Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 114-134; doi: 10.48308/JIMP.14.1.114

Industrial Management Perspective

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

Original Article

Evaluating the Quality of Manufactured Products by Providing an Approach based on the ANFIS Neural-Fuzzy Network (Case Study: Khazar Plastic Manufacturing and Industrial Company)

Samaneh Rash*
Meysam Effati**
Mostafa Ebrahimpour Azbari***

Abstract

Introduction and Purpose: Currently, the need to expand accurate and rapid quality assurance to provide high quality and safe manufactured products; Yes, quality focuses more on internal issues that are used to control and improve internal processes and seek to improve performance for customer satisfaction and competitiveness. The quality of products and processes is emphasized in industry, government and society. The quality performance evaluation system is highly dependent on the identification and selection of critical success factors and its indicators in the framework of quality management. To achieve this goal, there are problems in the production industry, such as low production efficiency, low accuracy and lack of innovation in products.

Methods: Based on this, a plan has been proposed to introduce the artificial intelligence method of manufacturing companies to solve the above problems and, as a result, improve product quality and production efficiency. For this purpose, a network based on an adaptive neuro-fuzzy inference system is presented to evaluate the accuracy of the results and compare its efficiency. The proposed method is opposed to hard calculations and will save time and money. In industries, the volume of data has increased, which has led to the emergence of new concepts such as big data analytics, and the limitations and advantages of artificial intelligence-based solutions are discussed to creative attention to new solutions and new directions in manufacturing, commercial and service industries to improve efficiency. Stimulate your processes, increase the value of your solutions, and design new products to find new businesses and markets. Almost all international roadmaps focused on innovation and research include artificial intelligence as a fundamental driver of future technology.

Received: Sep. 21, 2023; Revised: Nov. 21, 2023; Accepted: Dec. 25, 2023; Published Online: Jan. 30, 2024.

* Ph.D Student, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.
** Associate Professor, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, University of Guilan, Rasht, Iran.
Corresponding Author: m.ebrahimpour@guilan.ac.ir.
*** Associate Professor, Department of Management, Faculty of Management and Economics, University of Guilan, Rasht, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2024, 14(1), 114-134; doi: 10.48308/JIMP.14.1.114

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

Original Article

A challenge for traditional methods in quality management is the management of high-dimensional and non-linear production data. To solve these problems, a process based on artificial intelligence has been developed in this research to improve product quality and production efficiency. In this research, an adaptive neural-fuzzy inference model that has the advantages of neural network and fuzzy inference together, to evaluate and extracts the quality level of manufactured products; And it is proposed to infer how a set of production parameters and process quality of a production system are related.

Findings: In order to train the proposed model, the data related to the quality process of one piece from the production line of Khazar Plastic Industrial Company was used and 550 data related to the quality process with emphasis on influential variables including "appearance standard, external diameter of large gear, thickness of gear, The length of the metal shaft, the height of the metal shaft, the external diameter of the metal shaft" are considered as input variables and final quality as output variables. Finally, the accuracy of the results and the effectiveness of the proposed adaptive neuro-fuzzy inference model have been evaluated using statistical indices of correlation coefficient and root-mean-square error.

Conclusion: the results show the data used to evaluate the quality of the production part in the adaptive-proposal neuro-fuzzy method; With a correlation coefficient of 0.95 and a mean square error of 0.42869, it provided a good match between the quality of the model output and the actual values.

Keywords: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS); Supervised learning; Quality management; Improve quality; Production.

How to Cite: Rash, Samaneh; Effati, Meysam; Ebrahimpour Azbari, Mostafa (2024). Evaluating the Quality of Manufactured Products by Providing an Approach based on the ANFIS Neural-Fuzzy Network (Case Study: Khazar Plastic Manufacturing and Industrial Company). *Ind. Manag. Persp.*, 14(1), 114-134 *(In Persian)*.

Copyright: © 2024 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، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۱۴ – ۱۳۴، doi: 10.48308/JIMP.14.1.114

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

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

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی کیفیت محصولات تولیدی با ارائه رویکردی مبتنی بر شبکه عصبی ـ فازی ANFIS (مورد مطالعه: شرکت تولیدی و صنعتی خزر پلاستیک)

سمانه راش*

میثم عفتی**

مصطفی ابراهیم‌پور ازبری***

چکیده

مقدمه و اهداف: در حال حاضر، گسترش تضمین کیفیت دقیق و سریع برای ارائه محصولات تولیدی با کیفیت بالا و ایمن ضروری است. کیفیت بیشتر بر مسائل درون سازمانی تمرکز دارد که برای کنترل و بهبود فرآیندهای داخلی به‌کار می‌رود و به‌دنبال بهبود عملکرد به‌منظور رضایت مشتری و رقابت‌پذیری است. کیفیت حوزه‌ای است که بر تلاش برای توسعه روش‌های خودکار تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با هدف نهایی بهبود مستمر کیفیت محصولات و فرآیندها در صنعت، دولت و جامعه تأکید دارد. سیستم ارزیابی عملکرد کیفیت به‌شدت به شناسایی و انتخاب عوامل حیاتی موفقیت و همچنین شاخص‌های آن در چارچوب مدیریت کیفیت وابسته است. برای رسیدن به این هدف در صنعت تولید، مشکلاتی مانند بازده تولید پایین، دقت پایین و عدم‌نوآوری در محصولات وجود دارد.

روش‌ها: بر این اساس، طرحی برای معرفی روش هوش مصنوعی به شرکت‌های تولیدی برای حل مشکلات ذکرشده و درنتیجه بهبود کیفیت محصولات و کارایی تولید پیشنهاد شده است. بدین منظور، شبکه‌ای مبتنی بر یک سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی برای ارزیابی و بررسی دقت نتایج و مقایسه کارایی آن ارائه شده است. روش پیشنهادی در تقابل با محاسبات سخت قرار می‌گیرد و موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه خواهد شد. در صنایع حجم داده‌ها افزایش یافته است که به ظهور مفاهیم جدیدی مانند تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ منجر شده است و محدودیت‌ها و مزایای راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی موردبحث قرار می‌گیرد تا توجه خلاقانه به راه‌حل‌های جدید و جهت‌گیری‌های جدید در صنایع تولیدی، تجاری و خدماتی برای بهبود کارایی فرآیندهای خود، افزایش ارزش راه‌حل‌های خود و طراحی محصولات جدید برای یافتن مشاغل و بازارهای جدید را برانگیزد. تقریباً تمام نقشه‌های راه بین‌المللی که بر نوآوری و پژوهش متمرکز شده‌اند، هوش مصنوعی را به‌عنوان محرک اساسی فناوری آینده دربرمی‌گیرند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰.

* دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

** دانشیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

*** دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

نویسنده مسئول: m.ebrahimpour@guilan.ac.ir .

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۱۴ – ۱۳۴، doi: 10.48308/JIMP.14.1.114

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

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

نوع مقاله: پژوهشی

یکی از چالش‌های روش‌های سنتی در مدیریت کیفیت، مدیریت داده‌های تولیدی با ابعاد بالا و غیرخطی است. برای حل این مشکلات، فرآیندی مبتنی بر هوش مصنوعی برای بهبود کیفیت محصول و کارایی تولید در این پژوهش توسعه داده شده است. در این پژوهش یک مدل استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی که هم‌زمان دارای مزایای شبکه عصبی و استنتاج فازی است، برای ارزیابی و استخراج درجه کیفیت محصولات تولیدی و برای استنباط اینکه چگونه مجموعه‌ای از پارامترهای تولید و کیفیت فرآیند یک سیستم تولید مرتبط هستند، پیشنهاد شده است.

یافته‌ها: به‌منظور آموزش مدل پیشنهادی از داده‌های مربوط به فرایند کیفیت یک قطعه از خط تولید «شرکت صنعتی خزر پلاستیک» استفاده شد و ۵۵۰ داده مرتبط با فرایند کیفیت با تأکید بر متغیرهایی تأثیرگذار شامل«معیار ظاهری، قطر خارجی چرخ‌دنده بزرگ، ضخامت چرخ‌دنده، طول شافت فلزی، ارتفاع شافت فلزی، قطر خارجی شافت فلزی» به‌عنوان متغیر ورودی و کیفیت نهایی به‌عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شد. درنهایت دقت نتایج و کارایی مدل استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی پیشنهادی با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا موردارزیابی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، داده‌های مورداستفاده برای ارزیابی کیفیت قطعه تولیدی در روش نرو فازی تطبیقی ـ پیشنهادی با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و میانگین مربعات خطا ۰/۴۲۸۶۹ تطابق خوبی بین کیفیت خروجی مدل و مقادیر واقعی ارائه داد.

کلیدواژه‌ها: سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیق (ANFIS)؛ یادگیری نظارت‌شده؛ مدیریت کیفیت؛ بهبود کیفیت؛ تولید.

استناددهی: راش، سمانه؛ عفتی، میثم؛ ابراهیم‌پور ازبری، مصطفی (۱۴۰۳). ارزیابی کیفیت محصولات تولیدی با ارائه رویکردی مبتنی بر شبکه عصبی ـ فازی ANFIS (موردمطالعه: شرکت تولیدی و صنعتی خزر پلاستیک). چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۱)، ۱۱۴-۱۳۴.

Copyright: © 2024 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

کیفیت برای رضایت مشتری مهم است. مشتری یکی از بخش‌های مهم تصمیم‌گیری کیفیت محصول به‌شمار می‌رود [۱]. کیفیت را می‌توان به‌عنوان مجموع کل ویژگی‌ها در ساخت محصولاتی که برای مشتری رضایت‌بخش است، متمایز کرد [۳۴]. کیفیت بیشتر بر مسائل درون‌سازمانی تمرکز دارد که برای کنترل و بهبود فرآیندهای داخلی به‌کار می‌رود و به‌دنبال بهبود عملکرد به‌منظور رضایت مشتری و رقابت‌پذیری است. سیستم ارزیابی عملکرد کیفیت به‌شدت به شناسایی و انتخاب عوامل حیاتی موفقیت و همچنین شاخص‌های آن در چارچوب مدیریت کیفیت وابسته است [۱۰]. کیفیت پایین باعث ایجاد ضایعات و دوباره‌کاری غیرضروری می‌شود و درنتیجه تأثیر منفی زیادی بر عملکرد مالی می‌گذارد؛ همچنین می‌تواند پایبندی به برنامه را کاهش داده، سطح موجودی را افزایش دهد و دیگر فرصت‌های بهبود را کمتر آشکار کند [۸]. کیفیت، یک عامل ارزش‌آفرین محسوب می‌شود که بهره‌وری سایر منابع و عوامل تولید و یا خدمات در گرو عملکرد آن است و همه جوامع پیشرفته در دنیای امروز دارای راهبرد، برنامه و نقشه‌های کلان در حوزه‌های مختلف استاندارد و کیفیت در عالی‌ترین سطح ملّی خود هستند [۴]. «انجمن آمریکایی کیفیت» تخمین می‌زند که کیفیت پایین ۱۰ تا ۱۵ درصد از هزینه‌های عملیاتی شرکت‌های تولیدی را ایجاد می‌کند؛ بدین منظور، نظریه مدیریت کیفیت، شناسایی و حذف منابع تنوع کیفیت را پیشنهاد کرده است [۵، ۸، ۲۱، ۲۵، ۳۲]. بهبود کیفیت مدت‌ها است که توسط روش‌های آماری پشتیبانی شده است [۶]. رویکردهای موجود برای شناسایی منابع تنوع کیفیت بر ارتباط خطی تمرکز دارند [۲۱]. با این‌حال تنظیمات تولید مدرن با داده‌های ابعادی بالا مشخص می‌شوند که اغلب شامل روابط غیرخطی هستند [۲۳]. هنگامی که از غیرخطی‌ها در شرایط با ابعاد بالا غفلت می‌شود، تولیدکنندگان ممکن است محرک‌های مهم کیفیت فرآیند را شناسایی نکنند؛ درنتیجه به روش‌هایی نیاز است که غیرخطی‌ها را در داده‌های ساخت بهتر تطبیق دهند. این پژوهش با توسعه یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای بهبود، نقص بالا را برطرف می‌کند. مدل‌های هوشمند از منابع محاسباتی برای انجام وظایفی که معمولاً توسط انسان‌ها انجام می‌شود، استفاده می‌کنند. این نمونه‌های اولیه را می‌توان با توجه به ساختار یا پیچیدگی مشکل حل‌شده محقق کرد. از آنجاکه مشکلات واقعی در رفتار و پراکندگی داده‌ها متفاوت است، یافتن یک مدل هوشمند که قادر به حل کارآمد مسائل باشد، به‌طور فزاینده‌ای پیچیده می‌شود. مدل‌های هوشمند این امکان را فراهم می‌کند که اعمال استاندارد انسان به‌صورت محاسباتی شبیه‌سازی شود. این امر تصمیم‌گیری را در زمینه‌های مختلف صنعت، تجارت و بازار مالی تسهیل می‌کند. شبکه‌های عصبی فازی مدل‌های ترکیبی هوشمندی به‌شمار می‌روند که قادر به انجام یادگیری تفسیری یک مسئله با استفاده از انواع ویژگی‌های داده‌های اطلاعاتی هستند [۱۷]. یکی از مشکلات استفاده از این نوع مدل‌های هوشمند این است که پاسخ‌های آن پیچیده می‌شود و باید سعی شود به گونه‌ای توضیح داده شود که حتی افراد غیرمتخصص در حوزه‌های هوش مصنوعی بتوانند درک کرده و تفسیرپذیری را در بازنمایی مشکلات ارائه کنند [۹، ۳۱]؛ بنابراین برای هم‌افزایی منسجم بین ظرفیت آموزشی شبکه‌های عصبی مصنوعی و امکان نمایش مسائل به شیوه‌ای قابل‌تفسیرتر، مدل‌هایی به نام «شبکه‌های عصبی فازی» یا «مدل‌های عصبی فازی» پیشنهاد می‌شود [۱۲]. برای نزدیک‌ترکردن خروجی‌های مدل‌های هوشمند به انتظارات در موقعیت‌های معمولی، مفاهیم دستگاه‌های فازی پدیدار شده‌اند. این شبکه‌ها با همکاری بین نظریه مجموعه‌های فازی و شبکه‌های عصبی شکل می‌گیرند که گستره وسیعی از توانایی‌های یادگیری را امکان‌پذیر می‌سازد. آن‌ها مدل‌هایی را ارائه می‌دهند که مدیریت اطلاعات نامشخص ارائه‌شده توسط دستگاه‌های فازی و توانایی یادگیری اعطاشده توسط شبکه‌های عصبی را یکپارچه می‌کند [۱۱]. این شبکه‌ها در زمینه‌های کاربردی مختلف، مانند خوشه‌بندی فازی، مدل‌سازی دستگاه‌های دینامیکی غیرخطی، برای ازبین‌بردن ارتعاش دستگاه‌های بزرگ‌مقیاسیا در تشخیص عیب در صنعت و غیره بسیار امیدوارکننده هستند [۳]. محاسبات سخت، محاسبات مرسومی است که به مدل تحلیلی کاملاً دقیق و زمان محاسبه زیادی برای حل مسائل پیچیده نیاز دارد؛ اما مسائل موجود در دنیای واقعی اغلب در یک محیط غیر ایده‌آل و در شرایط عدم‌قطعیت و ابهام قرار دارند. برخلاف محاسبات سخت، محاسبات نرم برای مدل‌سازی مسائل کم‌دقت، توأم با عدم‌قطعیت و تقریب به‌کار می‌رود و قادر به حل مسائل پیچیده در مدت زمان کمتری است [۳۰]. محاسبات نرم در سالیان اخیر موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم همچون شبکه عصبی[1]، سیستم استنتاج فازی[2] و یا سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی[3] که مزایای شبکه عصبی و استنتاج فازی را با هم دارا است، در حل مسائل مختلفی که راه‌حل دقیق برای آن‌ها یا وجود ندارد و یا هزینه مالی و زمانی زیادی دارد، به‌کار گرفته می‌شوند. شبکه‌های عصبی علی‌رغم قابلیت یادگیری، نسبت به

1. Artificial neural network
2. Fuzzy inference system
3. Adaptive neuro-fuzzy inference system

مدل‌سازی عدم‌قطعیت و به‌کارگیری نظر متخصصان ناتوان هستند؛ همچنین دستگاه‌های استنتاج فازی علیر غم به‌کارگیری نظر متخصصان، در یادگیری و تطبیق با شرایط جدید ناتوان هستند. دستگاه‌های نروفازی مزایای شبکه‌های عصبی مصنوعی و دستگاه‌های استنتاج فازی را هم‌زمان دارند. سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی از کاراترین دستگاه‌های نروفازی است که روی یک سیستم استنتاج فازی سوگنو[1] (TSK) اجرا می‌شود. سیستم مدیریت داده‌های هوش مصنوعی مبتنی بر داده‌های بزرگ است و به‌ترتیب از چهار ماژول تشکیل شده است. ماژول اول یک ماژول پردازش داده بزرگ است که برای شناسایی و انتخاب داده‌ها از جمله داده‌های ساختاریافته و داده‌های بدون ساختار استفاده می‌شود. ماژول دوم یک ماژول پردازش اطلاعات تصمیم است که برای جمع‌آوری داده‌های انتخاب‌شده از ماژول پردازش داده‌های بزرگ استفاده می‌شود و سپس داده‌های انتخابی را در حد معقول طبقه‌بندی و ذخیره می‌کند؛ سپس داده‌های ذخیره‌شده کاوش و تجزیه‌وتحلیل می‌شوند تا سودمندی اولیه آن شناسایی شود. ماژول سوم یک ماژول تولید دانش تصمیم‌گیری است که در آن اطلاعات تجزیه‌وتحلیل شده در ماژول دوم به‌وضوح طبقه‌بندی می‌شود تا سه بخش دانش توصیفی، دانش پیش‌بینی و دانش آموزشی تولید شود. بخش چهارم یک ماژول نوآوری کاربردی مدیریت است که دانش تولیدشده در ماژول سوم را برای ترکیب یک طرح مدیریت عمومی یا به‌ویژه یک طرح مدیریت نوآورانه برای تولید صنعتی به‌کار می‌برد. سیستم مدیریت داده‌های هوش مصنوعی زمان جمع‌آوری داده‌ها را ایمن می‌کند و می‌تواند تجربه مشتری را بهبود بخشد؛ از این‌رو می‌تواند کارایی مدیریت شرکت را برای بهبود کیفیت محصول و کارایی اقتصادی در تولید بهبود بخشد [۲۹].

امروزه تولید با مشکلات متعددی از جمله بازده تولید پایین، دقت پایین محصولات، ابزارهای مدیریتی عقب‌مانده، عدم‌توانایی نوآوری، کیفیت پایین محصول، فقدان یک سیستم اطلاعاتی مؤثر و توانایی ضعیف در کنترل هزینه مواجه است و به‌علت موضوعاتی از قبیل سرعت روزافزون تحولات، پیچیده‌ترشدن تعاملات، انتظارات فزاینده مردم و جوامع و دولت‌ها از یکدیگر، پیشرفت فناوری‌های نوین و پدیده‌های نوین، ضرورت هم‌سویی در زنجیره کلان نظام استانداردسازی و کیفیت را بیش‌ازپیش نمایان ساخته است. نظر به فضای رقابت کسب‌وکار موجود، قیمت و کیفیت از مهم‌ترین مزایای رقابتی در صنایع به‌شمار می‌آیند، کیفیت در تولید، مدل تصمیم دومرحله‌ای را دنبال می‌کند: اول، اولویت‌بندی فرآیندها برای بهبود کیفیت و متعاقباً، انتخاب اقدامات بهبود مناسب. دلایل بی‌اثرشدن مدیریت کیفیت، طراحی نامناسب سیستم ارزیابی عملکرد است؛ بنابراین سیستم ارزیابی عملکرد باید مبتنی بر معیارهای مالی و غیرمالی و به‌منظور ارزیابی عملکرد مدیریت کیفیت باشد. با توجه به این موضوع، شرکت‌هایی که مدیریت کیفیت را اجرا می‌کنند، نیازمند بازطراحی سیستم ارزیابی عملکرد خود هستند و باید معیارهای عملکرد را با توجه به مدیریت کیفیت تعیین کنند. بر این اساس، طرحی برای معرفی روش هوش مصنوعی به شرکت‌های تولیدی برای حل مشکلات بالا و درنتیجه بهبود کیفیت محصولات و کارایی تولید پیشنهاد شده است. برای این منظور، شبکه‌ای مبتنی بر یک سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی برای ارزیابی و بررسی دقت نتایج و مقایسه کارایی آن ارائه شده است. روش پیشنهادی در تقابل با محاسبات سخت قرار می‌گیرد و موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه خواهد شد. در بخش بعدی مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران مختلف در حوزه کیفیت موردبررسی قرار گرفته است. در بخش سوم، مراحل روش پیشنهادی به صورت مروری ارائه شده و مختصری از استنتاج فازی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل سیستم استنتاج عصبی–فازی تطبیقی ارائه شده است. در بخش چهارم تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش صورت می‌گیرد. درنهایت بخش پنجم به بررسی نتایج و پیشنهادها اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدیریت کیفیت فرآیند، سابقه طولانی در تولید دارد. در دهه ۱۹۲۰، آمارشناس؛ والتر آ. شوهارت[2] در آزمایشگاه بل وسترن الکتریک[3] پیشنهاد کرد که داده‌های جمع‌آوری‌شده از فرآیندهای تولید را با استفاده از تکنیک‌های آماری تجزیه‌وتحلیل کند [۵]. شوهارت (۱۹۲۶)، نشان داد که کنترل فرآیندهای تولید، کلید تضمین کیفیت خروجی سیستم است. برای رسیدن به این هدف، نظریه مدیریت کیفیت پیشنهاد می‌کند که تولیدکنندگان باید منابع تغییرات را شناسایی و حذف کنند. تنها تمرکز بر نتیجه موردانتظار یک فرآیند یا رعایت مشخصات کافی نیست [۸، ۱۶]. هدف مدل‌سازی کیفیت، گرفتن روابط بین مجموعه‌ای از پارامترهای تولید و کیفیت فرآیند از طریق

1. Takagi, et al.
2 Walter A. Shewhart
3 Bell Laboratories of Western Electric

روش‌های تحلیلی است. کیفیت فرآیند یک سیستم تولید اغلب با خروجی آن - محصولات تولیدشده – اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال، می‌توان آن را از طریق اندازه‌گیری‌های فیزیکی محصول، سطوح کیفیت از پیش تعریف شده یا بازده توصیف کرد [۹، ۲۱، ۳۱]. در موارد دیگر، کیفیت فرآیند را می‌توان با معیارهای عملکرد، مانند سطوح خدمات، زمان‌های توان عملیاتی، اثربخشی تجهیزات یا مصرف انرژی اندازه‌گیری کرد. برای مثال، پارامترهای تولید می‌توانند به ویژگی‌های فرآیند، مسیریابی مواد یا ویژگی‌های محصول (واسطه) اشاره کنند [۱۲، ۱۷، ۲۱]. معمولاً این پارامترهای تولید به فرآیندهای مختلف تعلق دارند. درک چگونگی ارتباط پارامترهای مختلف تولید و کیفیت فرآیند برای بهبود عملکرد یک سیستم تولید بسیار مهم است. یک رویکرد رایج در مدل‌سازی کیفیت، یادگیری رابطه عملکردی بین کیفیت فرآیند و پارامترهای تولید مشاهده شده است.

زانتک و همکاران[1] (۲۰۰۲)، دو فرض را مطرح کردند که کاربرد آن را در عمل محدود می‌کند. نخست، فرض کردند که روابط زیربنایی خطی هستند؛ بنابراین غیرخطی‌های بالقوه نادیده گرفته می‌شوند. دوم، فرض کردند که متغیرهای کیفیت در بازرسی‌های میانی در بین فرآیندها اندازه‌گیری می‌شوند. بااین‌حال، به‌دلیل وابستگی‌های فیزیکی، کیفیت فرآیند اغلب فقط در مرحله نهایی یک سیستم تولید (برای مثال، بازده) قابل‌اندازه‌گیری است. این کاستی‌ها با تطبیق هوش مصنوعی قابل‌توضیح با زمینه مدیریت کیفیت برطرف می‌شود. مدل‌سازی غیرخطی اغلب برای ثبت روابط پیچیده در تنظیمات عملیاتی با ابعاد بالا به‌کار می‌رود [۱۶]. با این‌حال قوانین تصمیم‌گیری اساسی مدل‌های غیرخطی همیشه خودتوضیحی نیستند. به‌عنوان یک راه‌حل، رویکردهای مختلفی برای درک چگونگی شکل‌گیری استنتاج از مدل‌های غیرخطی پیشنهاد شده است [۳]. صنعتی‌شدن هوش مصنوعی نخستین بار در سال ۱۹۴۵ توسط آلن تورینگ[2] مطرح شد که پیش‌بینی کرد صنعتی‌شدن هوش مصنوعی در اواسط دهه قرن بیستم محقق خواهد شد [۲۸]. مطالعات بر روی شبکه‌های عصبی از دهه ۱۹۸۰ تحول زیادی داشته است. مدل‌های شبکه عصبی با الزامات فنی امکان توسعه کاربردهای جسورانه معماری‌های عصبی موازی را فراهم می‌کند. پیشرفت شبکه‌های عصبی را می‌توان در توسعه شبکه‌های عصبی عمیق (یادگیری عمیق) مشاهده کرد [۳۶]. دو مفهوم در هوش مصنوعی قابل‌توضیح است: اهمیت ویژگی و انتساب ویژگی. اهمیت ویژگی اندازه‌گیری می‌کند که یک ویژگی تا چه حد مسئول تشکیل یک منطق عملکردی است. یک رویکرد رایج مقایسه عملکرد یک مدل پیش‌بینی با مدلی بدون ویژگی خاص موردعلاقه درحالی‌که همه روابط غیرخطی ممکن را در نظر می‌گیرد (برای مثال، مطالعه فرسایش). یک رویکرد مشابه اندازه‌گیری تفاوت در عملکرد پیش‌بینی زمانی است که یک ویژگی به‌طور تصادفی جایگزین می‌شود؛ به‌طوری‌که تأثیر آن حذف می‌شود [۱۳]. انتساب ویژگی اثر حاشیه‌ای یک ویژگی را بر پیش‌بینی مدل استنباط می‌کند. به‌طور خاص، چگونگی تغییر پیش‌بینی مدل را با یک ویژگی موردعلاقه تخمین می‌زند. با درنظرگرفتن یک سیستم خبره برای مدیریت تولید که فرآیند استقرار آن عبارت است از: ۱. با توجه به فرآیند ساخت، دانش لازم توسط کارکنان فنی مربوطه به سیستم وارد می‌شود. دانش لازم شامل طرح طراحی، الزامات فنی، نوع مواد و پارامتر شکل است؛ ۲. یک پایگاه داده در مورد ساخت، در سیستم برای یادگیری و به‌کارگیری هوش مصنوعی ایجاد می‌شود؛ ۳. تکنسین‌ها پارامترهای هدف و پارامترهای مواد را وارد می‌کنند؛ ۴. چندین طرح شبیه‌سازی اولیه را بر اساس پارامترهای هدف، پارامترهای مواد، دانش استخراج‌شده از پایگاه داده و داده‌های بزرگ ایجاد می‌شود؛ ۵. شناسایی طرح بهینه؛ ۶. اجرای طرح بهینه شبیه‌سازی‌شده؛ ۷. پیداکردن و تجزیه‌وتحلیل مسائل در طول فرآیند اجرا و بهینه‌سازی و حل مسائل؛ ۸. اگر مشکل حل نشد، مراحل بالا باید برگردانده شوند تا طرح دیگری برای اجرا انتخاب شود؛ ۹. پس از تمرین موفقیت‌آمیز، رویدادها و قوانین به پایگاه داده در سیستم وارد می‌شوند تا امکان حل سریع مشکلات مشابه در یک روز بعد فراهم شود. سیستم مدیریت داده‌های هوش مصنوعی زمان جمع‌آوری داده‌ها را ایمن می‌کند و می‌تواند تجربه مشتری را بهبود بخشد؛ از این‌رو می‌تواند کارایی مدیریت شرکت را برای بهبود کیفیت محصول و کارایی اقتصادی در تولید بهبود بخشد.

در صنایع حجم داده‌ها افزایش یافته که به ظهور مفاهیم جدیدی مانند تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ منجر شده است و محدودیت‌ها و مزایای راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی موردبحث قرار می‌گیرد تا توجه خلاقانه به راه‌حل‌های جدید و جهت‌گیری‌های جدید در صنایع تولیدی، تجاری و خدماتی برای بهبود کارایی فرآیندهای خود، افزایش ارزش راه‌حل‌های خود و طراحی محصولات جدید برای یافتن مشاغل و بازارهای جدید را برانگیزد. تقریباً تمام نقشه‌های راه بین‌المللی که بر نوآوری و تحقیق متمرکز شده‌اند، هوش مصنوعی را به‌عنوان محرک اساسی فناوری آینده دربرمی‌گیرند.

[1] Zantek et al.

[2] Alan Turing

کیفیت حوزه‌ای است که بر تلاش برای توسعه روش‌های خودکار تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با هدف نهایی بهبود مستمر کیفیت محصولات و فرآیندها در صنعت، دولت و جامعه تأکید دارد.

روش‌های سنتی کنترل فرآیند آماری[1] (SPC) که در دهه ۱۹۲۰ توسعه یافتند، امروزه همچنان محبوب هستند. با این‌حال همان‌طور که ساخت و داده‌ها پیچیده‌تر شده‌اند، روش‌های نظارت نیز پیچیده‌تر شده‌اند. درجاتی از خودکارسازی، حتی در روش‌های سنتی، با توجه به اندازه و ابعاد مجموعه داده‌های جمع‌آوری‌شده به لطف پیشرفت در فناوری حسگر، اجتناب‌ناپذیر شده است. به همین ترتیب، حوزه‌های کاربردی برای روش‌های SPC به‌طور قابل توجهی گسترش یافته است. بسیاری از پژوهش‌های در مورد نظارت بر فرآیند در دهه‌های گذشته بر روی بهبود روش‌های مبتنی بر مدل برای دستیابی به میانگین طول اجرا مطلوب[2] (ARL) متمرکز شده است. همان‌طور که سناریوهای نظارت در عمل پیچیده‌تر می‌شوند، تلاش برای همسویی یک مدل با سناریوی نظارت به‌تدریج دشوارتر می‌شود. در بسیاری از مطالعات اولیه برای نظارت بر فرآیند از نمودارهای کنترلی تحت چارچوب مفهومی، مشابهِ نمودار شوهارت استفاده شده است. برخی از کارها بر شناسایی محدودیت‌های کنترل در سناریوهایی با داده پیچیده‌تر، مانند همبستگی خودکار یا اندازه‌گیری‌های چندمتغیره متمرکز بوده است[۱۹]. وودال و مونتگومری[3] (۲۰۱۴)، خاطر نشان کردند که با وجود تعداد زیادی مقاله در مورد این موضوع، «نمودارهای کنترل مبتنی بر شبکه عصبی»، تأثیر عملی زیادی بر SPC ندارند [۲۷].

ویس و همکاران[4] (۲۰۱۶)، دامنه وسیع‌تری از مبانی نظری را در مورد استفاده از روش‌های یادگیری آماری در پایش فرآیند آماری مرور کردند. آن‌ها به چندین جریان اصلی پژوهشی از جمله روش‌های کاهش ابعاد، روش‌های طبقه‌بندی، تشخیص الگوی نمودار کنترل، روش‌های مبتنی بر تنظیم ریسک، شبکه‌های عصبی، ماشین‌های بردار پشتیبان و مدل‌های مجموعه اشاره کردند. در روش‌های مبتنی بر شبکه بیان می‌شود که بسیاری از فرآیندهای مدرن، داده‌ها را از جریان‌های متعدد و یا ساختار سلسله‌مراتبی، اغلب با الگوهای همبستگی خودکار و چرخه‌ای تولید می‌کنند که روش‌های سنتی SPC برای نظارت بر چنین داده‌هایی مناسب نیستند [۲۶].

اخیراً چندین چالش روش‌شناختی مهم در نظارت بر فرآیند که همچنان بر عملکرد SPC تأثیر می‌گذارند، مشاهده شده است. بیشتر این چالش‌ها مشکل‌محور هستند و از انواع جدیدی از داده‌ها ناشی می‌شوند که از پیشرفت‌های فناورانه در فرآیندهایی که داده‌ها را تولید می‌کنند یا دستگاه‌های اندازه‌گیری که داده‌ها را ثبت و ذخیره می‌کنند، سرچشمه می‌گیرند. نمونه‌هایی از این چالش‌ها عبارت‌اند از: ابعاد بالای داده‌ها، ساختار پیچیده زمانی و مکانی جریان‌های داده، غیرایستایی و پویایی فرآیندهایی که داده‌ها از آن‌ها جمع‌آوری می‌شوند، داده‌های گمشده و خراب، داده‌های بدون ساختار و داده‌های چندگانه؛ یعنی مواردی که در آن داده‌ها در یک زیرفضای غیرخطی متمرکز شده‌اند و ابزارهای SPC سنتی در پرداختن به این چالش‌های نظارت بر فرآیند کوتاهی می‌کند؛ زیرا قدرت تشخیص آن‌ها با افزایش ابعاد داده‌ها به‌سرعت کاهش می‌یابد و اغلب به یک فرآیند ثابت و یک خط پایه ثابت نیاز دارند یا بر اساس تکنیک‌های کاهش ابعاد خطی هستند.

با توجه به مدل‌های هوش مصنوعی، علاقه و توسعه سریع در ساخت الگوریتم‌هایی شفاف، قابل‌تفسیر و قابل‌درک وجود دارد. ایجاد راه‌حل‌های قابل‌تفسیر هوش مصنوعی در نظارت بر فرآیند به همان اندازه مهم است؛ تا جایی که درک منبع تغییر فرآیند یا «علت اصلی» برای بهبود فرآیند بسیار مهم است. هنگامی که یک راه‌حل هوش مصنوعی ساخته شد، برای افزودن ارزش به یک تجارت، باید درعمل به‌کار گرفته شود. درعمل، حتی بهترین مدل توسعه‌یافته ممکن است آن‌طور که انتظار می‌رود کار نکند؛ بنابراین نظارت بر اجرای مدل بسیار مهم است. یک حوزه رو به رشد در صنعت درحال‌توسعه، روش‌های خودکار برای نظارت بر اجرای مدل‌های هوش مصنوعی در عمل است. مشابه نظارت بر فرآیند، نظارت بر اجرای مدل هوش مصنوعی برای اطمینان از مؤثرماندن مدل در طول زمان ضروری است و می‌توان با مطالعه بیشتر در این زمینه، این موارد را غنی کرد.

روش‌های آماری سنتی برای مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده با موفقیت در مسائل مقیاس کوچک تحت برخی مفروضات (محدودکننده) روی داده‌ها و ساختار فرآیند، برای مثال، استقلال، ایستایی و توزیع شناخته‌شده داده‌ها، مورداستفاده قرار گرفته‌اند. با این‌حال این روش‌ها ممکن است برای مجموعه داده‌های بزرگ با متغیرهای متعدد یا جریان‌های داده جمع‌آوری‌شده با فرکانس نمونه‌گیری بالا، یا برای

1. Statistical Process Control
2. Average Run Length
3 Woodall and Montgomery
4 Weese et al.

مجموعه‌های داده‌ای که ساختار عملکردی مانند تصاویر، ابرهای نقطه و شبکه‌ها دارند، قابل‌استفاده نباشند. به‌علاوه اگر داده‌ها از یک فرآیند پویا (مثلاً در فرآیندهای تولید مستمر) جمع‌آوری شوند، مدل‌های پیش‌بینی‌شده باید به‌طور مداوم در طول زمان به‌روزرسانی شوند.

مطالعاتی در زمینه پیش‌بینی کیفیت آب، کیفیت هوا، کیفیت اطلاعات و کیفیت خدمات با استفاده از هوش مصنوعی وجود دارد. بااین‌حال انتشارات در مورد کیفیت محصول تولیدی کمیاب است. مدل‌سازی روابط بین پارامترهای طراحی و ویژگی‌های کیفی کلی محصول نادیده گرفته شده است. نمونه‌هایی از مبانی نظری پژوهش در جدول ۱، مشاهده می‌شود.

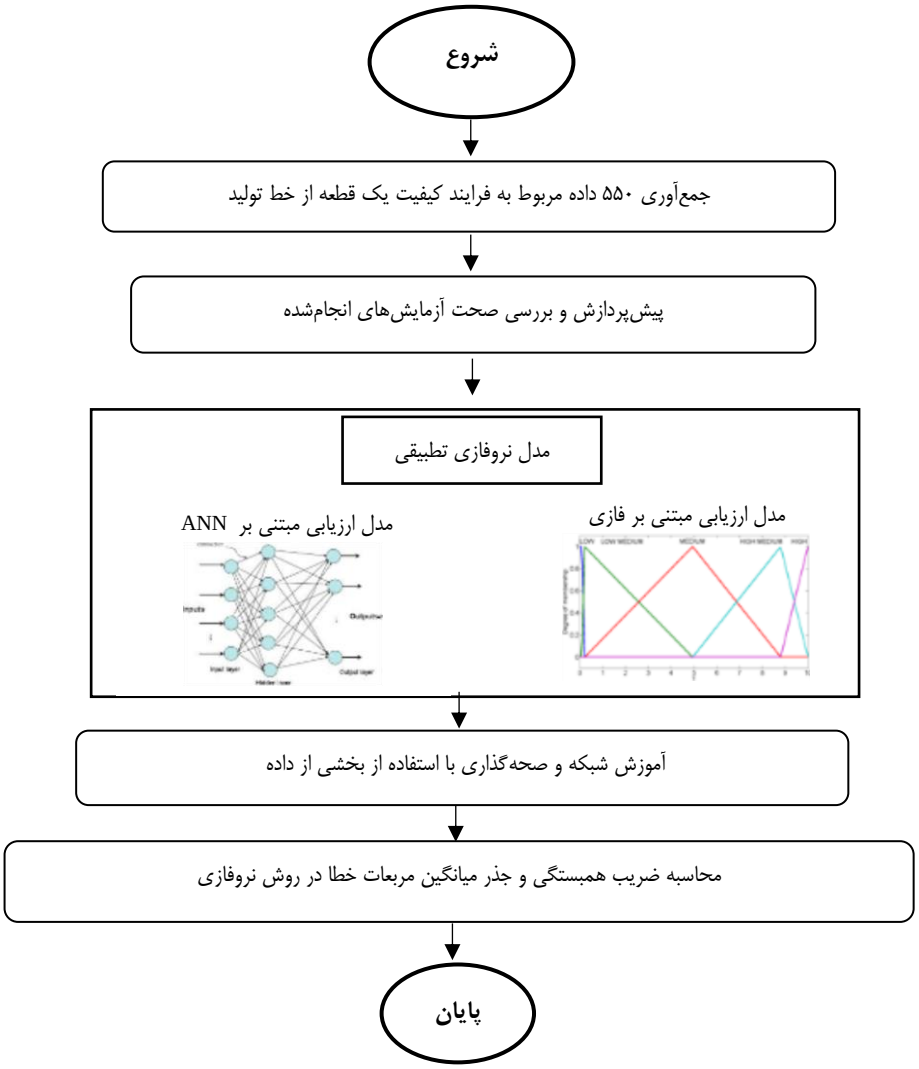
جدول ۱. مروری بر مبانی نظری پژوهش

پژوهشگر (سال)	روش‌ها
سینگ راجاوات[1] و همکاران (۲۰۲۱)	خودکارسازی رباتیک فرآیند با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت
جین لانگ[2] و همکاران (۲۰۲۱)	استفاده از فناوری هوش مصنوعی برای بهبود کیفیت محصول و بازده تولید
سوماسوندار[3] و همکاران (۲۰۲۰)	سیستم مدیریت کیفیت هوشمند (IQMS) با قابلیت هوش مصنوعی (AI) برای سیستم آموزشی
ژانگ[4] و همکاران (۲۰۲۳)	پیش‌بینی کیفیت آب با استفاده از الگوریتم بهینه‌شده ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات و تکنیک‌های یادگیری عمیق
کولوسیمو[5] (۲۰۲۱)	مقدمه‌ای را بر موضوع هوش مصنوعی و آمار برای فناوری کیفیت پیشنهاد کردند.
هوانگ[6] (۲۰۲۲)	برنامه هوش مصنوعی را در ارزیابی کیفی آموزش پیشنهاد کرد.
مالیک[7] و همکاران (۲۰۲۰)	محیط‌های هوشمند مصنوعی برای اجرای تضمین کیفیت پیشنهاد کردند.
پرنتیس[8] و همکاران (۲۰۲۰)	تأثیر هوش مصنوعی بر کیفیت خدمات کارکنان را پیشنهاد کردند.
کریمی، دارابی و همکاران (۱۴۰۱)	پیش‌بینی رتبه‌بندی کیفیت اطلاعات با هوش مصنوعی را پیشنهاد کردند.
زارع احمدآبادی و همکاران (۱۴۰۰)	ارزیابی کیفیت خدمات با شبکه هوش مصنوعی را پیشنهاد کردند.
شاهین، جنتیان و همکاران (۱۴۰۰)	روش تلفیقی برای افزایش کیفیت محصول در دوره عمر آن از طریق طراحی آزمایش‌های تاگوچی و الگوی هزینه‌های کیفیت پیشنهاد کردند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

شکل ۱، روش پیشنهادی پژوهش را به‌صورت گام‌به‌گام نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱، در این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی کیفیت یک شرکت تولیدی، یک سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی پنج‌لایه‌ای شامل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و سه لایه پنهان پیشنهاد شده است. الگوریتم یادگیری مدل پیشنهادی، هیبریدی، نوع توابع عضویت متغیرهای ورودی مثلثی با هفت مقدار زبانی است و متغیر خروجی ثابت است.

1. Singh Rajawat
2. Jin Long
3. M. Somasundaram
4. Zhang
5. Colosimo
6. Huang
7. Malik



شکل ۱. روش پیشنهادی پژوهش

در روش پیشنهادی پژوهش، داده‌ها به‌طور تصادفی به سه دسته آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی دسته‌بندی شده و سپس در مدل فراخوانی می‌شوند. برای ایجاد سیستم استنتاج فازی، تعداد و نوع توابع عضویت متغیرهای ورودی و نوع تابع عضویت خروجی تعیین می‌شوند. با انتخاب الگوریتم هیبریدی برای یادگیری، شاخص‌های آماری ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای به‌دست می‌آید. در بخش بعد، استنتاج فازی و سیستم استنتاج عصبی ـ فازی پیشنهادی شرح داده می‌شود.

سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی[1] از نظریه شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور تعیین ویژگی‌های الگوهای داده (توابع عضویت و قوانین فازی) در آموزش یک سیستم استنتاج فازی استفاده می‌کند. به‌بیان دیگر، ANFIS با استفاده از ویژگی‌های ریاضی شبکه‌های عصبی مصنوعی در تنظیم یک سیستم استنتاج فازی مبتنی بر قانون، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی را ترکیب می‌کند [۳۰]. درواقع، ANFIS از کاراترین دستگاه‌های نروفازی است که روی یک سیستم استنتاج فازی سوگنو اجرا می‌شود. در استنتاج‌گر فازی سوگنو، قسمت نتیجه قاعده از یک تابع ریاضی از متغیرهای ورودی یا یک ثابت عددی تشکیل شده است. مدل ANFIS پیشنهادی این پژوهش از پنج لایه تشکیل شده است که عبارت‌اند از: لایه ورودی؛ لایه تابع عضویت ورودی؛ لایه قانون فازی؛ لایه تابع عضویت خروجی و لایه خروجی. قانون پس‌انتشار[2] به‌عنوان روش یادگیری در نظر گرفته شده است که در آن خطای لایه خروجی به‌صورت برگشتی انتشار می‌یابد تا پارامترهای موردنظر فازی را بهبود دهد و خطای خروجی را کمّینه کند؛ همچنین در مدل پیشنهادی، روش یادگیری هیبریدی[3] به‌منظور آموزش مدل، به‌کار گرفته شده که یک روش یادگیری سریع برای مقاصد پیش‌بینی است. الگوریتم

1. Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS)
2. Backpropagation
3. Hybrid

هیبریدی که ترکیبی از الگوریتم پس‌انتشار و کمترین مربعات است، به‌عنوان یک الگوریتم دقیق توسط بسیاری از دانشمندان شناخته شده است [۱۵]. یک سیستم استنتاج نروفازی دارای مزایای هر دو سیستم شبکه‌های عصبی (یادگیری، بهینه‌سازی با استفاده از مجموعه داده ورودی ـ خروجی مطلوب) و سیستم‌های فازی (نمایش معنی‌دار، بیان ریاضی مقادیر زبانی، قواعد و استنتاج فازی) است. درواقع فرایند یادگیری با ترکیب استنتاج فازی و شبکه‌های عصبی در یک سیستم نروفازی انجام می‌گیرد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد این دو سیستم مکمل یکدیگر هستند؛ درحالی‌که در سیستم ترکیبی ایجادشده توانایی یادگیری یک مزیت از دیدگاه فازی است، ایجاد قواعد زبانی نیز از دیدگاه شبکه‌های عصبی مصنوعی مزیتی بزرگ به‌شمار می‌آید.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

به‌منظور استفاده حداکثری از مزایای رقابتی تولید منطبق با استانداردهای تعریف‌شده، باید توجه ویژه‌ای بر کنترل کیفیت داشت. عوامل مؤثر بر فرایند کنترل کیفیت متعدد است که یکی از عوامل مؤثر، فرایند تولید است؛ به‌خصوص کیفیت و فرایند کنترل کیفیت در صنایعی که با توجه به ماهیت آن دارای حساسیت زیادی است. فرایند کنترلی در این‌گونه سازمان‌ها باید به طریقی طراحی و مدیریت شود تا از بروز هرگونه عدم‌انطباق، دوباره‌کاری و ایجاد هر گونه اتلاف بیهوده در فرایند تولید جلوگیری شود.

به‌منظور آموزش مدل پیشنهادی به جمع‌آوری داده‌های مربوط به فرایند کیفیت یک قطعه از خط تولید، «شرکت صنعتی خزر پلاستیک» پرداخته شد و ۵۵۰ داده مرتبط با فرایند کیفیت با تأکید بر متغیرهایی تأثیرگذار شامل«معیار ظاهری، قطر خارجی چرخ‌دنده بزرگ، ضخامت چرخ‌دنده، طول شافت فلزی، ارتفاع شافت فلزی و قطر خارجی شافت فلزی» به‌عنوان متغیر ورودی و کیفیت نهایی به‌عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شد.

ورودی‌ها شامل یک پارامتر کیفی با ابزار اندازه‌گیری «ظاهری» است که با استفاده از طیف لیکرت هفت‌تایی (خیلی ضعیف، ضعیف، ضعیف تا متوسط، متوسط، تقریباً خوب، خوب و خیلی خوب) به متغیر عددی تبدیل می‌شود که اعداد ۵، ۶ ،۷ نشان‌دهنده کیفیت قابل‌قبول، تقریباً خوب، خوب و خیلی خوب است و اعداد ۱، ۲، ۳، ۴ نشان‌دهنده کیفیت متوسط، ضعیف تا متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف قطعه تولیدی است و پنج پارامتر اندازه‌گیری «کمّی» در نظر گرفته شده است که برای هر یک معیارهای پذیرش تعریف شده وجود دارد؛ بنابراین درمجموع ۶ ورودی از فرایند کیفیت استخراج شده و درنهایت یک متغیر خروجی به نام «کیفیت نهایی» موردارزیابی قرار گرفته است. بخشی از داده‌های فرایند کیفیت حاصل از قطعه تولیدی به همراه معیارهای پذیرش هر کدام ارائه در جدول ۲، شده است.

جدول ۲ . متغیرهای فرایند کیفیت قطعه تولیدی

شماره قطعه	ورودی‌ها	
۱	کیفیت حین تولید و نهایی (هر ۲ ساعت نمونه‌گیری)	۶
۲	**۱. معیار ظاهری**	۷
۳	معیار پذیرش	۵
۴	پلیسه بر روی قطعه باقی نمانده باشد، دندانه‌های قطعه کامل باشد، قطعات فاقد ضربه‌خوردگی باشند، در صورت وجود پلیسه روی Shaft (شافت) فلزی بعد از تولید قطعه، حتماً قطعه پلیسه‌گیری شود.	۵
۵		۷
۶		۷
۷		۷
۸		۷
۹	شافت فلزی کاملاً در جای خود بنشیند.	۶
۱۰		۶
۱۱		۳
۱۲		۶
۱۳		۶
۱۴	اختلاف سطح مجاز بین دو قطعه (به‌صورت چشمی) حدود کمتر از ۰/۳ mm باشد.	۶
۱۵		۵
۱۶		۵
۱۷		۵
۱۸		۵
۱۹		۷
۲۰		۷

ادامه جدول ۲. متغیرهای فرایند کیفیت قطعه تولیدی

شماره قطعه	ورودی‌ها					خروجی	
	کیفیت حین تولید و نهایی (هر ۲ ساعت نمونه‌گیری)						
	پارامترهای کنترلی اندازه‌گیری «کمّی»						
	قطر خارجی چرخ‌دنده بزرگ	ضخامت چرخ‌دنده	طول شافت فلزی	ارتفاع قسمت خارج‌شده شافت فلزی از قسمت زیرین	قطر خارجی شافت فلزی	کیفیت نهایی تأییدشده با توجه به استانداردهای ISO/ TC 61 SC 9 ISO 10366 (INSO 7607	
	معیارهای پذیرش	معیارهای پذیرش	معیارهای پذیرش	معیارهای پذیرش	معیارهای پذیرش		
	۲. mm. ۹۱(۰،+۰/۷)	۳. mm۲۷(−۰/۷،+۰/۲۱)	۴. mm۹۰/۵ ±۰/۲	۵. mm۱۸/۲۵±۰/۵۵	۶ ۱۶(−۰/۱۸،+۰/۶) mm		
۱	۹۱/۵۲	۲۶/۷۸	۹۰/۵	۱۸/۴۵	۱۶	OK	۱
۲	۹۱/۵۶	۲۶/۷۲	۹۰/۵	۱۸/۵	۱۶	OK	۱
۳	۹۱/۵۴	۲۶/۸	۹۰/۵	۱۸/۴۲	۱۶	OK	۱
۴	۹۱/۵۴	۲۶/۶۶	۹۰/۵	۱۸/۴۴	۱۶	OK	۱
۵	۹۱/۵۸	۲۶/۸۲	۹۰/۵	۱۸/۴۲	۱۶	OK	۱
۶	۹۱/۶۲	۲۶/۶۵	۹۰/۸۱	۱۸/۶۱	۱۶/۰۷	NOT OK	۰
۷	۹۱/۵	۲۶/۷	۹۰/۵	۱۸/۵	۱۶	OK	۱
۸	۹۱/۴۸	۲۶/۷۴	۹۰/۵	۱۸/۴۸	۱۶	OK	۱
۹	۹۱/۹	۲۷/۴۱	۹۰/۵	۱۸.۵۶	۱۶	NOT OK	۰
۱۰	۹۱/۵	۲۶/۷۸	۹۰/۵	۱۸/۴۸	۱۶	OK	۱
۱۱	۹۱/۶۹	۲۶/۸	۹۰/۷	۱۸/۵۴	۱۶	NOT OK	۰
۱۲	۹۱/۴۸	۲۶/۸	۹۰/۵	۱۸/۴۲	۱۶	OK	۱
۱۳	۹۱/۴۶	۲۶/۴۱	۹۰/۴۷	۱۸/۲۱	۱۶	OK	۱
۱۴	۹۱/۴۵	۲۶/۴۵	۹۰/۵۱	۱۸/۶	۱۵/۹۶	OK	۱
۱۵	۹۱/۴۴	۲۶/۳۵	۹۰/۵۱	۱۸/۲۵	۱۶	OK	۱
۱۶	۹۱/۳۷	۲۶/۴۱	۹۰/۵۵	۱۸/۵۵	۱۵/۶۷	OK	۱
۱۷	۹۲/۵۱	۲۸/۰۰	۹۰/۵۵	۱۸/۳	۱۵/۹۵	NOT OK	۰
۱۸	۹۱/۴۱	۲۶/۳۶	۹۰/۴۷	۱۸/۵۳	۱۶	OK	۱
۱۹	۹۱/۴۳	۲۶/۳۷	۹۰/۵۸	۱۸/۲۷	۱۵/۹۷	OK	۱
۲۰	۹۱/۴۲	۲۶/۲۳	۹۰/۵۳	۱۸/۵۶	۱۶	OK	۱

این داده‌ها برای استفاده در مدل پیشنهادی به‌طور تصادفی به سه دسته آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی دسته‌بندی شدند. مطابق جدول۳، ۷۵ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۴ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی و ۱۱ درصد داده‌ها برای آزمایش در نظر گرفته شدند.

جدول ۳. تعداد داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی

نوع داده‌ها	درصد	تعداد
آموزشی	۷۵	۴۱۳
صحت‌سنجی	۱۴	۸۲
آزمایشی	۱۱	۵۵

ویژگی‌های مدل نروفازی پیشنهادشده شامل اشکال تابع عضویت ورودی، روش‌های بهینه‌سازی، نوع تابع عضویت خروجی و تعداد دوره‌های مختلف برای انتخاب تابع عضویت شکل‌دار بهینه در مدل فازی در جدول ۴، نشان داده شده است.

جدول ۴. مشخصات مدل ANFIS

جزئیات	گزینه انتخابی
الگوریتم یادگیری	Hybrid
تعداد ورودی	۶
تعداد خروجی	۱
تعداد توابع عضویت	۷ ۷ ۷ ۷ ۷ ۷
نوع توابع عضویت	Trimf, Gbellmf, Trapmf, Gaussmf
تعداد تکرار	۱۰،۳۰،۵۰
نوع خروجی	Constant
روش تلفیق	Sum-Product
روش غیرفازی سازی	Weighted Average Method

عملکرد تابع عضویت برای حل مشکلات عملی مبتنی بر عدم‌قطعیت بسیار مهم است و برای رسیدن به مقدار واضح در یک مجموعه فازی کمک‌کننده خواهد بود. در این پژوهش، چندین نوع از توابع عضویت اصلی ـ مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گاوسی با مجموعه داده معرفی‌شده، تحلیل شده است و جذر میانگین مربعات خطا[1] (RMSE) برای توابع عضویت نوع خطی و ثابت برای ارزیابی عملکرد اندازه‌گیری شده است. پس از تنظیم مدل، تابعی با کمترین خطا انتخاب شده است. نتایج تجربی نشان داد که تابع عضویت مثلثی برای طراحی مدل مبتنی بر فازی با توجه به داده‌های واقعی استفاده‌شده از انواع دیگر تابع عضویت بهتر عمل می‌کند؛ همچنین می‌توان بیان کرد که RMSE با افزایش تعداد دوره‌ها برای همه توابع عضویت اندکی کاهش می‌یابد. نتایج انواع مختلف توابع عضویت در جدول ۵، ارائه شده است.

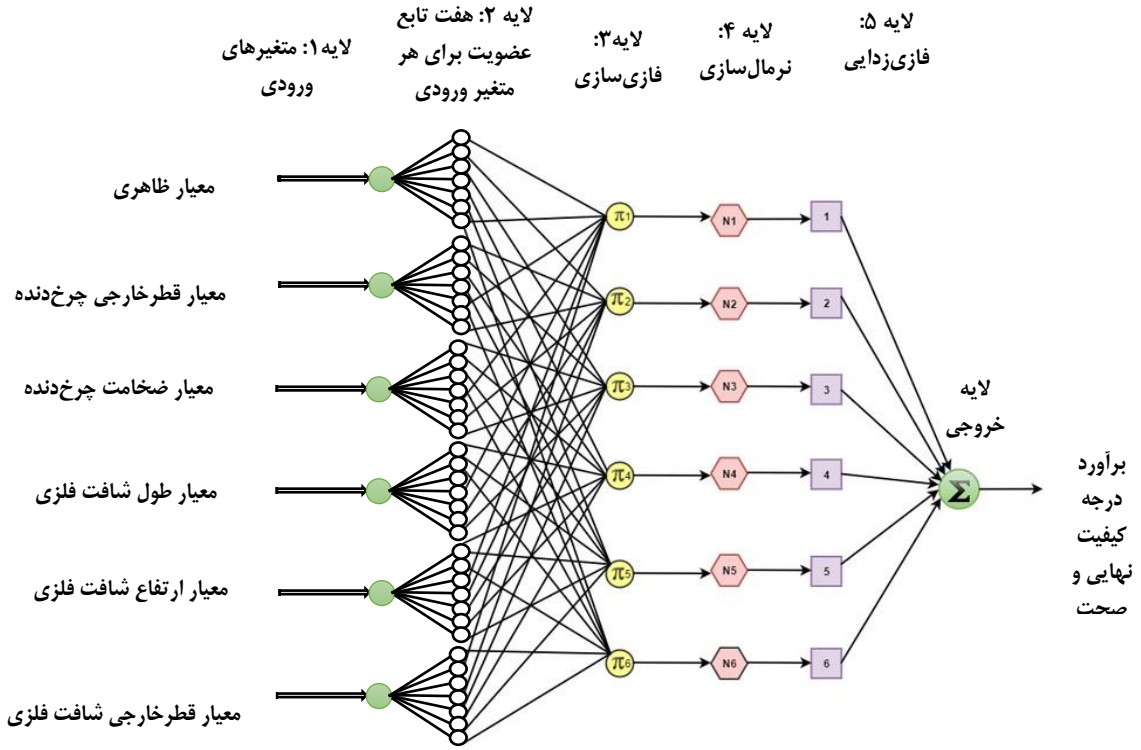
جدول ۵. ارزیابی عملکرد انواع مختلف توابع عضویت

تابع عضویت	Constant	
	Testing Error (RMSE)	Training Error (RMSE)
تعداد دوره ۱۰		
مثلثی	۰/۱۳۶۸۲۱	۰/۱۳۸۷۹۷
ذوزنقه‌ای	۰/۲۰۴۴۰۲	۰/۲۰۴۵۸۱
زنگوله‌ای	۰/۱۴۷۵۸۱	۰/۱۴۸۲۷۳
گوسی	۰/۱۴۳۴۴۶	۰/۱۴۴۲۲۸
تعداد دوره ۳۰		
مثلثی	۰/۱۳۲۵۵۶	۰/۱۳۴۰۷۷
ذوزنقه‌ای	۰/۱۹۷۲۷۹	۰/۱۹۸۴۱۸
زنگوله‌ای	۰/۱۴۵۲۴۶	۰/۱۴۶۴۷۶
گوسی	۰/۱۴۱۳۶۷	۰/۱۴۲۷۹۹
تعداد دوره ۵۰		
مثلثی	۰/۱۲۶۸۱۱	۰/۱۳۰۴۰۱
ذوزنقه‌ای	۰/۱۹۱۳۶	۰/۱۹۰۲۳۱
زنگوله‌ای	۰/۱۳۶۹۸۲	۰/۱۴۲۷۸۷
گوسی	۰/۱۳۹۶۱۶	۰/۱۴۰۱۹۳

با توجه به نتایج، «ساختار بومی مدل پیشنهادی» با تابع عضویت مثلثی بهینه‌ترین جواب را به همراه داشته است؛ بنابراین برای هر شش متغیر ورودی شامل معیار ظاهری، قطر خارجی چرخ‌دنده، ضخامت چرخ‌دنده، طول شافت فلزی، ارتفاع شافت فلزی و قطر خارجی

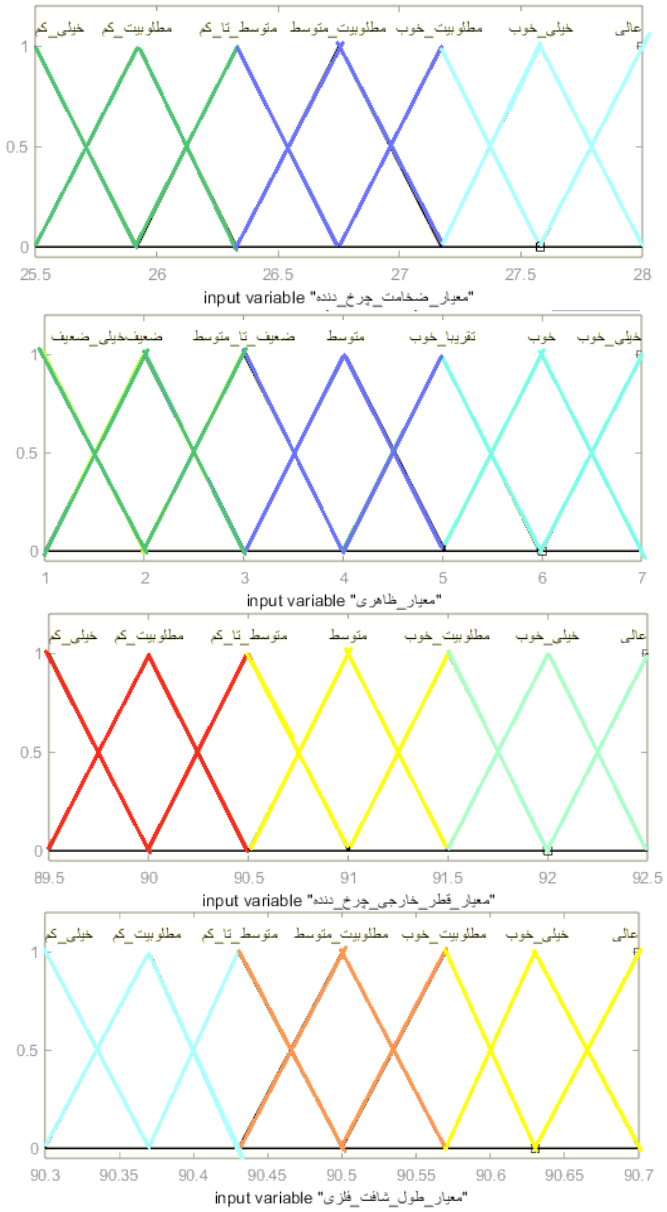
1 root-mean-square error

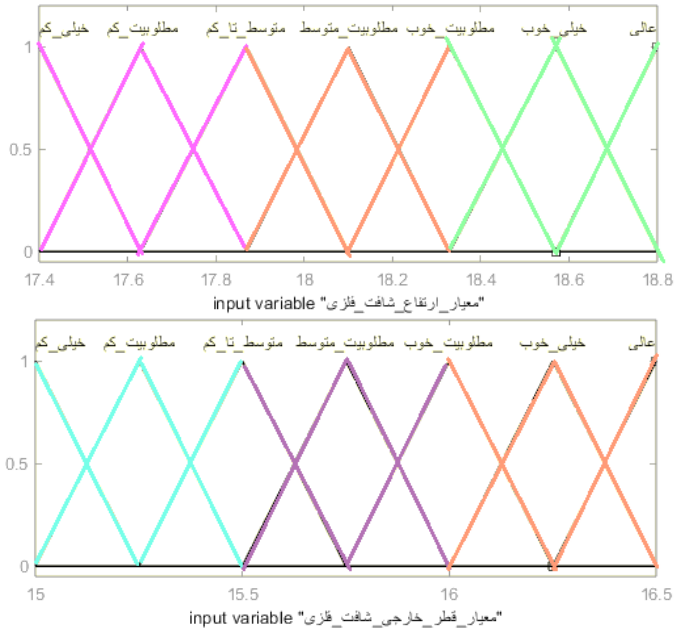
شافت فلزی، تابع عضویت مثلثی و با هفت مقدار زبانی تعریف شدند و داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی در سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی وارد شدند. با توجه به اینکه در سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی از استنتاج‌گر سوگنو استفاده می‌شود و ازآنجاکه اطلاعاتی از روابط میان متغیرهای ورودی در دست نیست، نوع خروجی یک عدد ثابت و یا یک تابع خطی از متغیرهای ورودی خواهد بود؛ سپس با تعیین روش یادگیری هیبریدی، تعداد ۱۶۸۰۷ قاعده به‌طور خودکار توسط سیستم نرو فازی ایجاد می‌شود که در آن تمامی حالات ممکن برای ارزیابی کیفیت نهایی در نظر گرفته شده‌اند. ساختار بومی مدل پیشنهادی شبکه عصبی ـ فازی تطبیقی در فرایند ارزیابی کیفیت در شکل ۲، ارائه شده است.



شکل ۲ . ساختار بومی مدل پیشنهادی شبکه فازی ـ عصبی تطبیقی برای ارزیابی کیفیت قطعه تولیدی

در ادامه تابع عضویت مثلثی با هفت مقدار زبانی تعریف‌شده برای شش متغیر ورودی شامل معیار ظاهری، قطر خارجی چرخ‌دنده، ضخامت چرخ‌دنده، طول شافت فلزی، ارتفاع شافت فلزی و قطر خارجی شافت فلزی در شکل ۳، ارائه شده است.


خیلی_کم
مطلوبیت_کم
متوسط_تا_کم
مطلوبیت_متوسط
مطلوبیت_خوب
خیلی_خوب
عالی
input variable "معیار_ضخامت_چرخ_دنده"
ضعیف_خیلی_ضعیف
ضعیف_تا_متوسط
متوسط
تقریبا_خوب
خوب
خیلی_خوب
input variable "معیار_ظاهری"
input variable "معیار_قطر_خارجی_چرخ_دنده"
input variable "معیار_طول_شافت_فلزی"



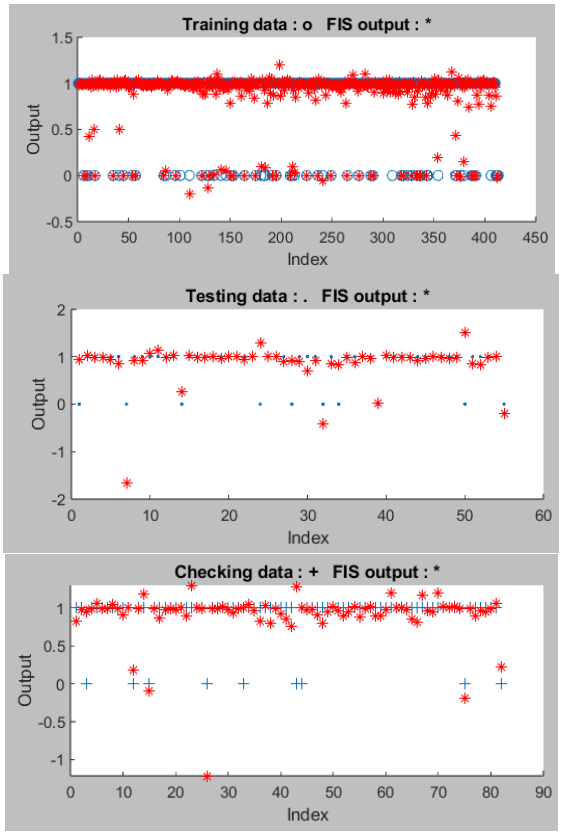
شکل ۳.توابع عضویت معیارها و مقادیر زبانی تعریف شده

نمونه‌ای از این قواعد در جدول ۶ ارائه شده است. در تعیین این قواعد می‌توان از نظر کارشناسان استفاده کرده و مجموعه‌ای از قواعد علمی و تجربی را به مدل معرفی کرد.

جدول ۶. نمونه‌ای از قوانین ایجادشده توسط مدل پیشنهادی

شماره	قانون
۱	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «خیلی خوب» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۴۲، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۳، «طول شافت فلزی» ۹۰/۳۹، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۳۴ و «قطر خارجی شافت فلزی» ۱۶ باشد، آنگاه کیفیت محصول نهایی قابل‌قبول و موردپذیرش است.
۲	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «خیلی خوب» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۶۴، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۴۳، «طول شافت فلزی» ۹۰/۵۹، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۴۹ و «قطر خارجی شافت فلزی» ۱۶ باشد، آنگاه کیفیت محصول نهایی قابل‌قبول و موردپذیرش است.
۳	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «ضعیف» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۶۵، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۰۷، «طول شافت فلزی» ۹۰/۵۳، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۳۵ و «قطر خارجی شافت فلزی» ۱۶ باشد، آنگاه محصول نهایی دارای کیفیت لازم نیست.
۴	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «خوب» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۵۸، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۶۱، «طول شافت فلزی» ۹۰/۶۷، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۶۴ و «قطر خارجی شافت فلزی» ۱۵/۹۵ باشد، آنگاه کیفیت محصول نهایی قابل‌قبول و موردپذیرش است.
۵	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «خوب» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۵۳، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۵۵، «طول شافت فلزی» ۹۰/۵، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۵۷ و «قطر خارجی شافت فلزی» ۱۶ باشد، آنگاه کیفیت محصول نهایی قابل‌قبول و موردپذیرش است.
۶	اگر در قطعه تولیدی، معیار ظاهری «متوسط» بوده و شامل معیارهای پذیرش «قطر خارجی چرخ‌دنده» ۹۱/۴۹، «ضخامت چرخ‌دنده» ۲۶/۶۲، «طول شافت فلزی» ۹۰/۲۲، «ارتفاع شافت فلزی» ۱۸/۳۷ و «قطر خارجی شافت فلزی » ۱۶ باشد، آنگاه محصول نهایی از کیفیت لازم برخوردار نیست.

در این پژوهش، یک مدل سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی برای ارزیابی کیفیت یک قطعه تولیدی که متأثر از شش متغیر مختلف است، طراحی و اجرا شد. برای ارزیابی کارایی مدل پیشنهادشده، خروجی کیفیت از داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی در شکل ۴، نشان داده شده است که تطابق خوبی بین کیفیت خروجی مدل پیشنهادی مشاهده می‌شود.



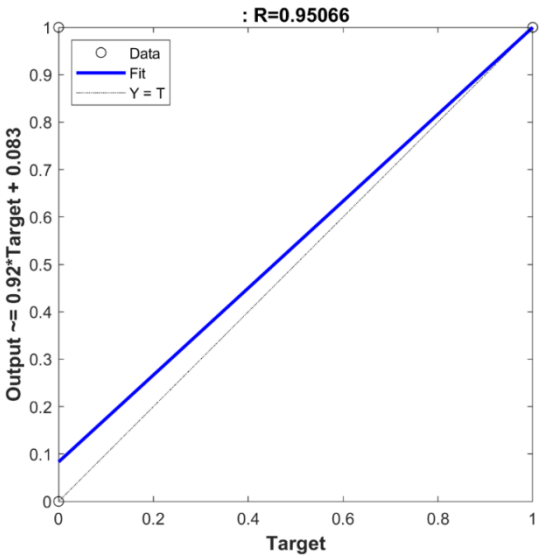
(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۴. خروجی شبکه پیشنهادی برای داده‌های آموزشی (الف)، آزمایشی (ب) و صحت‌سنجی (ج)

نمودار اعتبارسنجی داده‌ها در شکل ۵، نشان داده شده است. نمودار خروجی‌های شبکه را با توجه به اهداف آموزش، اعتبارسنجی و مجموعه‌های آزمایشی نشان می‌دهد. برای تناسب کامل، داده‌ها باید در امتداد یک خط ۴۵ درجه (خط تیره) قرار گیرند، جایی که خروجی‌های شبکه با اهداف برابر است. برای این مطالعه، برازش‌ها برای همه مجموعه داده‌ها بسیار خوب است، با مقدار R در هر یک از خروجی‌ها بالای ۰/۹۵ یافت شد.



شکل ۵. نمودار اعتبارسنجی داده‌ها

از شاخص‌های ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا برای بررسی نتایج حاصل از مدل پیشنهادی استفاده شد که نتایج ضریب همبستگی (R) ۰/۹۵۰۶۶ و جذر میانگین مربعات خطا ۰/۴۲۸۶۹ حاصل شد. معیار جذر میانگین مربعات خطا برتری مدل

پیشنهادی را نشان می‌دهد به بیان دیگر، در ارزیابی کیفیت به روش پیشنهادی با تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم فازی در قالب یک سیستم نروفازی یکپارچه، استفاده هم‌زمان از ویژگی‌های محاسبات پردازش موازی و قابلیت یادگیری شبکه عصبی با توانایی نمایش دانش متخصصان و کاربران قابلیت عامه‌فهم‌بودن فازی امکان‌پذیر شد. درنتیجه شبکه‌های عصبی واضح‌تر و قابل‌تفسیرتر شده و از طرفی دستگاه‌های فازی دارای توانایی یادگیری و تعمیم شدند. از طرف دیگر در طراحی شبکه عصبی تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های این لایه‌ها بر نتایج شبکه تأثیرگذار هستند و بهترین مدل شبکه عصبی از مقایسه کیفیت‌های به‌دست‌آمده از ساختارهای مختلف شبکه (از جهت تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های این لایه) به‌دست می‌آید؛ بنابراین در هر کاربرد انواع مدل‌ها و ساختارهای شبکه عصبی باید آزمون شود تا بهترین ساختار و پاسخ بهینه به‌دست آید؛ درنتیجه از طریق مدل سیستم استنتاج عصبی ـ فازی تطبیقی می‌توان به‌سرعت به ساختار مناسب و پاسخ ایده‌آل رسید که برتری این مدل را نشان می‌دهد. از سوی دیگر برای آموزش شبکه عصبی از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود که ابتدا محاسبات از ورودی شبکه به‌سوی خروجی شبکه صورت می‌گیرد؛ سپس مقادیر خطای محاسبه‌شده به لایه‌های قبل انتشار می‌یابد و وزن‌ها تعدیل و اصلاح می‌شوند. درحالی‌که الگوریتم یادگیری در مدل پیشنهادی نروفازی تطبیقی از الگوریتم هیبریدی که ترکیب دو الگوریتم پس‌انتشار و کمترین مربعات است، برای اصلاح وزن‌ها و پارامترهای توابع عضویت استفاده شده است.

ویژگی‌های متفاوت سازمان‌ها و ملاحظه‌های اجرایی متفاوت ایجاب می‌کند شرایط استفاده متعددی، موردتوجه برنامه‌ریزان و مدیران پژوهشی قرار گیرد. درحقیقت به‌علت اینکه از پژوهش‌ها اهداف خاصی انتظار می‌رود و شرایط اجرایی متفاوتی در سازمان‌ها وجود دارد، گستره‌ای از مدل‌های کاربست در پاسخگویی به این نیازها به‌وجود آمده است. شرح و توصیف این مدل‌ها به‌علت وجود پهنه وسیعی از روش‌ها و زمینه‌های قابل‌استفاده در نتایج پژوهشی صورت پذیرفته است. مدل‌های کاربست در هریک از انواع استفاده، چارچوب‌های متنوع در درون آن دیدگاه را نشان می‌دهد. در این مدل بر سه عاملی که کاربست پژوهش را ارتقا می‌بخشد، تأکید شده است: دسترس‌پذیری دانش، شایستگی برای انتقال و استفاده از دانش و ایجاد ساختار حمایتی که محیط نوآورانه‌ای را به‌وجود آورد. راه درست کاربست یافته‌ها، سفارشی‌کردن پژوهش است. عدم‌شناسایی دقیق نیازهای پژوهشی باعث عدم‌کاربست یافته‌ها می‌شود. اگر اولویت‌های پژوهشی از دل نیازهای آموزشی و اجرایی برخیزد، یافته‌ها مخاطبان و طالبانِ فراوانی خواهد داشت. این گام ناظر به فعالیت‌های پیش از اجرای پژوهش است. مؤلفه مهم دیگر که پیش از اجرای پژوهش باید به آن پرداخت، انتخاب پژوهشگر صلاحیت‌دار از نظر علمی و پژوهشی برای انجام پژوهش است. عدم‌اعتقاد تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران به صلاحیت علمی و حرفه‌ای پژوهشگران و متصدیان امور پژوهشی سبب می‌شود که یافته‌های پژوهش به فراموشی سپرده شوند و هرگونه تغییر و اصلاحاتی منتفی شود. با گماشتن ناظران قوی برای هدایت و نظارت بر فرایند اجرای پژوهش و ارزشیابی تکوینی از آن، کیفیت پژوهش «استفاده از مبانی نظری و پژوهشی مناسب، اتخاذ روش‌شناسی مناسب، استفاده از ابزار مرتبط برای گردآوری داده‌ها» نیز تضمین می‌شود. عنصر بسیار مهم دیگر که در حین اجرای پژوهش باید به آن توجه کرد، تولید دانش کاربردی و یافته‌های باکیفیت بر اساس نیاز واقعی مدیران و تصمیم‌گیران است. تمرکز بر نیاز مخاطبان و سفارش‌دهندگان اولویت‌های پژوهشی، راهکاری کلیدی در جهت تولید دانش کاربردی و درنتیجه کاربست یافته‌ها است؛ همچنین مفهوم «پیگیری‌های بعدی» مهم خواهد بود و به این موضوع اشاره می‌کند که کاربست یافته‌ها و حتی به‌کار نبستن آن‌ها چه مسائل جدیدی را به‌وجود آورده و اساساً مشکلات تازه رخ‌داده در هر عرصه کاری کدام هستند که در اینجا گام نخست مدل کاربست که ناظر بر مسئله‌شناسی و ارائه روشن اولویت پژوهشی است، مطرح می‌شود. حمایت مالی از کاربست یافته‌ها و پذیرش هزینه‌های اضافی ناشی از تغییرات حاصل از کاربست نتایج پژوهش‌ها، همواره چالش اساسی حوزه اعتبارات مالی مدیریت بوده است. برای مشاهده تأثیر یافته‌های پژوهشی در عمل و در عملکرد تصمیم‌گیران، باید از کاربست یافته‌ها حمایت مالی شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اگرچه هوش مصنوعی نمی‌تواند به‌طور کامل جایگزین انسان شود، اما توانایی آن در دریافت و پردازش اطلاعات بسیار فراتر از توانایی افراد است. استفاده از فناوری هوش مصنوعی برای بهبود کیفیت محصول و بازده تولید در شرکت‌ها یک روش مؤثر است.

در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای ارزیابی کیفیت فرآیند در تولید ایجاد شده است. کلید موفقیت این مطالعه تجربی، توانایی هوش مصنوعی در ارزیابی کیفیت بود. انتظار می‌رود پیشرفت‌ها در فناوری‌های هوش مصنوعی تأثیر زیادی بر صنایع داشته باشد. این تأثیرات احتمالاً به همان اندازه یا حتی مهم‌تر از تأثیرات انقلاب صنعتی هستند [۱۸].اگرچه ایجاد یک سیستم مدیریت

هوش مصنوعی به نیروی انسانی، منابع مادی و زمان نیاز دارد، اما استفاده از سیستم مدیریت هوش مصنوعی کیفیت محصول و کارایی تولید را بهبود می‌بخشد. به‌عنوان یک مزیت خاص، مدل تصمیم برای رسیدگی به داده‌های تولید غیرخطی طراحی شده است. مدل تصمیم پژوهش حاضر، امکان کاربرد گسترده در تنظیمات تولید با پوشش داده بالا را فراهم می‌کند. در این پژوهش یک مدل فازی ـ عصبی تطبیقی که مزایای استنتاج فازی و شبکه عصبی را توأماً دارا است، به‌منظور ارزیابی کیفیت یک قطعه تولیدی پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که با استفاده از روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم و با داشتن تعداد کافی داده‌های آموزشی، ضمن لحاظ‌کردن خطا و عدم‌قطعیت موجود در داده‌ها می‌توان بدون نیاز به انجام آزمایش‌های پرهزینه، ارزیابی کیفیت را در برای مصارف مختلف تولیدی ـ خدماتی انجام شود. مدل نروفازی تطبیقی پیشنهادی به‌دلیل دارابودن هم‌زمان ویژگی‌های یادگیری و حل مسائل شامل عدم‌قطعیت، ارزیابی کیفیت را با خطای کمتری موردارزیابی قرار می‌دهد. ضریب همبستگی در خروجی‌های کیفیت حاصل از مدل نروفازی تطبیقی در حد مطلوب و مناسب است. تنها با معرفی نوع و تعداد توابع عضویت، می‌توان به یک مدل فازی ـ عصبی تطبیقی مطلوب دست یافت. در طراحی شبکه عصبی باید بهترین تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های این لایه‌ها با سعی و خطا به‌دست آید و درنتیجه رسیدن به بهترین مدل شبکه عصبی زمان‌بر خواهد بود؛ در نتیجه یکی از دلایل برتری مدل نروفازی بر شبکه عصبی مصنوعی این موضوع است. محاسبات نرم به ویژه سیستم فازی ـ عصبی تطبیقی در پیش‌بینی نتایج با وجود داده‌های آموزشی قابل‌اعتماد است و ضمن در اختیار قراردادن اطلاعات کلی به پژوهشگر برای جلوگیری از انجام طرح غیرکارا، صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای را در زمان و هزینه به همراه خواهد داشت.

نتایج نشان داد که تابع عضویت مثلثی برای طراحی مدل مبتنی بر فازی با توجه به داده‌های واقعی استفاده‌شده از انواع دیگر تابع عضویت بهتر عمل می‌کند؛ همچنین می‌توان بیان کرد که RMSE با افزایش تعداد دوره‌ها برای همه توابع عضویت اندکی کاهش می‌یابد. بعد از تعیین نوع تابع عضویت برای هر شش متغیر ورودی شامل معیار ظاهری، قطر خارجی چرخ‌دنده، ضخامت چرخ‌دنده، طول شافت فلزی، ارتفاع شافت فلزی و قطر خارجی شافت فلزی، تابع عضویت مثلثی و با هفت مقدار زبانی تعریف شده و داده‌های آموزشی، صحت‌سنجی و آزمایشی در سیستم نروفازی تطبیقی وارد شدند. داده‌های مورداستفاده برای ارزیابی کیفیت یک قطعه تولیدی در روش نروفازی تطبیقی با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و میانگین مربعات خطا ۰/۴۲۸۶۹ تطابق خوبی بین کیفیت خروجی مدل پیشنهادی ارائه داد.

فناوری به‌سرعت در حال تکامل است و فرصت‌هایی همراه با چالش‌ها و پیشرفت‌های بی‌سابقه در بسیاری از حوزه‌ها از جمله فرایندها و محصولات تولیدی باز می‌کند. بر این اساس، در این پژوهش از هوش مصنوعی به‌عنوان فناوری در زمینه کیفیت با هدف برجسته‌کردن برخی از فرصت‌ها و چالش‌های پیش روی در آینده نزدیک و نشان‌دادن راه‌حل‌های نوآورانه استفاده شد.

می‌توان در پژوهش‌های آینده، این ابتکار پژوهش‌های هوش مصنوعی را در حوزه‌های دیگر کیفیت مانند هزینه‌های کیفیت شامل شناسایی تأمین‌کنندگان، ضایعات، دوباره‌کاری، نمونه‌برداری، شکایت و وفاداری مشتری، هزینه توزیع و بررسی کیفیت مواد اولیه گسترش داد و با گنجاندن یک بُعد اضافی، کیفیت کلی را غنی کرد.

با وجود ناچیزبودن خطای موجود در مدل فازی ـ عصبی تطبیقی، به‌منظور هر چه دقیق‌ترشدن ارزیابی‌ها، در پژوهش‌های آینده به‌کارگیری روابطی جهت در نظرگیری حدود مشخصی برای مقادیر زبانی با استناد به روابط موجود در فناوری توصیه می‌شود؛ همچنین می‌توان با الگوریتم‌های دیگری از محاسبات نرم انجام داد و نتایج را با مدل پیشنهادی مقایسه کرد.

رویکرد پژوهش برای حوزه کیفیت با سایر حوزه‌های کاربردی در مدیریت مرتبط است. برای مثال، در بازاریابی می‌توان از آن برای درک عوامل ریزش مشتری و هدف‌قراردادن افراد درمعرض‌خطر با انگیزه‌های مناسب استفاده کرد. در مدیریت زنجیره تأمین می‌توان از آن برای ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار ریسک تأمین‌کننده استفاده کرد.

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. Al-Marakeby, A., Aly, A., & Salem, F. A. (2013). Fast quality inspection of food products using computer vision, *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng. 2*, 4168–4171.
2. Behfarnia, K., & Khademi, F. (2017). A comprehensive study on the concrete compressive strength estimation using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Int. J. Optim. Civil Eng. 7(1)*, 71-80.
3. Da, F. (2000). Decentralized sliding mode adaptive controller design based on fuzzy neural networks for interconnected uncertain nonlinear systems. IEEE Transactions on Neural Networks, 11(6), 1471-1480.
4. Eslmpanah, M. (2023). Identifying Strategies and Applicable Policies to Improve the Standardization and Quality Management System to Achieve the Vision of the Islamic Republic of Iran in the Horizon of 1404. *The Journal of Industrial Management Perspective, 13(50)*, 187-210. DOI: 10.52547/JIMP. 13.2.187. (In Persian)
5. Field, J.M., Sinha, K.K. (2005) Applying process knowledge for yield variation reduction: A longitudinal field study. Decision.
6. Hopp W.J., & Spearman, M.L. (2011). *Factory Physics*, 3rd ed. (Waveland Press, Long Grove, IL).
7. Huang, X. (2022). Application of artificial intelligence APP in quality evaluation of primary school science education. Educational Studies, 1-21.
8. Ittner, C. D. (1994). An examination of the indirect productivity gains from quality improvement. Production and Operations Management, 3(3), 153-170.
9. JE, D. (2001). Artificial neural networks: opening the black box. Cancer, 91, 1615-1635.
10. Karamouz, S. S., Ahmadi Kahnali, R., & Ghafurnia, M. (2019). Performance Measurement of Supply Chain Quality Management by Combination Balanced Scorecard and System Dynamics. Journal of Industrial Management Perspective, 9(3, Autumn 2019), 165-193. (In Persian)
11. Karimi, A., Darabi, R., Poor, F. M., & Moghadam, H. (2022). Predicting Information Quality Ranking with Factor Analysis and Artificial Intelligence Approach.
12. Lin, C. T., & Lee, C. G. (1996). Neural fuzzy systems: a neuro-fuzzy synergism to intelligent systems, 205, Prentice hall PTR Upper Saddle River NJ,
13. Long, G. J., Lin, B. H., Cai, H. X., & Nong, G. Z. (2020). Developing an artificial intelligence (AI) management system to improve product quality and production efficiency in furniture manufacture. Procedia Computer Science, 166, 486-490.
14. Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. Futures, 90, 46-60.
15. Malik, V., & Singh, S. (2020). Artificial intelligent environments: risk management and quality assurance implementation. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 23(1), 187-195.
16. Nelles, O., & Nelles, O. (2020). Nonlinear dynamic system identification (pp. 831-891). Springer International Publishing.
17. Pedrycz, W. (1993). Fuzzy neural networks and neurocomputations. Fuzzy Sets and Systems, 56(1), 1-28.
18. Prentice, C., Dominique Lopes, S., & Wang, X. (2020). The impact of artificial intelligence and employee service quality on customer satisfaction and loyalty. Journal of Hospitality Marketing & Management, 29(7), 739-756.
19. Psarakis, S. (2011). The use of neural networks in statistical process control charts. Quality and Reliability Engineering International, 27(5), 641-650.
20. Rajawat, A. S., Rawat, R., Barhanpurkar, K., Shaw, R. N., & Ghosh, A. (2021). Robotic process automation with increasing productivity and improving product quality using artificial intelligence and machine learning. In Artificial Intelligence for Future Generation Robotics (pp. 1-13). Elsevier.
21. Schmenner, R. W., & Swink, M. L. (1998). On theory in operations management. Journal of operations management, 17(1), 97-113.
22. Shahin, A., Janatyan, N., & Khodaparastan, M. (2021). Designing an Integrated Method for Increasing Quality of Product through Its Lifetime by Taguchi Design of Experiments and PAF Model (The Case of Entekhab Industrial Group). Journal of Industrial Management Perspective, 11(4), 37-57. (In Persian)
23. Shewhart, W. A. (1926). Quality control charts. The Bell System Technical Journal, 5(4), 593-603.
24. Somasundaram, M. J. K. M. S., Junaid, K. M., & Mangadu, S. (2020). Artificial intelligence (AI) enabled intelligent quality management system (IQMS) for personalized learning path. Procedia Computer Science, 172, 438-442.
25. Taguchi, G. (1986). Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes (Asian Productivity Organization, Tokyo).
26. Weese, M., Martinez, W., Megahed, F. M., & Jones-Farmer, L. A. (2016). Statistical learning methods applied to process monitoring: An overview and perspective. Journal of Quality Technology, 48(1), 4-24.

27. Woodall, W. H., & Montgomery, D. C. (2014). Some current directions in the theory and application of statistical process monitoring. Journal of Quality Technology, 46(1), 78-94.
28. X. R. Huang (2019). Review and Prospect of New Generation Artificial Intelligence Research [J/OL]. *Journal of Xinjiang Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, https://doi.org/10.14100/j. cnki. 65-1039/g4.20190312.001.
29. Y. H. Liang. Design of Intelligent Enterprise Management System Based on Big Data [J/OL]. Modern Electronic Technology,2019 (06): 158-161[
30. Yadollahi, M. M., Benli, A., & Demirboga, R. (2017). Application of adaptive neuro-fuzzy technique and regression models to predict the compressive strength of geopolymer composites. Neural Computing and Applications, 28, 1453-1461.
31. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets, Information and control. *California, 8(3),* 338-353.
32. Zantek, P. F., Wright, G. P., & Plante, R. D. (2002). Process and product improvement in manufacturing systems with correlated stages. Management Science, 48(5), 591-606.
33. Zare Ahmedabadi, H., Habib, Safari Derbarzi, Mirghfouri, Seyyed Habibullah, Jafari Nadushan, & Masoud. (2021). Evaluation of the service quality of pharmaceutical distribution companies with the combined approach of Kano, Seroqual and artificial intelligence network. Scientific Quarterly of Standard and Quality Management, 10(4), 110-131. (In Persian)
34. Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J. and Liu, C. (2014) Principles, Developments, and Applications of Computer Vision for External Quality Inspection of Fruits and Vegetables: A Review. Food Research International, 62, 326-343. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.012.
35. Zhang, S., Omar, A. H., Hashim, A. S., Alam, T., Khalifa, H. A. E. W., & Elkotb, M. A. (2023). Enhancing waste management and prediction of water quality in the sustainable urban environment using optimized algorithm of least square support vector machine and deep learning techniques. Urban Climate, 49, 101487.
36. Zhang, Z., Zhang, K., & Khelifi, A. (2018). Multivariate time series analysis in climate and environmental research (p. 287). Cham: Springer International Publishing.