Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 44, Winter 2022, Pages 37-57 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.4.37

Designing an Integrated Method for Increasing Quality of Product through Its Lifetime by Taguchi Design of Experiments and PAF Model (The Case of Entekhab Industrial Group)

Arash Shahin[*], Nassibeh Janatyan[**], Mahya Khodaparastan[***]

Abstract

The aim of this study is to present an integrated method to increase the quality of the product during its lifetime through the design of Taguchi experiments and PAF model of quality costs. For this purpose, the combination of the importance of quality costs in the life cycle of the product by combining the PAF quality cost model and designing Taguchi experiments in the Entekhab industrial group in Isfahan has been studied. In this study, four phases of the selected product life cycle (introduction, growth, maturity and decline), at four levels (importance of prevention, evaluation, internal failure and external failure) are considered as control factors. In this study, product quality is considered as a response factor, which is considered to obtain the maximum value. The results of this study on the selected product of Entekhab Industrial Group have been determined. In the introduction stage and growth of product life cycle prevention policy have been selected. In the maturity and decline stage, the appraisal and domestic failure policy has been chosen as optimal levels. By following these policies, the quality of selected product during its lifetime increases.

Keywords: Quality of Product; Taguchi Design of Experiments; Signal to Noise Ratio; PAF Model; Product Life Cycle.

Received: May. 31, 2020; Accepted: Agu. 03, 2021.

* Professor, University of Isfahan.

** Assistant Professor, Shahid Ashrafi Esfahani University (Corresponding Author).
Email: n.janatyan@yahoo.com

*** MSc, University of Isfahan.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۴۰۰، ص‌ص ۳۷ – ۵۷ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.4.37

ارائه روشی تلفیقی برای افزایش کیفیت محصول در دوره عمر آن با استفاده از طراحی آزمایش‌های تاگوچی و الگوی هزینه‌های کیفیت (مطالعه موردی: گروه صنعتی انتخاب)

آرش شاهین*، نسیبه جنتیان، محیا خداپرستان*****

چکیده

هدف این پژوهش ارائه روش تلفیقی برای افزایش کیفیت محصول در دوره عمر آن از طریق طراحی آزمایش‌های تاگوچی و الگوی هزینه‌های کیفیت است. به این منظور تعیین ترکیب اهمیت هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول با تلفیق الگوی هزینه‌های کیفیت PAF و طراحی آزمایش‌های تاگوچی برایی نخستین بار در «گروه صنعتی انتخاب اصفهان» موردمطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش چهار فاز چرخه عمر محصول انتخابی (معرفی، رشد، بلوغ و افول)، در چهار سطح (اهمیت هزینه‌های پیشگیری، ارزیابی، شکست داخلی و شکست خارجی) به‌عنوان عوامل کنترل در نظر گرفته شده و متغیر پاسخ، کیفیت محصول است که هدف به‌دست‌آوردن حداکثر آن است. نتایج این روش نشان داد که در معرفی و رشد سیاست پیشگیری، در مرحله بلوغ سیاست ارزیابی و در مرحله افول سیاست شکست داخلی به‌عنوان سطوح بهینه استراتژی های هزینه کیفیت انتخاب شده اند. با پیگیری این سیاست‌ها کیفیت محصول انتخابی در طول عمر آن افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: کیفیت محصول؛ طراحی آزمایش‌های تاگوچی؛ نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد؛ الگوی هزینه‌های پیشگیری ـ ارزیابی ـ شکست؛ چرخه عمر محصول.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲.

* استاد، دانشگاه اصفهان.

** استادیار، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی (نویسنده مسئول).

Email: n.janatyan@yahoo.com

*** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

۱. مقدمه

طراحی آزمایش‌های تاگوچی روش‌شناسی یافتن ترکیبات بهینه عوامل کنترل برای غیرحساس‌کردن محصول یا خدمت در مقابل عوامل بدی کارکرد است [۱۵]. در روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی، سطوح عوامل مطلوبیت توسط کاربران سیستم و سطوح عوامل کنترلی توسط طراحان سیستم تعیین می‌شوند؛ درحالی‌که سطوح عوامل بدی کارکرد در شرایط عملیات را نمی‌توان تعیین کرد. روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده، مهندسان را قادر به تهیه اطلاعات موردنیاز برای تصمیم‌گیری با صرف تلاش کمتر می‌کند [۷]. روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی نسبت به سایر روش‌های طراحی آزمایش‌ها دارای تعداد آزمایش‌های کمتر است و هم‌زمان موجب بهینه‌شدن جواب‌های تابع پاسخ از بُعد میانگین و واریانس هم‌زمان می‌شود [۱۸]. متداول‌ترین طبقه‌بندی در مبانی نظری حسابداری مدیریت، هزینه‌های کیفیت را به چهار طبقه تقسیم می‌کند که عبارت‌اند از: هزینه‌های پیشگیری[1]؛ هزینه‌های ارزیابی[2]؛ هزینه‌های شکست داخلی[3] و شکست خارجی[4]. این طبقه‌بندی به‌عنوان الگوی هزینه‌های کیفیت PAF[5] شناخته می‌شود [۲۴]. هزینه‌های پیشگیری شامل کلیه هزینه‌های مرتبط با شناسایی، پیشگیری یا کاهش ریسک بروز عدم‌انطباق یا عیب است. هزینه‌های ارزیابی شامل هزینه‌هایی است که صرف انجام اقداماتی برای اطمینان الزامات کیفی اعم از تصدیق و کنترل کیفیت در کلیه مراحل طراحی، خرید و تولید می‌شود. هزینه‌های شکست داخلی هزینه‌هایی است که در داخل سازمان به علت عدم‌انطباق و معیوب‌بودن قطعات و تولیدات در هر یک از مراحل طراحی، تولید ایجاد می‌شود و هزینه‌هایی از قبیل ضایعات، دوباره‌کاری‌ها، بازرسی مجدد، اقدام اصلاحی را دربرمی‌گیرد. هزینه‌های شکست بیرونی این گروه، هزینه‌هایی را شامل می‌شود که پس از دریافت محصول توسط مشتری ایجاد می‌شوند و تا پیش از به‌کارگیری محصول توسط مشتری، مشخص و کشف نشده‌اند.

بگ[6] (۲۰۲۱) به بررسی طراحی آزمایش‌های تاگوچی در توسعه محصولات دارویی پرداخته است [۶]. اردهانی و همکاران[7] (۲۰۲۱)، ترکیب بهینه پارامترها برای تولید میوه‌های خشک با استفاده از ارائه‌های متعامد تاگوچی و نسبت S/N را بررسی کردند [۴]. یودها و همکاران[8] (۲۰۱۹)، با استفاده از روش تاگوچی پارامترهای بهینه در فرآیند تولید را جست‌وجو کردند؛

1. Prevention costs
2. Appraisal costs
3. Internal failure costs
4. External failure costs
5. Prevention, Appraisal and Failures costs (PAF)
6. Beg
7. Ardhani et al.
8. Yudha, et al.

به‌گونه‌ای که هزینه‌های ازدست‌دادن کیفیت را به حداقل برساند [۲۸]. رجیکومار و همکاران[1] (۲۰۱۹) به ارائه ابعاد اصلی خدمات بهداشتی درمانی و سطح مطلوب آن‌ها با استفاده از رویکرد تاگوچی پرداختند [۱۷]. تلفیق مدل کانو و الگوریتم تاگوچی برای مدل‌سازی طراحی محصول برای محصول کابل انجام شده است [۱۰]. لی و ژو[2] (۲۰۱۷)، یک رویکرد طراحی آزمایش‌های تاگوچی که با استفاده از یک روش انتگرال فازی مبتنی بر تاگوچی برای طراحی فرم مطلوب محصول استفاده می‌شود، ارائه دادند [۱۲]. ارسلان اغلو و یگیت[3] (۲۰۱۶)، اثر تابش گرمایی چراغ‌های روشنایی بر راحتی حرارتی انسان را با استفاده از روش تاگوچی بررسی کردند [۵]. رادفر و محمدی تبار (۲۰۱۹)، یک مدل ریاضی جدید به‌منظور بهینه‌سازی دو هدفه مسئله مدیریت موجودی توسط فروشنده در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی با مجازبودن کمبود، محدودیت تعداد سفارش‌ها و با توجه به الزامات زیست‌محیطی و همچنین افزایش قابلیت اطمینان در خطوط تولید ارائه دادند. آن‌ها برای تنظیم پارامترهای مدل از روش تاگوچی استفاده کردند [۱۶]. شاهین و همکاران (۱۳۹۳)، یک رویکرد تلفیقی از مدل کانو و طراحی آزمایش‌های تاگوچی بر اساس مهندسی کانسی به‌منظور طراحی محصول مطابق با نیازهای مشتری در صنعت خودرو ارائه دادند. آنان با استفاده از تلفیق سه روش مهندسی کانسی، مدل کانو و طراحی آزمایش‌های تاگوچی، برای شناسایی، دسته‌بندی و اولویت‌بندی نیازهای احساسی مشتریان (کانسی) در صنعت خودرو، رویکردی جدید پیشنهاد داده اند تا سبب جلب رضایت بیشتر مشتریان شود [۲۰]. مروتی و خوانچه‌مهر (۱۳۹۳) با به‌کارگیری طراحی آزمایش‌های تاگوچی به بررسی یافتن بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی، به‌منظور پیش‌بینی تقاضای نفت و گاز پرداختند. بدین منظور، ابتدا با بررسی مطالعات گذشته در حوزه پیش‌بینی انرژی، مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تقاضای نفت و گاز و مصرف انرژی مشخص شدند و با مطالعه پژوهش‌های مرتبط با حوزه شبکه‌های عصبی مصنوعی، مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر عملکرد شبکه‌های عصبی شناسایی شد؛ سپس داده‌های مربوطه جمع‌آوری و به‌عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد، با استفاده از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی، بهترین ساختار شبکه عصبی به‌منظور پیش‌بینی تقاضای نفت و گاز طراحی شد [۱۴]. شاهین و جنتیان (۱۳۹۰) به طراحی آزمایش‌های تاگوچی ابعاد کیفیت خدمات با تلفیق آزمایش‌های تاگوچی و روش سروکوال در «آژانس مسافرتی ایران تراول» پرداختند [۱۸]. در هیچ‌کدام از پژوهش‌های پیشین ترکیب بهینه اهمیت هزینه‌های کیفیت در فازهای چرخه عمر محصول با تلفیق هزینه‌های کیفیت و طراحی آزمایش‌های تاگوچی انجام نشده است.

1. Rejikumar, et al.
2. Li & Zhu
3. Arslanoglu & Yigit

ر زمینه هزینه‌های کیفیت، وانگ و همکاران[1] (۲۰۲۱)، یک روش بهینه‌سازی برای ایجاد تعادل بین هزینه، کیفیت و ضایعات ارائه دادند. روش پیشنهادی در عین تولید ضایعات کمتر، محصولات رضایت‌بخش‌تری را با هزینه کمتر تولید می‌کند [۲۷]. الگالو و همکاران[2] (۲۰۱۹)، یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی ارائه کردند که هزینه رضایت مشتری و هزینه کیفیت را در زنجیره تأمین ادغام می‌کند [۱]. دوارته و همکاران[3] (۲۰۱۸)، یک مدل کلی هزینه‌های کیفیت برای یک بانک در کلمبیا ارائه کردند و به مبحث متعادل‌کردن ریسک و درآمد و هزینه کیفیت در صنعت بانکداری پرداختند [۸]. فاروک و همکاران[4] (۲۰۱۷)، با الگوبرداری از پس‌انداز هزینه از هر استراتژی و ترسیم در برابر نرخ‌های ناسازگار ارسال‌شده به مشتری و هزینه‌های دیگر شکست خارجی، استراتژی بازرسی را بهینه‌سازی کردند [۹]. انور خطیبی و همکاران (۱۳۹۶)، عوامل مؤثر بر استقرار و توسعه نظام هزینه‌یابی کیفیت در شرکت‌های داروسازی را بررسی کردند [۳]. عموزاد و همکاران (۱۳۹۶)، مدل‌های ریاضی موازنه زمانی، هزینه‌ای، کیفی و ریسک پروژه‌هایی با پارامترهای تصادفی و اعـداد خاکسـتری را توسعه دادند. آن‌ها برای انجام یک سری فعالیت‌ها در پروژه‌ها به دنبال ترکیب بهینه برای زمان، هزینه و کیفیت پروژه و لحاظ‌کردن ریسک بودند؛ درحالی‌که اطلاعات در این زمینه ناکـافی و محـدود اسـت. برای حل این مدل، پس از به‌دست‌آوردن مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد خاکستری، نسبت به حل آن اقدام شد [۲]. سلیمان‌نژاد و رضایی زواری (۱۳۹۴)، بهینه‌سازی هزینه‌های کیفیت با استفاده از تحلیل حالات بالقوه شکست و طراحی آزمایش‌های تاگوچی را بررسی کردند [۲۳]. به نظر می‌رسد که در پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون هزینه‌های کیفیت در طول عمر محصولات در فازهای معرفی، رشد، بلوغ و افول موردمطالعه قرار نگرفته است. درواقع در این پژوهش‌ها مطالعات مربوط به هزینه‌های کیفیت در سراسر عمر محصول دارای اهمیت یکسان است. درصورتی‌که با توجه به مرحله‌ای که محصول در آن قرار دارد، اهمیت انواع هزینه‌های کیفیت برای آن متفاوت است.

مسئله اصلی در این پژوهش این است که چگونه می‌توان به طراحی ترکیب بهینه اهمیت هزینه‌های کیفیت در فازهای چرخه عمر محصول دست یافت تا کیفیت محصول افزایش یابد. به این منظور چهار فاز چرخه عمر محصول (معرفی، رشد، بلوغ و افول)، در چهار سطح (اهمیت هزینه پیشگیری، ارزیابی، شکست داخلی و شکست خارجی) به‌عنوان فاکتورهای کنترل در نظر گرفته شده اند. در ادامه نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد (S/N) محاسبه شده و ترکیب بهینه سطوح مختلف فازهای چرخه عمر محصول مشخص شده است. درمجموع نوآوری این پژوهش شامل بررسی و شناسایی سیاست‌هایی از قبیل هزینه‌ها کیفیت در فازهای مختلف چرخه عمر

1. Wang, et al.
2. Alglawe, et al.
3. Duarte, et al.
4. Farooq, et al.

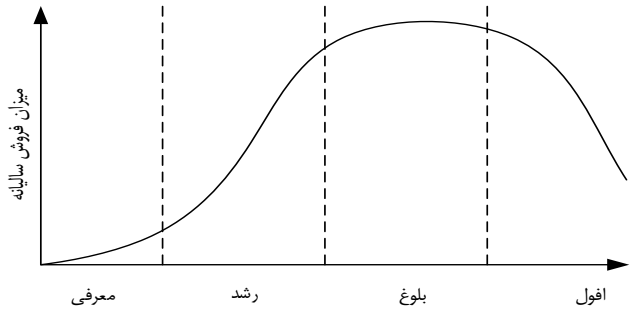
محصول است که باعث افزایش کیفیت محصول می‌شود. انجام این پژوهش جدید هم از دید مباحث نظری به گسترش و تقویت پژوهش‌ها در این زمینه منجر می‌شود و هم از دید کاربردی می‌تواند شروع خوبی برای طراحی ترکیب هزینه‌های کیفیت متناسب با فازهای چرخه عمر محصول با استفاده از سیستم طراحی آزمایش‌های تاگوچی در ایران باشد. نتیجه این پژوهش باعث ایجاد توان رقابتی، بهبود محصول، کمک به کاهش بهای تمام‌شده و امکان بهبود تولید محصول در هر فاز چرخه عمر محصول و درنهایت افزایش کیفیت محصول در طول عمر آن می‌شود.

در ادامه، مفاهیم چرخه عمر محصول و طراحی آزمایش‌های تاگوچی بررسی می‌شود. در قسمت روش‌شناسی، متغیرها و روش انجام پژوهش و یافته‌ها مطالعه می‌شود. در ادامه یافته‌ها بررسی شده و در پایان نتایج، محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

چرخه عمر محصول. چرخه عمر محصول با تاریخچه فروش‌های یک محصول یا یک طبقه محصول سروکار دارد. این مفهوم نشان می‌دهد که فروش یک محصول به شکل قابل‌پیش‌بینی در طول زمان تغییر کرده و اینکه هر محصولی چهار مرحله مشخص را طی می‌کند. مراحل معرفی یا تولد، رشد، بلوغ و افول از جمله مراحل چرخه عمر محصول هستند. منحنی عمر فروش سالانه محصول به‌ازای هر مرحله در شکل ۱، نشان داده شده است. هر یک از مراحل چرخه عمر محصول، فرصت‌ها و تهدیدهای مختلفی را فرا روی یک شرکت یا مؤسسه خدماتی قرار می‌دهند و به این ترتیب بر استراتژی آن شرکت یا مؤسسه و همچنین طرح‌های بازاریابی آن تأثیر می‌گذارند. با درک ویژگی‌های مراحل چرخه عمر، یک شرکت می‌تواند به شکل بهتری اهداف عملیاتی خود را تعیین کرده و استراتژی‌ها و طرح‌های خود را طراحی کند. بسیاری از محصولات تمام مسیر منحنی چرخه عمر را طی نمی‌کنند؛ زیرا درصد بالایی نمی‌توانند مرحله نوزادی یا تولد را با موفقیت طی کنند و از این چرخه خارج می‌شوند. برخی محصولات نیز هرگز نمی‌میرند (مانند تلویزیون و خودرو) [۲۶].

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱. مراحل دوره عمر محصولات [۱۳]

طراحی آزمایش‌های تاگوچی. تنها راه افزایش کیفیت محصولات و خدمات، استفاده از فناوری بالاتر، مواد اولیه گران‌تر (با کیفیت عالی) و نیروی انسانی با تخصص بالا نیست. طراحی محصول با کیفیت بالا و فرآیند کم‌هزینه، یک ابزار فناورانه و اقتصادی برای مهندسی محسوب می‌شود. یک راه مؤثر و ساختاریافته برای دستیابی به این ابزار رقابتی، روش جدید بهینه‌سازی طراحی برای عملکرد، کیفیت و هزینه است که این روش «طراحی آزمایش» نام دارد [۱۵].

استفاده از این روش می‌تواند در سطح بالایی، توانایی سازمان را برای راه‌یابی به دروازه‌های بازار، پایین‌نگه‌داشتن هزینه‌های تولید و توسعه و تحویل محصولات باکیفیت بهبود بخشد. روش طراحی آزمایش‌ها که نخستین بار توسط تاگوچی در سال ۱۹۸۶ مطرح شد، از روش‌های مهم در بهبود کیفیت محسوب می‌شود. تاگوچی (۱۹۸۱)، اثرزدایی[1] را مرحله‌ای تعریف کرده است که عملکرد فناوری، محصول یا فرآیند به عواملی که در محیط تولیدی یا محیط به‌کارگیری ایجاد تغییر می‌کنند، کمترین حساسیت را داشته باشد و با کمترین هزینه تولیدی عمر کند [۲۵]. روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی نسبت به سایر روش‌های طراحی آزمایش‌های دارای آزمایش‌های کمتر است و هم‌زمان موجب بهینه‌شدن جواب‌های تابع پاسخ از بعد میانگین و واریانس هم‌زمان می‌شود [۱۸].

انواع پارامتر در طراحی آزمایش‌های تاگوچی. در طراحی آزمایش‌های تاگوچی دو نوع متغیر (متغیر بدی کارکرد و متغیر کنترل) بر نتایج طراحی اثر گذار هستند. نمودار طراحی یک محصول یا فرایند در شکل ۲، نشان داده شده است. متغیر پاسخ می‌تواند خروجی محصول یا سایر مشخصات آن باشد. پاسخ موردنظر برای بهینه‌سازی در یک آزمایش طراحی آزمایش‌های تاگوچی «مشخصه کیفی» نامیده می‌شود. بعضی از پارامترها می‌توانند مشخصه کیفی را تحت

1. Robustness

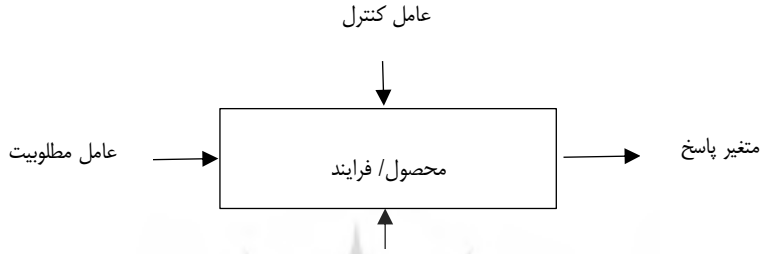
تأثیر قرار دهند، این پارامترها به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

۱. عامل مطلوبیت: این عامل، پارامتری است که توسط مصرف‌کننده محصول برای بیان مقدار موردنظر پاسخ تعیین می‌شود؛

۲. عامل بدی کارکرد: بعضی از پارامترهای خاص نمی‌توانند توسط طراح کنترل شوند و عوامل بدی کارکرد (اختلال) نامیده می‌شوند؛

۳. عامل کنترل: این عوامل می‌توانند به‌صورت آزاد توسط طراح تعیین شوند. هر عامل کنترل مقادیر مختلفی موسوم به سطوح را به خود می‌گیرد.

۴. پاسخ: این عامل می‌تواند محصول یا مشخصات محصول باشد.



شکل ۲. نمودار طراحی یک فرایند یا محصول [۱۵]

نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد. هدف روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی، رسیدن مقدار میانگین به مقدار هدف و کاهش تغییرات در متغیر پاسخ است؛ بنابراین تابع هدف ویژه‌ای که دو هدف بیان‌شده را دبرگیرد، برای روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی شناسایی شده است. این تابع هدف «نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد» (نسبت S/N) نامیده می‌شود و برای مشخصات کیفی متفاوت تغییر می‌کند؛ بنابراین طراحی آزمایش‌های تاگوچی یک فرایند بهینه‌سازی است که در آن تابع هدف نسبت S/N است. این تابع هدف یک فرمول ریاضی است که اثرزدایی طراحی را محاسبه می‌کند. نسبت S/N، نسبت عامل مطلوبیت (میانگین) به عامل بدی کارکرد (تغییرپذیری) است. هر چه این نسبت بزرگ‌تر باشد، اثرزدایی عملکرد بالاتر می‌رود [۲۲].

نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد در سه نوع مسئله قابل‌محاسبه است [۱۶]:

الف) مسئله نوع کوچک‌تر ـ بهتر: در این‌گونه مسائل، مشخصه کیفی پیوسته و غیرمنفی است؛ یعنی می‌تواند هر مقداری را از صفر تا بی‌نهایت به خود بگیرد و مطلوب‌ترین مقدار آن صفر است. نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد در این حالت از رابطه ۱، به‌دست می‌آید:

رابطه (۱) $$\eta = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2)$$

ب) مسئله نوع اسمی ـ بهتر: در این‌گونه مسائل، مشخصه کیفی پیوسته و غیرمنفی است و برای این مسائل می‌توان یک عامل نسبی پیدا کرد. مقدار تابع هدف آن نیز غیرمحدود و صفر است. نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد در این حالت از رابطه ۲، به‌دست می‌آید:

رابطه (۲) $$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \mu)^2$$
$$\eta = 10\log_{10}\frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

ج) مسئله نوع بزرگ‌تر ـ بهتر: در این مسائل همانند مسئله نوع کوچک‌تر ـ بهتر، مشخصه کیفی پیوسته و غیرمنفی بوده و هدف بزرگ‌ترکردن آن تا حد ممکن است. در این مسئله با معکوس‌کردن مشخصه کیفی به مسئله نوع کوچک‌تر ـ بهتر تبدیل می‌شود. نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد در این حالت از رابطه ۳، به‌دست می‌آید.

رابطه (۳) $$\eta = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{Y_I^2})$$

طراحی آزمایش‌های تاگوچی. آزمایش‌های ماتریسی تاگوچی شامل آزمایش‌هایی است که با تغییر مجموعه‌ای از پارامترهای فرآیند یا محصول نتیجه آن از یک آزمایش به آزمایش دیگر مطالعه می‌شود. بعد از انجام آزمایش ماتریسی داده‌های مربوط به همه آزمایش‌ها برای تعیین اثرات پارامترهای مختلف تحلیل می‌شوند. آزمایش‌های ماتریسی با استفاده از ماتریس خاصی که «ارائه‌های متعامد» نامیده می‌شوند، انجام می شوند [۱۵]. نخستین مرحله ساخت ارائه متعامد برای انطباق با هر مسئله خاص عبارت است از: شمارش تعداد کل درجات آزادی که حداقل تعداد آزمایش‌های لازم برای مطالعه همه عوامل انتخابی را نشان می‌دهد. کار به این صورت انجام می‌شود که اگر فرض کنید n_A و n_B تعداد سطوح عوامل A و B باشند، درجه آزادی از رابطه ۴، برای مثال بالا به‌دست می‌آید [15].

رابطه (۴) $$\text{درجات آزادی روابط متقابل A×B} = n_A \times n_B - 1 - (n_A - 1) - (n_B - 1)$$

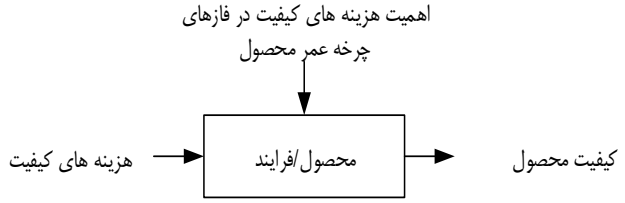
۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای ـ کاربردی است؛ یعنی عمدتاً متوجه نوآوری و رفع مشکلات خاص در جامعه موردنظر است. این مطالعه بر اساس مسئله پژوهش، با توجه به طراحی آزمایش‌ها از نوع توصیفی ـ تحلیل مقایسه‌ای، از نظر زمان جمع‌آوری داده‌ها از نوع پیمایشی ـ مقطعی و از نظر ماهیت داده‌ها کمّی است. مطالعه کاربردی این پژوهش در «گروه صنعتی انتخاب اصفهان» و در شش‌ماهه اول سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است. بدین منظور تعیین ترکیب اهمیت هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول با تلفیق الگوی هزینه‌های کیفیت PAF و طراحی آزمایش‌های تاگوچی برایی نخستین بار در «گروه صنعتی انتخاب اصفهان» موردمطالعه قرار گرفت. متغیرهای پژوهش بر اساس شکل ۲ (نمودار طراحی یک محصول یا فرایند) به چهار گروه متغیر مطلوبیت، متغیرهای بدی کارکرد، متغیرهای کنترل و متغیر پاسخ تقسیم می‌شوند. متغیر مطلوبیت در این پژوهش هزینه‌های کیفیت است و فرض می‌شود متغیرهای بدی کارکرد وجود ندارد. در این پژوهش، چهار فاز چرخه عمر محصول در چهار سطح به‌عنوان عوامل کنترل در نظر گرفته شده‌اند که این عوامل و سطوح آن‌ها در جدول ۱، مشاهده می‌شود. در این حالت متغیر پاسخ کیفیت محصول است که هدف به‌دست‌آوردن حداکثر آن است. این مسئله از نوع بزرگ‌تر ـ بهتر محسوب می‌شود.

جدول ۱. تعیین عوامل کنترلی و سطوح آن‌ها برای طراحی پژوهش

فازهای چرخه عمر محصول	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
معرفی	اهمیت هزینه پیشگیری	اهمیت هزینه ارزیابی	اهمیت هزینه شکست داخلی	اهمیت هزینه شکست خارجی
رشد	اهمیت هزینه پیشگیری	اهمیت هزینه ارزیابی	اهمیت هزینه شکست داخلی	اهمیت هزینه شکست خارجی
بلوغ	اهمیت هزینه پیشگیری	اهمیت هزینه ارزیابی	اهمیت هزینه شکست داخلی	اهمیت هزینه شکست خارجی
افول	اهمیت هزینه پیشگیری	اهمیت هزینه ارزیابی	اهمیت هزینه شکست داخلی	اهمیت هزینه شکست خارجی

به‌طورکلی متغیرهای طراحی پژوهش در شکل ۳، در نمودار طراحی محصول ـ فرایند قابل‌مشاهده است.



شکل ۳. نمودار طراحی محصول ـ فرآیند برای پژوهش

برای به‌کارگیری روش طراحی آزمایش‌ها و استفاده از ارائه‌های متعامد، نخستین گام شمارش درجه آزادی برای ساختن ارائه‌های متعامد است. با جاگذاری تعداد عوامل کنترلی و سطوح آن در رابطه ۴، درجه آزادی برابر ۱۳ به‌دست می‌آید و بر اساس درجه آزادی ۱۳، ارائه متعامد استاندارد با استفاده از جدول آزمایش‌های تاگوچی انتخاب می‌شود. نزدیک‌ترین جدول آزمایش تاگوچی به آن جدول l_{16} (۱۶ نوع آزمایش) است. پرسشنامه این پژوهش با هدف مشخص‌کردن سطوح هر یک از عوامل کنترل برای محصول منتخب در «گروه صنعتی انتخاب» طراحی شده است. این پرسشنامه توسط ۲۰ نفر از خبرگان «گروه صنعتی انتخاب» پاسخ داده شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده از نمونه آماری به شرح زیر تجزیه و تحلیل شده است:

۱. محاسبه نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد (S/N) برای هر آزمایش و انتخاب آزمایش با بالاترین مقدار نسبت S/N؛

۲. تعیین سطوح بهینه هر یک از عوامل کنترلی با استفاده از نرم‌افزار MIINITAB 19 و تحلیل‌های مربوط به آن؛

۳. انتخاب بهترین ترکیب از سطوح هر یک از عوامل کنترل از مقایسه میانگین و واریانس و نسبت S/N آزمایش منتخب از محاسبه S/N با ترکیب بهینه به‌دست‌آمده از نرم‌افزار.

مراحل اجرایی پژوهش در شکل ۴، ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۴. مراحل اجرایی پژوهش

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

به‌منظور بررسی اعتبار روش پیشنهادی، «گروه صنعتی انتخاب» مورد بررسی قرار گرفت. جامعه آماری این پژوهش، خبرگان «گروه صنعتی انتخاب» در نظر گرفته شد. این گروه صنعتی تولیدکننده انواع اجاق‌گاز و محصولات توکار از کارخانه‌های تولیدی لوازم‌خانگی زیرمجموعه‌های «گروه صنعتی انتخاب»، بزرگ‌ترین تولیدکننده لوازم‌خانگی کشور است. روش نمونه‌گیری در این پژوهش از نوع غیرتصادفی هدف‌دار و نمونه آماری شامل ۲۰ نفر از کارشناسان با تأیید مدیران ارشد «گروه صنعتی انتخاب» است (اطلاعات مربوط به کارشناسان در جدول ۲ آمده است). جمع‌آوری داده‌های موردنیاز برای ارزیابی این روش تلفیقی از طریق پرسشنامه انجام شد. این پرسشنامه بر اساس آزمایش‌های پیشنهادی در روش تاگوچی طراحی شده است.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به کارشناسان (پاسخ‌دهندگان)

مدرک تحصیلی	تعداد	درصد	سمت	تعداد	درصد
کارشناسی	۱۰	۵۰	مدیر میانی	۵	۲۵
کارشناسی ارشد	۸	۴۰	مدیر عملیاتی	۱۰	۵۰
دکتری	۲	۴۰	سرپرست	۵	۲۵

در این پژوهش متغیر مطلوبیت ترکیب بهینه اهمیت هزینه‌های کیفیت برای محصول اجاق‌گاز در «گروه صنعتی انتخاب» است و فرض می‌شود متغیرهای بدی کارکرد وجود ندارند. چهار فاز چرخه عمر محصولات در چهار سطح به‌عنوان عوامل کنترل در نظر گرفته شده است. مشخصه کیفی (متغیر پاسخ) کیفیت محصول است. متغیر پاسخ، کیفیت محصول است که هدف به‌دست‌آوردن حداکثر آن است. این مسئله از نوع بزرگ‌تر – بهتر است. برای تعیین متغیر پاسخ مقادیر سطوح در هر یک از عوامل کنترلی که در این پژوهش ضریب اهمیت هزینه‌های پیشگیری، ارزیابی، شکست داخلی و شکست خارجی در هر یک از فازهای چرخه عمر محصول است با استفاده از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط ۲۰ نفر از کارشناسان «گروه صنعتی انتخاب» محاسبه شد. برای مشخص‌کردن ضریب اهمیت هر یک از هزینه‌های کیفیت در این پژوهش از نتایج پژوهش رضایی طادی (۱۳۹۴)، استفاده شده است. وی در پژوهش خود با عنوان «اولویت‌بندی مؤلفه‌های تولید ناب و چابک بر اساس هزینه‌های کیفیت با استفاده از روش تلفیقی آنتروپی شانون و خانه کیفیت (موردمطالعه: گروه صنعتی انتخاب)» به وزن‌دهی انواع هزینه‌های کیفیت از روش آنتروپی شانون به‌عنوان یکی از معروف‌ترین روش‌های محاسبه وزن‌های شاخص‌ها، پرداخته است [۲۹]. در این روش از طریق پرسشنامه، ماتریس تصمیم توسط متخصصان تکمیل و انواع هزینه‌های کیفیت وزن‌دهی شدند. درواقع وزن‌های هزینه‌های کیفیت

محاسبه‌شده در پژوهش رضایی طادی (۱۳۹۴)، برای ضریب اهمیت هزینه‌های کیفیت در «گروه صنعتی انتخاب» در پژوهش حاضر مورداستفاده قرار گرفته است (این تصمیم با توجه به یکسان‌بودن شرایط دو پژوهش اتخاذ شده است). ضریب اهمیت هزینه‌های کیفیت در «گروه صنعتی انتخاب» مطابق جدول ۳، است [۱۹].

جدول ۳. ضریب اهمیت هزینه‌های کیفیت

نوع هزینه	هزینه پیشگیری	هزینه ارزیابی	هزینه شکست داخلی	هزینه شکست خارجی
ضریب اهمیت	۰/۴۲۶۹۲	۰/۲۱۵۸۵	۰/۲۰۹	۰/۱۴۸۲۳

نتایج آزمایش‌های انجام‌شده (۲۰ متغیر پاسخ) به‌طور مختصر در جدول ۴، آمده است. با ورود متغیرهای کنترل و پاسخ به نرم‌افزار MINITAB 19 جداول پاسخ برای مشخصه پاسخ نسبت S/N به‌صورت جدول ۵ نشان داده می‌شود. در جدول ۵، نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد (S/N) برای هر یک از سطوح عوامل کنترل محاسبه شده است که با مقایسه مقدار این نسبت برای سطوح هر عامل، بیشترین مقدار نشان‌دهنده بهترین سطح هر عامل است. در مرحله معرفی سطح اول دارای بیشترین نسبت S/N است؛ بنابراین سیاست معرفی برای این مرحله به‌عنوان بهترین سطح انتخاب می‌شود. مرحله رشد در سطح اول (سیاست پیشگیری)، مرحله بلوغ در سطح دوم (سیاست ارزیابی) و مرحله افول در سطح سوم (سیاست شکست داخلی) به‌عنوان بهترین سطوح انتخاب شدند. در این جدول با مقایسه مقدار دلتا که از تفاضل بیشترین مقدار نسبت S/N به کمترین مقدار آن به‌دست می‌آید، می‌توان متغیرها را بر اساس بیشترین تأثیر بر نسبت S/N رتبه‌بندی کرد. در اینجا مرحله معرفی بیشترین اثر بر نسبت S/N و مرحله بلوغ کمترین اثر را بر این نسبت دارد؛ یعنی با تغییر اهمیت هزینه‌ها در عامل معرفی، نسبت S/N بیشتر تغییر می‌کند تا زمانی که اهمیت هزینه‌ها در مرحله بلوغ تغییر کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴. تعیین متغیر پاسخ (کیفیت محصول)

متغیر پاسخ / آزمایش	y_1	y_2	... ...	y_{19}	y_{20}
۱	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	.	۰/۴۲۷	۰/۳۲۰
۲	۰/۳۸۴	۰/۴۲۹	.	۰/۴۵۰	۰/۴۴۵۸
۳	۰/۳۹۱	۰/۴۲۳	.	۰/۴۳۴	۰/۴۱۲
۴	۰/۳۳۴	۰/۳۶۸	.	/۴۰۰	/۴۱۰
۵	۰/۳۱۸	۰/۳۲۶	.	۰/۲۹۴	۰/۳۰۲
۶	۰.۲۷۰	۰.۲۶۳	.	۰/۲۵۰	۰/۲۴۱
۷	۰/۱۸۳	۰/۱۴۸	.	۰/۲۰۴	۰/۱۵۴
۸	۰/۱۵۱	۰/۱۴۱	.	۰/۱۶۳	۰/۱۵۸
۹	۰.۲۳۷	۰/۲۵۲	.	۰/۲۷۳	۰/۲۸۴
۱۰	۰/۲۱۸	۰/۲۲۰	.	۰/۱۹۶	۰.۲۵۰
۱۱	۰/۱۹۱	۰/۱۵۳	.	۰/۱۸۶	۰/۱۷۴
۱۲	۰/۱۶۳	۰/۱۶۶	.	۰/۰۴۲	۰/۱۴۳
۱۳	۰/۱۷۷	۰/۱۴۸	.	۰/۱۷۳	۰/۱۷۰
۱۴	۰/۲۱۴	۰/۲۳۶	.	۰/۲۲۸	۰/۲۲۵
۱۵	۰/۲۰۴	۰/۲۱۲	.	۰/۱۷۰	۰/۱۶۵
۱۶	۰/۱۹۶	۰/۱۷۱	.	۰/۱۵۲	۰/۰۵۴

جدول ۵. جدول پاسخ برای نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد

سطح	معرفی	رشد	بلوغ	افول
۱	−۷/۷۶۷	−۱۱/۲۰۸	−۱۲/۶۰۴	−۱۳/۳۸۶
۲	−۱۳/۷۱۲	−۱۱/۲۵۸	−۱۲/۱۶۵	−۱۳/۶۶۴
۳	−۱۴/۱۹۹	−۱۳/۵۷۵	−۱۲/۳۲۸	−۱۱/۴۴۸
۴	−۱۴/۶۸۶	−۱۴/۳۲۴	−۱۳/۲۶۸	−۱۱/۸۶۶
دلتا	۶/۹۱۹	۳/۱۱۶	۱/۱۰۳	۲/۲۱۶
رتبه	۱	۲	۴	۳

در جدول ۵، نسبت مطلوبیت به بدی کارکرد (S/N) برای هر یک از سطوح عوامل کنترل محاسبه شده است که با مقایسه مقدار این نسبت برای سطوح هر عامل، بیشترین مقدار نشان‌دهنده بهترین سطح هر عامل است. در مرحله معرفی، سطح اول دارای بیشترین نسبت S/N است؛ بنابراین سیاست معرفی برای این مرحله به‌عنوان بهترین سطح انتخاب می‌شود. مرحله رشد در سطح اول (سیاست پیشگیری)، مرحله بلوغ در سطح دوم (سیاست ارزیابی) و مرحله افول در سطح سوم (سیاست شکست داخلی) به‌عنوان بهترین سطوح انتخاب می‌شوند. در این جدول با مقایسه مقدار دلتا که از تفاضل بیشترین مقدار نسبت S/N به کمترین مقدار آن به‌دست می‌آید، می‌توان متغیرها را بر اساس بیشترین تأثیر بر نسبت S/N رتبه‌بندی کرد. در

اینجا مرحله معرفی بیشترین اثر بر نسبت S/N و مرحله بلوغ کمترین اثر را بر این نسبت دارد؛ یعنی با تغییر اهمیت هزینه‌ها در عامل معرفی، نسبت S/N بیشتر تغییر می‌کند تا زمانی که اهمیت هزینه‌ها در مرحله بلوغ تغییر کند.

به‌منظور تحلیل واریانس عوامل کنترل پژوهش، آزمون تحلیل واریانس در نرم‌افزار MINITAB 19 انجام شد که نتایج آن در جدول ۶، آمده است. مرحله معرفی به‌عنوان نخستین فاکتور کنترلی در سطح خطای ۰/۰۰۸ دارای ارتباط معنادار در سطح خطای ۰/۰۵ متغیر پاسخ است و سایر عوامل در سطح خطای بالاتری ارتباط معنادار با متغیر پاسخ دارند. نتیجه به‌دست‌آمده از این تحلیل از نظر آماری نتیجه رتبه اول مرحله معرفی را تأیید می‌کند.

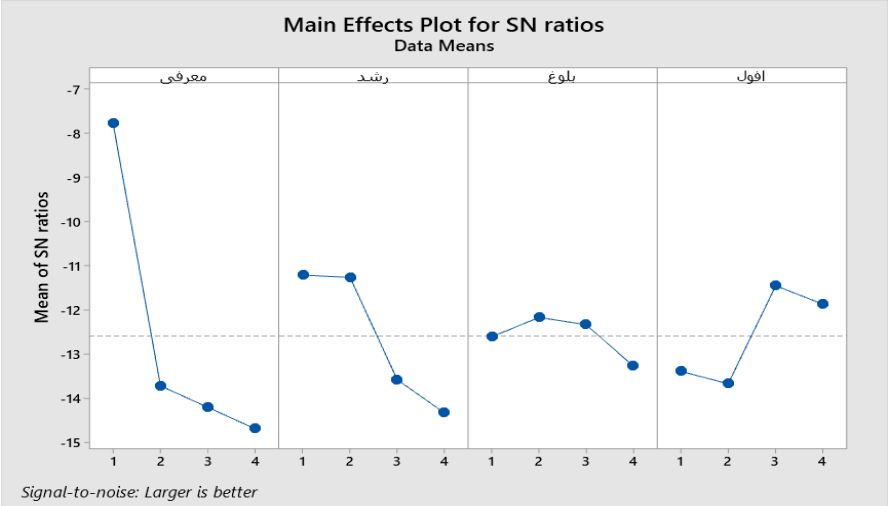
جدول ۶. تحلیل واریانس عوامل برای نسبت S/N

منبع تغییرات	درجه آزادی	تغییرات SS	تغییرات SS به درجه آزادی	تغییرات MS به درجه آزادی	F	P
مرحله معرفی	۳	۳۴/۷۶۶	۳۴/۷۶۶	۱۱/۵۸۹	۳۳/۵۵	۰/۰۰۸
مرحله رشد	۳	۱۳/۹۷۶	۱۳/۹۷۶	۴/۶۵۸	۱۳/۴۹	۰/۰۳۰
مرحله بلوغ	۳	۷/۳۱۸	۷/۳۱۸	۲/۴۳۹	۷/۰۶	۰/۰۰۷۱
مرحله افول	۳	۳۳/۶۹۹	۳۳/۶۹۹	۱۱/۲۳۳	۳۲/۵۲	۰/۰۰۹
باقیمانده	۳	۱/۰۳۶	۱/۰۳۶	۰/۳۴۵	–	–

α =۰.۰۵

شکل ۵، نشان‌دهنده نمودار اثرات اصلی برای نسبت S/N است. مقدار متوسط نسبت S/N فاز معرفی در چهار سطح به‌صورت نقاطی به هم وصل شده است. نقطه بالاتر (سیاست معرفی) نشان‌دهنده مقدار بیشتر نسبت S/N است. در فاز رشد نیز سیاست معرفی بیشترین مقدار، در فاز بلوغ سیاست ارزیابی و در فاز افول سیاست شکست داخلی دارای بیشترین مقدار S/N است که این نتایج درواقع شکل ترسیمی از نتایج جدول ۵، است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵. نمودار اثرات اصلی برای نسبت S/N

با توجه به شیب خطوط فاز معرفی بیشترین تأثیر و پس از آن فازهای رشد، افول و بلوغ به‌ترتیب بیشترین اثر را بر نسبت S/N دارند. این نتایج در جدول ۵، به‌صورت رتبه‌بندی اثرات اصلی نشان داده شده است. در این طراحی برای مرحله معرفی سیاست پیشگیری، در مرحله رشد سیاست پیشگیری، در مرحله بلوغ سیاست ارزیابی و در مرحله افول سیاست شکست داخلی به‌عنوان سطوح بهینه انتخاب شده است. ازآنجاکه ممکن است جواب بهینه در آزمایش‌های انجام‌شده نباشد، قسمتی به‌عنوان پیش‌بینی سطوح بهینه در نرم‌افزار MINITAB 19 در نظر گرفته شده است. نتیجه حاصل از دو ترکیب آزمایش انجام‌شده و پیش‌بینی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار MINITAB 19 به‌صورت جدول ۷، ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج پیش‌بینی نرم‌افزار MINITAB 19 برای انتخاب سطوح ترکیب بهینه

ترکیب	سطوح فاکتورها برای پیش‌بینی				مقدار پیش‌بینی‌شده		
	معرفی	رشد	بلوغ	افول	نسبت S/N	میانگین	انحراف معیار
۱	۱	۱	۱	۱	-۷/۳۹۳	۰.۰۰۰۰۰۰۰	۰/۴۲۶
۲	۱	۱	۲	۳	-۴/۸۱۴	۰/۴۹۵	۰/۰۲۳

با مقایسه نتایج پیش‌بینی و آزمایش انجام‌شده برای دو ترکیب موجود، ترکیب دوم به‌دلیل داشتن نسبت S/N بالاتر و انحراف معیار کمتر به‌عنوان ترکیب بهینه انتخاب می‌شود.

نتیجه طراحی ترکیب اهمیت هزینه‌های کیفیت در فازهای چرخه عمر محصول بر اساس متغیر پاسخ کیفیت محصول به‌صورت زیر است:

۱. فاز معرفی: سطح اول: سیاست پیشگیری؛

۲. فاز رشد: سطح دوم: سیاست پیشگیری؛

۳. فاز بلوغ: سطح سوم: سیاست ارزیابی؛

۴. فاز افول: سطح چهارم: سیاست شکست داخلی.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی به‌منظور تعیین ترکیب بهینه اهمیت هزینه‌های کیفیت برای محصول اجاق‌گاز، در «گروه صنعتی انتخاب» به نظر می‌رسد که برای رسیدن به کیفیت بالاتر محصول اجاق‌گاز در این شرکت تولیدی بهتر است که با توجه به چرخه عمر اجاق‌گاز، سیاست‌های مستخرج‌شده از قسمت بالا را اتخاذ کند؛ یعنی در فاز معرفی و رشد محصول اجاق‌گاز در بازار سیاست‌ها و برنامه‌های پیشگیری از خطا و اشتباه موردپیگیری باشد و در فاز بلوغ محصول در بازار سیاست‌های ارزیابی کیفیت دنبال شود و سعی شود کنترل‌های بصری و حس‌گرهای جلوگیری از خطا در فرایند تولید استفاده شود. در فاز افول محصول اجاق‌گاز در بازار، هزینه‌های شکست داخلی اهمیت می‌یابد و شرکت باید تدابیری اتخاذ کند تا خرابی‌های داخلی در فرایند تولید تا خروج محصول از شرکت تولیدی کاهش یابد.

بگ (۲۰۲۱)، طراحی آزمایش‌های تاگوچی در توسعه محصولات دارویی را بررسی کرد [۶]؛ ولی صحبتی درباره افزایش کیفیت محصول در چرخه عمر محصول نکرده است. اردهانی و همکاران (۲۰۲۱)، ترکیب بهینه پارامترها برای تولید میوه‌های خشک با استفاده از ارائه‌های متعامد تاگوچی و نسبت S/N را بررسی کردند [۴]؛ ولی به بررسی هزینه‌های کیفیت و افزایش کیفیت محصول در چرخه عمر آن نپرداختند. یودها و همکاران (۲۰۱۹) به جست‌وجوی پارامترهای بهینه با استفاده از روش تاگوچی در فرآیند تولید پرداختند؛ به‌گونه‌ای که هزینه‌های ازدست‌دادن کیفیت را به حداقل برساند [۱۸]؛ ولی صحبتی از افزایش کیفیت محصول در چرخه عمر محصول نکردند. دوارته و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر مدیریت کیفیت و تصمیم‌گیری در مورد سبک‌وسنگین کردن سطح کیفیت و هزینه‌های کیفیت در بانکداری را ارزیابی کردند [۸]؛ ولی در مورد هزینه‌های کیفیت در سازمان‌های تولیدی و چرخه عمر محصول صحبتی نکرده‌اند. کرفای و همکاران[1] (۲۰۱۶)، تأثیر سیستم هزینه‌های کیفیت بر عملکرد شرکت‌های تولیدی تونس را مشخص کردند [۱۱]؛ ولی به تحلیل هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول نپرداختند. شهرجردی و همکاران (۱۳۹۶)، هزینه‌های کیفیت و انتخاب گزینه مناسب برای کاهش هزینه‌ها را با

1. Kerfai, et al.

مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی در «شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی» ارزیابی کردند [۲۱]؛ ولی به تحلیل هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول نپرداختند. سلیمان‌نژاد و رضایی زواری (۱۳۹۴) به بهینه‌سازی هزینه‌های کیفیت با استفاده از تکنیک تحلیل حالات بالقوه شکست و طراحی آزمایش‌های تاگوچی در شرکت دخانیات ارومیه پرداختند [۲۳]؛ ولی به تحلیل هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول نپرداختند.

یافته‌های مدیریتی. این پژوهش به مدیران «شرکت صنعتی انتخاب» ابزار و روش گزینش استراتژی بهینه توجه به هزینه‌های کیفیت در فازهای مختلف چرخه عمر محصول را می‌دهد. هزینه‌های کیفیت شامل هزینه‌های خرابی داخلی (قبل از حمل کشف می‌شود)، هزینه‌های خرابی خارجی (پس از حمل کشف می‌شود)، هزینه‌های ارزیابی (هزینه ارزیابی مواد و محصولات) و هزینه‌های پیشگیری (جلوگیری از وقوع خرابی در اولین محل) است [۲۴]. در این پژوهش از طریق انجام روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی، سیاست‌های بهینه برای فاز معرفی، رشد، بلوغ و افول در مورد محصول اجاق‌گاز تعیین شد.

مدیران شرکت صنعتی انتخاب با درنظرگرفتن استراتژی پیشگیری (جلوگیری از وقوع خرابی در اولین محل) و هزینه‌کردن در جهت پیشگیری از خطا در مرحله معرفی و رشد محصولات می‌توانند کیفیت محصول را ارتقا دهند. هنگامی که محصولات در مرحله بلوغ به سر می‌برند، توجه به ارزیابی کیفیت از طریق روش‌های مدیریت کیفیت می‌تواند باعث افزایش کیفیت محصول شود و در مرحله افول باید بیشترین تلاش خود را برای کاهش عیوب محصولات در داخل شرکت انجام دهند. مدیران شرکت‌های صنعتی می‌توانند از این روش برای محصولات تولیدی خود استفاده کنند و سیاست‌های بهینه توجه به هزینه‌های کیفیت را برای فازهای مختلف عمر محصولات داشته باشند. با انتخاب سیاست صحیح در افزایش کیفیت محصولات در هر فاز می‌توانند منحنی عمر محصول را در بازار افزایش دهند و محصول مدت بیشتری در بازار بتواند باقی بماند و با سایر محصولات مشابه در بازار رقابت کند.

هدف اصلی از انجام این پژوهش، تعیین ترکیب بهینه اهمیت هزینه‌های کیفیت متناسب با چرخه عمر محصول با تلفیق طراحی آزمایش‌های تاگوچی و الگوی هزینه‌های کیفیت در «گروه صنعتی» انتخاب بوده است. به این منظور چهار فاز چرخه عمر محصول اجاق گاز (معرفی، رشد، بلوغ و افول) به‌عنوان چهار سطح عوامل کنترلی (اهمیت هزینه‌های کیفیت) این طراحی در نظر گرفته شد. جامعه آماری این پژوهش، خبرگان «گروه صنعتی انتخاب» و روش نمونه‌گیری در این پژوهش از نوع غیرتصادفی هدف‌دار و تعداد نمونه ۲۰ نفر از خبرگان به انتخاب «گروه صنعتی انتخاب» است. در این پژوهش با به‌کارگیری روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی (با استفاده از ارائه‌های متعامد)، مدل هزینه‌های کیفیت، طراحی پرسشنامه، سپس محاسبه نسبت

مطلوبیت به بدی کارکرد (S/N) و استفاده از تحلیل‌های نرم‌افزار MINITAB 19 ترکیب اهمیت هزینه‌های کیفیت در فازهای چرخه عمر محصول مشخص شد. در طراحی بر اساس متغیر پاسخ کیفیت محصول در فازهای چرخه عمر محصول، هدف حداکثرکردن کیفیت محصول است. نتایج این طراحی در مرحله معرفی، سیاست پیشگیری، در مرحله رشد، سیاست پیشگیری، در مرحله بلوغ، سیاست ارزیابی و در مرحله افول، سیاست شکست داخلی به‌دست آمد. نتایج این طراحی شامل اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های پیشگیری از خطا در فاز معرفی و رشد محصول اجاق‌گاز و در فاز بلوغ محصول، اتخاذ سیاست‌های ارزیابی کیفیت و استفاده از کنترل‌های بصری و حس‌گرهای جلوگیری از خطا در فرایند تولید است. در فاز افول محصول اجاق‌گاز در بازار، هزینه‌های شکست داخلی اهمیت می‌یابد و شرکت باید تدابیری اتخاذ کند تا خرابی‌های داخلی در فرایند تولید تا خروج محصول از شرکت تولیدی کاهش یابد.

در این پژوهش متغیرهای بدی کارکرد در نظر گرفته نشده‌اند. انواع هزینه‌های کیفیت با ویژه‌سازی مختص «گروه صنعتی انتخاب»، انتخاب شده‌اند. آماره‌های هزینه‌های کیفیت برای محصول اجاق‌گاز جمع‌آوری‌شده است. یکی از ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، پرسشنامه بوده و پاسخ‌ها به‌صورت کیفی و ذهنی است. ازآنجاکه در این پژوهش از روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدف‌دار استفاده شده است، ممکن است در داده‌ها به‌عنوان یک عامل غیرتصادفی اثرگذار باشد. نتایج طراحی ترکیب اهمیت هزینه‌های کیفیت در فازهای چرخه عمر در این پژوهش محدود به «گروه صنعتی انتخاب» است و بنابراین در تعمیم به سایر سازمان‌ها باید احتیاط کرد.

به‌منظور مطالعه بیشتر در آینده شناسایی متغیرهای بدی کارکرد در حوزه ترکیب هزینه‌های کیفیت در چرخه عمر محصول و بررسی تأثیر آن‌ها بر نتایج طراحی آزمایش‌های پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه متغیر پاسخ در طراحی آزمایش‌های کیفیت محصول در نظر گرفته شده است. در پژوهش‌های آتی می‌توان رضایت مشتری را به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفت و نتایج حاصل استراتژی‌های بهینه در هر فاز عمر محصول را در حالت جدید با حالت بررسی‌شده در این مقاله مقایسه کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Alglawe, A., Schiffauerova, A., Kuzgunkaya, O., & Shiboub, I. (2019). Supply chain network design based on cost of quality and quality level analysis. *The TQM Journal, 31(3),* 467-490.
2. Amuzad, H., Mokhtarzade, N., & Redmond, S., (2017). A Hybrid Model of Grey Fuzzy Goal Programming in Project Time, Cost, Risk and Quality Tradeoff. *The Journal of Industrial Management Perspective, 7(3),* 47-80. (In Persian)
3. Anvarkhatibi, S., Zanjani, S., & Mohammadi, J. (2017). Factors affecting the establishment and development of quality costing system in pharmaceutical companies (Case study: Zahravi Pharmacy). *Journal of New Research in Management and Accounting, 25(3),* 101-117. (In Persian)
4. Ardhani, I. C., Putri, R. M., Falah, M. A. F., & Widodo, K. H. (2021). Determination of production factors of dehydrated strawberries by usingTaguchi method approach. *IOP Conference Series: Earth and EnvironmentaScience, 653(1),* 012048.
5. Arslanoglu, N., & Yigit, A. (2016). Experimental investigation of radiation effect on human thermal comfort by Taguchi method. *Applied Thermal Engineering, 92(1),* 18-23.
6. Beg, S. (2021). Taguchi and Plackett–Burman Designs in Pharmaceutical Product Development. In S. Beg (Ed.), Design of Experiments for Pharmaceutical Product Development: Volume I: Basics and Fundamental Principles (pp. 55-62).
7. Bergman, B., & Mare, J. (2009). Robust Design Methodology for Reliability: Exploring the Effects of Variation and Uncertainty. In (173-183).
8. Duarte, P. (2018). Balancing risk and revenue: cost of quality within the banking industry. International Journal of Quality &amp*; Reliability Management, 35(10),* 2181-2194.
9. Farooq, M. A., Kirchain, R., Novoa, H., & Araujo, A. (2017). Cost of quality: Evaluating cost-quality trade-offs for inspection strategies of manufacturing processes. *International Journal of Production Economics, 188,* 156-166.
10. Huang, C.-L., John Wan, T.-L., Shen, M., & Liao, T.-C. (2018). The Kano based Taguchi system algorithm for modeling a product design system. *Journal of Statistics and Management Systems, 21*(3), 373-386.
11. Kerfai, N. (2016). Performance measurement and quality costing in Tunisian manufacturing companies. *The TQM Journal, 28(4),* 588-596.
12. Li, Y., & Zhu, L. (2017). Optimisation of product form design using fuzzy integral-based Taguchi method. *Journal of Engineering Design, 28(7-9),* 480-504.
13. Malakooti, B. (2013). *Operations and Production Systems with Multiple Objectives.* 1st Ed John Wiley & Sons.
14. Morovati, A., & Khanchemehr, R. (2014). Finding the ANN Suitable Structure using Taguchi Experimental Design Method. *Journal of Industrial Management Perspective, 4(1),* 121-142. (In Persian)
15. Phadke, M S., (2006). Introduction to Robust Design (Taguchi method). Translated by Abdul Hussein Khodayandi. Hamedan: Bu Ali Sina University. (In Persian)
16. Radfar, A., & Mohammaditabar, D. (2019). Bi-Objective Optimization of Vendor Managed Inventory Problem in a Mult Echelon Green Supply Chain. *The*

Journal of Industrial Management Perspective, 9(3), 109-134. (In Persian)
17. Rajabbeigi, M., & Salimi, M. (1995). Total Quality Management. Publications of the Information Center of the Ministry of Jihad Sazandegi and the Publishing Center of Amir Kabir University of Technology, Tehran. (In Persian)
18. Shahin, A., & Janatyan, N., (2011). Service Quality Robust Design by the Integration of Taguchi Experiments and SERVQUAL Approach in a Travel Agency. *Journal of Production and Operations Management, 2(2),* 83-106. (In Persian)
19. Shahin, A., & Rezaei, M. (2018). An Integrated Approach for Prioritizing Lean and Agile Production Factors Based on Costs of Quality with a Case Study in the Home Appliance Industry. *Benchmarking: An International Journal, 25(2),* 660–676. (In Persian)
20. Shahin, A., Vaezshahrestani, H., & Bagheri, E., (2014). Proposing an integrated approach of Kano Model and Taguchi Design of Experiments based on Kansei Engineering to product design based on customer needs in the automotive industry. *Journal of Industrial Management, 13(6),* 317-336. (In Persian)
21. Shahrjerdi, R., Ebrahimabadi, GH., & Shahbazi, S., (2017). Evaluating the Cost of Quality and Selecting the Appropriate Option for Cost Reduction using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Models (Case Study: The Water and Wastewater Company of Markazi Province. *Journal of Water and sustainable development, 3(4),* 13-21. (In Persian)
22. Shaym mohan, N. (2002)."Robust design", Seminar Report Submitted towards partial fulfillment of the requirement for the award of degree of Doctor of Philosophy, Bombay: Indian Institute of Technology.
23. Soleymannezhadtamar, A., & Rezaizavari, A. (2015). Optimization of Quality Costs Using Failure Mode and Effects Analysis and Taguchi Experiments Design (Case Study: Urmia Tobacco Company). The First International Conference on Industrial Engineering, Management and Accounting, Alborz Research Institute. (In Persian).
24. Sower, V. E., Quarles, R., & Broussard, E. (2007). Cost of quality usage and its relationship to quality system maturity. *International Journal of Quality & Reliability Management, 24(2),* 121-140.
25. Taguchi, G., Chowdhury's. & Tauguchi, Sh. (1999). *Robust reengineering*. led, Mc Growhill: NY.
26. Walker, O., Mullins, J., & Boyd, H. (2014). *Marketing Strategy: A Decision-Focused Approach.* 5th Edition, Translated by Seyed Mohammad Aarabi, Davood Izadi. Tehran, Publisher of Cultural Research Office. (In Persian)
27. Wang, Y., Huang, A., Quigley, C. A., Li, L., & Sutherland, J. W. (2021). Tolerance allocation: Balancing quality, cost, and waste through production rate optimization. *Journal of Cleaner Production, 285,* 124837.
28. Yudha, F.A., Soepangkat, B.O.P., Ratnasari, V., Suef, M., & Norcahyo, R. (2019). Determination of optimum vulcanization process parameters using Taguchi GRA for reducing quality loss cost. *AIP Conference Proceedings, 2114(1),* 020014.
29. Zhao, M., Qiu, W.-H & Liu, B.-S. (2010). Relative entropy evaluation method for multiple attribute decision making. *Kongzhi yu Juece /Control and Decision, 25(1104),* 1100-1098.