"Research Article"

10.71737/jpm.2026.4013670

Developing a Systematic Framework for Extracting Product Design Parameters Using Design of Experiments in the Industrial 4.0 Environment

Karim Atashgar[1*], *Babak Ejlaly* [2]

(Received:2024.04.02 - Accepted:2024.07.02)

Abstract

The emergence of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) and its tremendous impact on industries and production systems have introduced new challenges in the field of quality management. These technological advancements compel quality specialists to revise the traditional methods of quality management. Quality 4.0 represents an updated version of the traditional quality management that seeks to improve traditional quality control methods using digital tools of Industry 4.0. Design of experiment is also an important tool in the statistical data analysis in the quality management area. This research attempts to provide customer satisfaction focusing on developing the quality 4 in the context of Fourth Industrial Revolution. Therefore, developing tools that can effectively respond to the diverse demands and needs of customers seems to be a key factor for industries seeking to strengthen their economic position, reduce vulnerability to external factors and enhance organizational sustainability. This paper, firstly, focuses on the design of experiment field and describes the existing opportunities and challenges. Then, after introducing the pillars of the Fourth Industrial Revolution, the study outlines the concept of Quality 4.0 along with its structure and requirements. Additionally, it presents a method for designing experiments within the Quality 4.0 environment and explains its algorithm step by step. Overall, this research introduces a systematic approach for identifying and extracting the key parameters required for the design of experiment. It introduces a model for design of experiment within the Industry 4.0 environment. The research method is based on the review of published literature, in which the methodologies of the references are validated using relevant case studies. This research is organized in three main components: 1) Identifying Industry 4.0 requirements; 2) Extracting key parameters for designing experiments focused on product development and customer satisfaction; and 3) Implementing the design of experiments in the context of the Fourth Industrial Revolution.

1.Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

*. Corresponding Author: atashgar@iust.ac.ir

2.Ph.D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

Key Words: customer satisfaction, design of experiment, Fourth (4.0) Industrial Revolution, Quality 4.0, product design

1.Introduction

The design of experiments is a quantitative tool, a subset of quality, which is used for the statistical optimization of system performance, which is used to manage the value of the input variables to reach the optimal values of the test sample and the goals of the tests. The Fourth Industrial Revolution has led to fundamental changes in production methods and the emergence of new tools and concepts such as the Internet of Things, smart products, smart factories and cyber security. The industrial revolution rests on two basic pillars of flexibility: one involves adapting to extensive economic and social changes through decentralization and organizational flexibility, and the other involves responding to technological pressures in industry, such as the emergence of smart phones and 3D printers. Quality 4. is a developed approach that is a combination of traditional quality methods with new technologies. Relying on artificial intelligence, Quality 4.0 seeks to respond the diverse needs of industries undergoing fundamental changes with the emergence of the Fourth Industrial Revolution. Hence, this research aims to propose an effective model grounded in the literature and informed by Design of experiments, with the aim of: 1) keeping pace with the developments of the Fourth Industrial Revolution; and 2) enabling product design based on customer experiences to increase customer satisfaction.

2. Literature Review

Fractional factorial designs, Taguchi design of experiments, composite central design, Box-Benken design, robust parameter designs, computer-aided designs, design of experiments using response surface methodology (Winer, 1962; Paulo Davim, 2012; Antony et al., 2006) are among the most important methods of designing experiments. The modular, smart-factory model of the Fourth Industrial Revolution-built on cyber-physical systems that monitor physical processes-creates a virtual representation of the physical world that enables decentralized decision-making. The requirements of the Fourth Industrial Revolution, derived from the research of Ustundag and Cevikcan (2018) on the

Internet of Things, cyber-physical system, robotic developments, the role of augmented reality, and the roadmap of technology and intelligent development, are introduced as the defining characteristics of this new industrial era. Quality 4 can be considered as the improved approach of the previous quality models, emerging in parallel with the technological advancements of the Fourth Industrial Revolution. Targeting the satisfaction of customers and continuous improvement, it has a direct relationship with lean production and 6 sigma and comprehensive quality management (Chiarini & Kumar, 2021). The need to advance toward Quality 4. Has been driven by the Fourth Industrial Revolution, the emergence of new digital concepts and the ineffectiveness of the traditional management approaches in addressing these needs. Previous studies, including those by Hong et al. (2022), Al-Zahrani et al. (2021) and Nikolajan et al. (2019), consider the basic components of Quality 4.0 as a requirement for the successful implementation within the context if Industry 4.0.

3. Methodology

The main goal of this research is to develop an accurate algorithm capable of determining product designs according to the experiences and desires of customers. Quality 4.0 serves as a powerful tool that can keep up with the developments of the Fourth Industrial Revolution. It achieves this, on the one hand, by monitoring the production process, and on the other hand, by connecting to the marketing process and feedback to customers' needs, to ensure customer satisfaction and achievement of production goals and of stakeholders' objectives. The key requirements of Quality Management 4.0 can be summarized as follows: identifying the primary stakeholders, defining strategic business goals, assessing available resources, analyzing competitors, recognizing key drivers such as customer satisfaction. Additionally, the architecture of the Fourth Industrial Revolution and its implementation within business planning necessitate attention to elements such as big data, cyber-physical systems, Internet of Things service, digitalization, and artificial intelligence. The increasing intensity of data flows and the size of the

analyzed data set require a review of the traditional methods of designing experiments in the context of Industry 4.0.

In this research, a new seventy- step experimental design method tailored to the requirements of the Fourth Industrial Revolution is proposed. The key stages include: understanding the requirements of Industry 4.0; making a list of iterative optimization and artificial intelligence methods; combining one optimization method with an artificial intelligence method (according to the characteristics of the process); matching the Industry 4.0 architecture with the selected case study; defining the purpose of the research (design of experiments); and determining the most effective tools for recording data in Quality Management 4.0. The procedure further involves understanding the process, specifying the factors, determining the levels of the factors/response variables, establishing the relationship among Quality 4.0 tools through artificial intelligence. Additional steps include developing a predictive model, finding machine parameters, ranking and training data using artificial intelligence, applying different machine learning models to predict part quality, utilizing inspection methods for components of complex 3D designs, and selecting and specifying high-tech equipment. To achieve the objectives above, this method was employed to convert the classification result of the factor levels into a continuous model, specify the experimental design method, and compare the results with the design goals. This experiment-based method is structured into five stages: 1) defining the problem, 2) identifying factors and response variables, 3) designing experimental tests, 4) conducting the experiments, and 5) analyzing and interpreting the results.

4. Result

In this research, by examining traditional methods of production and aligning them with digitalization, technological integration, and globalization, striving to get a major share of the market, we defined the Fourth Industrial Revolution and its requirements in various industries. The study showed that, just as traditional quality management has been a suitable tool to strengthen traditional production, Quality 4.0 also plays

this role in the context of Industry 4.0. In order to establish it, we need to implement quality components and dimensions. The experimental design methods with the approach of customer satisfaction within the Fourth Industrial Revolution, demonstrate clear advantages over traditional customer satisfaction tests. This approach is evaluated based on parameters such as flexibility, distance between the designer and customers, the level of customer satisfaction, the possibility of involvement in the design process, the speed of design, the quality level of risk management, reliability, and the final price of the product. Compared to the traditional design and testing methods, this approach not only enhances these parameters but also increases the capability and competitiveness of industries in today's challenging world.

5. Discussion

In fact, this research is based on four principles:

1. Developing a model for experimental design in the Fourth Industrial Revolution as a robust statistical and quantitative quality analysis tool that effectively reduces costs and increases the efficiency of intelligent industry.
2. Providing optimal indicators for experimenters in order to select the most suitable method among the various methods of designing experiments.
3. Offering a suitable algorithm to find the optimal criterion of customer satisfaction.
4. Using experimental design as a quantitative tool to determine factors which increase customer satisfaction in the context of Industry 4.0 as a vital element for the sustainability of industries in today’s challenging competitive market.

Conflict of interests: none

10.71737/jpm.2026.4013670

((مقاله پژوهشی))

رویکرد سیستماتیک جهت استخراج پارامترهای طراحی محصولات با استفاده از طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم

کریم آتشگر *[۱]، بابک اجلالی[۲]

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴–پذیرش نهایی:۱۴۰۳/۰۴/۱۲)

چکیده

با ظهور انقلاب صنعتی چهارم (صنعت ۴.) و تأثیرات شگرف ان بر صنایع و شیوه‌های تولید و ایجاد چالش‌های جدید در حوزه مدیریت کیفیت،لازم است در شیوه‌های سنتی مدیریت کیفیت بازنگری انجام شود. کیفیت ۴. در واقع نسخه بروز شده مدیریت کیفیت سنتی است که با استفاده از ابزارهای دیجیتالی به دنبال بهبود روش‌های سنتی کنترل کیفیت و همگام شدن با انقلاب صنعتی چهارم است. طراحی آزمایش‌ها نیز به عنوان یک ابزار مهم در تحلیل آماری داده‌ها در مدیریت کیفیت است. این تحقیق درصدد تأمین رضایت مشتریان با تمرکز بر توسعه کیفیت ۴ در انقلاب صنعتی چهارم است. از این‌رو توسعه ابزاری که بتواند به خواسته‌ها و نیازمندی‌های متنوع مشتریان پاسخ مثبت دهد، امروزه به‌عنوان یک فاکتور کلیدی برای صنایع مختلف جهت تصاحب سهم بازار و کاهش نفوذ رقبا و بقای سازمان است. این مقاله ابتدا به کارهای انجام شده در حوزه طراحی آزمایش‌ها و تشریح فرصت‌ها و چالش‌های موجود می پردازد. این مقاله بعد از معرفی ارکان انقلاب صنعتی چهارم، به معرفی کیفیت ۴.به‌عنوان یکی از الزامات اساسی (صنعت ۴.) اشاره می نماید. سپس چارچوب و ابزارهای مورد نیاز ان را تحلیل نموده و در ادامه به تشریح روش طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴. پرداخته و الگوریتم ان را به صورت گام به گام توضیح می‌دهد این مقاله با معرفی روشی سیستماتیک جهت استخراج پارامترهای اصلی در طراحی آزمایش‌ها به استفاده از این پارامترها در بستر انقلاب صنعتی چهارم می پردازد و مدلی را جهت طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴ معرفی می کند روش تحقیق در این مطالعه بر اساس بررسی مقالات معتبری است که متدلوژی و کارایی آن‌ها قبلا در مطالعات مورد کاوی به اثبات رسیده است. به طور خلاصه این تحقیق در سه گام اصلی تعریف شده است:۱) شناسایی الزامات صنعت ۴. ۲) استخراج پارامترهای اصلی طراحی محصول بر اساس رضایت مشتریان. ۳) پیاده سازی طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم.

واژه‌های کلیدی:

رضایت مشتریان،طراحی آزمایش‌ها،انقلاب صنعتی چهارم،کیفیت ۴.،طراحی محصول

۱. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران ، ایران

*. نویسنده مسؤول: atashgar@iust.ac.ir

۲.دانشجوی دکترا، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و شکل‌گیری انقلاب صنعتی چهارم منجر به تحول اساسی در شیوه‌های تولید و ظهور ابزارها و مفاهیم جدیدی مثل اینترنت اشیا،محصول هوشمند، کارخانه هوشمند، ابزارهای دیجیتالی و امنیت فیزیکی سایبری، مسئولیت اجتماعی شرکت، سیستم‌های توزیع خبره شده است.

(لاسی و همکاران،[1]۲۰۱۴) انقلاب صنعتی چهارم را از دو جنبه تعریف نمودند : ۱) یک مدل کاربردی ان‌عطاف‌پذیر بزرگ جهت تغییر عملیات توسط محرک‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی است که به اختصار عبارتند از: دوره توسعه کوتاه مدت، شخصی‌سازی تقاضا، انعطاف‌پذیری، تمرکززدایی، کارایی منابع. ۲)انعطاف‌پذیری در مقابل فشارهای تکنولوژی در حوزه صنعت‌که شامل تلفن هوشمند، چاپگر سه بعدی، به طور کلی رویکرد مکان‌یزاسیون و اتوماسیون بیشتر و دیجیتالی شدن شبکه است.

(سادر و همکاران،[2]۲۰۲۲) کیفیت ۴. را یک رویکرد توسعه یافته که ترکیبی از شیوه‌های سنتی کیفیت (کنترل کیفیت،تحلیل کیفیت،مدیریت کیفیت جامع) با فناوری‌های جدید است تعریف کردند. این رویکرد به دنبال استفاده از هوش مصنوعی (به‌عنوان ابزار یادگیری داده) در بهبود مدیریت کیفیت جهت انقلاب صنعتی چهارم است. آن‌ها باتکیه بر این نکته که کیفیت ۴. نسخه تکامل‌یافته کیفیت سنتی است و شامل ویژگی‌های زیر است: فعالیت‌هایی بازرسی خودکار، دیجیتالی‌شدن و ادغام نتایج با کل سیستم تولید. آن‌ها جهت رسیدن به اهداف خود به معرفی اجزای تکنولوژی پرداختند که عبارت‌اند از: قابلیت اتصال‌پذیری، مشارکت، نمایش داده. این محققان کاربردهای کیفیت ۴. را ساخت و تولید، تحقیق و توسعه،سرویس پس از فروش، فرایند تصمیم‌گیری برای کیفیت ۴. معرفی نمودند.آن‌ها نشان دادند که سیر تحول کیفیت ۴. ابتدا از کنترل کیفیت (نمودارهای کنترل و...) و سپس سیستم تضمین کیفیت (استان‌داردها،ایزو...) و در ادامه سیستم یکپارچه و جامع کیفیت (مدیریت کیفیت جامع) تشکیل‌یافته که زمینه‌ساز ظهور کیفیت ۴. بوده است.

(وای یو و همکاران،[3]۲۰۲۳) طراحی آزمایش‌ها را یک ابزار کمی و زیرمجموعه کیفیت‌دانسته‌اند که جهت بهینه‌سازی آماری عملکرد سیستم به کار می رود. آن‌ها با بیان اینکه وقتی که مقدار متغیرهای ورودی آزمایش زیاد است از تکنیک‌های غربالگری و آزمایش‌های اولیه جهت مدیریت

1. Lasi, et al.
2. Sader, et al.
3. Wu, et al.

مطلوب این پارامترها برای رسیدن به مقادیر بهینه نمونه آزمایش‌ها است. آن‌ها از روش غربالگری و روش سطح پاسخ به‌عنوان تکنیک‌های رایج طراحی آزمایش‌ها نام بردند.

(لینگ وچان‌گ [1]، ۲۰۲۱) به‌منظور افزایش رضایت مشتریان در حوزه فروش انلاین گوشی همراه مطالعاتی را در کشور تایلند انجام دادند. تحقیقات با استفاده از جدول تحلیل واریانس نشان داد که توان رقابتی با تعیین چهار فاکتور: خدمات کیفی، تکمیل انجام کار،قابل در دسترس‌بودن سیستم، خطمشی خدمت (به‌عنوان متغیرهای ورودی) و رضایت و وفاداری مشتریان (به‌عنوان متغیر پاسخ) افزایش داد. نتایج نشان داد: قابلیت دسترسی و خطمشی خدمات بالاترین تأثیر را در رضایت مشتریان دارد.

این تحقیق به دنبال پاسخ به سؤالات زیر شکل گرفت که عبارت‌اند از: ۱) چه رابطه ای بین طراحی آزمایش‌ها و رضایت مشتریان وجود دارد؟ ۲) الزامات کیفیت ۴. جهت پیاده سازی طراحی آزمایش‌ها چیست؟ ۳)تفاوت طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴. نسبت به پیاده سازی ان در شرایط عادی چیست؟ ۴)انقلاب صنعتی چهارم چیست؟ چه الزاماتی دارد؟ ۵)رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت۴. چیست؟ ۶) الزامات انقلاب صنعتی چهارم چیست؟ ۷) آیا می‌توان مدلی جهت پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴. بر اساس خواسته‌های مشتریان معرفی نمود؟ ۸) رضایت مشتریان را چگونه می‌توان در انقلاب صنعتی چهارم با یک ابزار کمی و آماری تحلیل نمود ؟ در این تحقیق از یک رویکرد مرور ادبیات متناسب با هر بخش استفاده نمودیم (لذا از این جهت از آوردن مرور ادبیات به صورت مجزا اجتناب نمودیم) و یافته‌ها و شکاف موجود را بررسی نمودیم.

بررسی ادبیات و سؤالات فوق، اهمیت استفاده از طراحی آزمایش‌ها به عنوان ابزار قدرتمند تحلیل آماری در محیط پویای انقلاب صنعتی چهارم راهنمایی می نماید. این تحقیق درصدد است که مبتنی بر ادبیات، یک مدل کارا مبتنی بر طراحی آزمایش‌ها با دو هدف: ۱) با تحولات انقلاب صنعتی چهارم همگام باشد. ۲) طراحی محصول بر اساس تجربیات مشتریان جهت افزایش رضایت مشتریان باشد معرفی نماید. فراهم آوردن ارتقای رضایت مشتریان که ادامه حیات صنایع را تضمین می نماید در بالاترین سطح سفارشی‌سازی مهمترین هدف همه شرکت‌های بزرگ و پیشرو است. ارائه محصولات کارا منطبق با خصوصیات مشتریان و قوی‌تر کردن تعاملات با مشتریان از طریق طراحی آزمایش‌ها (مبتنی برتجربیات و نیازمندی‌های ملموس مشتریان) نتایج بسیار سودمندی خواهد داشت. مهمترین این دستاوردها عبارت است از: ارتقای سطح رضایت مشتریان و در نتیجه

1.Ling & Chang.

وفادارماندن آن‌ها. بر این اساس، مدیران با استفاده از مدل ارائه شده در تحقیق فوق قادر خواهند بود با دسترسی به: ۱) پارامترهای استخراج شده از تجربیات مشتریان(تعامل با مشتریان) که بر اساس طراحی آزمایش‌ها بدست می آید. ۲) ابزارها و روش‌های اجرای طراحی آزمایش‌ها که همگام با تحولات انقلاب صنعتی چهارم تعریف شده است، را جهت غلبه بر چالش‌های بزرگی مانند عدم قطعیت و بحران منابع و ظهور رقبا و کاهش سهم بازار... (می تواند بقای هلدینگ‌های بزرگ صنعتی و رسیدن به اهداف از پیش تعریف شده را تضمین نمایند) استفاده نمایند.

قلمرو مطالعات این تحقیق برگرفته از معتبرترین مقالات در حوزه مهندسی صنایع بین سال‌های (۲۰۰۶ الی ۲۰۲۳) بوده که سهم مقالات جدیدتر بیشتر بوده است. حوزه‌های مطالعه (براساس تفکیک بخش‌ها به ترتیب: روش طراحی آزمایش‌ها سنتی/ انقلاب صنعتی چهارم / کیفیت ۴. / طراحی آزمایش‌ها در حوزه انقلاب صنعتی چهارم/طراحی محصول بر اساس تجربیات کاربران) می باشد. روش تحقیق به صورت ارجاع به مقالاتی است که اولا الگوریتم و چارچوب آن‌ها بر اساس مفاهیم فوق بوده و ثانیا در مقاله خود حتما موردکاوی هم داشته باشند و صحت این مطالعات قبلا به اثبات رسیده باشد.

در این تحقیق که در مجموع از ۵ بخش تشکیل یافته؛ در مقدمه پس از تبیین اهداف اصلی این مقاله به معرفی طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت سنتی پرداختیم و انواع روش‌های طراحی آزمایش‌ها و ویژگی‌های آن‌ها را بیان نمودیم و سپس به زمینه پیدایش انقلاب صنعتی چهارم و الزامات و ابعاد آن را معرفی نموده و در ادامه به معرفی کیفیت ۴. و ابعاد و الزامات و کارهای صورت گرفته در این حوزه پرداختیم. در بخش معرفی مدل، مدل تحقیق را نشان دادیم (که در بخش ابزارها و روش‌ها به توصیف اجمالی مدل بر حسب گام‌های آن خواهیم پرداخت) و در ادامه در بخش ابزارها و روش‌ها ابتدا رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴. و طراحی کارخانه هوشمند را بررسی نمودیم و سپس به معرفی طراحی آزمایش‌ها در حوزه کیفیت ۴. و مرور چند مقاله محدود پرداختیم و با استفاده از یک الگوریتم مراحل اجرای طراحی آزمایش‌ها و الزامات آن را در محیط انقلاب صنعتی چهارم معرفی نمودیم. در بخش یافته‌ها رویکرد طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم را با رویکرد سنتی طراحی آزمایش‌های سنتی مقایسه نمودیم. و در ادامه با تمرکز بر ترجیحات مشتریان (رضایت مشتریان و لزوم پاسخگویی به نیازهای آن‌ها به صورت ارتباط مستقیم و استفاده از نظرات آن‌ها در حوزه طراحی) با استفاده از یک روش سیستماتیک که نیازها و خواسته‌های مشتریان را بر اساس الزامات طراحی محصول جمع آوری می‌نماید و این پارامترها در اختیار (به صورت ورودی‌های اصلی طراحی آزمایش‌ها به عنوان ابزار قدرتمند کیفیت ۴.) مدل طراحی آزمایش‌ها (مدلی که این مقاله معرفی می نماید) قرار می گیرد، تا به نیازهای متنوع مشتریان همگام با توسعه

انقلاب صنعتی چهارم در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه پاسخ دهیم و بقا و رشد صنایع را تضمین نماییم. در انتها در بخش نتیجه گیری با بیان نتایج و پیشنهادها به فرصت‌ها و تهدیدات پیشرو پرداختیم.

طراحی آزمایش‌ها

طراحی آزمایش‌ها یک روش آماری جهت تحلیل داده‌های آماری فرایند تولید است. مفهوم طراحی آزمایشی جدید نیست و ریشه آن به دهه ۱۹۲۰ و کار آماردان مشهور سر رونالد فیشر برمی‌گردد؛ فیشر عملاً نیاز به در نظرگرفتن تجزیه و تحلیل آماری را در طول مراحل برنامه‌ریزی تحقیق و نه در مراحل پایانی آزمایش را برجسته نمود(نیدز و ایوانز[1]، ۲۰۱۶) که مهم‌ترین روش‌های طراحی عبارت‌انداز: آزمایش‌های تک عاملی، طراحی بلوکی کامل تصادفی شده، آزمایش‌های چندعاملی (فاکتوریل کامل)، طرح‌های فاکتوریل کسری، طراحی آزمایش‌های تاگوچی، طراحی مرکزی مرکب، طراحی باکس–بنکن، طرح‌های پارامتر قوی، طرح‌های به کمک رایانه، طراحی آزمایش‌ها با استفاده از متدولوژی پاسخ سطح (وینر[2]،۱۹۶۲، پایلو دیویم[3]ننونی و همکاران[4]،۲۰۰۶). با توجه به مرور ادبیات انجام شده حاصل از تحقیقات نویسندگان ((گلیس و فیزا، ۲۰۲۱) و (حیدری و همکاران،۲۰۲۲) و (استاوروس و همکاران،۲۰۱۷) و (ساتیش و همکاران،۲۰۲۱) و (ناهومشانی و همکاران،۲۰۲۳) و (وو و همکاران،۲۰۲۲) و (خلید و پنگ،۲۰۲۱) و (ان‌یکا و همکاران،۲۰۲۰) و (تان‌کو و همکاران،۲۰۰۹) و (چان‌گ و همکاران،۲۰۰۹) و (امان‌وِیل و همکاران، ۲۰۲۳) و (جین و سوبک،۲۰۲۳) و (زایگیاریس و همکاران،۲۰۲۲) و (شودیک و همکاران،۲۰۱۸) و (ادام و همکاران،۲۰۲۱) و (واری و همکاران،۲۰۱۸) و (لین و همکاران،۲۰۰۷)) نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان مهم‌ترین پارامترهای استخراج شده مورد نیاز جهت طراحی آزمایش‌ها سنتی با رویکرد رضایت مشتریان را در جدول ۱. نشان داد. جدول ۱. به طور خلاصه به‌مرور کارهای گذشته در حوزه طراحی آزمایش‌ها با اهداف (غیر از رضایت مشتریان/ رضایت مشتریان) می پردازد. جدول۱. مقادیر نمونه و تعداد آزمایش‌ها و روش‌های طراحی آزمایش‌ها را تحلیل نموده است. روش‌های سنتی طراحی آزمایش‌ها قادر نیستند که به همه ابعاد نیازهای مشتریان پاسخ بگویند، پس‌نیازمند به بازنگری در حوزه طراحی آزمایش‌ها هستیم که اولا بتواند نیازهای مشتریان را به‌صورت انلاین

1. Niedz & Evens
2. Winer.
3. Paulo Davim.
4. Antony, et al.

استخراج نموده وسپس با منطبق نمودن آن با روش‌های طراحی باعث استحکام تولید در انقلاب صنعتی چهارم شود. تابع گسترش کیفیت، ابزار خوبی است جهت تبدیل صدای مشتری به صدای طراحی، به طوری‌که این ماتریس بوسیله تجربیات و نیازهای مشتریان مقداردهی شده و سپس به‌وسیله طراحی آزمایش‌ها اثر متغیرهای به‌دست‌آمده از ماتریس فوق را بر فرایند نهایی (اولیت نهایی پاسخ‌های فنی) به‌عنوان متغیر پاسخ بررسی می‌شود.

انقلاب صنعتی چهارم

انقلاب صنعتی اول (بین سال‌های ۱۷۵۰ الی ۱۸۵۰) که پیامد آن کشف موتورهای بخار در قرن هجدهم بود. انقلاب صنعتی دوم- انقلاب فناوری (۱۸۵۰-۱۹۷۰): مهمترین دستاورد این دوره ،توسعه علم بوده است. انقلاب صنعتی سوم- انقلاب دیجیتال: (۱۹۷۰-۲۰۰۰): ظهور تکنولوژی‌های دیجیتال و اینترنت در پایان قرن بیستم بوده است. انقلاب صنعتی چهارم نامی است که به "چهارمین انقلاب صنعتی" اشاره دارد،که مهمترین نتایج آن ادغام تکنیک‌های تولید و اتوماسیون، پردازش و تبادل داده‌ها است.یکی از مشخصه‌های اصلی آن، تغییر در پارادایم‌های تولید است. گسترش جهانی اینترنت و نیاز به انطباق سریع و پرشتاب تحولات گسترده ای که در حوزه رقابت و اقتصاد جهانی منشأ انقلاب صنعتی چهارم است. سازمان‌دهی فرآیندهای تولید مبتنی بر فناوری و دستگاه‌هایی که به طور مستقل با یکدیگر در امتداد زنجیره ارزش در مدل‌های رایانه مجازی ارتباط برقرار می‌کنند،م دلی از کارخانه هوشمند آینده که درآن سیستم‌های کامپیوتری فرآیندهای فیزیکی را نظارت می‌کنند، یک کپی مجازی از دنیای فیزیکی و تصمیمات غیرمتمرکز بر اساس مکانیزم‌های خود سازمان دهنده است. کارخانه هوشمند ساخت ماژولار انقلاب صنعتی چهارم، سیستم سایبر فیزیکی که بر فرآیندهای فیزیکی نظارت می کند، یک کپی مجازی از دنیای فیزیکی ایجاد کرده که تصمیمات غیرمتمرکز را فراهم می سازد. از طریق اینترنت اشیا، اشیا در زمان واقعی با یکدیگر و انسان‌ها ارتباط برقرار می نمایند. از طریق اینترنت خدمات، خدمات داخلی و بین سازمانی توسط شرکت کنندگان زنجیره ارزش ارائه و استفاده می‌شود. جدول۲. به بررسی الزمات انقلاب صنعتی چهارم که از تحقیق (استونداگ و کویکان[1]،۲۰۱۸) به دست امده است.

1. Ustundag & Cevikcan.

کیفیت

مفهوم کیفیت و استفاده از آن با ظهور تحولات صنعتی شروع شده است. به طوری‌که مفهوم کیفیت اولیه (صفر) شامل بازرسی برای حجم محصول بالا و به‌کار بردن نمودارهای کنترل جهت کیفیت است. کیفیت ۲. (تضمین کیفیت) که در آن کیفیت مبتنی بر بازرسی و کنترل و افراد مجری کیفیت آشنا به استانداردها بودند و تضمین کیفیت تأکید آن بر مشارکت کارکنان بود. در ادامه کیفیت ۳. (بهبود کیفیت) که ایزو ۹۰۰۰ و کنترل کیفیت جامع و مدیریت کیفیت جامع و ۶ سیگما مهمترین جنبش‌های کیفیت بوده است و با رضایت مشتریان و بهبود مستمر موازی بوده و رابطه مستقیم با تولید ناب و ۶ سیگما و مدیریت کیفیت جامع داشتند(چیرانی و کومار[1]،۲۰۲۱).پس از انقلاب صنعتی چهارم و ظهور مفاهیم جدید صنعتی وکاهش و ناکارآمدی مفاهیم کیفی گذشته (کیفیت ۳.) از این‌رو، نیاز به رهبری کیفی نوظهور وجود دارد که هوشمندانه حرکت کند تا خلأ رهبری کیفی ایجاد شده را با عزم راسخ برای جانشینی دستاوردهای گذشته پر کند. جدول۳. به طور خلاصه به‌مرور تحقیقات گذشته نویسندگان مانند((هان‌گ و همکاران،۲۰۲۲) و (الزهرانی و همکاران،۲۰۲۱) و (نیکولاجان و همکاران،۲۰۱۹) و (بارتو و همکاران،۲۰۲۱) و (افیموا و بریس،۲۰۲۱) و (یادوا و همکاران،۲۰۲۱) و (منصوری و همکاران،۲۰۲۲) و (اندرو و پل،۲۰۲۱) و (کیم و یو،۲۰۲۱) و (سلیمبنی و ردچوک،۲۰۲۳) و (بران‌دنبرگر و همکاران،۲۰۲۱) و (شارنه و الاوادی،۲۰۲۱) و (هالم و همکاران،۲۰۲۱) و (اسچنوریتر،۲۰۱۷) و (زونشاین و کنت،۲۰۲۰) و (جاوید و همکاران،۲۰۲۱) و (اسکوبار و همکاران، ۲۰۲۱) و (فونسکا و همکاران،۲۰۲۱) و(ماتووا،۲۰۲۲) و (چیارینی و کومار،۲۰۲۲)) در حوزه مدیریت کیفیت ۴. و مؤلفه‌های اساسی کیفیت ۴. پرداخته که جهت استقرار موفق کیفیت ۴. در انقلاب صنعتی چهارم الزامی است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Chiarini & Kumar.

جدول ۱ :مروری بر مقالات در حوزه طراحی آزمایش‌ها با اهداف مختلف

Table1: A review of papers in the field of designe of experiments with different objectives

پارامترهای استخراج شده از مرور ادبیات مقالات										
نویسندگان	روش طراحی آزمایش‌ها	پرسشنامه/ مصاحبه/ مشاهده	تحقیقات بازار	رسانه‌های اجتماعی/ آنلاین	تجزیه و تحلیل	متغیر ورودی	متغیر پاسخ(مشتری*/غیرمشتری)	تعداد نمونه	تعداد آزمایش‌ها	حوزه تمرکز
گلیس و فیزا	پاسخ سطح					3		10	20	عمران
حیدری و همکاران	تاگوچی					3		8	16	پلیمر
استاوروس و همکاران	ترکیبی					4		15	13	دارو
ساتیش و همکاران	تاگوچی					1		16	16	تاسیسات
ناهومشان‌ی و همکاران	هیبریدی					2		150	12	پزشکی
وو و همکاران	متعامد					3		18	9	کشاورزی
خلید و پنگ	تاگوچی					3		27	5	مکان‌یک
ان‌یکا و همکاران	عاملی					4		8	24	تولید
تان‌کو و همکاران	تحلیل کواریانس	*				5		30	6	طراحی
چان‌گ و همکاران	کمو و بارتلت	*				3	*	10	7	ساختمان
امانویل و همکاران	مجازی	*			*	6	*	20	10	ایده
جین و سوبک	رگرسیون		*	*		5	*	12	15	خودرو
زایگیاریس و همکاران	رگرسیون	*				3	*	50	10	فروش
شودیک و همکاران	فاکتوریل کامل			*		3	*	15	13	اجتماعی
ادام و همکاران	رگرسیون	*				3	*	15	10	توریست
واری و همکاران	ان‌الیز واریان‌س	*			*	2	*	28	3	کتاب
لین و همکاران	عاملی	*				2	*	107	4	بازار

جدول ۲ : بررسی چارچوب و الزامات انقلاب صنعتی چهارم(استوندآگ و کویکان،۲۰۱۸)
Table2: Examining the framework and requirements of the 4th industrial revolution (Stundag and Kuican, 2018)

نقشه راه تکنولوژی	مدل‌های بالغ و مقاوم	سیستم تولید ناب	مدل‌های تجاری هوشمند و مرتبط با محصول	چارچوب (مؤلفه‌های صنعت ۴.)
۱.استراتژی تعریف شده برای انقلاب صنعتی چهارم،۲.تعریف تکنولوژی کلیدی،۳.تعریف ایده،۴.تعیین پروژه‌های محصول و فرایند بالقوه،۵.انتخاب سبد پروژه‌ها،۶. اولویت بندی،۷.زمان بندی،۸.پیاده سازی	برای تعیین بلوغ مدل از فرمول زیر استفاده می‌شود $M_D = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_{Di} * g_{Di}}{\sum_{i=1}^{n} g_{Di}}$ **M:** بلوغ/ **D:**بعد / **I** : مربوط قلم کال / **g:** فاکتور وزن / **n** : مربوط به آیتم‌های بلوغ	فلسفه ناب: در پی حذف کلیه فعالیت‌هایی که زمان و منابع را صرف می کنند؛ اما ارزش افزوده ایجاد نمی کنند. تکنولوژی انقلاب صنعتی چهارم در مقابل اتلاف در تولید ناب: تولید فزاینده(پرینتر 3D)/واقعیت فزاینده/شبیه سازی و مجازی سازی/روباتیک	مدل‌های:B2B/ B2C	داده بزرگ/روبات‌های مستقل/زیر ساخت فیزیکی سایبری/شبیه سازی/ادغام‌های افقی و عمودی/ اینترنت صنایع/ سیستمای ابر/تولید فزاینده مرتبط با اینترنت شبکه/سیستم ن‌هادینه/ارتباطات و شبکه/امنیت سایبری/تکنولوژی ذاتی/سنسورها و فعال کننده
نقش واقعیت افزوده	**پیشرفت‌های رباتیک**	**اینترنت اشیا و گزاره ارزش جدید**	**نقش آموزش مهندسی**	**توسعه هوشمند**
شامل ۴ سخت افزار: کامپیوتر/ وسایل نمایش/ دستگاه ردیابی(بلاک چین)/ دستگاه ورود	۱.تکنولوژی سنسورهای پیشرفته،۲.هوش مصنوعی، ۳. اینترنت رباتیک، ۴. روباتیک ابر، ۵.معماری رباتیک سایبری و فیزیکی، ۶.رباتیک صنایع	یک شبکه‌های از وسایل متصل به اینترنت (جهت جمع‌آوری و مبادله دیتا) ازطریق سه لایه.۱.لایه‌های جلویی، ۲.اتصال،۳.لایه‌های عقبی	نیازمند به: ترکیب جمع‌آوری داده‌ها (داده بزرگ،تحلیل داده،ابر پردازش ابری،یادگیری ماشین)	حوزه استعداد: رقابت /تعهد/ مشارکت

جدول ۳: مروری بر مقالات در حوزه کیفیت ۴.

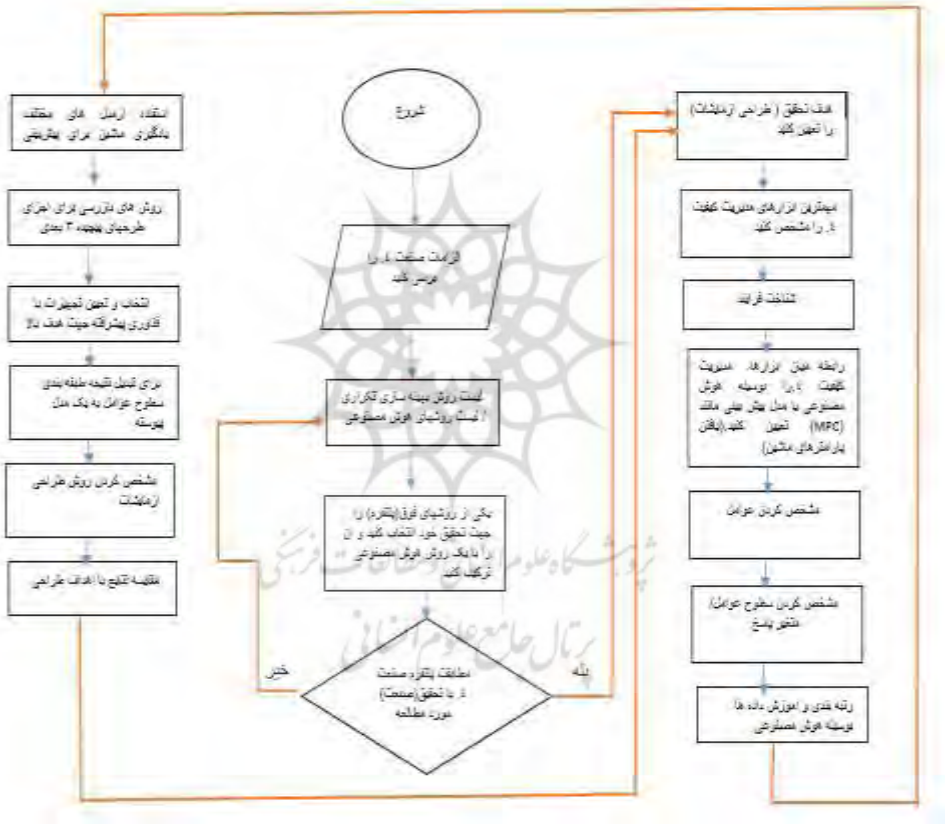
Table 3: A review of articles in the field of Quality 4.

نویسندگان	ردیابی/ بلاک چین/ مدیریت موجودی	اینترنت اشیا/ دینامیک سیستم	ارتباط مشتری با مدیریت (CRM)	داده(مشتری / محصول/بازار)	نقشه راه تکنولوژی/ برنامه ریزی/ اعتبار سنجی	مدل‌های بالغ / درک اکوسیستم/سطح بلوغ	نرم افزار پیش بینی هوش مصنوعی	مهارت‌های دیجیتال/ توسعه هوشمند/ ابزارهای کنترل	محک زدن محیط عملیاتی(OC)	علت ریشه ای و راه حل پایدار(RC)	تصمیم گیری و پیش بینی آینده(KP)	فرایند یکپارچه سازی مدیریت(PS)	مشارکت و توان‌مند سازی کارکنان(EE)	صدای مشتری(CF)	تعهد مدیریت به تکنولوژی (MC)	حوزه تمرکز
هان‌گ و همکاران			*	*				*			*		*	*	*	صنایع
الزهرانی و همکاران					*	*									*	اموزش
نیکولاجان و همکاران				*	*						*				*	لجستیک
بارتو و همکاران								*	*							کیفیت۴.
افیموا و بریس														*		مشتری
یادوا و همکاران	*			*	*		*					*				توسعه مدل
منصوری و همکاران					*											تولید
اندرو و پل							*	*				*				توسعه مدل
کیم و یو							*	*								مشاوره
سلیمبنی و ردچوک		*						*				*				الکترونیک
بران‌دنبرگر و همکاران				*												فولاد
شارنه و الاوادی	*	*	*			*	*	*								توسعه مدل
هالم و همکاران				*				*		*	*	*				پزشکی
اسچنوریتر																ادغام
زونشاین و کنت				*		*	*			*		*			*	اطمینان
جاوید و همکاران												*	*			لجستیک
اسکوبار و همکاران		*								*		*	*			کنترل
فونسکا و همکاران				*		*	*								*	EFQM
ماتووا									*	*	*	*	*	*	*	ابعاد
چیارینی و کومار	*	*	*	*	*	*	*	*			*		*	*	*	اجزا

هدف اصلی این تحقیق به دست آوردن یک الگوریتم جهت تعیین طراحی محصولات مطابق با تجربیات و تمایلات مشتریان می باشد اساس این الگوریتم در استفاده از طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم استوار است که پارامترهای اساسی (ورودی‌های) آن بر اساس تجربیات مشتریان به دست می آید. انعطاف‌پذیری و چابکی و دقت الگوریتم فوق موجب پاسخ‌گویی سریع صنایع به نیازهای بازار و پیروزی بر رقبا می باشد.

مدل تحقیق

ساختار کلی مدل ارائه شده به صورت شکل ۱ نشان داده میشود.



شکل۱ : الگوریتم طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴. بر گرفته به‌طور غیر مستقیم از مقاله (امین ابادی و همکاران،۲۰۲۲)

Fig1 :Design of Experiment algorithm in the quality environment 4. Indirectly taken from the paper(Amin Abadi et al., 2022)

ابزار و روش

رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴.

کیفیت ۴ . رویکردی است که به تناسب ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم شکل گرفته است. این رویکرد جدید، باید از ویژگی‌هایی پیروی کند که تحول دیجیتال و نوع داده‌ها را در انقلاب صنعتی چهارم مدیریت نماید. در کیفیت ۴ ظهور مفاهیم جدیدی، مانند پردازش ابری، تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات، داده‌هایی با حجم زیاد، هوش مصنوعی را شاهد هستیم. انقلاب صنعتی چهارم تغییرات گسترده‌ای بر روی شیوه‌های تولید ایجاد نمود و نیاز به مدیریت کیفیت ۴ . به عنوان ابزار قدرتمندی که بتواند همگام با تحولات انقلاب صنعتی چهارم از یک سو با پایش بر روی فرایند تولید و از طرف دیگر با اتصال به فرایند بازاریابی و بازخورد نیازهای مشتریان موجب تأمین رضایت مشتریان و برآورد اهداف تولید(رضایت ذی‌نفعان) گردد بسیار مهم است. مدیریت کیفیت ۴.شامل ابزارها و روش‌ها و دستور العمل‌ها به منظور نظارت مستمر بر منابع و افراد است. این ابزار امکان تولید داده‌های عملی و کشف الگوها و تمایز میان آن‌ها و تحلیل داده‌ها مرتبط با فرایند بازرسی را فراهم نموده است. مزایای مدیریت کیفیت ۴.ریسک کمتر خطرات ناشی از خطاهای انسانی و بهره‌وری منابع و سرعت پاسخگویی بسیار بالا در برابر تغییرات و رسیدن به سطوح خودنظارتی و خودارتقایی و خودبازرسی را افزایش می‌دهد. برای پیاده‌سازی کیفیت ۴ . نیاز است که ملاحظات اساسی مرتبط با پیاده سازی انقلاب صنعتی چهارم یا به عبارت دیگر طراحی شرکت هوشمند در نظر گرفته شود. به عبارت ساده‌تر، در این بخش به الزامات و چارچوب پیش‌نیازانقلاب صنعتی چهارم برای مدیریت کیفیت ۴ . و ارتباط میان آن‌ها خواهیم پرداخت. ابتدا با معرفی جایگاه مدیریت کیفیت ۴. در محیط کسب و کار به تبیین این جایگاه و الزامات آن پرداخته و سپس با معرفی الزامات اساسی انقلاب صنعتی چهارم و رابطه آن با محیط کسب و کار به اهمیت این موضوع خواهیم پرداخت. در خاتمه با برشمردن ویژگی‌های مدیریت کیفیت ۴. و مقایسه آن با مدیریت کیفیت سنتی و سیر تحول آن به ارتباط این حوزه با دو مقوله انقلاب صنعتی چهارم و محیط کسب و کار خواهیم پرداخت . (استونداگ و کویکان،۲۰۱۸) با بیان مقوله ارزش برای مشتریان به‌عنوان یک فاکتور کلیدی به بیان فرمول زیر پرداختند.

$$\text{ارزش} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{هزینه}} = \frac{\text{سرعت} + \text{ان‌عطاف پذیری} + \text{کیفیت}}{\text{هزینه}}$$

سیستم تولید، مجموعه‌ای از منابع را که با افزودن ارزش به آن‌ها به مجموعه‌ای از محصولات و محصولات جانبی تبدیل می‌کند، به این فرایند ارزش‌افزوده گفته می‌شود. ارزش افزوده که در صنعت برای توصیف تفاوت بین هزینه نهاده‌ها و ارزش (قیمت) خروجی‌ها استفاده می‌شود. ورودی‌ها

(در صنعت/فرایند) ممکن است شامل موارد زیر باشد: دانش/ مهارت... تولید ارزش: قابلیت اطمینان محصول/ دردسترس‌بودن محصول./ ماندگاری محصول./ قیمت محصولات رقابتی/ توانایی محصول برای برآوردن مناسب نیازها/ نیازها و مشخصات مشتری./ پتان‌سیل محصول برای برآوردن الزامات عملکرد/ ارائه گزینه انتخاب به مشتریان از نظر تنوع محصول./ خدمات پشتیبانی مشتری پس از فروش که به‌راحتی در دسترس است./ مطابقت استفاده / کاربرد محصول با دستورالعمل‌های قانونی./ شهرت و یکپارچگی محصول و سازنده و میزان‌پذیرش محصول (برند) در بازار. به‌عنوان‌مثال،یک مشتری وفادار برای خرید محصولی که به آن وفادار است،ارزش و اولویت بیشتری نسبت به محصولی که به آن وفادار نیست قائل است؛ پس توجه به زنجیره ارزش بسیار مهم است. از این‌رو طراحی محیط کسب‌وکار به‌عنوان مهم‌ترین ابزار در رویکرد مدیریت کیفیت است. مدیریت کیفیت که همگام با تحولات دیجیتالی‌شدن ارتقا پیدا نموده، همگام با ظهور انقلاب صنعتی چهارم، به‌عنوان روشی قدرتمند جهت برآوردن اهداف انقلاب صنعتی چهارم تبدیل شده است. هدف ما در این بخش معرفی جایگاه مدیریت کیفیت ۴. در محیط کارخانه هوشمند است. توسعه سازگاری کسب‌وکار می‌تواند منجر به گسترش کیفیت ۴. شود و به موازات آن تولید ارزش هم می‌تواند تحت‌تأثیر استراتژی کسب وکار قرار گیرد. شکل۲. برگرفته از (پنکوسکا[1]،۲۰۲۲) به‌طورکلی روابط میان این مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد که مهم‌ترین الزامات جهت پیاده‌سازی طرح کسب و کار با توجه به استقرار مدیریت کیفیت ۴. را نشان می‌دهد. در شکل ۲. پیش‌نیاز هر پارامتر نامبرده شده که عبارت‌اند از: ۱) طرح کسب و کار. ۲) مکان کسب‌وکار (منابع /شرکت / دارایی).۳) مهم‌ترین ذی‌نفعان. ۴) اهداف استراتژی کسب و کار (سازگاری کسب و کار، نیازمندی‌های سیستم). ۵) سازگاری کسب و کار. ۶) دارایی‌های قابل‌دسترس. ۷) رقبا. ۸) محرک‌ها (رضایت مشتریان).۹) محدودیت‌ها (رعایت مقررات قانونی/دسترسی به منابع/دردسترس‌بودن شایستگی‌ها). ۱۰) دانش کسب و کار فرایند کسب و کار اکوسیستم فرایند تجاری، فرایند کسب و کار: ({۱.سیستم اطلاعات ۲.سیستم تصمیم‌گیری ۳. سهام‌داران { تجار / مشتریان}). ۱۱) دارایی‌های در دسترس. ۱۲) شایستگی‌ها.

1. Pańkowska.

شکل۲ : مفهوم سازی معماری کسب و کار برای اجرای(پیاده سازی) کیفیت ۴,۰. (پنکوسکا،۲۰۲۲)

Fig 2: Conceptualization of business architecture for the implementation of quality 4.0. (Penkoska, 2022)

جایگاه انقلاب صنعتی چهارم و ارتباط آن با طراحی فرایند کسب و کار (طراحی کارخانه هوشمند)

همان طور که قبلاً اشاره شد مهم‌ترین قسمت‌های انقلاب صنعتی چهارم عبارت است از (هرمان و همکاران،۲۰۱۶):۱) سیستم سایبر فیزیکی: فرآیندهای فیزیکی بر محاسبات تأثیر می‌گذارند و بالعکس (سیستم‌های سایبری فیزیکی که ادغام دیجیتال با جریان کار فیزیکی را توصیف می‌کنند.). ۲) سرویس اینترنت اشیا: اشیا از طریق اینترنت می توانند با یکدیگر تعامل داشته و به پایگاه داده متصل شوند (ارتباط محصولات و خدمات با یکدیگر و محیط مربوطه آن‌ها از طریق اینترنت و سایر خدمات شبکه). ۳) کارخانه هوشمند (زیر مجموعه شکل ۳. شامل این مولفات است: ۱. به طور کلی متعامل و هوشمند.۲. بر روی چارچوب‌های فناوری‌های دیجیتال پیشرفته ساخته شده.۳.مشارکت به هم پیوسته. ۴. در یک محیط سیستم تولید فیزیکی سایبری به طور مستقل پاسخگو و تعاملی هستند. ۵.انبوه داده تولید و جمع آوری و تحلیل می‌شود. ۶. بیش از حد آگاه و انعطاف پذیر. ۷. «تولید مجموعه داده‌های بزرگ» و «محور داده‌های بزرگ»۸. قادر به صحبت کردن با یکدیگر ارتباط دو ماشین و با انسان‌ها. ۹. قادر به پاسخ سریع و مستقل به دستورات انسانی، ادراکات خود و هدایت خود.) ۴.) اینترنت خدمات. ۵) همچنین موارد نام برده شده در جدول ۳. سازمان‌ها و صنایع به منظور پیاده سازی الزامات انقلاب صنعتی چهارم نیازمند بلوغ دیجیتالی است؛

برای این منظور تکنولوژی و سازمان و انسان با هم تعامل داشته باشند. این امر، امکان دیجیتالی کردن کامل عملیات یک سازمان و سپس طراحی مجدد محصولات و خدمات سازمانی را فراهم می نماید. مهمترین دستاورد دیجیتالی شدن، تعامل نزدیک‌تر با مشتریان است (جاکوب[1]،۲۰۱۸). معماری تکنولوژی اطلاعات، مدیریت داده، انطباق با مقررات، فرهنگ کلی سازمانی برای تقویت دیجیتالی‌شدن ضروری است. دیجیتالی کردن کامل عملیات یک شرکت که به‌صورت عمودی، شامل هر عملکرد سازمانی و کل سلسله مراتب آن از یک طرف، و به‌صورت افقی، پیوند زنجیره تأمین، توزیع‌کنندگان و سایر شرکا در زنجیره ارزش‌سازمانی با توانایی انتقال یکپارچه داده‌ها بین آن‌ها و طراحی مجدد محصولات و خدمات است. به بیان ساده، عملکرد انقلاب صنعتی چهارم با در نظر گرفتن ساختار ماژولار کارخانه هوشمند، ابتدا سیستم سایبر فیزیکی با ایجاد نمونه غیر واقعی از دنیای فیزیکی اتخاذ تصمیات غیر متمرکز را ممکن ساخته است. و سپس توسط اینترنت اشیا با یکدیگر و انسان‌ها در زمان واقعی ارتباط برقرار می‌کنند. و در ادامه از طریق اینترنت خدمات، خدمات داخلی و بین سازمانی توسط شرکت کنندگان زنجیره ارزش ارائه می‌شود.فناوری‌های دیجیتالی مورد نیاز صنعت ۴ عبارتند از: ۱. رباتیک پیشرفته و هوش مصنوعی .۲. سنسورهای پیچیده.۳. پردازش ابری. ۴. اینترنت اشیا .۵. جمع آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل۶. ساخت دیجیتالی (از جمله چاپ سه بعدی). ۷. نرم افزار به عنوان یک سرویس و سایر مدل‌های بازاریابی جدید. ۸. گوشی‌های هوشمند و سایر دستگاه‌های تلفن همراه.۹. پلتفرم‌هایی که از الگوریتم‌هایی برای هدایت وسایل نقلیه موتوری استفاده می کنند (از جمله ابزارهای ناوبری، برنامه‌های اشتراک گذاری سواری، خدمات تحویل و سواری، و وسایل نقلیه خودران.) (سادر و همکاران[2]،۲۰۱۹). داده‌هایی که از محل تعاملات در سیستم کارخانه هوشمند جمع‌آوری می‌شوند، توسط سیستم‌های کامپیوتری هدایت می‌شود. این داده‌ها برای نظارت بر فرایندهای فیزیکی مستقر شده‌اند که ایجاد یک کپی دنیای مجازی از دنیای فیزیکی است. نتیجه این فرآیند این است که قابلیت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز بر اساس ساختار خود سازمان‌دهنده را امکان‌پذیر نموده تا به‌عنوان ابزاری جهت تحلیل عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات و نرم‌افزار و منابع به کار می‌رود و از این‌رو تعامل و پاسخگویی در برابر مشتریان را سریع‌تر و منعطف‌تر می‌سازند(مزیت بالقوه انقلاب صنعتی چهارم است در ادامه بیشتر به این موضوعات خواهیم پرداخت و ارتباط ان را بیان می کنیم). همان‌طور که در شکل۳. تمامی اجزا و مؤلفه‌های انقلاب صنعتی چهارم جهت پیاده‌سازی در طرح کسب و کار (کارخانه هوشمند) نشان داده شده و در واقع این روابط نشان داده شده در شکل فوق پیش‌نیاز طراحی کسب و کار (کارخانه هوشمند) نشان داده شده در شکل۲.

1. Jacob
2. Sader, et al

جهت معماری طراحی کسب و کار برای پیاده سازی کیفیت ۴. می باشد. نکته بسیار مهم روابط موجود میان انقلاب صنعتی چهارم و راه‌اندازی کسب و کار جدید در دو شکل۲. و شکل۳. نشان داده شده است .

جایگاه مدیریت کیفیت۴. و ارتباط آن با طراحی فرآیند کسب و کار (طراحی کارخانه هوشمند)

کیفیت ۴. اصطلاحی است که برای پیش بینی اینکه آینده کیفیت و تعالی عملکرد سازمانی، از دیدگاه ابتکارات انقلاب صنعتی چهارم‌استفاده می شود. از این رو، مدیریت کیفیت ۴. هم زمان با توسعه تحولات دیجیتال و هوشمندسازی فرآیندهای تولید، باید توسعه یابد. مدیریت کیفیت۴. و انقلاب صنعتی چهارم و طراحی کارخانه هوشمند سه ضلعی هستند که کاملا به یکدیگر وابسته‌اند.

شکل۳: معماری انقلاب صنعتی چهارم و مؤلفه‌های ان چهت پیاده سازی در طرح کسب و کار
Fig 3: Architecture of the 4th industrial revolution and its components and its implementation in the business plan

با توجه تحقیقات صورت گرفته مدل‌های مختلفی با توجه به رابطه بین کیفیت ۴. و انقلاب صنعتی چهارم مطرح شده است. سادر و همکاران،(۲۰۱۹) مدلی را معرفی نمودند که با توجه به خط مشی دیجیتالی شدن، تکنولوژی مناسب و نیازسنجی را جهت تحقق اهداف کیفیت ۴. تعیین می‌نماید. بوسدیکس و همکاران(۲۰۲۳) مدلی را جهت استقرارمدیریت کیفیت جامع وتضمین

1. Bousdekis, et al

کیفیت از طریق هفت اصل مدیریت کیفیت و استاندارد (ISO9001) معرفی نمودند. مهمترین ابزارهای مدیریت کیفیت ۴. که از هفت بخش تشکیل یافته، عبارت است از: ۱) هوش مصنوعی: بینش کامپیوترها /پردازش زبان/ چت بات‌ها / دستیاران شخصی/ روباتیک / تصمیم گیرهای پیچیده. ۲) داده بزرگ : مانند پایگاه داده(NoSQL ,MapReduce, Hadoop, Hive) / دسترسی ساده تر به منابع / ابزاری برای مدیریت و تحلیل مجموعه داده‌های بزرگ بدون استفاده از ابرکامپیوترها(کامپیوترهای بزرگ). ۳) بلاک چین : افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی دارایی‌ها از لحظه ارسال به طوری‌که تراکنش‌ها فقط در صورت برآوردن اهداف کیفی تحقق می یابد. ۴) یادگیری عمیق: طبقه‌بندی تصویر، تشخیص الگوی پیچیده، پیش‌بینی سری‌های زمانی، تولید متن، ایجاد صدا و هنر، ایجاد ویدیوی مصنوعی از ویدیوی واقعی، تنظیم تصاویر بر اساس روش‌های ابتکاری. ۵) حسگرها و محرک‌های مقرون به صرفه، محاسبات ابری، نرم‌افزار منبع باز، واقعیت افزوده، واقعیت ترکیبی، واقعیت مجازی، جریان داده (مانند کافکا و استورم)، اینترنت اشیا و پروتوکول اینترنت ۶ و فناوری بی‌سیم شبکه برای ارائه سرعت‌های پیک داده چند گیگابیت بر ثانیه، تأخیر بسیار کم، قابلیت اطمینان بیشتر، ظرفیت شبکه بسیار بالاست، افزایش دسترسی و تجربه کاربران به صورت یکنواخت‌تر طراحی شده است.۶) یادگیری ماشین: تجزیه و تحلیل متن، سیستم‌های توصیه، فیلترهای اسپام ایمیل، تشخیص تقلب، طبقه بندی اشیاء به گروه‌ها، پیش بینی.۷) علم داده(داده کاوی): عمل گردآوری مجموعه‌های داده ناهمگن برای پیش‌بینی،انجام طبقه‌بندی، یافتن الگوها در مجموعه داده‌های بزرگ، کاهش مجموعه‌های بزرگ مشاهدات به مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌ها، استفاده از تکنیک‌های سنتی سالم (مانند تجسم، استنتاج و شبیه‌سازی) برای تولید. در شکل۴. سطوح هوش با توجه به بلوغ تجزیه و تحلیل داده‌هانشان داده شده است که به چهار سطح تقسیم‌بندی شده است و سپس در جدول۴. ابزارها و چالش‌های موجود جهت تحلیل داده به آن اشاره شده است جهت توضیحات بیشتر، علاقه‌مندان می توانند به منبع معرفی شده مراجعه نمایند. اساساً تفاوت روش سنتی مدیریت کیفیت با مدیریت کیفیت ۴. بر دو اصل استوار است که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. اصل اول : در روش‌های نوین میزان داده بسیار زیاد بوده که با توجه به امنیت سایبری و شیوه انتقال و تحلیل آن که نیازمند ترکیب فناوری اطلاعات و فناوری عملیات و تعاملات انسانی است، در حالی‌که در روش سنتی میزان داده محدود بوده و نیاز به ترکیبات فوق نیست(پادهی و ایلا؛۲۰۱۹). اصل دوم: به تفاوت کارخانه سنتی و کارخانه هوشمند اشاره دارد. در کارخانه هوشمند با

1. Padhi, et al

توجه به قابلیت یکپارچه سازی سیستم تولید به پردازش خودکار داده که حجم آن بالاست می‌پردازد و از طرف دیگر بر پیش‌بینی و تحلیل خطاها و نواقص احتمالی استوار است.

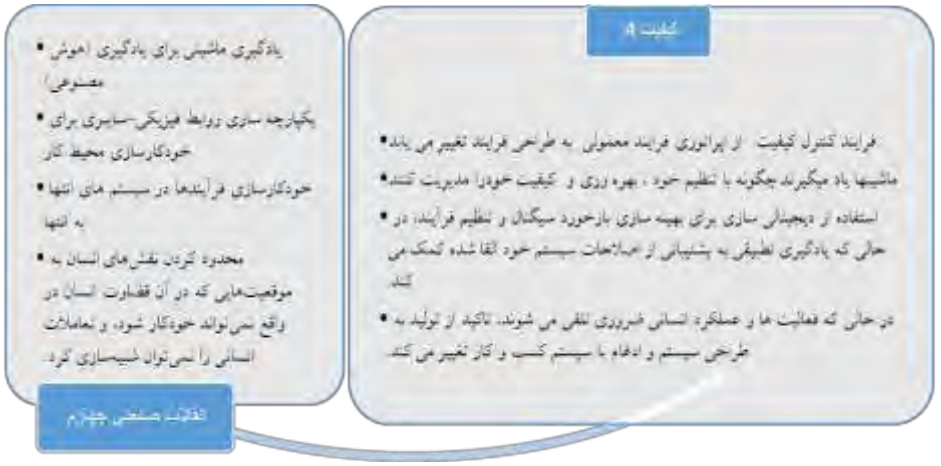
شکل ۴: سطوح هوش با توجه به بلوغ تجزیه و تحلیل داده‌ها (لیم،۲۰۱۹)

Fig.4: Levels of intelligence according to the maturity of data analysis (Lim, 2019)

در کارخانه هوشمند اساس مدیریت کیفیت ۴. بر پایه پیش بینی نقص‌ها و عیوب خارج از کنترل و مشخصات و انجام اقدامات اصلاحی استوار است(خطاهای انسانی که هم با احتمال بالا رخ می دهد) (واتسون[1]،۲۰۱۹). برخی الزامات در شکل۵. (تیموتی[2]،۲۰۲۲) بیان شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Watson, et al
2. Timothy



شکل ۵: مدل پیشن‌هادی با توجه به ظهور مفاهیم جدید در انقلاب صنعتی چهارم به موازات ان جهت مدیریت کیفیت ۴. (تیموتی،۲۰۲۲)

Fig.5 : The proposed model according to the emergence of new concepts in the 4th industrial revolution and parallel to it for quality management 4.(Timoty,2022)

جدول۵. سیر تکامل کیفیت و حوزه و عملکرد ان را نشان می دهد .

جدول ۴ : تحلیل داده و ابزارهای ان (لیم،۲۰۱۹)

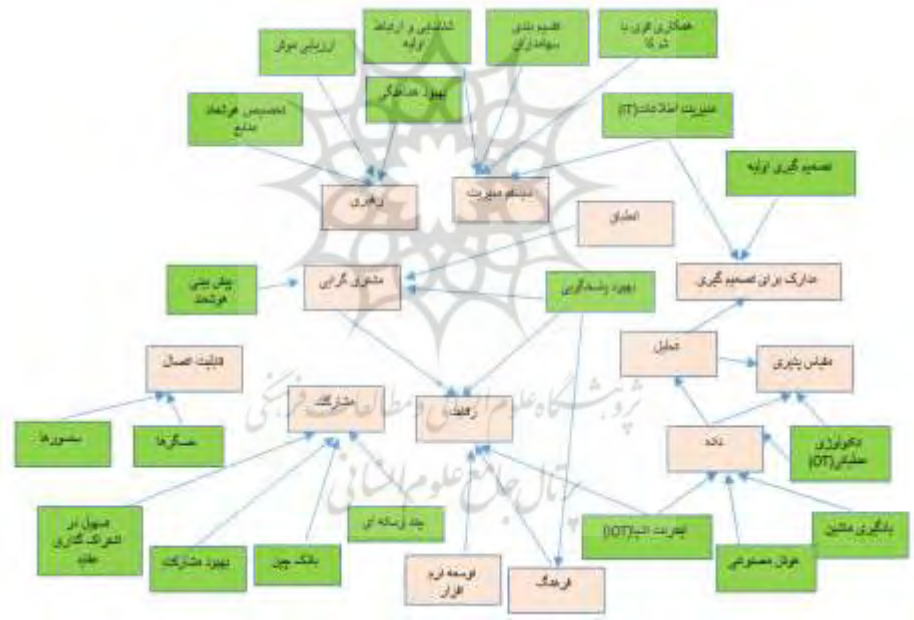
Table4 : Data analysis and its tools(Lim, 2019)

طبقه‌بندی روش‌ها برای تحلیل داده در هر مرحله تولید	چالش‌های مربوط به داده	تکنیک‌های پردازش داده‌ها	تکنیک‌های پیش‌پردازش داده‌ها	لیست منابع داده و اطلاعات
ارائه حل مسئله مبتنی بر داده	ارائه حل مسئله مبتنی بر داده	همبستگی آماری	تجزیه‌وتحلیل اجزای اصلی	سنسورهای تولید
توسعه الگوریتم‌های تحلیلی پیش‌بینی و تجویزی	توسعه الگوریتم‌های تحلیلی پیش‌بینی‌کننده و تجویزی	تحلیل رگرسیون	جاسازی (ن‌هادینه‌سازی) خطی محلی	سنسورهای محیط
ترکیب چندین منبع داده	ترکیب چندین منبع داده	یادگیری مبتنی بر قانون	نقشه‌برداری ایزومتریک (ایزومپ)	فناوری ردیابی محصول
ترکیب داده و دانش	ترکیب داده‌ها و دانش	شبکه عصبی	رگرسیون خطی پل‌های	ویدئو و تصویر
ارائه قابلیت‌های تحلیلی تقویت شده	ارائه قابلیت‌های تجزیه‌وتحلیل تقویت شده	ماشین بردار پشتیبان	ماشین بردار گام‌به‌گام (پل‌های)	سیستم‌های سازمانی و عملیاتی
		یادگیری عمیق	نمونه‌برداری بیش از حد اقلیت مصنوعی	دانش و مشخصات فرایند
		خوشه‌بندی	برجسته	
		مدل‌های احتمالی	تنظیم L-1	
			تبدیل بسته موج کوچک	
			روش نمونه‌گیری بیش از حد اقلیت مصنوعی	
			ویرایش نزدیک‌ترین همسایگان	

جدول ۵: سیر تکاملی کیفیت و حوزه و عملکرد ان(تیموتی،۲۰۲۲)

Table 5 : The evolution of quality and its scope and performance (Timoty,2022)

ویژگی اصلی کیفیت	کاربرد کیفیت	حوزه تمرکز	مدل مدیریت کیفیت
ویژه گی‌های محصول/ کنترل فرایند آماری/رویکرد اصلاحی در سطح محصول	تمرکز روی تولید و جداسازی بد از خوب	تولید	کنترل کیفیت
تدوین ساختار کیفیت/عملکرد و معیارهای فرایند/رویکرد پیشگیری در هر مرحله از فرایند	تدوین ساختار کیفیت از مرحله طراحی تا مراحل مختلف فرایند	کنترل کیفیت فرایند	تضمین کیفیت
کیفیت به‌عنوان یک هدف استراتژی بهبود مستمر در نظر گرفته می‌شود بدین منظور اهداف سازمانی با این استراتژی همسو می‌شوند	توان‌مندسازی افراد در سراسر محیط سازمانی (مشارکت کارکنان)	تضمین کیفیت/گسترش فعالیت‌های سازمانی و منابع انسانی	مدیریت کیفیت جامع
استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به‌عنوان ابزاری قدرتمند در سراسر زنجیره تأمین (شامل تأمین‌کنندگان / تولیدکنندگان / مدیریت عرضه/ مشتریان) تولید داده بزرگ،به‌هاشتراک‌گذاری و تجزیه‌وتحلیل،اتصال،و تصمیم‌گیری مستقل	تغییر از تمرکز بر روی مشتریان و حرکت به سمت تعامل و مشارکت با مشتریان و ذی‌نفعان	استفاده از فناوری‌های صنعت ۴. به عنوان مثال با ترکیب هوش مصنوعی و دیجتالی شدن با مفاهیم مدیریت کیفیت جامع به منظور ارتقا و بهبود هوش و عملکرد نیروی انسانی	مدیریت کیفیت ۴.



شکل۶: معماری کیفیت ۴. و مؤلفه‌های ان به رنگ صورتی و فرصت‌های انقلاب صنعتی چهارم جهت بهبود و پیاده سازی در طرح کسب و کار (کارخانه هوشمند).

Fig.6 : Quality architecture 4. and its components in pink color and the opportunities of the fourth industrial revolution for improvement and implementation in the business plan (smart factory).

طراحی آزمایش‌ها در محیط انقلاب صنعتی چهارم(به عنوان ابزار مدیریت کیفیت ۴.)

بی شک طراحی آزمایش‌ها در کنار فاکتورهای دیگر که در بخش قبل اشاره نمودیم به‌عنوان ابزار قوی جهت توسعه کیفیت ۴. محسوب می شود. در این بخش با بررسی تحقیقات صورت‌گرفته در این حوزه به اهداف و چالش‌های موجود پرداخته می شود. ادبیات نشان می دهد که به‌طورکلی مقالات بسیار محدودی وجود دارد که به طور مستقیم به طراحی آزمایش‌ها در صنعت ۴. پرداخته‌اند. (پیتراسزک و همکاران[1]،۲۰۲۰) به دلیل شدت جریان داده‌ها و اندازه مجموعه‌داده‌های تحلیل شده، روش‌های سنتی طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم را نیازمند بازنگری دانستند؛ آن‌ها پس از معرفی روش‌های متداول طراحی آزمایش‌ها و نقاط ضعف و قوت هرکدام (به جدول ۶ مراجعه نمایید) به مشکلات ناشی از جریان بالای داده و نظارت برخط یا غیربرخط و اختلالات متغیر تحمیل شده بر این داده‌ها،تمرکز نمودند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که رویکرد سنتی طراحی آزمایش‌ها در محیط صنعت ۴ مطلوب نیست و از این‌رو کیفیت ۴ نیازمند طراحی آزمایش‌ها مبتنی بر پایگاه‌داده (ناشی از مشاهدات) است. آن‌ها عدم‌قطعیت و مدل‌های کاهش ابعادی و رویکردهای چندمتغیره غیرخطی را برای رسیدن به این هدف مفید می دانند.

مراحل طراحی آزمایش‌ها در محیط کیفیت ۴.

گام اول: با الزامات انقلاب صنعتی چهارم آشنا شوید

تمامی ابزارها و پیش‌نیازها در صنعت باید دارای قواعد و دستورالعمل‌های مبتنی بر انقلاب صنعتی چهارم باشد. برخی از این ابزارها مختص ثبت داده‌هاست که در گام ششم به تفصیل به ان خواهیم پرداخت. این بخش، مقدمه و اساس پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها در این محیط می‌باشد (به شکل۱ مراجعه نمایید). نکته بسیار مهم این است که گام‌های دوازدهم الی چهاردهم فقط جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیدگی‌های مختلفی برخوردار است به‌کار می‌رود. (در روش سنتی امکان‌پذیر نبوده است)

گام دوم: لیست روش بهینه‌سازی تکراری و روش‌های هوش مصنوعی را تهیه نمایید

روش‌های بهینه‌سازی متعددی جهت یافتن نقطه بهینه برای دست یابی به هدف مورد نظر وجود دارد که تنها تعداد معدودی از آن‌ها قادرند خود را با استراتژی آنلاین تطبیق دهند. از نظر (واگولاتوس و همکاران[2]،۲۰۰۱؛ لی و همکاران[3]،۲۰۰۹)مهمترین این روش‌ها عبارتند از: درخت

1. Pietraszek,et al
2. Vagelatos,et al
3. Li,et al

تصمیم/ شبکه عصبی پرسپترون چندلایه/شبکه‌های عصبی کان و لوشنال و شبکه‌های عصبی تکراری و ماشین بردار پشتیبان،که در جدول ۴. به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۶ : روش‌های طراحی آزمایش‌ها همراه با نقاط ضعف و قوت ان (پیتراسزک وهمکاران،۲۰۲۰)
Table 6 : Designof Experiment methods along with their strengths and weaknesses(Pitraszek et al., 2020)

نام روش طراحی آزمایش‌ها	نقاط قوت	نقاط ضعف
فاکتوریل کامل	تجزیه‌وتحلیل عمیق تأثیر عوامل کنترل‌شده و بر هم‌کنش‌های احتمالی آن‌ها / مجموعه اطلاعات غنی است/ برای تولید مستمر است	محدودیت تعداد آزمون‌های آزمایشی را بدون تعیین بر هم‌کنش‌های مرتبه بالاتر (کسری) امکان‌پذیر می‌سازد/ هزینه اقتصادی بالا/ شدت‌جریان داده پایین
مربعات لاتین فیشر	به طور خاص به تجزیه‌وتحلیل دقیقاً سه عامل کنترل‌شده که معمولاً یکی از آن‌ها موردتوجه آزمایش‌کننده است،/ این روش استفاده از سطوح چندگانه کنترل عامل را امکان‌پذیر می‌کند	دو مورد دیگر عوامل محیطی غالب هستند که تأثیر عوامل را پنهان می‌کنند/ امکان مطالعه برهم‌کنش‌ها را نمی‌دهد / و همه عوامل باید تعداد سطوح یکسانی داشته باشند./ شدت‌جریان داده پایین
روش تاگوچی	برخی از محدودیت‌های مربع‌های لاتین را حذف کرد /که در ان ثبات فرایند بر بهینه‌سازی محلی پاسخ فرایند اولویت دارد. رویکرد تاگوچی تجزیه طرح آزمایشی را به دو طرح متمایز فرض کرد: آرایه داخلی،کنترل عوامل بسیار کنترل‌شده،و آرایه خارجی،عوامل تعیین‌کننده با کنترل ضعیف یا شبیه‌سازی عوامل مزاحم محیطی.	عوامل کنترل شده پیوسته نیستند/ شدت‌جریان داده پایین
متدولوژی سطح پاسخ	تفاوت اصلی با روش‌های ذکر شده قبلی،معرفی عوامل کنترل شده با تنظیمات پیوسته و تحمیل ساختار مدل پیش‌بینی در قالب یک تابع از پیش تعیین شده با پارامترهای ناشناخته بود.	علاوه بر این،در مورد مخلوط‌ها،ب‌هاصطلاح شرط جمع‌پذیری وجود داشت،به این معنی که تنظیمات عوامل کنترل‌شده (سهم اجزای مخلوط) را نمی‌توان آزادانه در آزمایش انتخاب کرد،بلکه باید به آن اضافه می‌شد./ شدت‌جریان داده پایین
Shainin s Red—X^{TM}	هدف از روش شاینین صرفاً تثبیت فرایند با شناسایی عوامل کنترل شدهای است که علل اصلی بی‌ثباتی فرایند هستند./ رویکرد متوالی /امکان می‌دهد پس از شناسایی عوامل مخدوش‌کننده اصلی،آزمایش را متوقف کنی/ صرفه‌جویی منابع/ شبیه ۶ سیگماست	رویکرد شاینین یک روش تحلیلی یا محاسباتی واحد نیست،/ شدت‌جریان داده پایین

گام سوم:

یکی از روش‌های بهینه‌سازی را با یک روش هوش مصنوعی ترکیب کنید(با توجه به فرآیند)

استفاده از حلقه کنترل بسته و ترکیب آن با روش هوش مصنوعی، ابزار بسیار مهمی جهت بهینه‌سازی با تکیه‌بر بازخورد اطلاعات است که جهت بهبود مستمر فرایند بسیار مفید است.

مهم‌ترین روش‌های بهینه‌سازی عبارت‌اند از: بهینه‌سازی علف‌های هرز مهاجم / الگوریتم ژنتیک / الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات / شبکه عصبی معکوس/ مدل پیش‌بینی‌کننده کنترل / بهینه‌سازی تقریب متوالی / ماتریس پویا کنترل (واگولات و همکاران،۲۰۰۱؛ لی و همکاران،۲۰۰۹). برخی محققان با ترکیب روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی منتشر شده به عقب با روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر حلقه بسته جهت پیش‌بینی پارامترهای آزمایش استفاده نموده اند که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: (ترکیب روش مدل پیش‌بینی‌کننده کنترل به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی با شبکه عصبی کان‌ولوشنال در تحقیق صورت گرفته توسط (امین آبادی و همکاران،۲۰۲۲) .

گام چهارم: مطابقت پلتفرم صنعت ۴. با تحقیق(صنعت) مورد مطالعه

پروتوکول اینترنت ۶ و اینترنت اشیا و (EUROMAP 77 ,OPC UA) و هوش مصنوعی و ابرداده و سنسورها و محرک‌ها و تکنولوژی مجازی و... از ابزارهای انقلاب صنعتی چهارم هستند. این ابزارها به شرکت‌ها جهت پویایی و حفظ مزیت رقابتی کمک می‌نمایند. استفاده از هرکدام از این ابزارها مستلزم آن است که بدانیم وظیفه هرکدام چیست؟ به عنوان مثال (EUROMAP 77) رابطه بین ماشین‌های قالب‌گیری تزریقی و سیستم‌های اجرایی ساخت برای داده‌ها مبادله را فراهم می‌کند(مولرز[1]،۲۰۲۰). درحالی‌که (OPC UA) فناوری انتقال اطلاعات را فراهم می‌کند،(EUROMAP 83) تعریف می‌کند که کدام اطلاعات و در کدام فرم منتقل می‌شود (مولرز،۲۰۲۱). این مرحله به دنبال این است با توجه به شرایط آزمایش‌ها و فرایند و توجه به رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴. که برای پیاده‌سازی طراحی آزمایش‌ها مهم بوده و استفاده از حلقه کنترل بسته و جمع‌آوری داده‌ها مناسب‌ترین پلتفرم انقلاب صنعتی چهارم را مطابق با تحقیق موردنظر را انتخاب نماید

گام پنجم: هدف تحقیق (طراحی آزمایش‌ها) را تعیین کنید

این گام همانند روش سنتی طراحی آزمایش‌ها به دنبال این است که هدف از طراحی آزمایش‌ها را تعیین نماید. ممکن است شامل مواردی مثل انعطاف‌پذیری فرایند، کارایی، افزایش سود و فروش و قابلیت اطمینان یا رضایت مشتریان باشد. به طوری که در فاز آموزش روابط میان پارامترهای فرایند (مشخصه‌های کیفی) و داده‌های سنسور توسط هوش مصنوعی به‌دست‌آمده (آموزش‌داده‌شده) است. این اطلاعات جهت پیش‌بینی توسط مدل پیش‌بینی‌کننده کنترل استفاده می‌شود.

1. Müllers

گام ششم: مهم‌ترین ابزارهای جهت ثبت داده‌ها در مدیریت کیفیت ۴. را مشخص کنید

ترازو دیجیتال و سنسورهای درون قالب و سنسور چندمتغیره و سیستم اندازه‌گیری استوانه‌ای و نمودار توالی عملیات (اتوماسیون فرایند) (و بسیاری دیگر که در بخش‌های قبل به آن پرداختیم که برخی از آن‌ها به‌طور مستقیم و بعضی به‌طور غیر مستقیم در این بخش) به‌عنوان بهترین ابزارهای مدیریت کیفیت ۴.جهت ثبت داده‌ها برای تحلیل در طراحی آزمایش‌ها است.

گام هفتم: شناخت فرآیند

شناخت فرآیند یک گام اساسی جهت طراحی آزمایش‌ها است که با توجه به انقلاب صنعتی چهارم مطالعه دقیق فرآیند و مقایسه ان با رویکرد سنتی به ما در طراحی دقیق آزمایش‌ها و طراحی حلقه کنترل قوی کمک می‌نماید.

گام هشتم: مشخص‌کردن عوامل

مشخص کردن عوامل موردمطالعه جهت طراحی آزمایش‌ها به این معنی است که ما به دنبال چه پارامترهایی هستیم و یا به عبارت ساده‌تر تغییر در چه ورودی‌هایی باعث تغییر در اهداف و متغیر پاسخ می‌شود. هر چقدر پارامترهای فرآیند دقیق‌تر مشخص گردد رسیدن به اهداف موردنظر دقیق‌تر خواهد بود .

گام نهم: مشخص‌کردن سطوح عوامل/ متغیر پاسخ

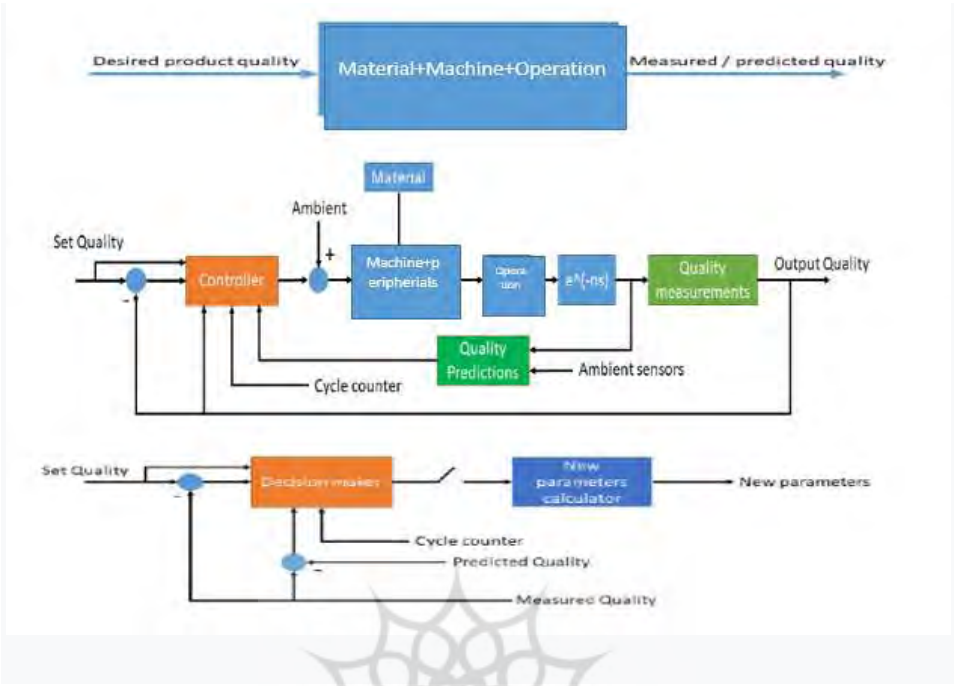
مشخص‌کردن عوامل موردمطالعه جهت طراحی آزمایش‌ها و اینکه چه سطوحی از این عوامل باید در نظر گرفته شود و به همراه تعیین متغیر پاسخ، یک گام بسیار مهم جهت طراحی آزمایش‌ها است.

گام دهم: رابطه میان ابزارهای مدیریت کیفیت ۴.را بوسیله هوش مصنوعی (یا مدل پیش‌بینی) تعیین کنید.(یافتن پارامترهای ماشین)

یافتن ساختار مدل پیش‌بینی در واقع شبیه‌سازی فعل‌وانفعالات سیستم واقعی است که از یک طرف فرایند تولید را شبیه‌سازی نموده است در شکل ۷. قسمت اول همان‌طور که می‌بینید ورودی این سیستم کیفیت مطلوب محصول بوده فرآیند آن ترکیب مواد و ماشین و عملیات و خروجی آن سنجش و پیش‌بینی کیفیت محصول موردنظر است.

گام یازدهم: رتبه‌بندی و آموزش داده‌ها به‌وسیله هوش مصنوعی

کیفیت (قطعات / پارامترها / عوامل) موردنظر را با استفاده از روش هوش مصنوعی (که در گام‌های ابتدایی انتخاب نموده بودیم که در ان آموزش داده شده بودند) رتبه‌بندی می‌شوند. این رتبه‌بندی جهت اهمیت تمرکز روی پارامتر موردنظر بوده و کار را در مراحل بعد ساده‌تر می‌سازد.



شکل ۷ : نمودار بلوکی که بصورت کلی تعمیم داده شده(امین ابادی و همکاران،۲۰۲۲)
Fig 7 : Generalized block diagram(Amin Abadi et al., 2022)

گام دوازدهم: استفاده از مدل‌های مختلف یادگیری ماشین برای پیش‌بینی کیفیت قطعه

از مدل‌های مختلف یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی کیفیت (قطعه / عوامل) و پیش‌بینی داده‌ها (سنسور / ابزارهای مدیریت کیفیت ۴.) استفاده می شود. این داده‌ها از منابع اطلاعاتی مختلف (تولید / فرآیند از جمله حسگرهای درون قالب و سنسورهای محیطی آموزش‌داده‌شده) استفاده شده‌اند. مدل هوش مصنوعی برای ویژگی‌های کیفی آموزش داده می‌شود، مجموعه‌داده‌های آزمایش و سیستم اندازه‌گیری به طور موازی بین پیش‌بینی‌ها و اندازه‌گیری واقعی به کار برده می‌شود. سیستم کنترل نمودار بلوکی در شکل ۷. قسمت دوم نشان‌داده‌شده است. یک الگوریتمی (یک زیر روال جستجوی شبکه‌های از کنترل‌کننده مراجعه شود به مقاله) جهت محاسبات پارامترهای ماشین جدید استفاده شده است. تصمیم بر اساس خطای کیفیت، تفاوت بین مقادیر کیفیت پیش‌بینی‌شده و واقعی و سیکل شمارنده که در شکل ۷. قسمت سوم نشان‌داده‌شده است.

گام سیزدهم: روش‌های بازرسی برای اجزای طرح‌های پیچیده ۳ بعدی

جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیدگی‌های مختلفی برخوردار است(به خصوص اجزا پیچیده ۳ بعدی/ می‌توان به‌وسیله این بازرسی بر مشکلات بازتابنده بودن بسیار غلبه نمود). فناوری‌های جدید امکان بازرسی از این سطوح پیچیده را فراهم نموده که در روش‌های سنتی طراحی آزمایش‌ها امکان‌پذیر نبوده است.

گام چهاردهم: ان‌تخاب و تعیین تجهیزات با فناوری پیشرفته جهت هدف بالا

جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیدگی‌های مختلفی برخوردار است نیازمند فناوری‌ها و تجهیزات جدیدی هستیم؛ یک دوربین دید تک‌رنگ (امین ابادی و همکاران، ۲۰۲۲) نمونه‌ای از این تجهیزات است که در هر دور چرخش ۲۵۰ الی ۳۰۰ تصویر را (برای سه گروه از عیوب سطح: ضخامت خط جریان، رگه‌ها و علائم فرورفتگی) ثبت نموده‌اند. برای این منظور، یک روش یادگیری نظارت شده مبتنی بر مدل آفلاین توسعه داده شده است.

گام پانزدهم: برای تبدیل نتیجه طبقه‌بندی سطوح عوامل به یک مدل پیوسته

جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیدگی‌های مختلفی برخوردار است باید داده‌های به‌دست‌آمده توسط تجهیزات پیشرفته (که در بخش قبل) به آن اشاره شد به مقادیر کمی و پیوسته جهت تحلیل و کنترل تبدیل شود. برای این منظور(امین ابادی و همکاران،۲۰۲۲) در تحقیق خود نمونه‌ای از این روش‌ها را معرفی نمودند (جریان توالی عملیات در فرایند حلقه) جهت مطالعه بیشتر لطفاً به تحقیق فوق مراجعه نمایید.

{تولید ←حرکت روبات ← بازرسی سطح کیفیت ← ارزیابی ابعادی ←حرکت روبات ← اندازه‌گیری وزن ← حرکت روبات}: جریان عملیات

برای تبدیل نتیجه طبقه‌بندی سطح فشار یک مدل به نتایج عددی پیوسته، از معادله زیر استفاده شد:

$$Q_s = \frac{(C_p - \min(C_p)}{(\max(C_p) - \min(C_p))}$$

{که در ان Q_s مقدار کیفیت سطح تعریف شده بین ۰ و ۱ است و C_p کلاس سطح است. سطح فشار به گونه ای تعریف شده است که مقدار بالاتر Q_s نشان دهنده کیفیت خوب و مقدار کمتر ارزش به معنای کیفیت سطحی است که اثرات زیادی از خطوط جریان، علائم فرورفتگی را شامل می‌شود(امین ابادی و همکاران،۲۰۲۲).}

گام شانزدهم: مشخص‌کردن روش طراحی آزمایش‌ها

مشخص‌کردن روش طراحی آزمایش‌ها نیازمند مطالعات متعدد در حوزه پیشینه تحقیقات مورد نظر بوده، البته در این تحقیق تا حدود زیادی نقاط قوت و ضعف هرکدام از روش‌های طراحی آزمایش‌ها را معرفی نمودیم.

گام هفدهم: مقایسه نتایج با اهداف طراحی

نتایج آزمایش‌ها را با اهداف طراحی مقایسه نموده تا هر گونه انحراف ناخواسته را تحلیل و معایب را برطرف نماییم. البته این کار به ما امکان استفاده از روش‌های دیگر طراحی آزمایش‌ها را به طور هم‌زمان می‌دهد؟

هرچقدر مراحل فوق دقیق طراحی شود نتیجه طراحی آزمایش‌ها قوی‌تر و مطلوب‌تر است (رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت ۴.)

یافته‌ها

طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم چه تفاوتی با طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی (پیش از انقلاب صنعتی چهارم) دارد؟

اساساً تفاوت روش سنتی مدیریت کیفیت با مدیریت کیفیت ۴. بر دو اصل استوار است که در بخش‌های قبل به آن پرداختیم. رویکرد مدیریت کیفیت ۴. و استفاده از تکنولوژی‌های نوین و حرکت آن همگام با توسعه انقلاب صنعتی چهارم باعث تغییرات گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف شده است. مهمترین این تفاوت‌ها در جدول۷. و شکل۸. نمایش داده شده است.

طراحی آزمایش‌ها در محیط صنعت ۴.(به عنوان ابزار مدیریت کیفیت ۴.) با رویکرد رضایت مشتریان

با توجه به تغییرسلیقه مشتریان و اهمیت آن برای شرکت‌ها و سازمان‌ها، به‌منظور رقابت و گسترش سهم بازار، استفاده از رویکردهای نوین که ازیک‌طرف منعکس‌کننده خواسته‌های مشتریان و از طرف دیگر برای اینکه بتوانند این خواسته‌ها را ارضا نمایند، ضروری به نظر می‌رسد. در اینجا قصد داریم به معرفی یک رویکرد سیستماتیک جهت رضایت مشتریان در انقلاب صنعتی چهارم بپردازیم. این مدل بر اساس ایده‌های کاربران و مشتریان جهت طراحی محصول جدید مطابق با نظرات آن‌ها استوار است. این مدل که از مقاله(لین و همکاران،[1]۲۰۱۷) استخراج شده به دنبال اتصال این مدل با الگوریتم طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم (گام هفتم) است. مدلی که

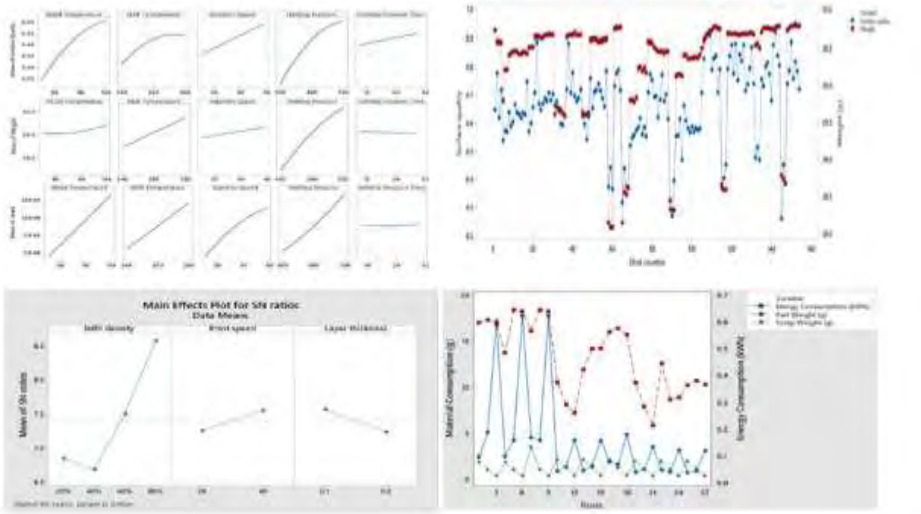
1. Lin,et al

بتواند رضایت مشتریان را همگام با توسعه انقلاب صنعتی چهارم افزایش دهد. بی شک دستیابی به رضایت مشتریان در دنیای پر چالش امروز که آن‌ها را نسبت به محصول تولیدی وفادار نگه داشته و از طرف دیگر تمایلات آن‌ها ارضا گردد به‌عنوان کلیدی‌ترین هدف هر کمپانی بزرگ محسوب می‌شود. ساختار این روش به‌صورت خلاصه در شکل۹. نمایش‌داده‌شده است.

جدول ۷ : مهمترین تفاوت‌ها روش‌های طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی(قبل از انقلاب صنعتی چهارم)

Table 7 : The most important differences in the methods of Desig of Experiments in the 4th industrial revolution compared to the Desig of Experiments s with a traditional approach

نام مؤلفه	طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی	طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم	توضیحات
داده	معمولاً کوچک	بزرگ	
رویکرد	واکنشی	پیش‌بینی / سنجش	
جریان اطلاعات	پایین	بالا	
ترکیب فناوری اطلاعات و فناوری عملیات و تعاملات انسانی	امکان‌پذیر نیست	امکان‌پذیر است	
خطاها و نواقص احتمالی	بالا/ متوسط	کم	به علت رویکرد پیش‌بینی
جمع‌آوری داده‌ها	دستی و زمان بر	به کمک فناوری‌های جدید (سنسورها) / کوتاه	
جمع‌آوری داده‌ها	به کمک منابع انسانی	ان‌سان نقش ان کم‌رنگ / به کمک ماشین صورت می‌گیرد	
بازرسی از سطوح پیچیده	امکان‌پذیر نیست	امکان‌پذیر است	
ابزار	غالباً سنتی/ درصد خطا بالاست	مطابق با فناوری‌های جدید / درصد خطا پایین	مثل ترازو دیجیتال/دوربین دیجیتال به همراه روبات هوشمند که قابلیت آموزش را دارد
استفاده از چندین روش طراحی آزمایش‌ها	وقت‌گیر / پر هزینه / زمان بر	کوتاه‌مدت / هزینه پایین و متوسط	



شکل۸ : نمودار مهمترین اثرات (از بالا سمت چپ) نمودار کنترل (از بالا سمت راست) جهت طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم(امین ابادی و همکاران،۲۰۲۲) نمودار مهمترین اثرات (از پایین سمت چپ) نمودار کنترل (ازپایین سمت راست) جهت طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی (وو و همکاران،۲۰۲۲)

Fig 8 : Diagram of the most important effects (from the top left) Control diagram (from the top right) to Desig of Experiments in the 4rth industrial revolution , Diagram of the most important effects (from the bottom left) Control diagram (from the bottom right)) to Desig of Experiments with a traditional approach

گام اول:تعریف مسئله

در این گام رابطه بین طراح و انتظارات مشتریان را تعریف نموده و این تعریف باعث ایجاد یک موازنه بین منابع محدود و تقاضای نامحدود می‌شود. برای این منظور از نظر کارشناسان و خبرگان استفاده نموده تا اهداف تصمیم‌گیری و فرضیات (طراحی آزمایش‌ها) مشخص شود(لین و همکاران، ۲۰۱۷).

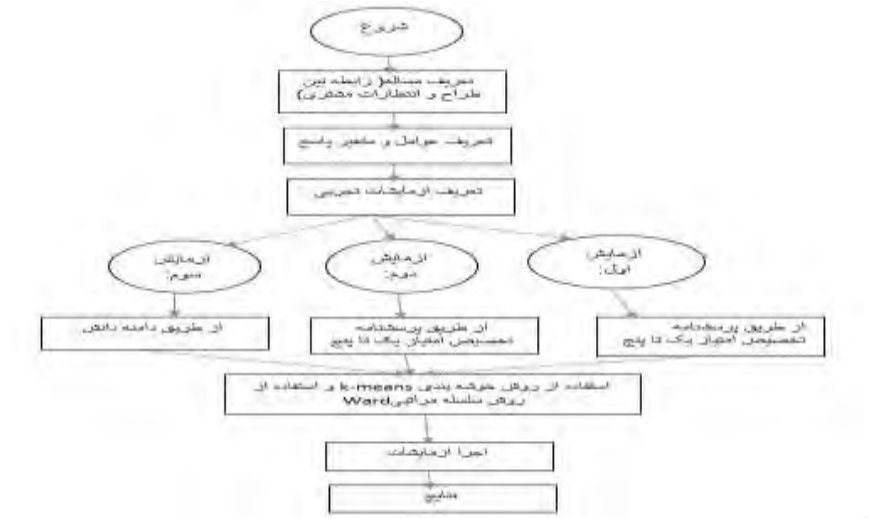
گام دوم: تعریف عوامل و متغیر پاسخ

تعریف عوامل و متغیر پاسخ که از داده‌های حاصل از تعاملات با مشتریان (مبتنی بر حوزه دانش) به دست می آید. این گام جهت رسیدن به هدف اصلی این بخش یعنی رضایت مشتریان است. در اینجا متغیر پاسخ (متغیر وابسته) امتیاز مرکزیت زیبایی‌شناسی محصول بصری (ظاهری) است. این فاکتور نشان‌دهنده این است که محصول از دیدگاه مشتری به چه میزان زیباست (در واقع

این عامل به میزان ارجحیت محصول اشاره دارد). متغیرهای مستقل عبارت‌اند از: عوامل طراحی و عوامل ثابت و عوامل متغیر و عوامل مزاحم(شکل۱۰). عوامل ثابت آن دسته از عواملی هستند که می‌توانند روی امتیاز زیبایی‌شناسی محصول اثر بگذارند ولی در نظر گرفته نمی‌شوند در اینجا ثابت هستند؛ مانند: زمان آزمایش، روش عملیات استاندارد. فاکتورهای طراحی که کلیدی‌ترین فاکتور در طراحی محصول هستند که شامل نوع محصول و جامعه کاربر و تجربیات کاربران می باشد. عوامل مزاحم به آن دسته از فاکتورهایی گفته می شود که اثرات مهمی روی امتیاز ظاهری محصول دارند اما توسط طراح در نظر گرفته نمی‌شود. در اینجا سعی شده این عوامل توسط یک قواعد خاصی (اصول بلوکی) کاهش یابد؛ مانند ترتیب انجام آزمایش‌ها و روزهایی که آزمایش‌ها در آن انجام شده است (لین و همکاران،۲۰۱۷).

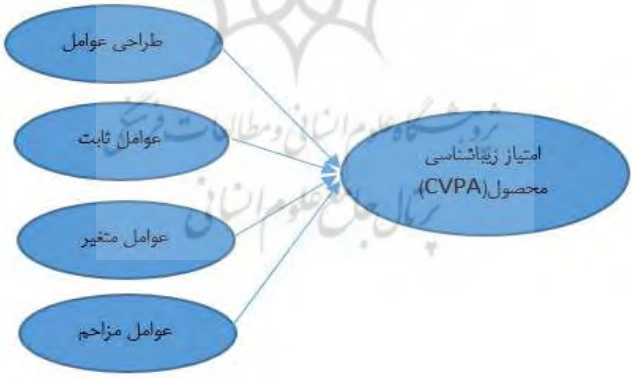
گام سوم: تعریف آزمایش‌های تجربی

در اینجا با تعریف سه آزمایش تجربی اصلی برای رسیدن به اهداف مورد نظر وارد فاز عملیاتی خواهیم شد؛ آزمایش اول، اطلاعات درباره ترجیحات کاربران درباره محصول مورد نظر است. آزمایش دوم، در مورد پاسخ و عواملی است که مربوط به‌ظاهر محصول بوده که با روش آماری قوی و سیستماتیک به طور عینی تعریف می‌شود. آزمایش سوم، تعیین کلیدی‌ترین فاکتورهایی است که روی انتظارات مشتریان تأثیر می‌گذارد(لین و همکاران،۲۰۱۷). آزمایش اول: از طریق پرسش‌نامه، پاسخ‌های کاربران درباره اطلاعاتی همچون وزن محصول و سایز و مواد و... است. آزمایش دوم: از طریق پرسش‌نامه(لین و همکاران،۲۰۱۷) تخصیص امتیاز یک تا پنج به هر پاسخ و در ادامه امتیاز مجموع برای هر سطح در نظر گرفته می‌شود. آزمایش سوم: تعیین عناصر کلیدی مبتنی بر حوزه دانش و ویژگی‌های محصول، نظرات کاربران را به‌عنوان ورودی طراحی در نظر می‌گیرند، امتیاز هر ورودی مجموعه امتیازاتی است که پاسخ کاربر و اظهاراتش در مورد محصول است (تعیین جامعه آماری به‌منظور تکمیل پرسش‌نامه نیازمند پارامترهایی است که بعداً به آن اشاره خواهیم کرد) .



شکل۹ : روشی سیستماتیک جهت بدست اوردن فاکتورهای اساسی مورد رضایت مشتریان درطراحی یک محصول(لین و همکاران،۲۰۱۷)

Fig. 9 : Systematic method to obtain the basic factors of customer satisfaction in the design of a product(Lin et al., 2017)



شکل ۱۰: عوامل و متغیر پاسخ(لین و همکاران،۲۰۱۷)

Fig. 10 : Factors and response variables (Lin et al., 2017)

گام پنجم: اجرای آزمایش‌ها

در این مرحله از اجرای سفارشات (ترتیب اجرا سفارشات) به‌عنوان ابزار مسدودسازی (بلوکه کردن) جهت صحت آزمایش‌ها به‌منظور کاهش اثر آن بر انتظارات مشتریان در اجرا آزمایش‌ها استفاده می‌کنیم؟ به عنوان مثال اگر N نوت‌بوک (محصول) داشته باشیم M روش اجرا جهت مسدودسازی خواهیم داشت که در جدول ۸. نمایش داده شده است. در جدول ۸. به عنوان مثال طراحی کاربر به عنوان نوع اول، توالی تست محصول آن به صورت:

(محصول ۲ و محصول ۳ و محصول N(تعداد محصولات مورد نظر) و محصول)

جدول ۸ : نوع اجرا دستورات (سفارشات) روی صحت آزمایش‌ها(لین و همکاران،۲۰۱۷)

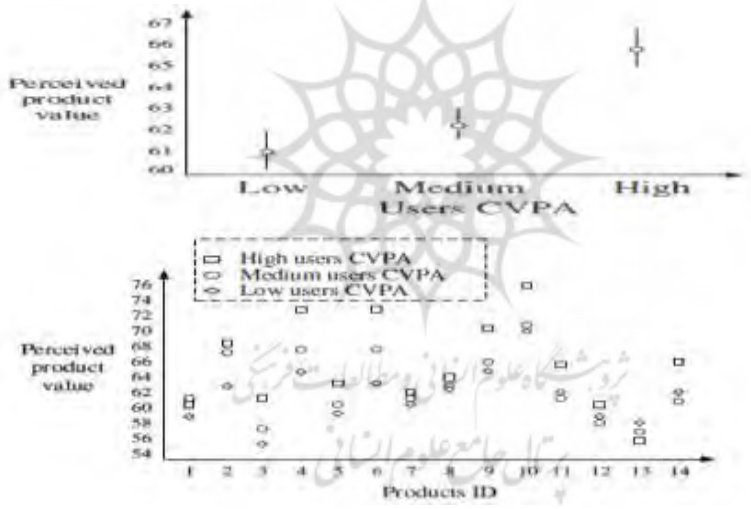
Table 8: The type of execution of orders (orders) on the accuracy of tests (Lin et al., 2017)

	سفارشات (دستورات)			
نوع	1	2	3	N
1	2	3	N	1
2	3	N	2	1
M	N	1	3	2

گام ششم: نتایج

۱.بر اساس تحلیل واریانس، محصول مورد نظر ما بر اساس امتیاز رتبه بندی شده و دامنه آن محدود خواهد شد. ۲. مطالعات با توجه به جنسیت (تکمیل کنندگان پرسشنامه) و دانش اجتماعی و تحصیلات اکادمیک (تکمیل کنندگان پرسشنامه) و مهندسی(تکمیل کنندگان پرسشنامه) و مدیریت و طراحی کسب و کار (تکمیل کنندگان پرسشنامه) و علوم (تکمیل کنندگان پرسشنامه) و تخصص حیطه مطالعه (تکمیل کنندگان پرسشنامه) تقسیم‌بندی می شود. این تقسیم‌بندی برای طراحان بسیار مفید بوده به‌طوری‌که آن‌ها می توانند با استفاده از این تقسیم‌بندی جامعه هدف را پوشش دهند. شکل۱۱. نحوه توزیع را نشان می دهد. این خوشه‌بندی به طراحان کمک می‌کند که برای هر ذائقه به فراخور جمعیت‌شناختی آن و مفروضات علوم‌شناختی و تحصیلات آکادمیک و جنسیت و... . یک طراحی خاص باکیفیت خاص فراهم نماید. تحلیل و مقایسه بین خوشه‌ها جهت تقویت اهداف فوق بسیار مفید است. ۳. رسیدن به فاکتورهای اساسی که بیشترین تأثیر را در برآوردن انتظارات مشتریان دارد. نمونه‌ای از این تکنیک‌ها در جدول ۹.نشان داده شده است. جهت رضایت مشتریان در حوزه

پوشاک و برند از تکنیک خاصی استفاده می‌شود که به طور مختصر به این آزمایش‌های تجربی هم اشاره خواهیم کرد. به طورکلی مهمترین فاکتورهای رضایت مشتریان در حوزه لوازم پوشیدنی عبارت‌انداز: امید به عملکرد، امید به تلاش، تأثیر اجتماعی و تسهیل شرایط بر اساس نظریه واحد پذیرش و استفاده از نظریه یکپارچه پذیرش و استفاده از فناوری (لین و همکاران،۲۰۱۷). جدول۷. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) خصوصیات هر یک از فاکتورهای فوق را توصیف می‌کند. جدول۸. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) رابطه ظاهر محصول و اعضای بدن انسان را مشخص نموده است، که براساس تجربیات کاربران استوار است که این تجربیات از تماشای ویدئو (محصول) و تجربه محصول و شرکت در مصاحبه و یا تکمیل پرسش‌نامه به دست می‌آید. جدول‌های ضمیمه ۱. و ۲. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) نمونه سؤالات و پرسش‌هایی برای طبقه‌بندی ظاهر به عوامل اصلی گروه‌ها است. در جدول۹. منبع (لین و همکاران،۲۰۱۷) ابتدا جامعه هدف (از لحاظ شخصیتی) طبقه‌بندی‌شده و سپس در مورد خصوصیات هریک از اعضا جامعه هدف توضیحاتی داده می‌شود.



شکل ۱۱: شکل بالا نمونه ای ارزش محصول درک شده برای سه سطح فاکتور زیباشناسی محصول کاربر.شکل پایین وضعیت کل (محصولات) را که با روش کامینز و وارد خوشه بندی شده است (لین و همکاران،۲۰۱۷)

Fig.11 : The top figure is an example of perceived product value for three levels of the user's product aesthetics factor. The bottom figure shows the whole situation (products) clustered by the K-means and Ward method (Lin et al., 2017).

سپس در این جامعه هدف که رابطه بین مهم‌ترین اعضای بدن بر حسب تحقیق تعریف و انتخاب شده‌اند و ابزارهایی که این اعضا را پوشش می‌دهد معرفی شده است.این اطلاعات در جدول۱۰. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) نشان‌داده‌شده است. به این‌ترتیب باتوجه‌به نظرات کاربران در جدول۱۱. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) ارزیابی و امتیازدهی طرح کامل شده و فاکتور تصمیم تجربه کاربر مقدار صفر یا یک خواهد گرفت. (که میزان مقبولیت و دسته‌بندی محصول موردنظر را نشان می‌دهد/ نکته امتیاز تخصیص‌داده شده به هر ستون جدول۱۱. منبع(لین و همکاران،۲۰۱۷) قراردادی بوده و تنها ملاک تعیین امتیازات خود کاربران یا جامعه مصرف‌کنندگان است). آنچه هدف ما از بیان تحقیق موردنظر و شرح روش فوق است این است که با فاکتورهای اساسی به‌دست‌آمده در این رویکرد ابتکاری و تجربی بر حسب امتیاز مرکزیت محوریت زیبایی‌شناسی محصول و در نظرگرفتن آن به‌عنوان فاکتور ورودی در الگوریتم شکل ۱. در گام هفتم (طراحی آزمایش‌ها درانقلاب صنعتی چهارم) ما به خواسته اصلی خود یعنی نیل به رضایت مشتریان دست یابیم.

طراحی آزمایش‌ها درانقلاب صنعتی چهارم با رویکرد رضایت مشتریان چه تفاوتی با طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی (پیش از انقلاب صنعتی چهارم) با هدف رضایت مشتریان دارد؟ ضعف‌ها و قوت‌ها

جدول ۹. مهمترین تفاوت‌ها روش‌های طراحی آزمایش‌ها با رویکرد رضایت مشتریان در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی با هدف رضایت مشتریان نشان داده است. نکته مهم این است که این تفاوت‌ها علاوه بر تفاوت‌های جدول ۷. است که به خاطر عدم تکرار از آوردن آن‌ها اجتناب نمودیم. دانستن این تفاوت‌ها و ریشه‌های آن برای شرکت‌ها و کسب و کارهای بزرگ با دارا بودن مشتریان با سلایق متفاوت امری حیاتی است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۹: مهمترین تفاوت‌ها روش‌های طراحی آزمایش‌ها با رویکرد رضایت مشتریان در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی با هدف رضایت مشتریان

Table 9 : The most important differences between the methods of Desig of Experiments with the customer satisfaction approach in the 4th industrial revolution compared to the Desig of Experiments with the traditional approach with the aim of customer satisfaction

توضیحات	طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم	طراحی آزمایش‌ها با رویکرد سنتی	نام مؤلفه
	کاهش هزینه طراحی آزمایش‌ها	کاهش هزینه طراحی آزمایش‌ها کم	رضایت مشتریان
ان‌طباق با نیاز مشتری (علت ان‌عطاف)	بسیار	کم	انعطاف‌پذیری
	کم	متوسط / زیاد	فاصله بین طراح و مشتریان
	بسیار	متوسط	درصد رضایت مشتریان
	بسیار	کم	امکان دخالت در حوزه طراحی
	بسیار بالا	کم	سرعت طراحی
	بالا	متوسط	سطح کیفیت
	بالا	متوسط	مدیریت ریسک و قابلیت اطمینان
	پایین	متوسط	قیمت تمام شده محصول

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، در ابتدا با معرفی روش طراحی آزمایش‌ها به‌عنوان یک ابزار سنتی در مدیریت کیفیت به محدوده عملکرد آن و ابزارها و نتایج حاصل از آن پرداختیم. سپس با تمرکز بر روی رضایت مشتریان به‌عنوان یکی از اهداف متفاوت (چندگانه) طراحی آزمایش‌ها و معایب و نقاط قوت آن را مشخص نمودیم. سپس با مرور ادبیات در این حوزه با تحقیقات انجام شده آشنا شدیم. با عبور از روش‌های سنتی تولید و همگام با دیجیتالی‌شدن و تلفیق تکنولوژی با جهانی‌شدن و تکاپو برای گرفتن سهم عمده بازار، ناگزیر به تعریف انقلاب صنعتی چهارم و الزامات ان را در صنایع مختلف پرداختیم. در ادامه نشان دادیم که همان‌طور مدیریت کیفیت سنتی ابزار مناسبی جهت تقویت تولید سنتی بوده است، کیفیت ۴. نیز این نقش را در انقلاب صنعتی چهارم ایفا می‌کند. به‌طوری‌که برای استقرار آن نیازمند پیاده‌سازی اجزا و ابعاد کیفیت هستیم که در بخش ۳. به آن اشاره کردیم. در انتها با چالش‌های جدید در تقاضای مشتریان و روش‌های طراحی آزمایش‌ها متناسب با این نیازها پرداختیم. در ادامه مدلی را که به‌عنوان ابزاری قدرتمند (شکل ۶) جهت طراحی آزمایش‌ها معرفی

نمودیم و پس از مشخص نمودن تمامی الزامات و گام‌های آن، به بررسی انعطاف‌پذیری طراحی آزمایش‌ها که همزمان نیازهای مشتریان را ارضا نموده و الگوریتمی که کارایی کارخانه هوشمند را هم از منظر کاهش هزینه و افزایش کارایی و کاهش زمان دوباره‌کاری‌ها ارتقا دهد، پرداختیم.

مرور ادبیات صورت گرفته در بخش مقدمه (نتایج جدول۱) اهمیت روش طراحی آزمایش‌ها را در بستر تولید سنتی نشان می‌دهد .با انجام تحقیقات بیشتر در حوزه انقلاب صنعتی چهارم (نتایج جدول ۲) و همچنین تمرکز بر روی مدیریت کیفیت ۴. (نتایج جدول۳)به عنوان ابزار کیفیت همگام با تحولات انقلاب صنعتی قرن معاصر(انقلاب چهارم) نتایج به دست امده از مرور ادبیات گذشته این شکاف را اثبات می نماید. نتایج نشان می‌دهد که سهم عمده ای از تحقیقات گذشته یا نسبت به پیاده سازی روش طراحی آزمایش‌ها بی‌تفاوت بوده یا سهم آن در انقلاب صنعتی چهارم و تحولات ناشی ازآن ناچیز بوده است. پس نتایج به دست امده ما را به سمت حلقه مفقوده طراحی آزمایش‌ها در راستای انقلاب صنعتی چهارم راهنمایی می نماید. پس این تحقیق با تمرکز بر این اصل طرح‌ریزی شده و با ادغام آن با دو اصل :۱) تجربیات مصرف کنندگان کالای نهایی بر اساس طراحی آزمایش‌ها الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است(شکل ۹). ۲) روش و ابزار پیاده سازی طراحی آزمایش‌ها در بستر انقلاب صنعتی چهارم برای رسیدن رضایت حداکثری مشتریان است. می توان گفت نتایج جدول‌های ۷ و ۹ که از مرور ادبیات الهام گرفته شده میزان رسیدن به اهداف فوق (تحقیق کنونی) را به میزان بالایی تأیید نموده است و اهمیت این تحقیق را جهت پیاده سازی در محیط‌های صنعتی دو چندان می نماید. به بیان دیگر می توان باقدرت استدلال نمود نوآوری و برتری این مقاله نسبت به تحقیقات پیشین توجه به مفهوم جامع و کارای طراحی آزمایش‌ها با توجه به تجربیات کاربران در بستر توسعه انقلاب صنعتی چهارم بوده است که در هیچ‌یک از مقالات گذشته به‌طور جامع به آن توجه نشده است.

در واقع می‌توان گفت این تحقیق بر چهار اصل استوار است: ۱. ارائه مدلی جهت طراحی آزمایش‌ها در انقلاب صنعتی چهارم به‌عنوان ابزار آماری و تحلیل کمی بسیار قوی کیفیت ۴. می‌تواند به‌درستی نقش خود را جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی صنعت هوشمند عمل نماید. ۲.این تحقیق جهت استفاده از مناسب‌ترین روش در میان روش‌های متنوع طراحی آزمایش‌ها شاخص‌های مطلوبی را در اختیار آزمایش‌کننده می‌گذارد. ۳.این تحقیق جهت یافتن معیار مطلوب رضایت مشتریان الگوریتم مناسبی ارائه می‌دهد. ۴.استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها به‌عنوان ابزار کمی جهت تعیین فاکتورهایی است که رضایت مشتریان را در انقلاب صنعتی چهارم (به‌عنوان عنصر حیاتی دوام صنایع در بازار رقابتی پر چالش عصر جدید) افزایش می‌دهد. در تحقیقات آتی روش طراحی آزمایش‌ها و الزامات آن را در انقلاب صنعتی پنجم می‌توان بررسی نمود و همچنین می‌توان

با به کار بردن طراحی آزمایش‌ها در حوزه‌های متفاوت به بررسی نتایج حاصل از آن پرداخت. این امر به خصوص زمانی که طراحی آزمایش‌ها و هزینه اجرای آن باعث مقاومت در اجرای این روش می‌شود و زمانی که طراحی آزمایش‌ها انجام نمی‌شود و رقبا به دنبال افزایش نفوذ خود در بازارهستند و میزان سرمایه اولیه (در انقلاب صنعتی چهارم عمدتاً بالاست) جهت پیاده سازی طراحی آزمایش‌ها بالاست، می‌تواند توجیه‌کننده لزوم به‌کارگیری این روش سنتی در عصر دیجیتالی‌شدن گردد (لازم به ذکر است تکنیک‌های اقتصاد مهندسی در اینجا می‌تواند مفید باشد).

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

References

Adam, M, Wessel, M., Venera, H., & Benlian, A. (2021). AI-based chatbots in customer service and their effects on user compliance. Electronic Markets, 31(2), 427–445.**doi:10.1007/s12525-020-00414-7**

Alzahrani, B., Bahaitham, H., Andejany, M. & Elshennawy, A. (2021). How Ready Is Higher Education for Quality 4.0 Transformation according to the LNS Research Framework. Sustainability,13(9), 1-29. **doi:10.3390/su13095169**

Aminabadi, S.S., Tabatabai, P., Steiner, A., Paul Gruber, D., Friesenbichler, W., Habersohn, C. & Berger-Weber, G. (2022). Industry 4.0 In-Line AI Quality Control of Plastic Injection Molded Parts.Polymers,14(17),1-24. **doi:10.3390/polym14173551**

Andrew, J., Poll, V. D. (2021). Towards a Problematization Framework of 4IR Formalisms: The Case of QUALITY 4.0. Proceedings of the International Conference on Intelligent Vision and Computing,212-226. **doi:10.1007/978-3-030-97196-0_18**

Anika, N.A., Tanzeem, N., Gupta, H.S. (2020). Design of Experiment (DoE): Implementation in Determining Optimum Design Parameters of Portable Workstation.Engineering,12(1),25-32. **doi:10.4236/eng.2020. 121002**

Antony, F., Perry, D., Wang, W., & Kumar, M. (2006). An application of Taguchi methodof experimental design for new productdesign and development process. Assembly Automation, 26(1), 18-24. **doi:10.1108/01445150610645611**

Barreto, M.G., Carvalho, L. Doiro, F., Zgodavová, M., Stefanovi´, K. & Stefanovi´, S. (2021). New Needed Quality Management Skills for Quality Managers 4.0. Sustainability, 13(11), 1-22. **doi:10.3390/ su13116149**

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

Brandenburger, J., Schirm, C., Melcher, J., Hancke, E., Vannucci, M., Colla, V., Cateni, S., Sellami, R., Dupont, S., Majchrowski, A., & Arteaga, A. (2021). Quality 4.0 - Transparent Product Quality Supervision in the Age of Industry 4.0. Impact and Opportunities of Artificial Intelligence Techniques in the Steel Industry, 54-66.**doi:10.1007/978-3-030-69367-1_5**

Cardozo, R.N. (1965). An Experimen Sttaudy of Customer Effort, Expectationand, Satisfaction. Journal of Marketing Research, 2(3), 244-249. **doi:10.2307/3150182**

Chang, C.C., Chen, H.Y., Huang, I.C. (2009). The Interplay between Customer Participation and Difficulty of Design Examples in the Online Designing Process and Its Effect on Customer Satisfaction: Mediational Analyses. Cyberpsychol Behav, 12(2), 147-154. **doi:10.1089/cpb.2008.0170**

Chiarini, A. & Kumar, M. (2021). What is Quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. International Journal of Production Research, 60(16), 4890-4910. **doi:10.10 8 0/00207543.2021.1942285**

Efimova, A., Briš, P. (2021). Quality 4.0 for Processes and Customers. Quality Innovation Prosperity-Kvalita Inovacia Prosperita, 25(3), 33-47. **doi:10.12776/qip.v25i3.1609**

Emmanuel Oke, A., Aliu, J., Farouk Kineber, A., Abayomi, T. (2023). Boosting employee performance through gamification: a study of the awareness and usage of game elements among construction professionals",

International Journal of Building Pathology and Adaptation. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 43(5): 916–932. **doi:10.1108/IJBPA-09-2022-0151**

Escobar, C.A., McGovern, M. E. & Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0: a review of big data challenges inmanufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing ,32(8), 2319-2334. **doi:10.1007/s10845-021-01765-4**

Fonseca, L., Amaral, A. & Oliveira, J. (2021). Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications. Sustainability, 13(6), 1-20. **doi:10.3390/su13063107**

Gelis, K., Feyza, A.E. (2021). Entropy generation of different panel radiator types: Design of experiments using response surface methodology (RSM). Journal of Building Engineering, 41(2), 102369. **doi: 10.1016/j.jobe.2021.102369.**

Haleem, A., Javaid, M., Singh, R.P. (2021). Quality 4.0 technologies to enhance traditional Chinese medicine for overcoming healthcare challenges during COVID-19. Digital Chinese Medicine, 4(2),71-80. **doi:10.1016/j.dcmed.2021.06.001**

Heidari-Rarani, M., Ezati, N., Sadeghi, P., & Badrossamay, M. (2022). Optimization of FDM process parameters for tensile properties of polylactic acid specimens using Taguchi design of experiment method. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 35(12), 2435–2452. **doi:10.1177/0892705720964560**

Hermann, M., Pentek, T. &. Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI, USA, 3928-3937. **doi:10.1109/HICSS.2016.488**

Huang, Z., Shahzadi, A. & Daanial Khan, Y. (2022). Unfolding the Impact of Quality 4.0 Practices on Industry 4.0 and Circular Economy Practices:

A Hybrid SEM-ANN Approach. Sustainability, 14(23), 1-20. **doi:10.3390/su142315495**

Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering, ERP Future, 285.

Jacob, D. (2018). Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook eBook.LSN Research, [online] blog.lnsresearch.com, 1-28. https://www.blog. Insresearch.com/quality40book.

Jain, V.K., Sobek, D.K. (2023). Linking design process to customer satisfaction through virtual design of experiments. Res Eng Design, 17, 59-71. **doi:10.1007/s00163-006-0018-2**

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturingsector. Sensorss International, 2(4), 100109. **doi:10.1016/j.sintl.2021.100109**

Khalid, M., Peng, Q. (2021). Investigation of Printing Parameters of Additive Manufacturing Process for Sustainability Using Design of Experiments. Journal of Mechanical Design, 143(3), 1-13. **doi:10.1115/1.4049521**

Kim, T.Y., You, Y. Y. (2021). The Influence of Consultant Competency and Consulting Service Quality on Small-Medium Enterprise's Management Performance. Cognitive Computing for Risk Management, 137–148. **doi:10.1007/978-3-030-74517-2_10**

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H-G., Feld, T., Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & information systems engineering, 239-242. **doi:10.1007/s12599-014-0334-4.**

Li, D., Zhou, H., Zhao, P., Li. Y. (2009).A Real-Time Process Optimization System for Injection Molding. Polym. Eng. Sci, 49, 2031–2040. **doi:10.1002/pen.21444**

Lim, J.S. (2019). Quality management in engineering – A scientific and systematic approach. CRC Press, GCTU Repository, 1-360. https://repository.gctu.edu.gh/items/show/887.

Lin, T.M.Y., Huang, Y. K., Yang W.I. (2007 An experimental design approach to investigating the relationship between Internet book reviews and purchase intention. Library & Information Science Research. 29(3), 397–415. **doi:10.1016/j.lisr.2007.04.010**

Lin,, K.Y., Yu, A.P.I., Chu, P.C. & Chien,. C.F. (2017). User-experience-based design of experiments for new product development of consumer electronics and an empirical study. Journal of Industrial and Production Engineering, 34(7), 504-519. **doi:10.1080/21681015.2017.1363089**

Ling, P.L., & Chang, S.C. (2021). Relationship of service quality dimensions, customer satisfaction and loyalty in e-commerce: a case study of the Shopee App. Applied Economics, 54(40), 4597-4607. **doi:10.1080/00036846.2021.1980198**

Mansouri, S., Ouzizi, L., Aoura, Y., & Douimi, M. (2022). Decision Making Support for Quality 4.0 Using a Multi Agent System. Digital Technologies and Applications,3-11.**doi:10.1007/978-3-031-02447-4_1**

Mtotywa, M.M. (2022). Developing a Quality 4.0 Maturity Index for Improved Business Operational Efficiency and Performance. Quality Innovation Prosperity, 26(2) ,101-127. **doi:10.12776/qip.v26i2.1718**

Müllers, B. (2020). Euromap 77: OPC UA Interfaces for Plastics and Rubber Machinery—Data Exchange between Injection Moulding Machines and MES. https://www.euromap.org/euromap77

Müllers, B. (2021). Euromap83: OPC UA for Plastics and Rubber Machinery-General Type Definitions. https://www.euromap.org/euromap83

Nahum-Shani, I., Dziak, J. J., Venera, H., Pfammatter, A.F., Spring, B. & Dempsey, W. (2023). Design of Experiments with Sequential

Randomizations on Multiple Timescales: The Hybrid Experimental Design. Behavior Research Methods, 56(3):1770-1792. **doi:10.3758/s13428-023-02119-z**

Niedz, R.P., & Evens, T.G.(2016). Design of experiments (DOE)-history, concepts, and relevance to in vitro culture. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plan, 52, 547–562. **doi:10.1126/science. aac4716**

Nikolova-Jahn, I. (2019). Quality management and requirements of the fourth technical revolution, International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0", 4(2) ,61-63. **doi:journals/i4/2019/2/61**

Padhi, N., Illa, P.K. (2019). Bigger, Better, Smarter - How to maintain quality in an increasingly automated environment. Quality Progress, 52(3), 40-47.

Pańkowska, M. (2022). Quality 4.0 in Enterprise Architecture Development. Information Systems Development: Artificial Intelligence for Information Systems Development and Operations (ISD2022 Proceedings) https://aisel.aisent.org/isd2014/ proceedings2022/managingdevops/6

Paulo Davim, J. (2012). Site location and allocation decision for onshore wind farms, using spatial multi-criteria analysis and density-based clustering. A techno-economic-environmental assessment, Ghana. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 47(60), 101503. https://www.proquest.com/magazines/bigger-better smarter/docview/ 2210887240/se-2

Pietraszek, J., Radek, N., Goroshko, A.V. (2020). Challenges for the DOE methodology related to the introduction of Industry 4.0. Production Engineering Archives, 26(4), 190-194.

Sader, S., Husti, I. & Daroczi, M. (2019). Industry4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. Periodica Polytechnica Social and Management Sciences,27(2),131–140. **doi:10.3311/PPso.12675**

Sader, S., Husti, I., & Darozi, M. (2021). A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. Total Quality Management & Business, 33, 1164-1182. **doi:10.3311/PPso.12675**

Sahrane, A., Elouadi, A. (2021). Essential Models and key concepts of Quality 4.0. Journal of Operations Management, Optimization and Decision Support-JOMODS,2(1),1-7.**doi:10.34874/IMIST.PRSM/jomods-v1i1.31640**

Salimbeni, S., Redchuk, A. (2023). The Impact of Intelligent Objects on Quality 4.0. Advances in System-Integrated Intelligence, 287-298. **doi:10.1007/978-3-031-16281-7_28**

Sathish, T., Mohanavel, M., Afzal, A., Arunkumar, M., Ravichandran, M., Afghan Khan, S., Rajendran, P., Asif, M. (2021). Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of experiments. Case Studies in Thermal Engineering, 27,1-15. **doi:10.1016/j.csite.2021.101247**

Schönreiter, I. (2017). Significance of Quality 4.0 in Post Merger Process Harmonization. Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering, ERP Future, 285.**doi:10.1007/978-3-319-58801-8_11**

Shodiq, A.F., Hidayatullah, S., Ardianto, Y.T. (2018). Influence of Design, Information Quality and Customer Services Website on Customer Satisfaction. International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(12), 746-750. https://eprints.unmer.ac.id/id/eprint/2972

Stavros, N.P., Colombo, P., Colombo, G., & Dimitrios, M.R. (2017). Design of experiments (DoE) in pharmaceutical development. Drug Development and Industrial Pharmacy, 43(6), 889-901. **doi:10.1080/03639045. 2017.1291672**

Sureshchandar, G.S. (2023). Quality 4.0 – a measurement model using the confirmatory factor analysis (CFA) approac. International Journal of Quality & Reliability Management, 40(1), 280-303. **doi:10.1108/IJQRM-06-2021-0172**

Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., Alvarez, M.J. (2009). Implementation of DoE Projects in Industry. Applied Stochastic Models in Business and Industry, John Wiley & Sons , 25(4), 478-505. **doi:10.1002/asmb.779**

Timothy, A. (2022). From Industry 4.0 to Quality 4.0. An Innovative TQM Guide for Sustainable Digital Age Businesses, 1-714. **doi:10.1007/978-3-031-04192-1**

Ustundag, A., Cevikcan, E. (2023). Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing(ebook), 1-294.ISBN 978-3-319-57870-5(eBook). **doi:10.1007/978-3-319-57870-5**

Uy, M., Telford, J.K. (2009). Optimization by Design of Experiment techniques.IEEE Aerospace conference, Big Sky, MT, USA, 1-10. **doi:10.1109/AERO.2009.4839625.**

Vagelatos, G.A., Rigatos, G.G., Tzafestas,S.G. (2001). Incremental Fuzzy Supervisory Controller Design for Optimizing the Injection Molding Process.Expert System,20,207-216.**doi:10.1016/S0957-4174(00)00060-9**

Waari, D. (2019). The Effect of Customer Satisfaction on Customer Loyalty: The Moderation Roles of Experiential Encounter And Customer Patronage. Journal of Business and Management, 20(4), 1-7. **doi:10.9790/487X-2004057480**

Watson, G. H.(2019). The ascent of quality 4.0 – How the new age of quality came to be and what I might look like in 20 years. Quality Progress, 52(3), 24–30. http://qaulitypress.asq.org/

Winer, B.J. (1962). Design and analysis of single-factor experiments. In B. J. Winer, Statistical principles in experimental design, 46–104 **doi:10.1037/11774-003.**

Wu, D., Ding, D., Cui, B., Jiang, S., Zhao, E., Liu, Y., Cao, C. (2022). Design and experiment of vibration plate type camellia fruit picking machine. Int J Agric & Biol Eng, 15(4), 130-138. https://www.ijabe.org

Yadav, N., Shankar, R., Singh, R.P. (2021). Hierarchy of Critical Success Factors (CSF) for Lean Six Sigma (LSS) in Quality 4.0. International Journal of Global Business and Competitiveness,16,1-14. **doi:10.1007/s42943-020-00018-0**

Zonnenshain, A. & Kenett, R.S. (2021). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. Quality Engineering, 32(4), 614-626. **doi:10.1080/08982112.2019.1706744**

Zygiaris, S., Hameed, Z., Alsubaie, M.A., Rehman, S.U. (2022). Service Quality and Customer Satisfaction in the Post Pandemic World: A Study of Saudi Auto Care Industry. Frontiers in Psychology, 13, 1-9. **doi:10.3389/fpsyg.2022.842141**