



Research Article

10.71737/jpm.2026.4013670



Systematic Approach for Extracting Product Design Parameters Using Desig of Experiments in the Fourth (4th) Industrial Revolution

Babak Ejlaly ¹, Karim Atashgar ^{*2}

Abstract

The emergence of the fourth industrial revolution (industry 4.) and its tremendous effects on industries, and production methods, provides new challenges in the field of quality management, and leads quality specialists to revise the traditional methods of quality management. Quality 4. Really, is an updated version of the traditional quality management that seeks to improve traditional quality control methods using digital tools of the fourth industrial revolution. Design of experiment is also an important tool in the statistical analysis of data in the quality management area. This research attempts to provide customer satisfaction focusing on developing the quality 4 in the fourth industrial revolution. Developing tools capability to positively respond to the diverse demands and needs of customers, This paper, firstly, focuses on the design of experiment field and describes the existing opportunities and challenges. This paper after introducing the pillars of the fourth industrial revolution, describes the quality 4 and its structure and requirements. This paper based on the quality 4 describes the method of designing experiments in the quality4 environment. and explains its algorithm step by step. This research introduces a systematic method leading to extract the main parameters of the design of experiment. This research introduces a model for design of experiment in the quality 4 environment. The method of this research is based on the review of published references, so that the applied methodologies of the references have been validated using case studies. This research is defined in three main branches: 1) Identification of industry 4 requirements, 2) Extraction of the main parameters for design of experiments for products considering customer satisfaction. 3) Implementing the design of experiments for the fourth industrial revolution.

Keywords: customer satisfaction, design of experiment, Fourth(4th) industrial revolution, Quality 4., product design

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

2. 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

1. Introduction

The Design of experiments is a quantitative tool and a subset of quality, which is used for the statistical optimization of system performance. The purpose of the above method is 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 has two basic pillars of flexibility against extensive changes in economic and social fields With the approach of decentralization and flexibility, and the other flexibility against the pressures of technology in the field of industry, such as smart phone, 3D printer. Quality 4. is a developed approach that is a combination of traditional quality methods with new technologies. Quality 4. Relying on artificial intelligence, it seeks to respond to the diverse needs of industries that have faced fundamental changes with the emergence of the fourth industrial revolution. This research aims to introduce an effective model based on the literature based on the design of wind experiments with the aim of: 1) keeping pace with the developments of the fourth industrial revolution. 2) 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). They are considered one of the most important methods of designing experiments. . The fourth industrial revolution's modular manufacturing smart factory, a cyber-physical system that monitors physical processes, has created a virtual copy of the physical world that enables decentralized decision-making. The requirements of the fourth industrial revolution, which is obtained from the research (Ustundag & Cevikcan, 2018) on the Internet of Things and cyber-physical system, robotics developments, the role of augmented reality, and the roadmap of technology and intelligent development, are introduced as the characteristics of the fourth industrial revolution. Quality 4 It can be seen as the improved approach of the previous quality models, which was improved at the same time as the developments of the fourth industrial revolution, and it is seeking the satisfaction of customers and continuous improvement, and it has a direct relationship with lean production and 6 sigma and comprehensive quality management. (Chiarini & Kumar, 2021). The reasons for improving quality 4. are introduced by the fourth industrial revolution and the emergence of new concepts and the ineffectiveness of the traditional management approach in responding to these needs. Past researches by authors such as (Hong et al., 2022), (Al-Zahrani et al., 2021) and (Nikolajan et al., 2019) consider the basic components of quality 4. as a requirement for the successful establishment of quality 4. in the fourth industrial revolution.

3. Methodology

The main goal of this research is to obtain an accurate algorithm to determine the design of products according to The experiences and desires of customers. Quality management 4. It is very important as a powerful tool that can keep up with the developments of the fourth industrial revolution, 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 achieve production goals (satisfaction of stakeholders). The most important requirements of quality management 4. Business direction in brief are: the most important stakeholders, business strategy goals, available assets, competitors, drivers (customer satisfaction). The architecture of the fourth industrial revolution and its implementation components in the business plan including attention to things such as: big data, physical cyber system,

Internet of Things service, digitalization, artificial intelligence. The intensity of the data flow and the size of the analyzed data set required a review of the traditional methods of designing experiments in the fourth industrial revolution, so in this research, a new method for designing experiments based on the fourth industrial revolution, which consists of seventy steps in total, are: Familiarize yourself with the requirements of the fourth industrial revolution, make a list of iterative optimization method and artificial intelligence methods, combine one optimization method with an artificial intelligence method (according to the process), match the industry platform 4. with the case research (industry) Study, determine the purpose of the research (design of experiments), determine the most important tools for recording data in quality management 4. Knowing the process, specifying the factors, specifying the levels of the factors/response variable, the relationship between quality management tools 4. through intelligence Determine artificial (or predictive model) (finding machine parameters), ranking and training data by artificial intelligence, using different machine learning models to predict part quality, inspection methods for components of complex 3D designs, selecting and specifying high-tech equipment For the above purpose, to convert the classification result of the levels of factors into a continuous model, to specify the design method of the experiments, to compare the results with the design goals. It was used to satisfy these demands. In this method, which is based on the design of experiments, it consists of 5 stages: defining the problem, defining factors and response variables, defining experimental tests, conducting experiments, and obtaining results.

4. Result

In this research, by going through the traditional methods of production and synchronizing with digitalization and integrating technology with globalization and striving to get a major share of the market, we inevitably defined the fourth industrial revolution and its requirements in various industries. In the following, we showed that just as traditional quality management has been a suitable tool to strengthen traditional production, quality 4. also plays this role in the fourth industrial revolution. In order to establish it, we need to implement quality components and dimensions. The methods of designing of experiments with the approach of customer satisfaction in the fourth industrial revolution compared to the design of customer satisfaction tests show that the above method is based on parameters such as: flexibility, distance between the designer and customers, percentage Customer satisfaction, the possibility of involvement in the field of design, the speed of design, the quality level of risk management and reliability, the finished price of the product is superior to the traditional method of design and tests, and it increases the ability and competitiveness of industries in today's challenging world.

5. Discussion

In fact, it can be said that this research is based on four principles: 1. Presenting a model for designing of experiments in the fourth industrial revolution as a very strong statistical tool and quantitative analysis of quality. 4. It can properly play its role to reduce costs and increase the efficiency of intelligent industry. This research provides optimal indicators to the experimenter in order to use the most suitable method among the various methods of designing experiments. 3. This research provides a suitable algorithm to find the optimal criterion of customer satisfaction. 4. Using the method of designing experiments as a quantitative tool to determine factors which increases customer satisfaction in the fourth industrial revolution (as a vital element for the sustainability of industries in the challenging competitive market of the new era).



10.71737/jpm.2026.4013659

(مقاله پژوهشی)



رویکرد سیستماتیک جهت استخراج پارامترهای طراحی محصولات با استفاده از طراحی آزمایشات درانقلاب

صنعتی چهارم

بابک اجالالی اکرم آتشگر^{۲*}

چکیده

با ظهور انقلاب صنعتی چهارم (صنعت 4) و تأثیرات شگرف آن بر صنایع و شیوه‌های تولید و ایجاد چالشهای جدید در حوزه مدیریت کیفیت، لازم است در شیوه‌های سنتی مدیریت کیفیت بازنگری انجام شود. کیفیت 4 در واقع نسخه به روز شده مدیریت کیفیت سنتی است که با استفاده از ابزارهای دیجیتالی به دنبال بهبود روشهای سنتی کنترل کیفیت و همگام شدن باانقلاب صنعتی چهارم است. طراحی آزمایشات نیز به عنوان یک ابزار مهم در تحلیل آماری داده‌ها در مدیریت کیفیت است. این تحقیق درصدد تامین رضایت مشتریان با تمرکز بر توسعه کیفیت 4 در انقلاب صنعتی چهارم است. از اینرو توسعه ابزاری که بتواند خواسته‌ها و نیازمندیهای متنوع مشتریان را پاسخ مثبت داده، امروزه بعنوان یک فاکتور کلیدی برای صنایع مختلف جهت تصاحب سهم بازار و کاهش نفوذ رقبا و بقا سازمان است. این مقاله ابتدا به کارهای انجام شده در حوزه طراحی آزمایشات و تشریح فرصتها و چالشهای موجود می‌پردازد. این مقاله بعد از معرفی ارکان انقلاب صنعتی چهارم، به معرفی کیفیت 4 بعنوان یکی از الزامات اساسی (صنعت 4) اشاره می‌نماید. سپس چارچوب و ابزارهای مورد نیاز آن را تحلیل نموده و در ادامه به تشریح روش طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4 پرداخته و الگوریتم آنرا بصورت گام به گام توضیح می‌دهد این مقاله با معرفی روشی سیستماتیک جهت استخراج پارامترهای اصلی در طراحی آزمایشات به استفاده از این پارامترها در بستر انقلاب صنعتی چهارم می‌پردازد و مدلی را جهت طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4 معرفی می‌کند 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. بطور خلاصه این تحقیق در سه گام اصلی تعریف شده است: (1) شناسایی الزامات صنعت 4 (2) استخراج پارامترهای اصلی طراحی محصول بر اساس رضایت مشتریان. (3) پیاده سازی طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم.

واژه‌های کلیدی: رضایت مشتریان، طراحی آزمایشات، انقلاب صنعتی چهارم، کیفیت 4، طراحی محصول

1. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

2. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. * نویسنده مسؤول: atashgar@iust.ac.ir

مقدمه

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

(لاسی و همکاران^۱، 2014) انقلاب صنعتی چهارم را از دو جنبه تعریف نمودند: (1) یک مدل کاربردی انعطاف پذیر بزرگ جهت تغییر عملیات توسط محرکهای اقتصادی، سیاسی، اجتماعی است که به اختصار عبارتند از: دوره توسعه کوتاه مدت، شخصی سازی تقاضا، انعطاف پذیری، تمرکز زدایی، کارایی منابع. (2) انعطاف پذیری در مقابل فشارهای تکنولوژی در حوزه صنعت، که شامل: تلفن هوشمند، چاپگر سه بعدی، بطور کلی رویکرد مکانیزاسیون و اتوماسیون بیشتر و دیجیتالی شدن شبکه است.

(سادر و همکاران^۲، 2022) کیفیت 4. را یک رویکرد توسعه یافته که ترکیبی از شیوه های سنتی کیفیت (کنترل کیفیت، تحلیل کیفیت، مدیریت کیفیت جامع) با فناوریهای جدید است. این رویکرد به دنبال استفاده از هوش مصنوعی (به عنوان ابزار یادگیری داده) در بهبود مدیریت کیفیت جهت انقلاب صنعتی چهارم است. آنها باتکیه بر این نکته که کیفیت 4. نسخه تکامل یافته کیفیت سنتی است و شامل ویژگی های زیر است: فعالیت هایی بازرسی خودکار، دیجیتالی شدن و ادغام نتایج با کل سیستم تولید است. آنها جهت رسیدن به اهداف خود به معرفی اجزا تکنولوژی پرداختند که عبارت اند از: قابلیت اتصال پذیری، مشارکت، نمایش داده. این محققان کاربردهای کیفیت 4. را ساخت و تولید، تحقیق و توسعه، سرویس پس از فروش، فرایند تصمیم گیری برای کیفیت 4. معرفی نمودند. آنها نشان دادند که سیر تحول کیفیت 4. 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) تشکیل یافته که زمینه ساز ظهور کیفیت 4. بوده است.

(وای یو و همکاران^۳، 2022) طراحی آزمایشات را یک ابزار کمی و زیر مجموعه کیفیت، که جهت بهینه سازی آماری عملکرد سیستم بکار می رود. آنها با بیان اینکه وقتی که مقدار متغیرهای ورودی آزمایش زیاد است از تکنیکهای غربالگری و آزمایشات اولیه جهت مدیریت مطلوب این پارامترها برای رسیدن به مقادیر بهینه نمونه آزمایشات، است. آنها از روش غربالگری و روش سطح پاسخ به عنوان تکنیکهای رایج طراحی آزمایشات نام بردند.

(لینگ و چانگ^۴، 2021) به منظور افزایش رضایت مشتریان در حوزه فروش آنلاین 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 دسترس بودن سیستم، خط مشی خدمت (به عنوان متغیرهای ورودی) و رضایت و وفاداری

1.Lasi, et al.

2.Sader, et al.

3.Wu, et al.

4.Ling & Chang.

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: 1) چه رابطه‌ای بین طراحی آزمایشات و رضایت مشتریان وجود دارد؟ 2) الزامات کیفیت 4. جهت پیاده‌سازی طراحی آزمایشات چیست؟ 3) تفاوت طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4. نسبت به پیاده‌سازی آن در شرایط عادی چیست؟ 4) انقلاب صنعتی چهارم چیست؟ چه الزاماتی دارد؟ 5) رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت 4. چیست؟ 6) الزامات انقلاب صنعتی چهارم چیست؟ 7) آیا میتوان مدلی جهت پیاده‌سازی طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4. بر اساس خواسته‌های مشتریان معرفی نمود؟ 8) 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 آزمایشات به عنوان ابزار قدرتمند تحلیل آماری در محیط پویای انقلاب صنعتی چهارم را نمایان می‌نماید. این تحقیق درصدد است که مبتنی بر ادبیات، یک مدل کارا-مبتنی بر طراحی آزمایشات بادو هدف: 1) با تحولات انقلاب صنعتی چهارم همگام باشد. 2) طراحی محصول بر اساس تجربیات مشتریان-جهت افزایش رضایت مشتریان باشد، معرفی نماید. فراهم آوردن ارتقا رضایت مشتریان (که ادامه حیات صنایع را تضمین می‌نماید) 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 آزمایشات (مبتنی بر تجربیات و نیازمندیهای ملموس مشتریان) نتایج بسیار سودمندی خواهد داشت. مهمترین این دستاوردها عبارت است از: ارتقای سطح رضایت مشتریان و در نتیجه وفادار ماندن آنهاست. بر این اساس، مدیران با استفاده از مدل ارائه شده در تحقیق فوق قادر خواهند بود با دسترسی به: 1) پارامترهای استخراج شده از تجربیات مشتریان (تعامل با مشتریان) بر اساس طراحی آزمایشات بدست می‌آید. 2) ابزارها و روش‌های اجرای طراحی آزمایشات 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 ... (می‌تواند بقا 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 (2006 الی 2023) بوده، که سهم مقالات جدیدتر بیشتر بوده است. حوزه‌های مطالعه (بر اساس تفکیک بخش‌ها به ترتیب: روش طراحی آزمایشات سنتی/ انقلاب صنعتی چهارم / کیفیت 4. / طراحی آزمایشات در حوزه انقلاب صنعتی چهارم / طراحی محصول بر اساس تجربیات کاربران) می‌باشد. روش تحقیق به صورت ارجاع به مقالاتی است که اولاً الگوریتم و

چارچوب آنها بر اساس مفاهیم فوق بوده و ثانياً در مقاله خود حتماً مورد کاوی هم داشته باشند و صحت این مطالعات قبلاً به اثبات رسیده باشد.

در این تحقیق که در مجموع از 5 بخش تشکیل یافته در مقدمه پس از تبیین اهداف اصلی این مقاله به معرفی طراحی آزمایشات در محیط کیفیت سنتی پرداختیم و انواع روشهای طراحی آزمایشات و ویژه گیهای 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 4. 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 4. و طراحی کارخانه هوشمند را بررسی نمودیم و سپس به معرفی طراحی آزمایشات در حوزه کیفیت 4. و مرور چند مقاله محدود پرداختیم و با استفاده از یک الگوریتم مراحل اجرا طراحی آزمایشات و الزامات آن را در محیط انقلاب صنعتی چهارم معرفی نمودیم. در بخش یافته ها رویکرد طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم را با رویکرد سنتی طراحی آزمایشات سنتی مقایسه نمودیم. و در ادامه با تمرکز بر ترجیحات مشتریان (رضایت مشتریان و لزوم پاسخگویی به نیازهای آنها بصورت ارتباط مستقیم و استفاده از نظرات آنها در حوزه طراحی) با استفاده از یک روش سیستماتیک که نیازها و خواسته های مشتریان را بر اساس الزامات طراحی محصول جمع آوری می نماید و این پارامترها در اختیار (بصورت ورودی ها اصلی طراحی آزمایشات بعنوان ابزار قدرتمند کیفیت 4.) مدل طراحی آزمایشات (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 پیشنهادات به فرصتها و تهدیدات پیشرو پرداختیم.

طراحی آزمایشات: طراحی آزمایشات یک روش آماری جهت تحلیل داده های آماری فرایند تولید است. مفهوم طراحی آزمایشی جدید نیست و ریشه آن به دهه 1920 و کار آماردان مشهور سر رونالد فیشر برمی گردد، فیشر عملاً نیاز به در نظر گرفتن تجزیه و تحلیل آماری را در طول مراحل برنامه ریزی تحقیق و نه در مراحل پایانی آزمایش را برجسته نمود (نیدز و ایوانز¹، 2016) که مهم ترین روش های طراحی عبارت اند از: آزمایشات تک عاملی، طراحی بلوکی کامل تصادفی شده، آزمایشات چند عاملی (فاکتوریل کامل)، طرح های فاکتوریل کسری، طراحی آزمایشات تاگوچی، طراحی مرکزی مرکب، طراحی باکس-بنکن، طرح های پارامتر قوی، طرح های به کمک رایانه، طراحی آزمایشات با استفاده از متدولوژی پاسخ سطح

¹. Niedz & Evens.

(وینر^۱، 1962؛ پایلو دیویم^۲، 2012؛ انتونی و همکاران^۳، 2006). باتوجه به مرور ادبیات انجام شده حاصل از تحقیقات نویسندگان ((گلیس و فیزا، 2021) و (حیدری و همکاران، 2022) و (استاوروس و همکاران، 2017) و (ساتیش و همکاران، 2021) و (ناهومشانی و همکاران، 2023) و (وو و همکاران، 2022) و (خلید و پنگ، 2021) و (انیکا و همکاران، 2020) و (تانکو و همکاران، 2009) و (چانگ و همکاران، 2009) و (امانویل و همکاران، 2023) و (جین و سوپک، 2023) و (زایگیاریس و همکاران، 2022) و (شودیک و همکاران، 2018) و (ادام و همکاران، 2021) و (واری و همکاران، 2018) و (لین و همکاران، 2007)) نتایج به دست آمده، می‌توان مهم‌ترین پارامترهای استخراج شده مورد نیاز جهت طراحی آزمایشات سنتی با رویکرد رضایت مشتریان را در جدول 1. نشان داد. جدول 1. به طور خلاصه به مرور کارهای گذشته در حوزه طراحی آزمایشات با اهداف (غیر از رضایت مشتریان/ رضایت مشتریان) می‌پردازد. در جدول 1. مقادیر نمونه و تعداد آزمایش‌ها و روش‌های طراحی آزمایشات را تحلیل نموده است. روش‌های سنتی طراحی آزمایشات قادر نیستند که به همه ابعاد نیازهای مشتریان پاسخ گفته، پس نیاز به بازنگری در حوزه طراحی آزمایشات هستیم که اولاً بتواند نیازهای مشتریان را به صورت آنلاین استخراج نموده و سپس 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 صدا طراحی، به طوریکه این ماتریس به وسیله تجربیات و نیازهای مشتریان مقداردهی شده و سپس به وسیله طراحی آزمایشات اثر متغیرهای به دست آمده از ماتریس فوق را بر فرایند نهایی (اولیت نهایی پاسخ‌های فنی) به عنوان متغیر پاسخ بررسی می‌شود.

انقلاب صنعتی چهارم: انقلاب صنعتی اول (بین سال‌های 1750 الی 1850) که پیامد آن کشف موتورهای بخار در قرن هجدهم بود. انقلاب صنعتی دوم - انقلاب فناوری (1850-1970): مهمترین دستاورد این دوره، توسعه علم بوده است. انقلاب صنعتی سوم - انقلاب دیجیتال: (1970-2000): 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 گسترده‌ای که در حوزه رقابت و اقتصاد جهانی منشا 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، مدلی از کارخانه هوشمند آینده که در آن سیستم‌های کامپیوتری فرآیندهای فیزیکی را نظارت می‌کنند، یک کپی مجازی از دنیای فیزیکی و تصمیمات

². Winer.

³. Paulo Davim.

⁴. Antony, et al.

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 انسان ها ارتباط برقرار می نمایند. از طریق اینترنت خدمات، خدمات داخلی و بین سازمانی توسط شرکت کنندگان زنجیره ارزش ارائه و استفاده می شود. جدول 2. به بررسی الزامات انقلاب صنعتی چهارم که از تحقیق (استونداگ و کویکان¹، 2018) بدست آمده است.

کیفیت 4: مفهوم کیفیت و استفاده از آن با ظهور تحولات صنعتی شروع شده است. بطوریکه مفهوم کیفیت اولیه (صفر) شامل بازرسی برای حجم محصول بالا و بکار بردن نمودارهای کنترل جهت کیفیت است. کیفیت 2. (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 3. (بهبود کیفیت) که ایزو 9000 و کنترل کیفیت جامع و مدیریت کیفیت جامع و 6 سیگما مهمترین جنبشهای کیفیت بوده است، و با رضایت مشتریان و بهبود مستمر موازی بوده و رابطه مستقیم با تولید ناب و 6 سیگما و مدیریت کیفیت جامع داشتند (چیرانی و کومار²، 2021). پس از انقلاب صنعتی چهارم و ظهور مفاهیم جدید صنعتی و کاهش و ناکارآمدی مفاهیم کیفی گذشته (کیفیت 3) از این رو، 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. جدول 3. به طور خلاصه به مرور تحقیقات گذشته نویسندگان مانند ((هانگ و همکاران، 2022) و (الزهرانی و همکاران، 2021) و (نیکولاجان و همکاران، 2019) و (بارتو و همکاران، 2021) و (افیموا و بریس، 2021) و (یادوا و همکاران، 2021) و (منصوری و همکاران، 2022) و (اندرو و پل، 2021) و (کیم و یو، 2021) و (سلیمبني و ردچوک، 2023) و (براندنبرگر و همکاران، 2021) و (شارنه و الاوادی، 2021) و (هالم و همکاران، 2021) و (اسچنوریتز، 2017) و (زوشاین و کنت، 2020) و (جاوید و همکاران، 2021) و (اسکوبار و همکاران، 2021) و (فونسکا و همکاران، 2021) و (ماتووا، 2022) و (چیارینی و کومار، 2022)) در حوزه مدیریت کیفیت 4. و مولفه های اساسی کیفیت 4. پرداخته که جهت استقرار موفق کیفیت 4. در انقلاب صنعتی چهارم الزامی است.

¹. Ustundag & Cevikcan.

². Chiarini & Kumar.

جدول 1: مروری بر مقالات در حوزه طراحی آزمایشات با اهداف مختلف

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

نویسندگان	روش طراحی آزمایشات	پرسشنامه / مصاحبه / مشاهده	تحقیقات بازار	رسانه های اجتماعی / آنلاین	تجزیه و تحلیل	متغیر ورودی	متغیر پاسخ (مستری) / غیر مستری	تعداد نمونه	تعداد آزمایشات	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
امانوئل 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	آنالیز واریانس	*			*	2	*	28	3	کتاب
لین و همکاران	عاملی	*				2	*	107	4	بازار

جدول 2 : بررسی چارچوب و الزامات انقلاب صنعتی چهارم (استونداگ و کویکان، 2018)

Table2: Examining the framework and requirements of the 4th industrial revolution(Stundag and Kuican, 2018)

چارچوب (موقعی‌های صنعت 4)	مدل‌های تجاری	سیستم تولید ناب	مدل‌های بالغ و مقاوم	نقشه راه تکنولوژی
داده بزرگ/روابط‌های مستقل/زیر ساخت فیزیکی سایبری/شبیه سازی/ادغام‌های افقی و عمودی/ اینترنت صنایع/ سیستم‌های ابر/تولید فزاینده مرتبط با اینترنت شبکه/سیستم نهاده/ارتباطات و شبکه/امنیت	مدل‌های: B2B/ B2C	فلسفه ناب: در پی حذف کلیه فعالیت‌هایی که زمان و منابع را صرف می‌کنند؛ اما ارزش افزوده ایجاد نمی‌کنند. تکنولوژی انقلاب صنعتی چهارم در مقابل اتلاف در تولید ناب: تولید فزاینده(پریتر 3D)/واقعیت فزاینده/شبیه سازی و مجازی سازی/روباتیک	برای تعیین بلوغ مدل از فرمول زیر استفاده می‌شود $M_D = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Dii} * g_{Dii}}{\sum_{i=1}^n g_{Dii}}$ بلوغ: D / بعد: I / مربوط قلم کال: g / فاکتور	1. استراتژی تعریف شده برای انقلاب صنعتی چهارم. 2. تعریف تکنولوژی کلیدی. 3. تعریف ایده. 4. تعیین پروژه های محصول و فرایند بالقوه. 5. انتخاب سبد پروژه ها. 6. اولویت بندی. 7. زمان بندی. 8. پیاده سازی
توسعه هوشمند	نقش آموزش مهندسی	اینترنت اشیا و گزاره ارزش جدید	پیشرفت‌های رباتیک	نقش واقعیت افزوده
حوزه استعداد: رقابت / تعهد/ مشارکت	نیازمند به: ترکیب جمع‌آوری داده‌ها (داده بزرگ، تحلیل داده، ابر	یک شبکه‌ای از وسایل متصل به اینترنت (جهت جمع‌آوری و مبادله دیتا) از طریق سه لایه. 1. لایه های جلویی. 2. اتصال 3. لایه های عقبی	1. تکنولوژی سنسورهای پیشرفته. 2. هوش مصنوعی. 3. اینترنت رباتیک. 4. روباتیک ابر. 5. معماری رباتیک سایبری و فیزیکی. 6. رباتیک صنایع	شامل 4 سخت افزار: کامپیوتر/ وسایل نمایش / دستگاه ردیابی (بلاک چین)/ دستگاه ورود

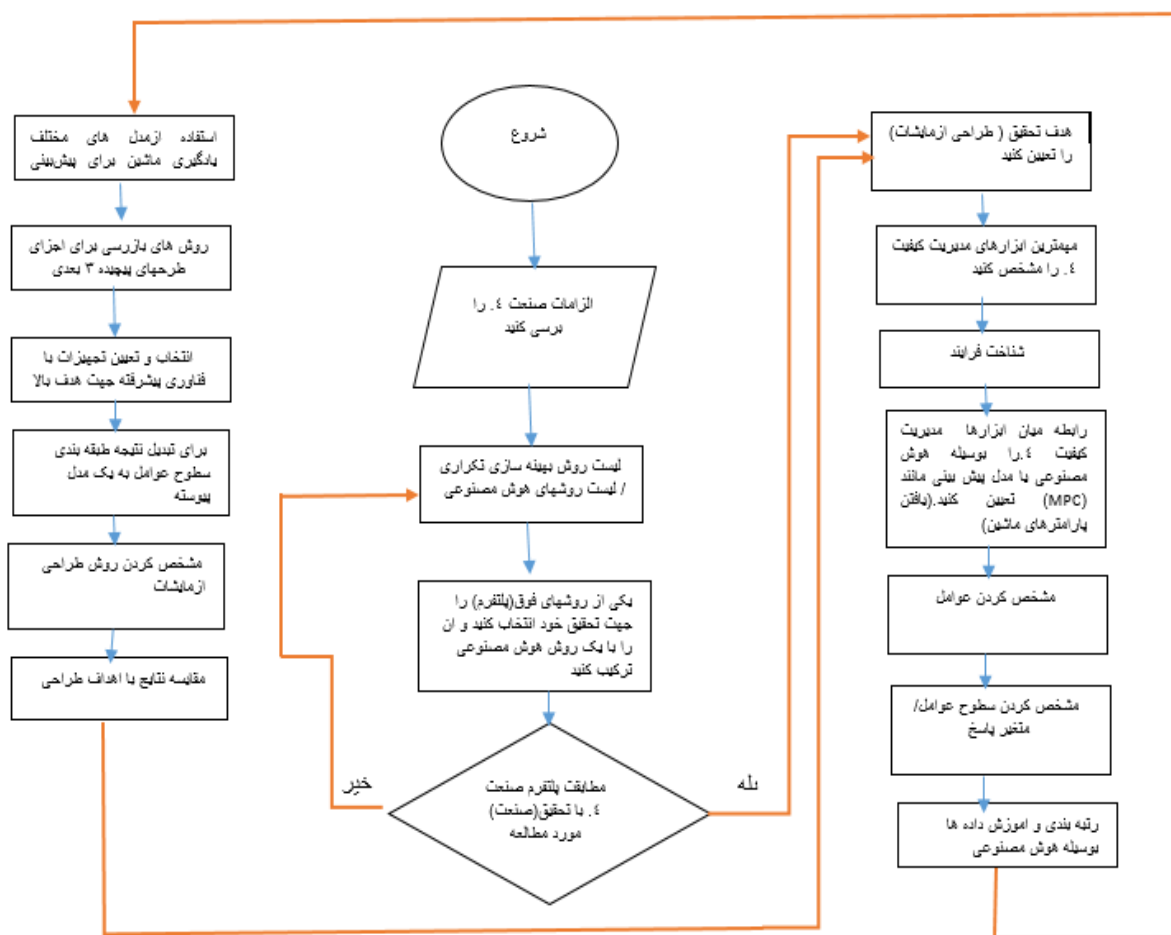
جدول 3: مروری بر مقالات در حوزه کیفیت 4.

[illegible]

هدف اصلی این تحقیق بدست آوردن یک الگوریتم جهت تعیین طراحی محصولات مطابق با تجربیات و تمایلات مشتریان می باشد اساس این الگوریتم در استفاده از طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم استوار است که پارامترهای اساسی (ورودیهای) آن بر اساس تجربیات مشتریان بدست می آید. انعطاف پذیری 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 1 نشان داده میشود.



شکل 1: الگوریتم طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4. بر گرفته بطور غیر مستقیم از مقاله (امین ابادی و همکاران، 2022)

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 4.

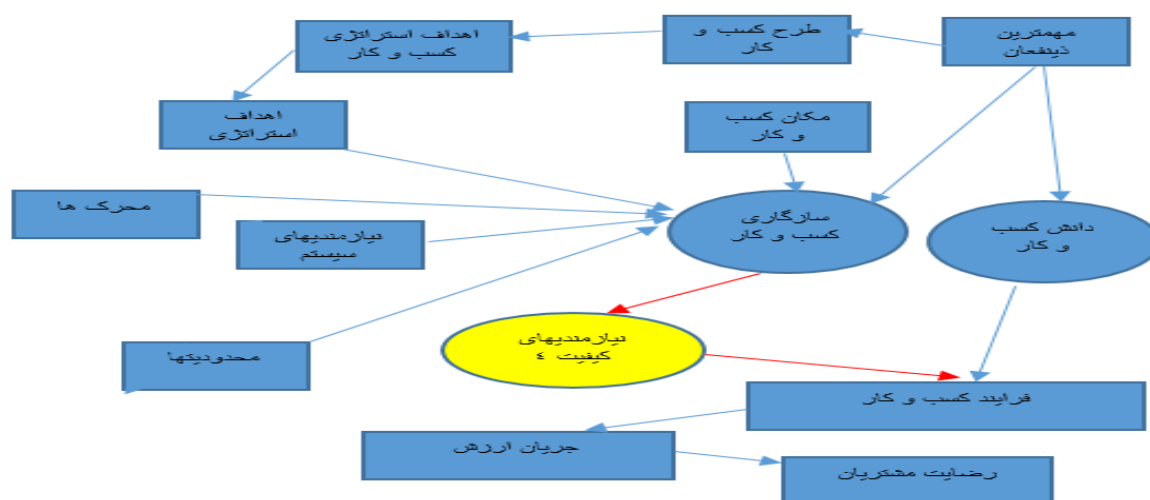
کیفیت 4. رویکردی است به تناسب ویژگی های انقلاب صنعتی چهارم شکل گرفته است. این رویکرد جدید، باید از ویژگی هایی پیروی کند که تحول دیجیتال و نوع داده ها را در انقلاب صنعتی چهارم مدیریت نماید. در کیفیت 4 ظهور مفاهیم جدیدی مانند: پردازش ابری، تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات، داده هایی با حجم زیاد، هوش مصنوعی را شاهد هستیم. انقلاب صنعتی چهارم تغییرات گسترده ای بر روی شیوه های تولید ایجاد نمود و نیاز به مدیریت کیفیت 4. 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 تامین رضایت مشتریان و برآورد اهداف تولید (رضایت ذینفعان) گردد بسیار مهم است. مدیریت کیفیت 4 شامل ابزارها و روشها و دستورالعملها به منظور نظارت مستمر بر منابع و افراد است. این ابزار امکان تولید داده های عملی و کشف الگوها و تمایز میان آنها و تحلیل داده ها مرتبط با فرایند بازرسی را فراهم نموده است. مزایا مدیریت کیفیت 4. ریسک کمتر خطرات ناشی از خطاهای انسانی و بهره‌وری منابع و سرعت پاسخگویی بسیار بالا در برابر تغییرات و رسیدن به سطوح خود نظارتی و خود ارتقایی و خود بازرسی را افزایش می دهد. برای پیاده سازی کیفیت 4. 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 ساده تر در این بخش به الزامات و چارچوب پیش نیازانقلاب صنعتی چهارم برای مدیریت کیفیت 4. و ارتباط میان آنها خواهیم پرداخت. ابتدا با معرفی جایگاه مدیریت کیفیت 4. 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 بابرشمردن ویژه گیها مدیریت کیفیت 4. 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، 2018) با بیان مقوله ارزش برای مشتریان به عنوان یک فاکتور کلیدی به بیان فرمول زیر پرداختند.

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

سیستم تولید مجموعه ای از منابع را که با افزودن ارزش به آنها به مجموعه ای از محصولات و محصولات جانبی تبدیل می کند، به این فرایند ارزش افزوده گفته می شود. ارزش افزوده که در صنعت برای توصیف تفاوت بین هزینه نهاده ها و ارزش (قیمت) خروجی ها استفاده می شود. ورودی ها (در صنعت / فرایند) ممکن است شامل موارد زیر باشد: دانش /

مهارت.... تولید ارزش: قابلیت اطمینان محصول / در دسترس بودن 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 به راحتی در دسترس است. / مطابقت استفاده / کاربرد محصول با دستورالعمل‌های قانونی. / شهرت و یکپارچگی محصول و سازنده و میزان پذیرش محصول (برند) در بازار. به عنوان مثال، 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 این رو طراحی محیط کسب و کار به عنوان مهم ترین ابزار در رویکرد مدیریت کیفیت است. مدیریت کیفیت که همگام با تحولات دیجیتالی شدن ارتقا پیدا نموده و همگام با ظهور انقلاب صنعتی چهارم، به عنوان روشی قدرتمند جهت برآوردن اهداف انقلاب صنعتی چهارم تبدیل شده است. هدف ما در این بخش معرفی جایگاه مدیریت کیفیت 4. در محیط کارخانه هوشمند است. توسعه سازگاری کسب و کار می تواند منجر به گسترش کیفیت 4. شود و به موازات آن تولید ارزش هم می تواند تحت تأثیر استراتژی کسب و کار قرار گیرد. شکل 2. برگرفته از (پنکوسکا¹، 2022) بطور کلی روابط میان این مؤلفه ها را نشان می دهد که مهم ترین الزامات جهت پیاده سازی طرح کسب و کار با توجه به استقرار مدیریت کیفیت 4. را نشان می دهد. در شکل 2. پیش نیاز هر پارامتر نام برده شده که عبارت اند از: 1) طرح کسب و کار. 2) مکان کسب و کار (منابع / شرکت / دارایی). 3) مهم ترین ذی نفعان. 4) اهداف استراتژی کسب و کار (سازگاری کسب و کار، نیازمندی های سیستم). 5) سازگاری کسب و کار. 6) دارایی های قابل دسترس. 7) رقبا. 8) محرک ها (رضایت مشتریان). 9) محدودیت ها (رعایت مقررات قانونی / دسترسی به منابع / در دسترس بودن شایستگی ها). 10) دانش کسب و کار فرایند کسب و کار اکوسیستم فرایند تجاری، فرایند کسب و کار: {1. سیستم اطلاعات 2. سیستم تصمیم گیری 3. سهام داران } {تجار / مشتریان}. 11) دارایی های در دسترس. 12) شایستگی ها.

¹ . Pańkowska.



شکل 2: مفهوم سازی معماری کسب و کار برای اجرای (پیاده سازی) کیفیت 4.0. (پنکوسکا، 2022)

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)

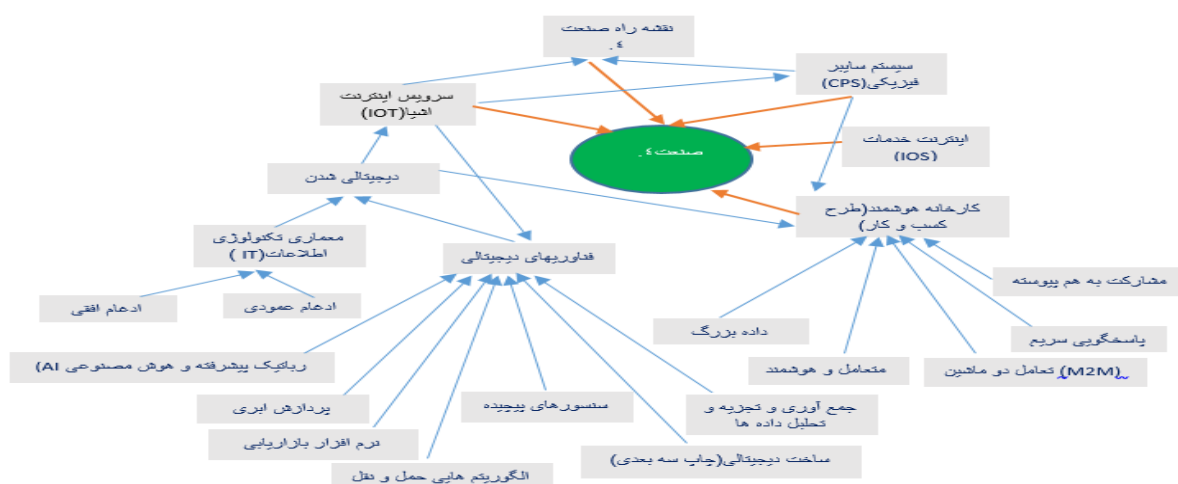
همان‌طور که قبلاً اشاره شد مهم‌ترین قسمت‌های انقلاب صنعتی چهارم عبارت است از (هرمان و همکاران، 2016): 1. سیستم سایبر فیزیکی: فرآیندهای فیزیکی بر محاسبات تأثیر می‌گذارند و بالعکس (سیستم‌های سایبری فیزیکی که ادغام دیجیتال با جریان کار فیزیکی را توصیف می‌کنند). 2. سرویس اینترنت اشیا: اشیا از طریق اینترنت می‌توانند 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). 3. کارخانه هوشمند (زیر مجموعه شکل 3. شامل این مولفات است: 1. به طور کلی متعامل و هوشمند. 2. بر روی چارچوب‌های فناوری‌های دیجیتال پیشرفته ساخته شده. 3. مشارکت به هم پیوسته. 4. در یک محیط سیستم تولید فیزیکی سایبری به طور مستقل پاسخگو و تعاملی هستند. 5. انبوه داده تولید و جمع‌آوری و تحلیل می‌شود. 6. بیش از حد آگاه و انعطاف پذیر. 7. «تولید مجموعه داده‌های بزرگ» و «محور داده‌های بزرگ» 8. قادر به صحبت کردن با یکدیگر ارتباط دو ماشین و با انسان‌ها. 9. قادر به پاسخ سریع و مستقل به دستورات انسانی، ادراکات خود و هدایت خود). 4. اینترنت خدمات. 5. همچنین موارد نام برده شده در جدول 3. سازمانها و صنایع به منظور پیاده‌سازی 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 می‌نماید. مهم‌ترین دستاورد دیجیتالی شدن تعامل نزدیک تر با مشتریان است (جاکوب¹، 2018).

¹ . Jacob.

معماری تکنولوژی اطلاعات، مدیریت داده، انطباق با مقررات، فرهنگ کلی سازمانی برای تقویت دیجیتالی شدن ضروری است. دیجیتالی کردن کامل عملیات یک شرکت که به صورت عمودی، شامل هر عملکرد سازمانی و کل سلسله مراتب آن از یک طرف، و به صورت افقی، پیوند زنجیره تأمین، توزیع کنندگان و سایر شرکا در زنجیره ارزش سازمانی با توانایی انتقال یکپارچه داده ها 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 دنیا فیزیکی اتخاذ تصمیمات غیر متمرکز را ممکن ساخته است. و سپس توسط اینترنت اشیا با یکدیگر و انسانها در زمان واقعی ارتباط برقرار می کنند. و در ادامه از طریق اینترنت خدمات، خدمات داخلی و بین سازمانی توسط شرکت کنندگان زنجیره ارزش ارائه می شود. فناوریهای دیجیتالی مورد نیاز صنعت 4 عبارتند از: 1. رباتیک پیشرفته و هوش مصنوعی 2. سنسورهای پیچیده 3. پردازش ابری 4. اینترنت اشیا 5. جمع آوری داده ها و تجزیه و تحلیل 6. ساخت دیجیتالی (از جمله چاپ سه بعدی) 7. نرم افزار به عنوان یک سرویس و سایر مدل های بازاریابی جدید 8. گوشی های هوشمند و سایر دستگاه های تلفن همراه 9. پلتفرم هایی که از الگوریتم هایی برای هدایت وسایل نقلیه موتوری استفاده می کنند (از جمله ابزارهای ناوبری، برنامه های اشتراک گذاری سواری، خدمات تحویل و سواری، و وسایل نقلیه خودران). (سادر و همکاران، 2019). داده هایی که از محل تعاملات در سیستم کارخانه هوشمند جمع آوری می شوند، توسط سیستم های کامپیوتری هدایت می شود. این داده ها برای نظارت بر فرایندهای فیزیکی مستقر شده اند که ایجاد یک کپی دنیای مجازی از دنیای فیزیکی است. نتیجه این فرآیند این است که قابلیت تصمیم گیری غیرمتمرکز بر اساس ساختار خود سازمان دهنده امکان پذیر نموده تا به عنوان ابزاری جهت تحلیل عملکرد ماشین آلات و تجهیزات و نرم افزار و منابع بوده و از این رو تعامل و پاسخگویی در برابر مشتریان را سریع تر و منعطف تر می سازند (مزیت بالقوه انقلاب صنعتی چهارم است در ادامه بیشتر به این موضوعات خواهیم پرداخت و ارتباط آن را بیان می کنیم). همان طور که در شکل 3. تمامی اجزا و مولفه های انقلاب صنعتی چهارم جهت پیاده سازی در طرح کسب و کار (کارخانه هوشمند) نشان داده شده و در واقع این روابط نشان داده شده در شکل فوق پیش نیاز طراحی کسب و کار (کارخانه هوشمند) نشان داده شده در شکل 2. جهت معماری طراحی کسب و کار برای پیاده سازی کیفیت 4 می باشد. نکته بسیار مهم روابط موجود میان انقلاب صنعتی چهارم و راه اندازی کسب و کار جدید در دو شکل 2 و شکل 3. نشان داده شده است.

جایگاه مدیریت کیفیت 4. و ارتباط آن با طراحی فرآیند کسب و کار (طراحی کارخانه هوشمند)

کیفیت 4. اصطلاحی است که برای پیش بینی اینکه آینده کیفیت و تعالی عملکرد سازمانی، از دیدگاه ابتکارات انقلاب صنعتی چهارم، استفاده می‌شود. از این رو، مدیریت کیفیت 4. هم زمان با توسعه تحولات دیجیتال و هوشمندسازی فرآیندهای تولید، باید توسعه یابد. مدیریت کیفیت 4. و انقلاب صنعتی چهارم و طراحی کارخانه هوشمند سه ضلعی هستند که کاملاً به یکدیگر وابسته‌اند.



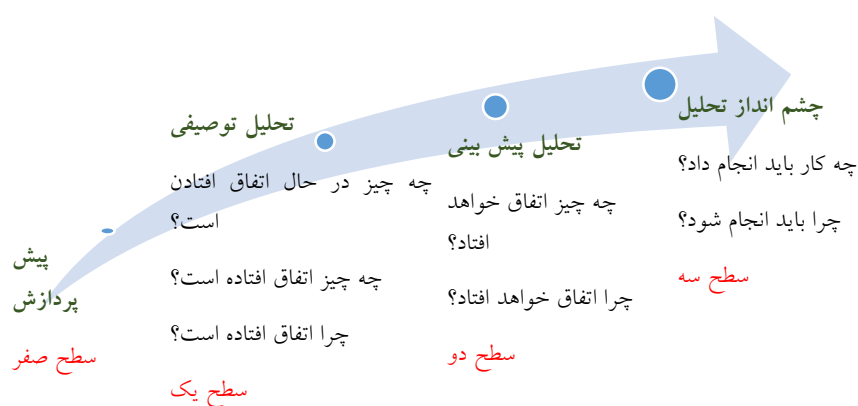
شکل 3: معماری انقلاب صنعتی چهارم و مولفه های آن جهت پیاده سازی در طرح کسب و کار

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 4. و انقلاب صنعتی چهارم مطرح شده است. سادر و همکاران، (2019) مدلی را معرفی نمودند که با توجه به خط مشی دیجیتالی شدن، تکنولوژی مناسب و نیاز سنجی را جهت تحقق اهداف کیفیت 4. تعیین می‌نماید. بوسدیکس و همکاران¹ (2023) مدلی را جهت استقرار مدیریت کیفیت جامع و تضمین کیفیت از طریق هفت اصل مدیریت کیفیت و استاندارد (ISO9001) معرفی نمودند. مهمترین ابزارهای مدیریت کیفیت 4. که از هفت بخش تشکیل یافته، عبارت است از: (1) هوش مصنوعی: بینش کامپیوترها / پردازش زبان / چت باتها / دستیاران شخصی / رباتیک / تصمیم گیرهای پیچیده. (2) داده بزرگ : مانند پایگاه داده (NoSQL, MapReduce, Hadoop, Hive) / دسترسی ساده تر به منابع / ابزاری برای مدیریت و تحلیل مجموعه داده های بزرگ بدون استفاده از ابر کامپیوترها (کامپیوترهای بزرگ). (3) بلاک چین : افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی دارایی ها از لحظه ارسال بطوریکه تراکنشها فقط در صورت برآوردن اهداف کیفی تحقق می‌یابد. (4) 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. (5) 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

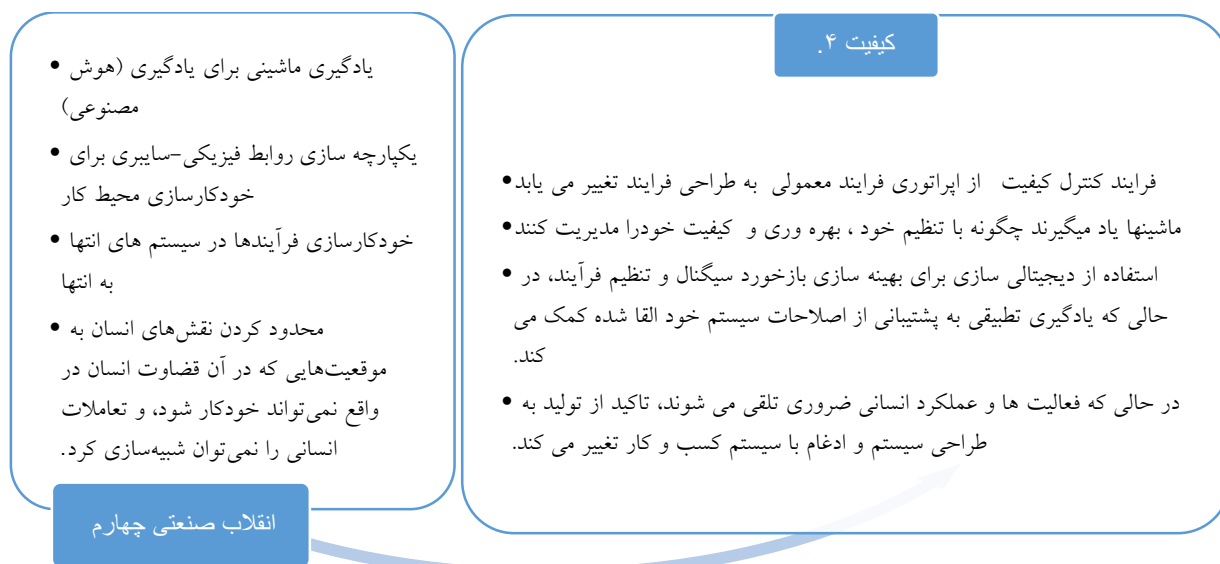
¹ . Bousdekis, et al.

و پروتوکول اینترنت 6 و فناوری بی سیم شبکه برای ارائه سرعت های پیک داده چند گیگابیت بر ثانیه، تأخیر بسیار کم، قابلیت اطمینان بیشتر، ظرفیت شبکه بسیار بالاست، افزایش دسترسی و تجربه کاربران بصورت یکنواخت تر طراحی شده است. 6) یادگیری ماشین: تجزیه و تحلیل متن، سیستم های توصیه، فیلترهای اسپام ایمیل، تشخیص تقلب، طبقه بندی اشیاء به گروه ها، پیش بینی. 7) علم داده (داده کاوی): عمل گردآوری مجموعه های داده ناهمگن برای پیش بینی، انجام طبقه بندی، یافتن الگوها در مجموعه داده های بزرگ، کاهش مجموعه های بزرگ مشاهدات به مهم ترین پیش بینی کننده ها، استفاده از تکنیک های سنتی سالم (مانند تجسم، استنتاج و شبیه سازی) برای تولید. در شکل 4. سطوح هوش با توجه به بلوغ تجزیه و تحلیل داده هان نشان داده شده است که به چهار سطح تقسیم بندی شده است و سپس در جدول 4. ابزارها و چالشهای موجود جهت تحلیل داده به ان اشاره شده است جهت توضیحات بیشتر علاقمندان میتوانند به منبع معرفی شده مراجعه نمایند. اساساً تفاوت روش سنتی مدیریت کیفیت با مدیریت کیفیت 4. بر دو اصل استوار است که در ادامه به ان خواهیم پرداخت. اصل اول: در روشهای نوین میزان داده بسیار زیاد بوده که با توجه به امنیت سایبری و شیوه انتقال و تحلیل ان 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، 2019). اصل دوم: به تفاوت کارخانه سنتی و کارخانه هوشمند اشاره دارد. در کارخانه هوشمند با توجه به قابلیت یکپارچه سازی سیستم تولید به پردازش خودکار داده که حجم ان بالاست می پردازد و از طرف دیگر بر پیش بینی و تحلیل خطاها و نواقص احتمالی استوار است.



شکل 4: سطوح هوش با توجه به بلوغ تجزیه و تحلیل داده ها (لیم، 2019)
 Fig.4: Levels of intelligence according to the maturity of data analysis (Lim, 2019)

در کارخانه هوشمند اساس مدیریت کیفیت 4. 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^۱، 2019). برخی الزامات در شکل 5. (تیموتی^۲، 2022) بیان شده است.



شکل 5: مدل پیشنهادی با توجه به ظهور مفاهیم جدید در انقلاب صنعتی چهارم به موازات آن جهت مدیریت کیفیت 4. (تیموتی، 2022)
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)

جدول 5. سیر تکامل کیفیت و حوزه و عملکرد آن را نشان می دهد .

جدول 4 : تحلیل داده و ابزارهای آن (لیم، 2019)

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

لیست منابع داده و اطلاعات	تکنیک های پیش پردازش داده ها	تکنیک های پردازش داده ها	چالش های مربوط به داده	طبقه بندی روش ها برای تحلیل داده در هر مرحله تولید
سنسورهای تولید سنسورهای محیط فناوری ردیابی محصول ویدئو و تصویر	تجزیه و تحلیل اجزای اصلی جاسازی (نهادینه سازی) خطی محلی نقشه برداری ایزومتریک (ایزومپ) رگرسیون خطی پله ای	همبستگی آماری تحلیل رگرسیون یادگیری مبتنی بر قانون شبکه عصبی	ارائه حل مسئله مبتنی بر داده توسعه الگوریتم های تحلیلی پیش بینی کننده و تجویزی ترکیب چندین منبع داده ترکیب داده ها و دانش	ارائه حل مسئله مبتنی بر داده توسعه الگوریتم های تحلیلی پیش بینی و تجویزی ترکیب چندین منبع داده ترکیب داده و دانش

^۱ . Watson, et al.

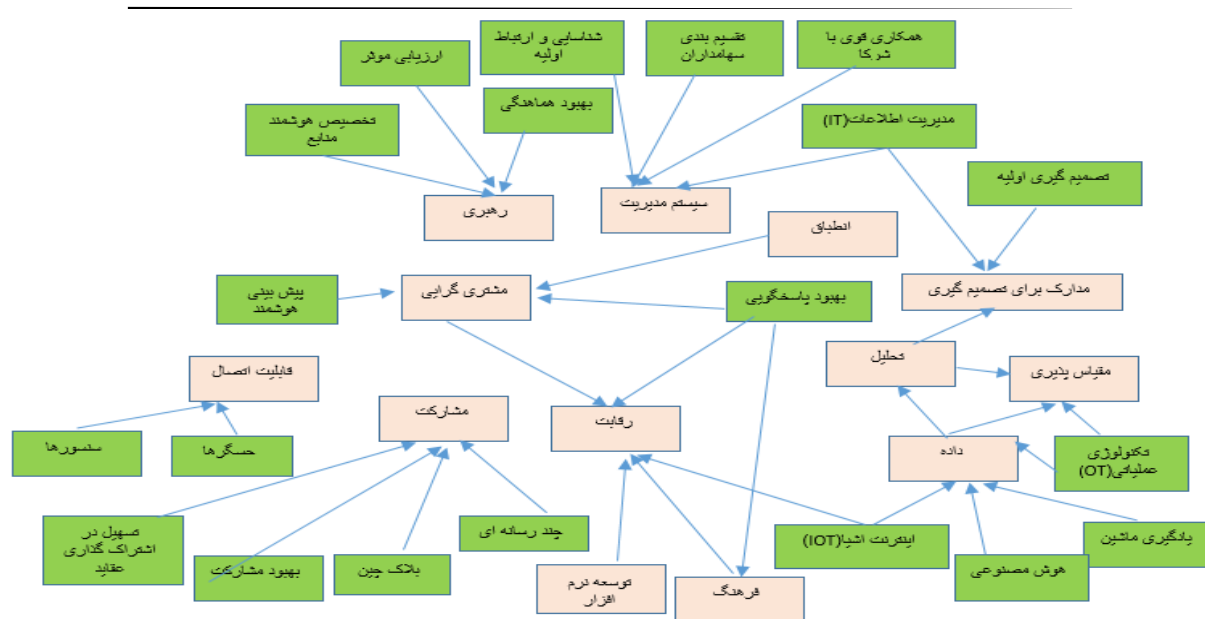
^۲ . Timothy.

ارائه قابلیت های تحلیلی تقویت شده	ارائه قابلیت های تجزیه و تحلیل تقویت شده	ماشین بردار پشتیبان یادگیری عمیق خوشه بندی مدل های احتمالی	ماشین بردار گام به گام (پله ای) نمونه برداری بیش از حد اقلیت مصنوعی برجسته تنظیم L-1 تبدیل بسته موج کوچک روش نمونه گیری بیش از حد اقلیت مصنوعی ویرایش نزدیک ترین همسایگان	سیستم های سازمانی و عملیاتی دانش و مشخصات فرایند
--------------------------------------	---	---	---	---

جدول 5: سیر تکاملی کیفیت و حوزه و عملکرد ان (تیموتی، 2022)

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 آماري/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 به عنوان یک هدف استراتژی بهبود مستمر در نظر گرفته می شود بدین منظور اهداف سازمانی با این استراتژی همسو می شوند	توانمندسازی افراد در سراسر محیط سازمانی (مشارکت کارکنان)	تضمین کیفیت/گسترش فعالیت های سازمانی و منابع انسانی	مدیریت کیفیت جامع
استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان ابزاری قدرتمند در سراسر زنجیره تأمین (شامل تأمین کنندگان / تولید کنندگان / مدیریت عرضه/ مشتریان) تولید داده بزرگ، به اشتراک گذاری و تجزیه و تحلیل، اتصال، و تصمیم گیری مستقل	تغییر از تمرکز بر روی مشتریان و حرکت به سمت تعامل و مشارکت با مشتریان و ذی نفعان	استفاده از فناوری های صنعت 4. به عنوان مثال با ترکیب هوش مصنوعی و دیجیتالی شدن با مفاهیم مدیریت کیفیت جامع به منظور ارتقا و بهبود هوش و عملکرد نیروی انسانی	مدیریت کیفیت 4.



شکل 6: معماری کیفیت 4. و مولفه های آن به رنگ صورتی و فرصت های 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 آزمایشات در محیط انقلاب صنعتی چهارم (به عنوان ابزار مدیریت کیفیت 4).

بی شک طراحی آزمایشات در کنار فاکتورهای دیگر که در بخش قبل اشاره نمودیم به عنوان ابزار قوی جهت توسعه کیفیت 4 محسوب می شود. در این بخش با بررسی تحقیقات صورت گرفته در این حوزه به اهداف و چالش های موجود پرداخته می شود. ادبیات نشان می دهد که به طور کلی مقالات بسیار محدودی وجود دارد که به طور مستقیم به طراحی آزمایشات در صنعت 4 پرداخته اند. (پیتراسزک و همکاران^۱، 2020) بدلیل شدت جریان داده ها و اندازه مجموعه داده های تحلیل شده، روش های سنتی طراحی آزمایشات را در انقلاب صنعتی چهارم را نیازمند بازنگری دانستند، آنها پس از معرفی روش های متداول طراحی آزمایشات و نقاط ضعف و قوت هر کدام (به جدول 6 مراجعه نمایید) به مشکلات ناشی از جریان بالای داده و نظارت برخط یا غیربرخط و اختلالات متغیر تحمیل شده بر این داده ها، تمرکز نمودند. تحقیقات آنها نشان داد که رویکرد سنتی طراحی آزمایشات در محیط صنعت 4 مطلوب نیست و از این رو کیفیت 4 نیازمند طراحی آزمایشات مبتنی بر پایگاه داده (ناشی از مشاهدات) است. آنها عدم قطعیت و مدل های کاهش ابعادی و رویکردهای چندمتغیره غیرخطی را برای این رسیدن به این هدف مفید می دانند.

مراحل طراحی آزمایشات در محیط کیفیت 4.

گام اول: با الزامات انقلاب صنعتی چهارم آشنا شوید

^۱ . Pietraszek, et al.

تمامی ابزارها و پیش نیازها در صنعت باید دارای قواعد و دستورالعمل‌های مبتنی بر انقلاب صنعتی چهارم باشد. برخی از این ابزارها مختص ثبت داده هاست که در گام ششم به تفصیل به آن خواهیم پرداخت. این بخش مقدمه و اساس پیاده‌سازی طراحی آزمایشات در این محیط می‌باشد (به شکل 1 مراجعه نمایید). نکته بسیار مهم این است که گام‌های دوازدهم الی چهاردهم فقط جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیده گیهای مختلفی برخوردار است بکار 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^۱، 2001؛ لی و همکاران^۲، 2009) مهمترین این روشها عبارتند از: درخت تصمیم / شبکه عصبی پرسپترون چندلایه / شبکه‌های عصبی کانولوشنال و شبکه‌های عصبی تکراری و ماشین بردار پشتیبان، که در جدول 4 به آنها اشاره شده است

جدول 6: روشهای طراحی آزمایشات همراه با نقاط ضعف و قوت ان (پیتراسزک و همکاران، 2020)

Table 6 : Design of Experiment methods along with their strengths and weaknesses (Pitraszek et al., 2020)

نقاط ضعف	نقاط قوت	نام روش طراحی آزمایشات
محدودیت تعداد آزمون‌های آزمایشی را بدون تعیین بر همکنش‌های مرتبه بالاتر (کسری) امکان‌پذیر می‌سازد/ هزینه اقتصادی بالا/ شدت جریان داده پایین	تجزیه و تحلیل عمیق تأثیر عوامل کنترل شده و بر همکنش‌های احتمالی آن‌ها/ مجموعه اطلاعات غنی است/ برای تولید مستمر است	فاکتوریل کامل
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./ شدت جریان داده پایین	به طور خاص به تجزیه و تحلیل دقیقاً سه عامل کنترل شده که معمولاً یکی از آنها مورد توجه آزمایش کننده است، / این روش استفاده از سطوح چندگانه کنترل عامل را امکان‌پذیر می‌کند	مربعات لاتین فیشر
عوامل کنترل شده پیوسته نیستند/ شدت جریان داده پایین	برخی از محدودیت‌های مربع‌های لاتین را حذف کرد / که در آن 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 کنترل شده، و آرایه خارجی، عوامل تعیین کننده با کنترل ضعیف یا شبیه‌سازی عوامل مزاحم محیطی.	روش تاگوچی
علاوه بر این، در مورد مخلوط‌ها، به اصطلاح شرط جمع‌پذیری وجود داشت، به این معنی که تنظیمات عوامل کنترل شده (سهام اجزای مخلوط) را نمی‌توان آزادانه در آزمایش انتخاب کرد، بلکه باید به آن اضافه می‌شد./ شدت جریان داده پایین	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.	متدولوژی سطح پاسخ

^۱ . Vagelatos, et al.

^۲ . Li, et al.

Shainin s Red-X™	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 محدودش‌کننده اصلی، آزمایش را متوقف کنی / صرفه‌جویی منابع / شبیه 6 سیگماست	رویکرد شاینین یک روش تحلیلی یا محاسباتی واحد نیست، / شدت جریان 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 باتکیه بر 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، 2001؛ لی و همکاران، 2009). 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 به عنوان یک روش بهینه‌سازی با شبکه عصبی کانولوشنال در تحقیق صورت گرفته توسط (امین آبادی و همکاران، 2022)

گام چهارم: مطابقت پلتفرم صنعت 4. با تحقیق (صنعت) مورد مطالعه

پروتوکول اینترنت 6 و اینترنت اشیا و (OPC UA, EUROMAP 77) و هوش مصنوعی و ابر داده 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 هر کدام از این ابزارها مستلزم آن است که بدانیم وظیفه هر کدام چیست؟ به عنوان مثال (EUROMAP 77) رابطه بین ماشین‌های قالب‌گیری تزریقی و سیستم‌های اجرایی ساخت برای داده‌ها مبادله را فراهم می‌کند (مولرز¹، 2020). در حالی که (OPC UA) فناوری انتقال اطلاعات را فراهم می‌کند، (EUROMAP 83) تعریف می‌کند که کدام اطلاعات و در کدام فرم منتقل می‌شود (مولرز، 2021). این مرحله به دنبال این است با توجه به شرایط آزمایشات و فرایند و توجه به رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت 4. که برای پیاده‌سازی طراحی آزمایشات مهم بوده و استفاده از حلقه کنترل بسته و جمع‌آوری داده‌ها مناسب‌ترین پلتفرم انقلاب صنعتی چهارم را مطابق با تحقیق مورد نظر را انتخاب نماید

¹ . Müllers.

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

این گام همانند روش سنتی طراحی آزمایشات به دنبال این است که هدف از طراحی آزمایشات را تعیین نماید. ممکن است شامل مواردی مثل انعطاف پذیری فرایند، کارایی، افزایش سود و فروش و قابلیت اطمینان یا رضایت مشتریان باشد. بطوریکه در فاز آموزش روابط میان پارامترهای فرایند (مشخصه های کیفی) و داده های سنسور توسط هوش مصنوعی به دست آمده (آموزش داده شده) است. این اطلاعات جهت پیش بینی توسط مدل پیش بینی کننده کنترل استفاده می شود.

گام ششم: مهم ترین ابزارهای جهت ثبت داده ها در مدیریت کیفیت 4. را مشخص کنید

ترازو دیجیتال و سنسورهای درون قالب و سنسور چندمتغیره و سیستم اندازه گیری استوانه ای و نمودار توالی عملیات (اتوماسیون فرایند) (و بسیاری دیگر که در بخش های قبل به آن پرداختیم که برخی از آنها بطور مستقیم و بعضی بطور غیر مستقیم در این بخش) به عنوان بهترین ابزارهای مدیریت کیفیت 4. جهت ثبت داده ها برای تحلیل در طراحی آزمایشات است.

گام هفتم: شناخت فرایند

شناخت فرایند یک گام اساسی جهت طراحی آزمایشات است که با توجه به انقلاب صنعتی چهارم مطالعه دقیق فرایند و مقایسه آن با رویکرد سنتی به ما در طراحی دقیق آزمایشات و طراحی حلقه کنترل قوی کمک می نماید.

گام هشتم: مشخص کردن عوامل

مشخص کردن عوامل مورد مطالعه جهت طراحی آزمایشات به این معنی است که ما به دنبال چه پارامترهایی هستیم و یا به عبارت ساده تر تغییر در چه ورودی هایی باعث تغییر در اهداف و متغیر پاسخ می شود. هر چقدر پارامترهای فرایند دقیق تر مشخص گردد رسیدن به اهداف مورد نظر دقیق تر خواهد بود.

گام نهم: مشخص کردن سطوح عوامل / متغیر پاسخ

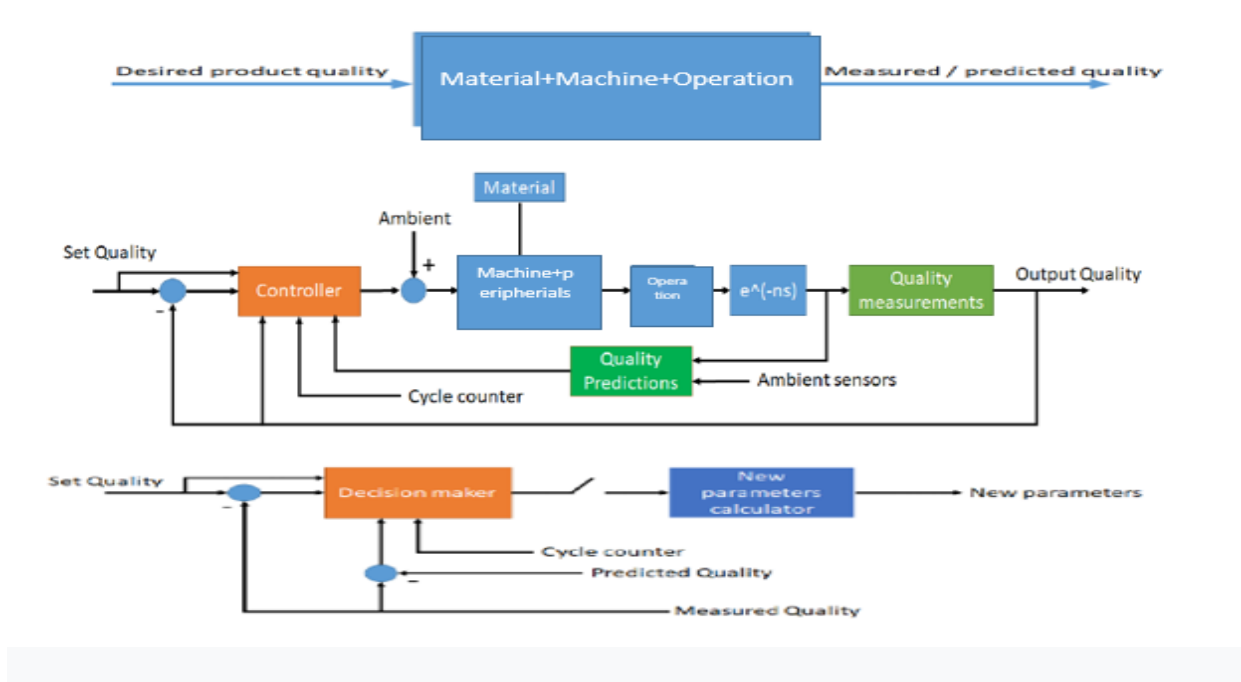
مشخص کردن عوامل مورد مطالعه جهت طراحی آزمایشات و اینکه چه سطوحی از این عوامل باید در نظر گرفته شود و به همراه تعیین متغیر پاسخ یک گام بسیار مهم جهت طراحی آزمایشات است.

گام دهم: رابطه میان ابزارهای مدیریت کیفیت 4. را به وسیله هوش مصنوعی (یا مدل پیش بینی) 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 7. قسمت اول همان‌طور که می‌بینید ورودی این سیستم کیفیت مطلوب محصول بوده فرایند آن ترکیب مواد و ماشین و عملیات و خروجی آن سنجش و پیش‌بینی کیفیت محصول موردنظر است.

گام یازدهم: رتبه‌بندی و آموزش داده‌ها به وسیله هوش مصنوعی

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



شکل 7: نمودار بلوکی که بصورت کلی تعمیم داده شده (امین ابادی و همکاران، 2022)

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 4). استفاده می‌شود. این داده‌ها از منابع اطلاعاتی مختلف (تولید / فرایند مانند: از جمله حسگرهای درون قالب و سنسورهای محیطی آموزش داده‌شده) استفاده شده‌اند. مدل هوش مصنوعی برای ویژه گیهای کیفی آموزش

داده می‌شود، مجموعه داده‌های آزمایش و سیستم اندازه‌گیری به طور موازی بین پیش‌بینی‌ها و اندازه‌گیری واقعی بکار برده می‌شود. سیستم کنترل نمودار بلوکی در شکل 7. قسمت دوم نشان داده شده است. یک الگوریتمی (یک زیر روال جستجوی شبکه‌ای از کنترل‌کننده مراجعه شود به مقاله) جهت محاسبات پارامترهای ماشین جدید استفاده شده است. تصمیم بر اساس خطای کیفیت، تفاوت بین مقادیر کیفیت پیش‌بینی شده و واقعی، و سیکل شمارنده که در شکل 7. قسمت سوم نشان داده شده است.

گام سیزدهم: روش‌های بازرسی برای اجزای طرح‌های پیچیده 3 بعدی

جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیده گیهای مختلفی برخوردار است (به خصوص اجزا پیچیده 3 بعدی) می‌توان به وسیله 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 آزمایشات امکان پذیر نبوده است.

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

جهت بازرسی سطوحی از (قطعات) و عواملی که از پیچیده گیهای مختلفی برخوردار است نیازمند فناوری‌ها و تجهیزات جدیدی هستیم یک دوربین دید تکرنگ (امین ابادی و همکاران، 2022) نمونه‌ای از این تجهیزات است که در هر دور چرخش 250 الی 300 تصویر را (برای سه گروه از عیوب سطح: ضخامت خط جریان، رگه‌ها، و علائم فرورفتگی) ثبت نموده اند. 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 پیچیده گیهای مختلفی برخوردار است باید داده‌های به دست آمده 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، 2022) 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 آن Q_s مقدار کیفیت سطح تعریف شده بین 0 و 1 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، 2022).}

گام شانزدهم: مشخص کردن روش طراحی آزمایشات

مشخص کردن روش طراحی آزمایش‌ها نیازمند مطالعات متعدد در حوزه پیشینه تحقیقات موردنظر بوده، البته در این تحقیق تا حدود زیادی نقاط قوت و ضعف هر کدام از روش‌های طراحی آزمایشات را معرفی نمودیم.

گام هفدهم: مقایسه نتایج با اهداف طراحی

نتایج آزمایشات 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 آزمایشات را به طور هم‌زمان می‌دهد؟ هرچقدر مراحل فوق دقیق طراحی شود نتیجه طراحی آزمایشات قوی‌تر و مطلوب‌تر است (رابطه بین انقلاب صنعتی چهارم و کیفیت 4).

یافته‌ها

طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم چه تفاوتی با طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی (پیش از انقلاب صنعتی چهارم) دارد؟ اساساً تفاوت روش سنتی مدیریت کیفیت با مدیریت کیفیت 4. بر دو اصل استوار است که در بخش‌های قبل به آن پرداختیم. رویکرد مدیریت کیفیت 4. 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 جدول 7. و شکل 8. نمایش داده شده است.

طراحی آزمایشات در محیط صنعت 4. (به عنوان ابزار مدیریت کیفیت 4.) با رویکرد رضایت مشتریان

باتوجه به تغییر سلیقه مشتریان و اهمیت آن برای شرکت‌ها و سازمان‌ها، به‌منظور رقابت و گسترش سهم بازار، استفاده از رویکردهای نوین که از یک طرف منعکس‌کننده خواسته‌های مشتریان و از طرف دیگر 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 به پردازیم. این مدل بر اساس ایده‌های کاربران و مشتریان جهت طراحی محصول جدید مطابق با

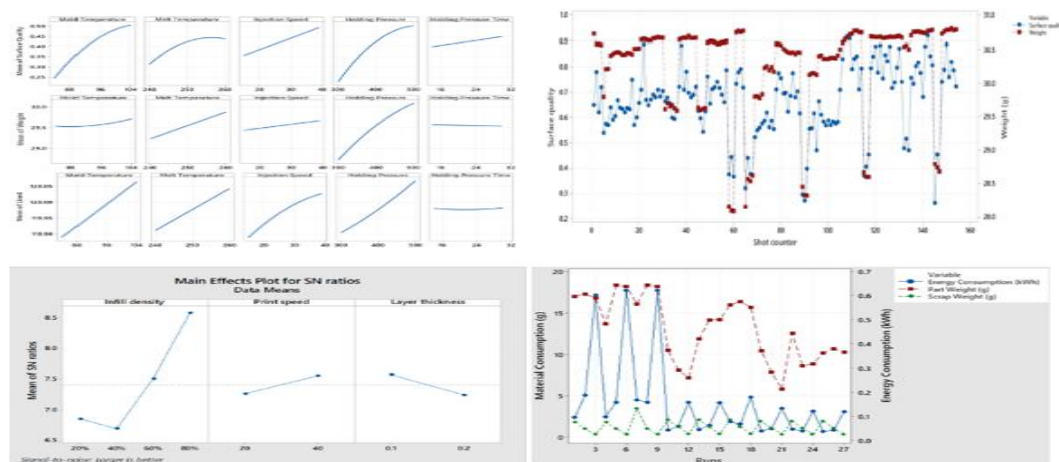
نظرات آنها استوار است. این مدل که از مقاله (لین و همکاران^۱، 2017) استخراج شده به دنبال اتصال این مدل با الگوریتم طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم (گام هفتم) است. مدلی که بتواند رضایت مشتریان را همگام با توسعه انقلاب صنعتی چهارم افزایش دهد. بی شک دستیابی به رضایت مشتریان در دنیای پر چالش امروز که آنها را نسبت به محصول تولیدی وفادار نگه داشته و از طرف دیگر تمایلات آنها ارضا گردد به عنوان کلیدی ترین هدف هر کمپانی بزرگ محسوب می شود. ساختار این روش به صورت خلاصه در شکل 9. نمایش داده شده است.

جدول 7: مهمترین تفاوتها روشهای طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایشات 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

توضیحات	طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم	طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی	نام مؤلفه
	بزرگ	معمولاً کوچک	داده
	پیش بینی / سنجش	واکنشی	رویکرد
	بالا	پایین	جریان اطلاعات
	امکان پذیر است	امکان پذیر نیست	ترکیب فناوری اطلاعات و فناوری عملیات و تعاملات انسانی
به علت رویکرد پیش بینی	کم	بالا/ متوسط	خطاها و نواقص احتمالی
	به کمک فناوری های جدید (سنسورها) / کوتاه	دستی و زمان بر	جمع آوری داده ها
	انسان نقش آن کم رنگ / به کمک ماشین صورت می گیرد	به کمک منابع انسانی	جمع آوری داده ها
	امکان پذیر است	امکان پذیر نیست	بازرسی از سطوح پیچیده
مثل ترازو دیجیتال/دوربین دیجیتال به همراه روپات هوشمند که قابلیت آموزش را دارد	مطابق با فناوری های جدید / درصد خطا پایین	غالباً سنتی / درصد خطا بالاست	ابزار
	کوتاه مدت / هزینه پایین و متوسط	وقت گیر / پر هزینه / زمان بر	استفاده از چندین روش طراحی آزمایشات

^۱ . Lin,et al.



شکل 8: نمودار مهمترین اثرات (از بالا سمت چپ) نمودار کنترل (از بالا سمت راست) جهت طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم (امین ابادی و همکاران، 2022) نمودار مهمترین اثرات (از پایین سمت چپ) نمودار کنترل (از پایین سمت راست) جهت طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی

Fig 8 : Diagram of the most important effects (from the top left) Control diagram (from the top right) to Design of Experiments in the 4th industrial revolution , Diagram of the most important effects (from the bottom left) Control diagram (from the bottom right)) to Design 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 تقاضا نامحدود می‌شود. برای این منظور از نظر کارشناسان و خبرگان استفاده نموده تا اهداف تصمیم‌گیری و فرضیات (طراحی آزمایشات) مشخص شود (لین و همکاران، 2017).

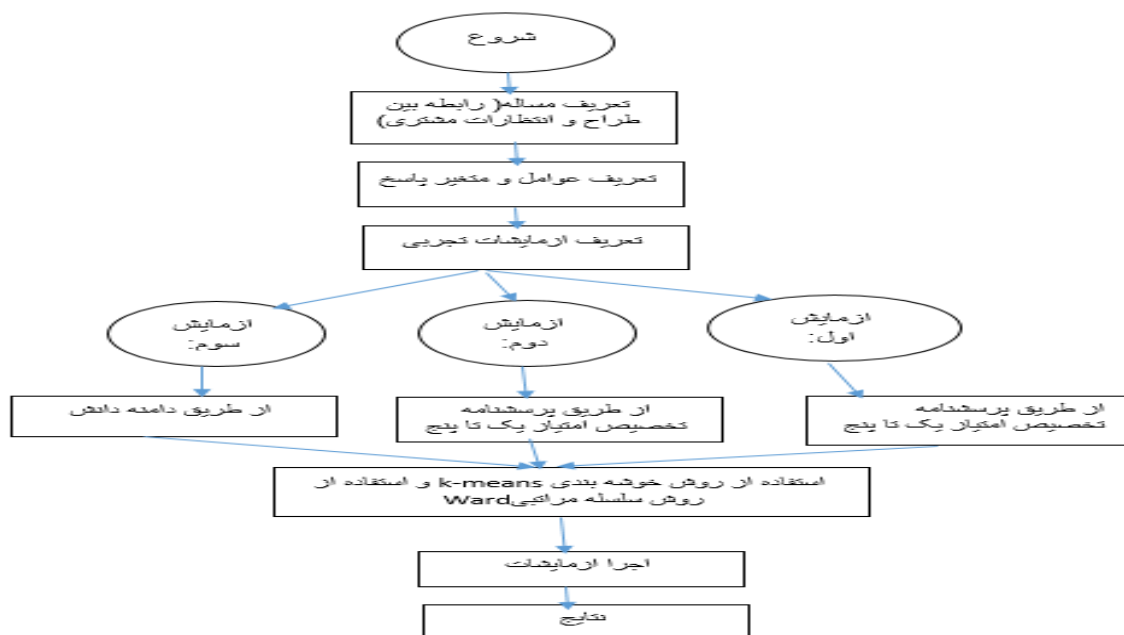
گام دوم: تعریف عوامل و متغیر پاسخ

تعریف عوامل و متغیر پاسخ که از داده‌های حاصل از تعاملات با مشتریان (مبتنی بر حوزه دانش) بدست می‌آید. 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 (شکل 10). 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 می‌باشد. عوامل مزاحم به آن دسته از فاکتورهایی گفته می‌شود 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، 2017).

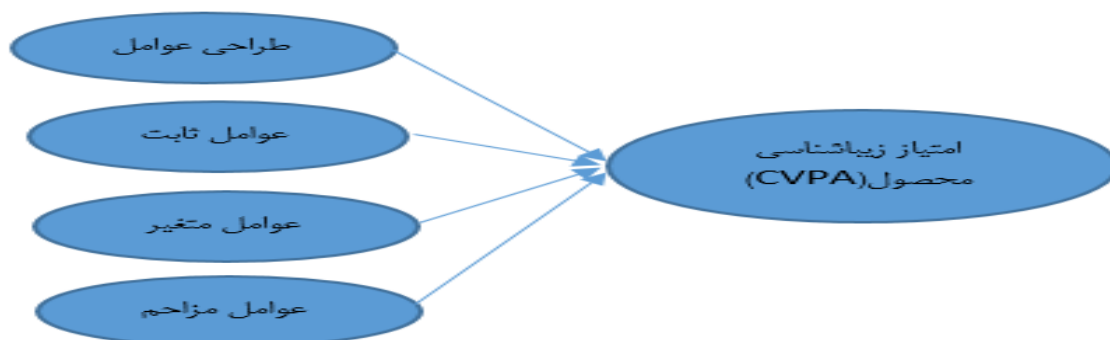
گام سوم: تعریف آزمایشات تجربی

در اینجا با تعریف سه آزمایش تجربی اصلی برای رسیدن به اهداف موردنظر وارد فاز عملیاتی خواهیم شد. آزمایش اول اطلاعات درباره ترجیحات کاربران درباره محصول موردنظر است. آزمایش دوم در مورد پاسخ و عواملی است که مربوط به ظاهر 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، 2017). 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، 2017) 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 ویژه گیهای محصول، نظرات کاربران را به عنوان ورودی طراحی در نظر می‌گیرند، امتیاز هر ورودی مجموعه امتیازاتی است که پاسخ کاربر و اظهاراتش در مورد محصول است. (تعیین جامعه آماری به منظور تکمیل پرسش‌نامه نیازمند پارامترهایی است که بعداً به آن اشاره خواهیم کرد)



شکل 9: روشی سیستماتیک جهت بدست آوردن فاکتورهای اساسی مورد رضایت مشتریان در طراحی یک محصول (لین و همکاران، 2017)

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



شکل 10: عوامل و متغیر پاسخ (لین و همکاران، 2017)

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

گام پنجم: اجرا آزمایشات

در این مرحله از اجرا سفارشات (ترتیب اجرا سفارشات) به عنوان ابزار مسدودسازی (بلوک کردن) جهت صحت آزمایشات به منظور کاهش اثر آن بر انتظارات مشتریان در اجرا آزمایشات استفاده می‌کنیم؟ به عنوان مثال اگر N نوبت بوک (محصول) داشته باشیم M روش اجرا جهت مسدودسازی خواهیم داشت که در جدول 8. نمایش داده شده است. در جدول 8. به عنوان مثال طراحی کاربر به عنوان نوع اول، توالی تست محصول آن به صورت:

(محصول 2 و محصول 3 و محصول N) (تعداد محصولات مورد نظر) و محصول 1.

جدول 8: نوع اجرا دستورات (سفارشات) روی صحت آزمایشات (لین و همکاران، 2017)

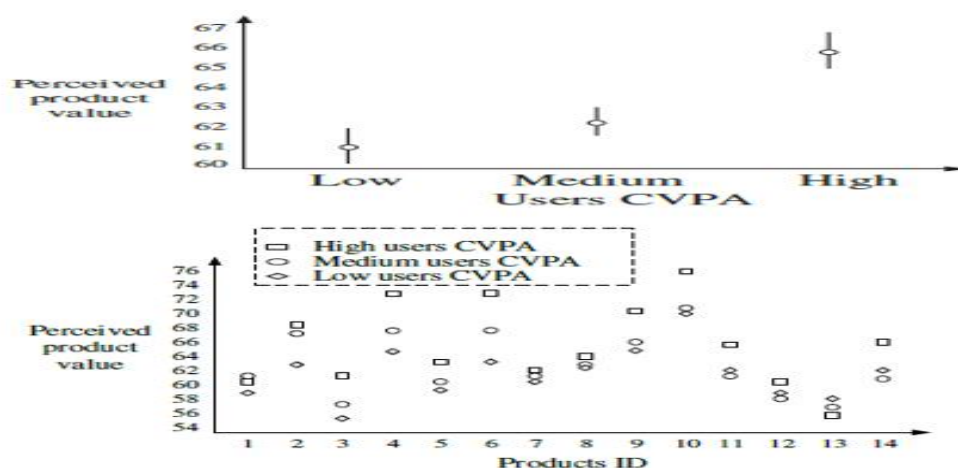
Table 8 : The type of execution of orders (orders) on the accuracy of tests (Lin et al., 2017)

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

گام ششم: نتایج

1. بر اساس تحلیل واریانس محصول مورد نظر ما بر اساس امتیاز رتبه بندی شده و دامنه آن محدود خواهد شد. 2. 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) تقسیم بندی می شود. این تقسیم بندی برای طراحان بسیار مفید بوده بطوریکه آنها می توانند با استفاده از این تقسیم بندی جامعه هدف را پوشش دهند. شکل 11. نحوه توزیع را نشان می دهد. این خوشه بندی به طراحان کمک می کند که برای هر ذائقه به فراخور جمعیت شناختی آن و مفروضات علوم شناختی و تحصیلات آکادمیک و جنسیت و ... یک طراحی خاص باکیفیت خاص فراهم نماید. تحلیل و مقایسه بین خوشه ها جهت تقویت اهداف فوق بسیار مفید است. 3. رسیدن به فاکتورهای اساسی که بیشترین تاثیر را در برآوردن انتظارات مشتریان دارد. نمونه از این تکنیکها در جدول 9 نشان داده شده است. جهت رضایت مشتریان در حوزه پوشاک و برند از تکنیک خاصی استفاده می شود که به طور مختصر به این آزمایشات تجربی هم اشاره خواهیم کرد. به طور کلی مهمترین فاکتورها رضایت مشتریان در حوزه لوازم پوشیدنی عبارتند از: 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 می باشد (لین و همکاران، 2017). جدول 7. منبع (لین و همکاران، 2017) خصوصیات هر یک از فاکتورهای فوق را توصیف می کند. جدول 8. منبع (لین و همکاران، 2017) رابطه ظاهر محصول و اعضای بدن انسان را مشخص نموده است، که براساس تجربیات کاربران استوار است که این تجربیات از تماشا ویدئو (محصول) و تجربه محصول و شرکت در مصاحبه و یا تکمیل پرسشنامه به دست می آید. جدولهای ضمیمه 1 و 2. منبع (لین و همکاران، 2017) نمونه سوالات و پرسشهایی برای طبقه بندی ظاهر به عوامل اصلی گروه ها است. در جدول 9. منبع (لین و همکاران، 2017) ابتدا جامعه هدف (از لحاظ شخصیتی) طبقه بندی شده و سپس در مورد خصوصیات هریک از اعضا جامعه هدف توضیحاتی داده می شود.



شکل 11: 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

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 جدول 10. منبع (لین و همکاران، 2017) نشان داده شده است. به این ترتیب با توجه به نظرات کاربران در جدول 11. منبع (لین و همکاران، 2017) 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 تخصیص داده شده به هر ستون جدول 11. منبع (لین و همکاران، 2017) قراردادی بوده و تنها ملاک تعیین امتیازات خود کاربران یا جامعه مصرف‌کنندگان است). آنچه هدف ما از بیان تحقیق موردنظر و شرح روش فوق، این است که با فاکتورهای اساسی به دست آمده در این رویکرد ابتکاری و تجربی بر حسب امتیاز مرکزیت محوریت زیبایی‌شناسی محصول و در نظر گرفتن آن به عنوان فاکتور ورودی در الگوریتم شکل 1. در گام هفتم (طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم) ما به خواسته اصلی خود یعنی نیل به رضایت مشتریان دست یابیم.

طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم با رویکرد رضایت مشتریان چه تفاوتی با طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی (پیش از انقلاب صنعتی چهارم) با هدف رضایت مشتریان دارد؟ ضعفها و قوت ها

جدول 9. مهمترین تفاوتها روشهای طراحی آزمایشات با رویکرد رضایت مشتریان در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی با هدف رضایت مشتریان نشان داده است. نکته مهم این است که این تفاوتها علاوه بر تفاوتهای جدول 7. است که بخاطر عدم تکرار از آوردن آنها اجتناب نمودیم. دانستن این تفاوتها و ریشه های آن برای شرکت ها و کسب و کارهای بزرگ با دارا بودن مشتریان با سلاقی متفاوت امری حیاتی است.

جدول 9: مهمترین تفاوتها روشهای طراحی آزمایشات با رویکرد رضایت مشتریان در انقلاب صنعتی چهارم در مقایسه با طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی با هدف رضایت مشتریان

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

توضیحات	طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم	طراحی آزمایشات با رویکرد سنتی	نام مؤلفه
	کاهش هزینه طراحی آزمایشات	کاهش هزینه طراحی آزمایشات کم	رضایت مشتریان
انطباق با نیاز مشتری (علت انعطاف)	بسیار	کم	انعطاف پذیری
	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

مدیریت ریسک و قابلیت اطمینان	متوسط	بالا	
قیمت تمام شده محصول	متوسط	پایین	

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق در ابتدا با معرفی روش طراحی آزمایشات به عنوان 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 به عنوان یکی از اهداف متفاوت (چندگانه) طراحی آزمایشات 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 روش های سنتی تولید و همگام با دیجیتالی شدن و تلفیق تکنولوژی با جهانی شدن و تکاپو برای گرفتن سهم عمده بازار، ناگزیر به تعریف انقلاب صنعتی چهارم و الزامات آن را در صنایع مختلف پرداختیم. در ادامه نشان دادیم که همان طور مدیریت کیفیت سنتی ابزار مناسبی جهت تقویت تولید سنتی بوده است، کیفیت 4. نیز این نقش را در انقلاب صنعتی چهارم ایفا می کند. بطوریکه برای استقرار آن نیازمند پیاده سازی اجزا و ابعاد کیفیت هستیم که در بخش 3. به آن اشاره کردیم. در انتها با چالش های جدید در تقاضا مشتریان و روش های طراحی آزمایشات متناسب با این نیازها پرداختیم. در ادامه مدلی را که به عنوان ابزاری قدرتمند (شکل 6.) جهت طراحی آزمایشات معرفی نمودیم و پس از مشخص نمودن تمامی الزامات و گام های آن، به بررسی انعطاف پذیری طراحی آزمایشات 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 دوباره کاری ها ارتقا دهد، پرداختیم.

مرور ادبیات صورت گرفته در بخش مقدمه (نتایج جدول 1.) اهمیت روش طراحی آزمایشات را در بستر تولید سنتی نشان می دهد. با انجام تحقیقات بیشتر در حوزه انقلاب صنعتی چهارم (نتایج جدول 2.) و همچنین تمرکز بر روی مدیریت کیفیت 4. (نتایج جدول 3.) به عنوان ابزار کیفیت همگام با تحولات انقلاب صنعتی قرن معاصر (انقلاب چهارم) نتایج بدست آمده از مرور ادبیات گذشته این شکاف را اثبات می نماید. نتایج نشان می دهد که سهم عمده ای از تحقیقات گذشته یا نسبت به پیاده سازی روش طراحی آزمایشات بی تفاوت بوده یا سهم آن در انقلاب صنعتی چهارم و تحولات ناشی از آن ناچیز بوده است. پس نتایج بدست آمده ما را بسمت حلقه مفقوده طراحی آزمایشات در راستا انقلاب صنعتی چهارم راهنمایی می نماید. پس این تحقیق با تمرکز بر این اصل طرح ریزی شده و با ادغام آن با دو اصل 1: تجربیات مصرف کنندگان کالا نهایی بر اساس طراحی آزمایشات الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است (شکل 9.). 2: روش و ابزار پیاده سازی طراحی آزمایشات در بستر انقلاب صنعتی چهارم برای رسیدن رضایت حداکثری مشتریان است. می توان گفت نتایج جدولهای 7 و 9 که از مرور ادبیات الهام گرفته شده میزان رسیدن به اهداف فوق (تحقیق کنونی) را به میزان بالایی تایید نموده است و اهمیت این تحقیق را جهت پیاده سازی در محیط های صنعتی دو چندان می نماید. به بیان دیگر می توان با قدرت استدلال نمود نوآوری و برتری این مقاله نسبت به تحقیقات پیشین توجه به مفهوم جامع و کارا طراحی

آزمایشات با توجه به تجربیات کاربران در بستر توسعه انقلاب صنعتی چهارم بوده است که در هیچیک از مقالات گذشته بطور جامع به آن توجه نشده است.

در واقع می‌توان گفت این تحقیق بر چهار اصل استوار است: 1. ارائه مدلی جهت طراحی آزمایشات در انقلاب صنعتی چهارم به‌عنوان ابزار آماری و تحلیل کمی بسیار قوی کیفیت 4. می‌تواند به‌درستی نقش خود را جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی صنعت هوشمند عمل نماید. 2. این تحقیق جهت استفاده از مناسب‌ترین روش در میان روش‌های متنوع طراحی آزمایشات شاخص‌های مطلوبی را در اختیار آزمایش‌کننده می‌گذارد. 3. این تحقیق جهت یافتن معیار مطلوب رضایت مشتریان الگوریتم مناسبی ارائه می‌دهد. 4. استفاده از روش طراحی آزمایشات 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 آزمایشات و الزامات آن را در انقلاب صنعتی پنجم می‌توان بررسی نمود و همچنین می‌توان با بکار بردن طراحی آزمایشات در حوزه‌های متفاوت به بررسی نتایج حاصل از آن پرداخت. این امر به‌خصوص زمانی که طراحی آزمایشات و هزینه اجرای آن باعث مقاومت در اجرا این روش می‌شود، و زمانی که طراحی آزمایشات انجام نمی‌شود و رقبا به دنبال افزایش نفوذ خود در بازار هستند و میزان سرمایه اولیه (در انقلاب صنعتی چهارم عمدتاً بالاست) جهت پیاده‌سازی طراحی آزمایشات بالاست، می‌تواند توجیه‌کننده لزوم به‌کارگیری این روش سنتی در عصر دیجیتال شدن گردد. (لازم به ذکر است تکنیک‌های اقتصاد مهندسی در اینجا می‌تواند مفید باشد).

تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافع ندارند.

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, 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, 5169.
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, 3551. **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 method of experimental design for new product design 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, 6149. 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 Experiment Study of Customer Effort, Expectation and , 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: Mediation 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:10.1080/00207543.2021.1942285
- 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, ahead-of-print No. **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 in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32, 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, 3107 **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, 102369. **doi:10.1016/j.jobbe.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.dcm.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, 15495. **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. <https://www.blog.lnsresearch.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 manufacturing sector. *Sensors International*, 2, 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), 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* **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:10.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, 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.
<https://doi.org/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, 101247.
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) approach. *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*. **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)*, 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*. **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).
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). <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, 842141. **doi:10.3389/fpsyg.2022.842141**