تا بتوانند با یکپارچه‌سازی در یک کارخانه هوشمند سازگار باشند.

ازآنجاکه این تغییرات در مدل‌های کاری آن‌ها است، تغییرات در مدل‌های جدید سازگاری یا هوشمندسازی می‌تواند آمادگی آن‌ها را تضمین کند [۸]؛ بنابراین مدیر علاقه‌مند به اجرای

1 James Evans & Rupa Mahanti
2. Fad

برنامه‌های جدید باید به فکر اجرای بیش‌ازپیش کار گروهی و تغییراتی در فرهنگ سازمانی سازمان خویش باشد؛ زیرا زمینه‌های رفتاری انسانی و مقاومت در برابر تغییر در اینجا نمود پیدا می‌کند و معرفی موفقیت‌آمیز کنترل فرایند آماری هوشمند باید شامل تغییر فرهنگی در کل محیط کاری نیز باشد [۱۸]. سیف، (۲۰۱۱) در پژوهش خود، مدیریت تغییر فرهنگ (به‌عنوان مثال، ممیزی داخلی، محک‌زدن و غیره) را از جمله عوامل مهم اجرای مؤثر برنامه‌های هوشمندسازی می‌داند[۳۱]، به‌همین دلیل با پیاده‌سازی یک فرهنگ مناسب احتمال بیشتری وجود دارد که کارمندان تغییرات را آغاز کنند، اقدامات حمایت‌کننده از تغییر را نشان دهند، تلاش بیشتری برای حمایت از تغییر انجام دهند و در مواجهه با موانع در حین اجرا مقاومت بیشتری از خود نشان دهند [۱۵]. بنابراین مدیر ارشد سازمان باید یک گروه چندمنظوره خاص تعریف کند که صلاحیت‌های لازم را همان‌طور که قبلاً ذکر شد، پوشش دهد. به همین دلیل سازمان‌ها باید ابزارهای مناسبی برای ارتقای شایستگی‌های کارکنان در رویکردهای ساختاریافته به‌اشتراک‌گذاشتن دانش اتخاذ کنند.

در گام بعدی باید توجه داشت که کنترل فرایند آماری هوشمند نیاز به داده کافی، سازگار، معتبر، کامل، دقیق و بهنگام دارد. در صنایع مختلف، توانایی جمع‌آوری داده‌های باکیفیت بسیار مهم است؛ زیرا بر تصمیم استراتژیک برای کسب‌وکارها، ایمنی و قابلیت ردیابی و محیط‌زیست و مسائل مربوط به تغییرات آب‌وهوایی تأثیر می‌گذارد [۳۶]. داده‌هایی که به شکل صحیح و متناسب با نوع سازمان در مرحله نخست جمع‌آوری و دسته‌بندی شده‌اند، می‌توانند به‌عنوان یک سنجه‌ی نرم‌افزاری برای یک ارزیابی کمّی از توسعه محصول، فرآیند و یا خواص معین فرآیندها مورداستفاده قرار گیرند چنین دسته‌بندی به سیستم اندازه‌گیری اجازه می‌دهد تا با قابلیت اطمینان بالا به‌عنوان یک سیستم محاسبه‌گر با اثربخشی بالا در مرحله اجرای هوشمندسازی عمل کند [۳۶].

برای به‌کارگیری اثربخش کنترل فرایند آماری هوشمند در سازمان‌ها، داشتن یک کمیته رهبری[1] به‌منظور ایجاد انگیزه و آموزش در حوزه‌های موردنیاز شامل زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، فناوری اتوماسیون، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، امنیت داده و ارتباطات، توسعه یا استفاده از سیستم‌های کمکی، نرم‌افزار همکاری، مهارت‌های غیرفنی مانند تفکر سیستمی یا درک فرایند به‌عنوان یک تسهیل‌کننده برای عملی‌کردن فرایندهای هوشمند لازم است [۷، ۸]؛ همچنین معرفی رهبر پروژه‌ای برای گروه‌های چندمنظوره شکل‌گرفته که صلاحیت‌های لازم را در تمام زمینه‌های لازم برای اجرای سیستم پیشرفته داشته باشد، نیز ضروری است تا بتوان مسیر بهینه نیل به کنترل فرایند آماری هوشمند را تشخیص داد [۷]. پس از حصول اطمینان از پیاده‌سازی کامل سیستم پیشرفته، با توجه به عوامل نامبرده، سازمان باید مسئولیت نگهداری و استفاده از این سسیتم ها برای کنترل فرآیندهای آماری را محول کند؛ بنابراین باید گروهی به نگهداری و نظارت بر سیستم

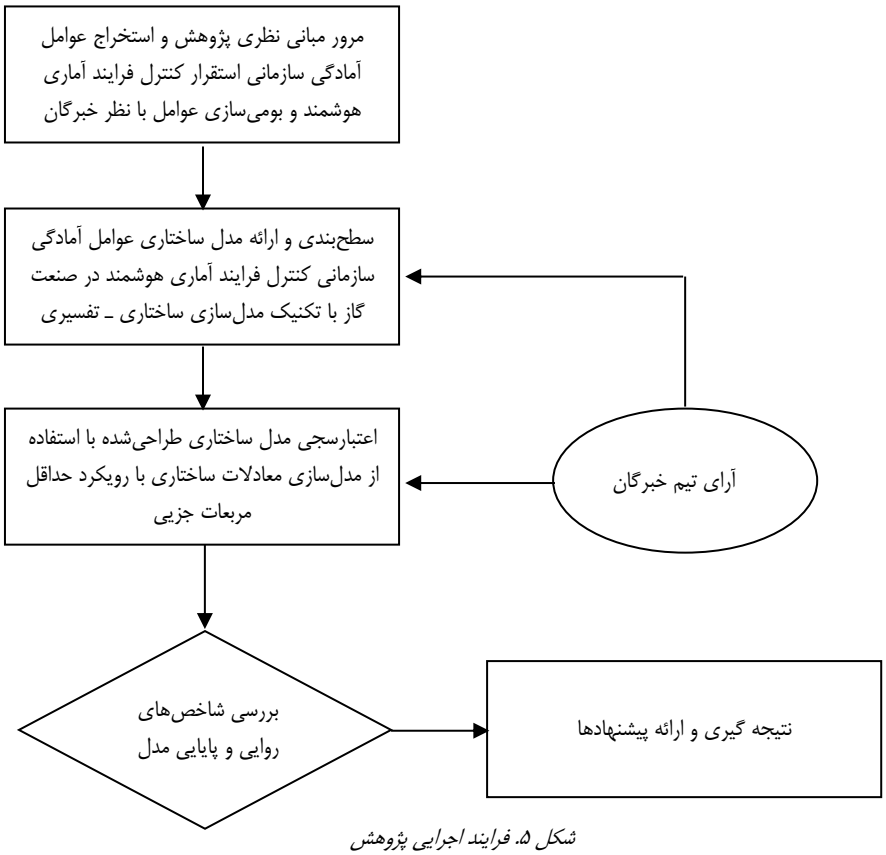
1. Steering committee

پیشرفته اختصاص باید تا اطمینان حاصل شود که روش کنترل فرآیند آماری نظری به آن پایبند است [۷]. با توجه به این عوامل و پیاده‌سازی آن‌ها می‌توان به سازمان‌ها کمک کرد تا بتوانند در اجرای کنترل فرایند آماری هوشمند گام بزرگی بردارند و یک قدم به سمت دیجیتالی‌شدن سیستم‌های کنترل خود پیش بروند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کنترل فرایند آماری به‌طور گسترده‌ای در صنایع برای کنترل پارامترهای فرایند استفاده شده است. شرکت‌هایی که در مسیر کیفیت هوشمند قدم می‌گذارند، باید تعهدی پایدار به سیستم‌های هوشمند برای کنترل فرایندهای خود داشته باشند. یکی از این تغییرات پیشبرد سیستم مدیریت کیفیت خود به سمت پایه‌ریزی کیفیت ۴.۰ و در پی آن بهره‌گیری از کنترل فرایند آماری هوشمند است؛ اما تنها تعداد کمی از سازمان‌ها برنامه‌های هوشمندسازی کنترل فرایند آماری را با موفقیت پیاده‌سازی کرده‌اند و همچنین تعداد بسیار کمی پژوهش دانشگاهی وجود دارد که دیدگاه‌های متخصصان ارشد کیفیت را در مورد آمادگی سازمان‌ها به‌منظور پایه‌گذاری کنترل فرایند آماری هوشمند یکپارچه کرده باشد. بر همین اساس هدف این پژوهش در گام نخست، تعریف جامعی از کنترل فرایند آماری هوشمند و شرح آن بود که با توجه به تعاریف مطرح‌شده این جمع‌بندی حاصل شد که سیستم کنترلی با استخراج اطلاعات معنادار از حجم از زیادی از داده‌ها قابلیت رصد، دسته‌بندی و جمع‌آوری بلادرنگ داده‌های فرایند را امکان‌پذیر می‌کند و در پی آن سبب کاهش تشخیص عیوب و نیاز به ممیزی مستقیم می‌شود.

در گام دوم، مروری بر عوامل آمادگی سازمانی استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند صورت گرفت. مورد مطالعه این پژوهش شرکت گاز ایران بود که به‌منظور کاهش نقص در کنترل فرایندهای خود و ضررهای که پیش‌تر به آن اشاره شد، باید به این عوامل توجه بیش‌ازپیش داشته باشد تا بتواند با بسترسازی آن‌ها گام مهمی در راستای هوشمندسازی کنترل فرایندها و جبران نقص‌های وارده داشته باشد. فرایند اجرایی پژوهش به شرح شکل ۵، است.



شکل ۵. فرایند اجرایی پژوهش

تعهد مدیریت ارشد به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی‌شده در این پژوهش به‌طور مشترک توسط مطالعات سیپریان[1]، (۲۰۲۱)، لیم و آنتونی[2]، (۲۰۱۶)، تسنگ[3]، (۲۰۱۳) نیز شناسایی شده‌اند [۷، ۱۸، ۳۶]. به‌طوری‌که در مطالعات سیپریان، (۲۰۲۱)، تسنگ، (۲۰۱۳) به‌طور یکسان با نتیجه پژوهش حاضر، این عامل به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناخته شد؛ همچنین به کار گروهی، سیستم تشخیص داده مناسب، فرهنگ و آموزش و یادگیری نیز در پژوهش‌های پیشین اشاره شده که حاکی از اهمیت بالای آن‌ها در اجرای عوامل آمادگی سازمانی کنترل فرایند آماری هوشمند است و بیشتر پژوهشگران به آن‌ها اشاره کرده‌اند [۷، ۳۶].

کنترل فرایند آماری هوشمند در صنعت گاز می‌تواند زمینه بهبود و بهینه‌سازی عملکرد فرایندهای تولید، انتقال و توزیع گاز را فراهم کند. با استفاده از انتخاب نمودارهای کنترلی هوشمند (C_8) می‌توان خطاها و نواقص را تشخیص داد، عملکرد آینده را پیش‌بینی کرد و کنترل فرایندها

1 Vlad Ciprian
2 Lim & Antony
3 Ming Lang Tseng

را بهبود بخشید. این مسئله باعث افزایش کیفیت محصولات، کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها می‌شود. با استفاده از بسته‌های هوشمند SPC (C_2)، می‌توان عوامل مؤثر بر کیفیت و عملکرد فرایندهای صنعتی را شناسایی کرده و بهینه‌سازی کرد. در صنعت گاز، این الگوریتم‌ها می‌توانند به‌طور خودکار تنظیمات و پارامترهای مربوط به تولید، انتقال و توزیع گاز را بهینه کنند تا عملکرد بهتری را فراهم سازند. با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان به‌طور خودکار و هوشمند خطاها و نواقص در فرایندهای تولید گاز را تشخیص داد. این الگوریتم‌ها می‌توانند بر اساس داده‌های بلادرنگ (C_3) جمع‌آوری‌شده از حسگرها و دستگاه‌های مختلف، الگوهای عادی را شناسایی کنند و در صورت وجود هرگونه اختلال و نامعمولی، هشدار دهند و یا به‌طور خودکار فرایند را تنظیم کنند. اگر در فرایند توزیع گاز میزان فشار بیش از حد معمول افزایش یابد و کیفیت گاز تحت تأثیر قرار بگیرد، الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند به‌طور خودکار دستگاه‌ها را به‌طور مثبت تنظیم کنند تا فشار را کاهش دهند و کیفیت گاز را به محدوده مطلوب بازگردانند. این بهبود در کنترل فرایند می‌تواند به کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد کلی فرایند منجر شود. استقرار کنترل فرایند آماری هوشمند به مدیران صنعت گاز کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی مناسبی برای بهبود و بهینه‌سازی فرایندها انجام دهند و نتایج مطلوب را پیش‌بینی کنند.

در پایان به پژوهشگران برای انجام پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود در گام نخست به شناسایی سهم هر یک از عوامل شناخته‌شده در کنترل فرایند آماری هوشمند بپردازند و تأثیرات راهبردهای هر یک از عوامل را به نسبت اهمیت آن‌ها بر کنترل فرایند آماری هوشمند بررسی کنند و آن‌ها را از منظر مدیریتی موردسنجش قرار دهند؛ همچنین استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره دیگر همچون تحلیل سلسله‌مراتبی، سوارا و دیمتل می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Abeje, A. (2021). School of graduate studies institute of quality and productivity management quality improvement using statistical process control tools in process control in dairy industry-the case of sebeta agro industry addis ababa, ethiopia. ST. MARY'S UNIVERSITY.
2. Alzahrani, B., Bahaitham, H., Andejany, M., & Elshennawy, A. (2021). 5how ready is higher education for quality 4.0 transformation according to the lns research framework? *Sustainability, 13(9)*, 5169–5183.
3. Antony, J., & Taner, T. (2003). A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. *Business Process Management Journal, 9(4)*, 473–489.
4. Azamfirei, V., Granlund, A., & Lagrosen, Y. (2021). Multi-layer quality inspection system framework for industry 4.0. *International Journal of Automation Technology, 15(5)*, 641–650.
5. Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., shahmansoury, A., & Fathi Hafshejani, K. (2022). Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments. *Journal of Industrial Management Perspective, 13(2)*, 267–298. [In Persian]
6. Cheng, C. S., Chen, P. W., & Ho, Y. (2022). Control Chart Concurrent Pattern Classification Using Multi-Label Convolutional Neural Networks. *Applied Sciences (Switzerland), 12(2)*, 787–796.
7. Ciprian, V., Dragomir, M., & Dragomir, D. (2021). Contributions Related To The Development And Implementation Of Advanced Systems For Statistical Process Control. *Acta Technica Napocensis-Series: Applied Mathematics, Mechanics, And Engineering, 64(4)*, 243–261.
8. Cohen, Y., & Singer, G. (2021). A smart process controller framework for Industry 4.0 settings. *In Journal of Intelligent Manufacturing, 32 (7)*, 1975–1995
9. Dutta, G., Kumar, R., Sindhwani, R., & Singh, R. K. (2021). Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: a conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing, 32(6)*, 1679–1698.
10. Evans, J. R., & Mahanti, R. (2012). Critical success factors for implementing statistical process control in the software industry. *Benchmarking: An International Journal, 19(3)*, 374–394.
11. Godina, R., & Matias, J. C. O. (2019). Quality control in the context of industry 4.0. *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, 281(2)*, 177–187.
12. Gordon, M. E., Philpot, J. W., Bounds, G. M., & Long, W. S. (1994). Factors associated with the success of the implementation of statistical process control. *The Journal of High Technology Management Research, 5(1)*, 101–121.
13. Guh, R.-S., Tannock, J. D. T., & O'brien, C. (1999). IntelliSPC: a hybrid intelligent tool for on-line economical statistical process control. *Expert Systems with Applications, 17(2)*, 195–212.
14. Imkamp, D., Berthold, J., Heizmann, M., Kniel, K., Manske, E., Peterek, M., Schmitt, R., Seidler, J., & Sommer, K. D. (2016). Challenges and trends in manufacturing measurement technology - The "industrie 4.0" concept. *Journal of Sensors and Sensor Systems, 5(2)*, 325–335.

15. Leng, J., Sha, W., Lin, Z., Jing, J., Liu, Q., & Chen, X. (2022). Blockchained smart contract pyramid-driven multi-agent autonomous process control for resilient individualised manufacturing towards Industry 5.0. *International Journal of Production Research, 4302(32)*, 61–63.
16. Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *Nternational Journal of Production Research, 55(12)*, 3609–3629.
17. Lim, S. A. H., & Antony, J. (2014). A conceptual readiness framework for statistical process control (SPC) deployment. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 14(3)*, 300–304.
18. Lim, S. A. H., & Antony, J. (2016). Statistical process control readiness in the food industry: Development of a self-assessment tool. *In Trends in Food Science and Technology, 58 (1)*. 133–139.
19. Liu, H. C., You, J. X., Lu, C., & Chen, Y. Z. (2015). Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41(6)*, 932–942
20. Lontsikh, P. A., & Eliseev, S. V. (2002). Modern Trends In The Formation And Monitoring Of Quality Management Systems Enterprise. *Social Science Research Network, 25(15)*, 317–441.
21. Luning, P. A., & Marcelis, W. J. (2009). A food quality management research methodology integrating technological and managerial theories. *Trends in Food Science & Technology, 20(1)*, 35–44.
22. Mazlan, N. A. B., Hamid, M. S. R. A., & Masrom, N. R. (2021). Development Of A Quality Outcome Matrix For Malaysian Smart Manufacturers. *Journal of Southwest Jiaotong University, 56(5)*, 601–618.
23. Nascimento-e-Silva, D. (2022). Quality Control Challenges before Industry 4.0. *Journal of Engineering and Technology, 33(3)*, 1–5.
24. Niri, M. F., Liu, K., Apachitei, G., Román-Ramírez, L. A. A., Lain, M., Widanage, D., & Marco, J. (2022). Quantifying key factors for optimised manufacturing of Li-ion battery anode and cathode via artificial intelligence. *Energy and AI, 7(1)*, 100–129.
25. Noskievicova, D., Smajdorova, T., & Tyleckova, E. (2020). Statistical Process Control in Big Data Environment. *Proceedings of the 2020 21st International Carpathian Control Conference, ICCC 2020, 21(3)*, 134–150.
26. Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. *Sustainable Futures, 2(1)*, 100–123.
27. Ragade, R. K. (2011). Fuzzy Interpretive Structural Modeling. *Cybernetics and System, 6(3)*, 189–211.
28. Rahchamani, S. M., Heydariyeh, S. A., & Zargar, S. M. (2022). Designing a Model for Intelligent Service Supply Chain Based on Grounded Theory (Case Study: Omid Entrepreneurship Fund). *Journal of Industrial Management Perspective, 12(2)*, 89–111. [In Persian]
29. Ramezani, J., & Jassbi, J. (2020). Quality 4.0 in action: Smart hybrid fault diagnosis system in plaster production. *Processes, 8(6)*. 634-663

30. Rungasamy, S., Antony, J., & Ghosh, S. (2002). Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: Some key findings from a survey. *TQM Magazine, 14(4)*, 217–224.
31. Saif, A.-W., Akram, M., & Rahim, M. A. (2011). A fuzzy integrated SPC/APC scheme for optimised levels of process quality, performance and robustness. *Nternational Journal of Experimental Design and Process Optimisation, 2(2)*, 161–189.
32. Schroeder, A., Ziaee Bigdeli, A., Galera Zarco, C., & Baines, T. (2019). Capturing the benefits of industry 4.0: a business network perspective. *Production Planning & Control, 30(16)*, 1305–1321.
33. Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP, 52(3)*, 161–166.
34. Singer, G., & Cohen, Y. (2021). A framework for smart control using machine-learning modeling for processes with closed-loop control in Industry 4.0. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21(3)*, 102–134.
35. Sony, M., & Naik, S. (2020). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *In Benchmarking 27 (7)* 2213–2232.
36. Tseng, M. L. (2013). Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production, 40(1)*, 46–56.
37. Unterberger, P., & Müller, J. M. (2021). Clustering and Classification of Manufacturing Enterprises Regarding Their Industry 4.0 Reshoring Incentives. *Procedia Computer Science, 180(5)*, 696–705.
38. Wu, D., Liu, S., Zhang, L., Terpenny, J., Gao, R. X., Kurfess, T., & Guzzo, J. A. (2017). A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems, 43(4)*, 25–34.
39. Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research, 56(8)*, 2941–2962.
40. Yen, H. R., Wang, W., Wei, C. P., Hsu, S. H. Y., & Chiu, H. C. (2012). Service innovation readiness: Dimensions and performance outcome. *Decision Support Systems, 53(4)*, 813–824.
41. Zan, T., Liu, Z., Su, Z., Wang, M., Gao, X., & Chen, D. (2020). Statistical process control with intelligence based on the deep learning model. *Applied Sciences (Switzerland), 10(1)*, 308–330.