



Production and Operations Management

University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950

Vol. 14, Issue 1, No. 32, Spring 2023



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.133936.1447>

(Research paper)

Proposing a multi-objective model to evaluate product development designs based on Balanced Scorecard and Design for Variety

Parasto Divsalar

Faculty of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology,
Shahin shahr, Iran, divsalar.p@gmail.com

Mahdi Karbasian *

Faculty of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Shahin shahr, Iran,
mkarbasi@mut-es.ac.ir

Umm Al-Banin Yousefi

Faculty of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Shahin shahr , Iran,
yousefi_1302@yahoo.com

Purpose: Today, due to the increase and complexity of customers' needs, the products available in the market do not satisfy the needs of the customers. Hence, the most effective way for an organization to achieve its objectives is to create distinction through both developing new products and bringing about variations in those products. This study, while pursuing the objective of evaluating product development design, aims to propose a multi-objective design. This model analyzes the developed design from two perspectives of general criteria and variation capacity norms.

Design/methodology/approach: The current research embarks on identifying general criteria using Balanced Scorecard (BSC). The proposed model offers criteria according to which the required standard measures for the evaluation of the product development design are customized and extracted. After determining the evaluation criteria related to each perspective – general and variation capacity- the mentioned criteria have been validated. Then, by using the existing methods, these criteria have been quantified. Finally, the identified standard measures have been employed in the proposed multi-purpose optimized model.

Findings: In this paper, a real case was studied in the Iran Electronics Industries, and the result of the configuration was illustrated. Quantitative values of validated criteria were determined with the help

* Corresponding author



of academic and industry experts and existing methods. After calculating the quantitative values of the criteria for the evaluation of phased array radar development designs, these values were used in the multi-objective optimization model and measured in terms of the amount of risk, revenue, organizational strategy and the amount of effort towards redesign. Finally, by solving the optimization model using GAMZ win 64 25.1.12 software and the weighted sum method, the best development plan was selected.

Research limitations/implications: The main limitation of this study is the lack of accurate information in the early stages of product development. In this research, it was assumed that the information provided by the experts and designers of the relevant industry is correct and real. It is suggested to use fuzzy data in future studies so that the result has more reliability. For future research, the following subjects can be attractive and the present study can provide the necessary background for researchers who seek to work on such subjects: i) In the current research, the time parameter was not considered. It is suggested to consider time in future research; ii) to identify non-common components between the two current and future generations, the method of calculating the priority of standardization of components and considering the technical and financial ability of the producer was used. It is suggested to decide according to possible technologies in the future; iii) another perspective can be used to categorize and identify criteria; iv) to calculate reliability and maintainability, the lifetime of systems was assumed to be exponential and with a constant failure rate. It is suggested to use Weibull distribution with variable failure rate for a more realistic calculation, and v) it is suggested to compare the results of this study with other studies.

Practical implications: Finding comprehensive criteria to evaluate product development designs and providing an effective mathematical model for evaluation can lead to selecting the best product development designs. Selecting an optimal design can prevent the increase in product modification costs and the effort to redesign and reduce the time to supply new products to the market.

Originality/value: Based on the literature review, particularly the internal research, a method that evaluates product development designs with comprehensive criteria including finance, customer, business and internal work, growth and learning, and variation capacity has not been found. Also, the Design for Variety approach has not been used in the initial phases of research and it is applied when the product is made and released to the market.

Keywords: New Product Development, Multi-objective optimization, Design for Variety approach, Balanced score card



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۴، شماره ۱، پیاپی ۳۲، بهار ۱۴۰۲

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰ ص ۶۵-۸۴



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.133936.1447>

(مقاله پژوهشی)

ارائه مدل بهینه‌سازی چندهدفه براساس مدل کارت امتیازی متوازن و رویکرد تنوع‌پذیری برای ارزیابی طرح‌های توسعه محصول جدید

پرستو دیوسالار^۱، مهدی کرباسیان^{۲*}، ام البنین یوسفی^۳

۱- کارشناس ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر، ایران، divsalar.p@gmail.com

۲- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر، ایران، mkarbasi@mut-es.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر، ایران، yousefi_1302@yahoo.com

چکیده: امروزه به‌علت افزایش و پیچیدگی نیاز مشتریان، محصولات موجود در بازار پاسخگوی نیاز مشتری نیست و مؤثرترین راه برای کسب موفقیت سازمان‌ها تمایز از طریق توسعه محصولات جدید و تنوع محصولات است؛ از این رو، انتخاب بهترین طرح برای توسعه محصولات جدید، می‌تواند از افزایش هزینه‌های اصلاح محصول و تلاش برای طراحی مجدد جلوگیری کند و زمان عرضه محصولات را به بازار کاهش دهد. لازمه انتخاب طرح بهینه برای توسعه محصولات جدید، ارزیابی جامع و بی‌طرفانه‌ای است که بتواند طرح را از نظر کارایی در حال حاضر و در آینده محصول بررسی کند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی طرح‌های توسعه محصول، مدل بهینه‌سازی چندهدفه‌ای را ارائه داده است که طرح‌های توسعه‌ای را از دو منظر معیارهای عمومی و تنوع‌پذیری بررسی می‌کند. در این تحقیق معیارهای عمومی به کمک مدل کارت امتیازی متوازن شناسایی شده است. این مدل معیارهایی را ارائه داده و متناسب با آن، معیارهای ارزیابی مورد نیاز برای طرح‌های توسعه محصول شخصی‌سازی و استخراج شده است. نظر به اینکه یکی از مناظر مهم در ارزیابی طرح‌های توسعه محصول، ریسک موجود در هر طرح است، معیارهای منظر ریسک نیز به‌عنوان معیارهای عمومی ارزیابی در نظر گرفته شده است. پس از تعیین معیارهای ارزیابی هر یک از مناظر عمومی و تنوع‌پذیری، معیارها اعتبار سنجی شده و در ادامه به کمک روش‌های موجود کمی شده‌اند؛ پس از آن، مقادیر معیارهای شناسایی شده در مدل بهینه‌سازی چندهدفه به کار گرفته و با حل مدل، طرح توسعه‌ای بهینه انتخاب می‌شود. توابع هدف این مدل بهینه‌سازی شامل حداقل کردن ریسک، حداکثر کردن درآمد، حداکثر کردن اثربخشی توانایی استراتژیکی سازمان و حداقل کردن تلاش برای طراحی مجدد طرح‌های توسعه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: توسعه محصول جدید، بهینه‌سازی چندهدفه، رویکرد تنوع‌پذیری، مدل کارت امتیازی متوازن



۱- مقدمه

موفقیت اقتصادی شرکت های تولیدی، وابسته به توانائی آنها در شناسایی نیاز مشتریان و ساخت محصولاتی برای برطرف کردن این نیازهاست. امروزه به علت شدت رقابت، ماهیت پویای بازار، منسوخ شدن فناوری ها و تغییر نیاز و سلیقه مشتریان، محصولات موجود در بازار پاسخگوی نیاز مشتری نیست و مؤثرترین راه حل برای کسب موفقیت سازمان ها تمایز از طریق توسعه محصولات جدید است که بتواند در زمانی کوتاه، کیفیتی بالا و هزینه کم، نیازهای بازار را به گونه ای کارا و اثربخش برآورده کند؛ از این رو توسعه محصول جدید از دغدغه های شرکت ها برای حفظ و ارتقای جایگاه خود در بازار رقابتی به شمار می رود و به عنوان یک عامل کلیدی در شکوفایی آنها شناخته می شود (لم و همکاران^۱، ۲۰۰۷). علاوه بر این، امروزه افزایش و پیچیدگی نیاز مشتریان سبب تنوع محصولات موجود در بازار شده است. به همین سبب شرکت ها برای جلب رضایت مشتری و تقویت رقابت پذیری خود سعی دارند تا تنوع بیشتری را به بازارها ارائه دهند. گسترش مدل های مختلف محصولات، به مشتریان اجازه می دهد تا محصولی را بیابند که کاملاً متناسب با نیازهای فردی آنهاست؛ بنابراین شرکت ها برای حفظ سهم خود در بازار، تنوع محصولات تولیدی شان را نیز افزایش می دهند که به دنبال آن، محصولات جدید و متنوع زیادی در بازار عرضه می شود و این روند است که یک شرکت را ملزم می کند تا محصولات جدید خود را با سرعت بیشتری معرفی و روانه بازار کند؛ زیرا در غیر این صورت، سهم بازار محصولات جدید را به شرکت های رقیب واگذار می کند و خود از دنیای رقابت کنار می رود (گول و شفین^۲، ۲۰۰۸)؛ بنابراین باید طرحی تولید شود که علاوه بر داشتن معیارهای ارزیابی عمومی، بتواند به سرعت جوابگوی نیازهای آینده مشتریان نیز باشد. علی رغم اهمیت زیاد طرح های توسعه محصول جدید، درصد زیادی از این پروژه های توسعه با شکست مواجه می شوند. تحلیلی که انجمن مدیریت و توسعه محصول انجام داده است، نشان می دهد نرخ شکست پروژه های توسعه محصول جدید ۴۱ درصد است که خود نشان دهنده ریسک زیاد این نوع پروژه ها است. حال در این میان، شرکتی موفق است که فرایند توسعه محصول جدید خود را به طور دقیق به اتمام رساند (قاسمی و همکاران^۳، ۲۰۱۹). هدف پژوهش حاضر، یافتن معیارهای جامع و کامل برای ارزیابی طرح های توسعه محصول جدید و ارائه مدل ریاضی اثربخش برای ارزیابی است تا به کمک آنها بتوان در مراحل اولیه طراحی محصول جدید، این طرح ها را ارزیابی و بهترین طرح توسعه محصول را انتخاب کرد. نظر به اینکه برخی از معیارهای مربوط به ارزیابی این طرح ها با یکدیگر در تناقض اند، توسعه مدل جامعی که بتواند تمامی این معیارها را با هم بررسی کند، از اهمیت ویژه برخوردار و کارگشای تولیدکنندگان محصولات جدید است.

۲- مبانی نظری پژوهش

توسعه محصول، ایجاد محصولاتی با ویژگی های جدید و متفاوت است که مزایای خاص، نو و یا مضاعف را به مشتری ارائه می دهد. توسعه محصول می تواند به صورت اصلاح محصولات موجود در بازار و یا ارائه یک محصول کاملاً نوآورانه باشد که می تواند نیاز مشتریان جدید و بازار را برآورده کند (یولمان^۴، ۲۰۰۹).

کارت امتیازی متوازن که ارزیابی عملکرد را به چهار منظر تقسیم می‌کند، به ارزیابی عملکرد از چهار منظر نگاه می‌کند. چهار منظر ارزیابی متوازن شامل دسته تقریباً وسیعی از معیارها و سنجهاست که در قالب گروه‌های عملکردی گسترده‌ای طبقه‌بندی شده‌اند. دسته‌بندی زیرمجموعه‌های سنج‌های ارزیابی متوازن به‌عنوان قسمتی از این گروه‌های عملکردی متفاوت، جنبه بسیار مهمی از طراحی سیستم ارزیابی متوازن برای اجراست. ارزیابی متوازن، هدف اصلی و استراتژی شرکت را به اهداف و معیارهای سازمان‌یافته در چهار منظر مالی^۵، مشتری^۶، فرآیند داخلی کسب و کار^۷ و فراگیری رشد و یادگیری^۸ تبدیل می‌کند (مهدشکری و رملی، ۲۰۱۵).

رویکرد تنوع‌پذیری مجموعه‌ای از روش‌های ساختاری است که به تیم طراحی کمک می‌کند تا تأثیر تنوع را بر هزینه‌های چرخه عمر محصول کاهش دهد (گاپتا و اکدان^{۱۰}، ۲۰۰۸). هدف این رویکرد، طراحی نوعی معماری است که برای تطبیق با تغییرات آتی، مستلزم حداقل تلاش مجدد است (مارک و ایشی^{۱۱}، ۲۰۰۲). داشتن این معماری می‌تواند پتانسیل سودآوری محصول را افزایش دهد؛ همین‌طور طراحی فعلی محصول را با نگاهی به آینده محصول انجام و هزینه‌های توسعه‌ای را کاهش می‌دهد. از طرفی داشتن چنین معماری سبب می‌شود که با ایجاد تغییرات جزئی بتوان نیازهای بازارهای آینده را محقق کرد. یک امتیاز رقابتی برای هر شرکت، ارائه سریع محصولات به بازار است. یک روش مؤثر برای کسب این امتیاز، طراحی تنوع‌پذیر و داشتن معماری مناسب است.

الابانجی و امپوفا^{۱۲} (۲۰۲۰) توانستند با تکنیک ترکیبی AHP فازی و میانگین وزنی فازی با تعیین ۶ معیار اصلی، ۴ گزینه موجود طراحی را برای محصول جدیدی از فیکسچر را رتبه‌بندی کنند. در این مقاله ابتدا نیاز مشتریان شناسایی و اهداف ارزیابی مشخص شده است و سپس به کمک تکنیک ارزیابی طرح، طرح‌ها رتبه‌بندی و طرح بهینه انتخاب شده است. در ادامه نیز با تست طرح منتخب، برنامه‌ریزی در زمینه ساخت و تحلیل‌های اقتصادی، طرح اولیه ساخته می‌شود. آیخوئلا^{۱۳} در سال ۲۰۱۷ با تکنیک جدید TOPSIS اصلاح‌شده فازی شهودی با مقادیر بازه‌ای و ۳ معیار ظاهر، اقتصادی و عملکرد توانست ۴ گزینه موجود را برای طراحی کشتی ارزیابی و همین‌طور با در نظر گرفتن ۱۲ معیار و ۴ گزینه، طرح‌های بردهای جریان چاپی را رتبه‌بندی کند. هاشمی مجومرد و کسای^{۱۴} (۲۰۱۶) توانستند به کمک نظرسنجی و مطالعات کتابخانه‌ای، ۳۲ معیار ارزیابی پروژه‌های توسعه محصول جدید را در حوزه محصولات یکبار مصرف بهداشتی استخراج و سپس به کمک روش DEMATEL میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و وزن معیارها را براساس همبستگی میان آنها محاسبه و سپس با ارزیابی پروژه‌های توسعه محصول جدید توسط روش VIKOR آنها را رتبه‌بندی کنند. عباسی و همکارانش^{۱۵} (۲۰۲۰) مدل‌سازی ریاضی چندهدفه‌ای را ارائه دادند که می‌توان به کمک آن، سبد پروژه‌های توسعه محصول جدید را ارزیابی کرد. در این مقاله معیارهای ارزیابی به کمک روش کارت امتیازی متوازن به دست آمده است و توابع هدف شامل ماکزیمم کردن خروجی، مینیمم کردن ریسک و ماکزیمم کردن مزیت‌های استراتژیک است.

آذر و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۵) به کمک یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با سه تابع هدف شامل حداقل شدن ریسک، حداکثر شدن اثربخشی و حداقل شدن هزینه، گزینه‌های موجود را ارزیابی کردند. ویژگی مهم مدل ارائه‌شده، در نظر گرفتن ریسک‌های مرتبط با متغیرهای پیوسته طراحی و نیز اثر متقابل آنها بر یکدیگر است.

۳- روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در یکی از زیرشاخه های صنایع الکترونیک ایران و در فاز انتخاب طرح توسعه محصول رادار آرایه فازی انجام شده است. این تحقیق شامل دو فاز اصلی و ۳ گام است. در فاز اول ابتدا شناسایی معیارهای ارزیابی طرح های توسعه محصول انجام می گیرد. در گام اول این فاز، معیارهای عمومی و تنوع پذیری ارزیابی طرح ها شناسایی و در گام بعد، به کمک تحقیقات دیگر پژوهشگران، مقادیر کمی هر یک از معیارها تعیین می شود. در فاز دوم این پژوهش، مدل ریاضی چندهدفه برای انتخاب طرح توسعه محصول برتر ارائه می شود. در این فاز متغیرهای تصمیم، محدودیت ها و اهداف چندگانه مدل ریاضی تعریف خواهند شد.

۳-۱- شناسایی معیارهای عمومی و تنوع پذیری ارزیابی

موفقیت در انتخاب بهترین طرح توسعه محصول، وابسته به معیارهای مناسبی است که برای ارزیابی طرح ها از آن استفاده می شود. در پژوهش حاضر معیارهای عمومی به کمک روش کارت امتیازی متوازن شناسایی شده است. به این صورت که این روش برای چهار منظر مالی، مشتری، فرایند کسب و کار داخلی و رشد و یادگیری، معیارهایی را ارائه داده است که متناسب با آن معیارها، می توان معیارهای ارزیابی مورد نیاز را برای طرح ها شخصی سازی و استخراج کرد. علاوه بر آن معیارهای انتخابی در تحقیقات پیشین و نظرسنجی خبرگان نیز در شناسایی معیارهای عمومی بسیار کمک کننده بوده است. نظر به اینکه یکی از معیارهای مهم در ارزیابی طرح های توسعه محصول، ریسک موجود در هر طرح است، علاوه بر معیارهای این چهار منظر، معیار ریسک هم در نظر گرفته شده و برای آن زیرمعیارهایی نیز شناسایی شده است. یکی از جنبه های پراهمیت ارزیابی محصول، سنجش آن به کمک معیارهای تنوع پذیری است؛ زیرا این معیارها تعیین می کنند که برای تطبیق آن محصول با نیازهای آینده مشتریان، به چه میزان زمان، هزینه و تلاش احتیاج است. در پژوهش حاضر، معیارهای تنوع پذیری با استفاده از تحقیقات پیشین انجام شده در این زمینه تعیین شده است. گام بعدی پس از شناسایی معیارهای ارزیابی، اعتبارسنجی این معیارهاست. در پژوهش حاضر، اعتبارسنجی معیارها از طریق روش لاوشه^{۱۷} انجام شده است. به این صورت که پرسش نامه ای برای اعتبارسنجی طراحی شده است و هر یک از معیارها سنجش شده اند. خبرگان میزان مرتبط بودن معیار را با عبارات «کاملاً مرتبط»، «مرتبط ولی نیاز به بازبینی»، «نیاز به بازبینی اساسی» و «غیرمرتبط» مشخص کرده است و سپس تعداد خبرگانی که گزینه «کاملاً مرتبط» و «مرتبط ولی نیاز به بازبینی» را انتخاب کرده اند، بر تعداد کل خبرگان تقسیم شده است. اگر مقدار حاصل از $0/7$ کوچک تر بود، معیار حذف می شود و اگر بین $0/7$ تا $0/79$ بود، بازبینی انجام می شود و اگر از $0/79$ بزرگ تر بود، معیار به عنوان معیار ارزیابی طرح های توسعه محصول پذیرفته شده است. معیارهای معتبر شناسایی شده برای هر یک از مناظر در جدول ۱ موجود است.

جدول ۱ - معیارهای ارزیابی شناسایی شده

Table1- Identified evaluation criteria

ردیف	معیارها	زیرمعیارها	مراجع
۱	هزینه کل	هزینه کل	وی و چانگ ^{۱۸} (۲۰۱۱)، اه و همکاران ^{۱۹} (۲۰۱۲)، نورایی بیدخت و همکاران ^{۲۰} (۲۰۱۸)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)، اصغری‌زاده و همکاران ^{۲۱} (۲۰۲۲)
۲	حمایت دولت	حمایت دولت	عباسی و همکاران (۲۰۱۴)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۳	منظر مالی	درآمد	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، رلیچ و پالوسکی ^{۲۲} (۲۰۱۷)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۴	درجه هم‌افزایی	درجه هم‌افزایی	عباسی و همکاران (۲۰۱۴)، نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)
۵	هزینه فرصت	هزینه فرصت	لی و همکاران ^{۲۳} (۲۰۱۹)
۶	منظر مشتری	الزامات کارکردی	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)، اصغری‌زاده و همکاران (۲۰۲۲)
۷	الزامات غیر کارکردی	الزامات غیر کارکردی	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۸	منظر کسب و کار داخلی	سهم بازار	عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۹	توانایی تأمین‌کننده	توانایی تأمین‌کننده	نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)
۱۰	دانش سازمانی	دانش سازمانی	عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۱	منظر رشد و یادگیری	توانایی کارکنان	عباسی و همکاران (۲۰۱۴)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰) نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)
۱۲	توانایی در انتقال فناوری	توانایی در انتقال فناوری	نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)
۱۳	ریسک فنی	ریسک فنی	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)، نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)، نخعی‌نژاد و مؤمن شاد ^{۲۴} (۲۰۲۰)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۴	ریسک مالی	ریسک مالی	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۵	منظر ریسک	ریسک تأمین	عباسی و همکاران (۲۰۲۰)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)
۱۶	ریسک بازار	ریسک بازار	وی و چانگ (۲۰۱۱)، اه و همکاران (۲۰۱۲)، رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)، نورایی بیدخت و همکاران (۲۰۱۸)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۷	ریسک چرخه عمر	ریسک چرخه عمر	عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۸	ریسک سازمانی	ریسک سازمانی	نخعی‌نژاد و مؤمن شاد (۲۰۲۰)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)
۱۹	شاخص تنوع نسلی	شاخص تنوع نسلی	مارک و ایشی (۲۰۰۲)، گاپتا و اکدان (۲۰۰۸)، نادادر و همکاران ^{۲۵} (۲۰۱۲)
۲۰	منظر تنوع‌پذیری	شاخص اتصالات	مارک و ایشی (۲۰۰۲)، گاپتا و اکدان (۲۰۰۸)
۲۱	شاخص اشتراکات	شاخص اشتراکات	رلیچ و پالوسکی (۲۰۱۷)، عباسی و همکاران (۲۰۲۰)

۴- فاز دوم پژوهش

۴-۱- تعریف متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و اهداف چندگانه مدل ریاضی

اندیس‌های مدل

i: شمارنده طرح‌ها ($i = 1.2. n$)

j: شمارنده ریسک‌های هر طرح ($j = 1.2. m$)

پارامترهای مدل

- Wt_i : اهمیت معیار اثر ریسک بر زمان در صورت انتخاب طرح i ام
- Wc_i : اهمیت معیار اثر ریسک بر هزینه، در صورت انتخاب طرح i ام
- Wq_i : اهمیت معیار اثر ریسک بر کیفیت در صورت انتخاب طرح i ام
- Wp_i : اهمیت معیار اثر ریسک بر عملکرد در صورت انتخاب طرح i ام
- It_{ji} : میزان اثرگذاری ریسک j بر زمان پروژه در صورت انتخاب طرح i ام
- Ic_{ji} : میزان اثرگذاری ریسک j بر هزینه پروژه در صورت انتخاب طرح i ام
- Iq_{ji} : میزان اثرگذاری ریسک j بر کیفیت پروژه در صورت انتخاب طرح i ام
- Ip_{ji} : میزان اثرگذاری ریسک j بر عملکرد پروژه در صورت انتخاب طرح i ام
- P_{ij} : احتمال وقوع ریسک j ام در صورت انتخاب طرح i ام
- Pr_{ij} : مجموع تأثیر دیگر ریسک‌ها بر احتمال وقوع ریسک j ام در صورت انتخاب طرح i ام
- C_i : هزینه کل به‌ازای هر محصول در صورت انتخاب طرح i ام
- AR_i : سود حاصل از فروش هر محصول در صورت انتخاب طرح i ام
- $a1_i$: درصد اعتماد به تخمین میزان سود حاصل از هر محصول در صورت انتخاب طرح i ام
- $a2_i$: درصد اعتماد به تخمین تعداد فروش هر محصول در صورت انتخاب طرح i ام
- N_i : تعداد فروش محصول در صورت انتخاب طرح i ام
- Go_i : میزان حمایت دولت در صورت انتخاب طرح i ام

TB: بودجه نهایی

- b_i : درصد اعتماد به تخمین هزینه کل در صورت انتخاب طرح i ام
- SN_i : میزان صرفه‌جویی هزینه‌ای به‌دلیل وجود هم‌افزایی بین طرح i و دیگر محصولات سازمان
- OC_i : هزینه فرصت در صورت انتخاب طرح i ام
- c_i : درصد اعتماد به تخمین هزینه فرصت در صورت انتخاب طرح i ام
- nef_i : میزان اثربخشی الزامات غیرکارکردی برآورده‌شده در صورت انتخاب طرح i ام
- AC_i : مقدار تغییرات مورد نیاز طرح در صورت انتخاب طرح i ام
- NC_i : مجموع تعداد اجزای در اولویت استانداردسازی در صورت انتخاب طرح i ام
- LNC : حد مجاز تعداد اجزای در اولویت استانداردسازی
- Cml_i : مقدار شاخص اشتراکات در صورت انتخاب طرح i ام
- $LCml_i$: حد مجاز شاخص اشتراکات در صورت انتخاب طرح i ام
- CE : میزان توانایی کارکنان سازمان
- ce_i : میزان لازم از توانایی کارکنان در صورت انتخاب طرح i ام
- MS_i : سهم بازار محصول در صورت انتخاب طرح i ام

CS_i : توانایی تأمین‌کنندگان مربوط به طرح i ام

TT_i : توانایی سازمان در انتقال فناوری مربوط به طرح i ام

KB_i : وضعیت سازمان از نظر بلوک دانشی در صورت انتخاب طرح i ام

$OMOE$: حداقل میزان اثربخشی الزامات کارکردی مدنظر سازمان برای محصول که باید برآورده شود.

$omoe_i$: میزان اثربخشی الزامات کارکردی در صورت انتخاب طرح i ام

متغیر مدل

X_i : برابر با یک اگر طرح i انتخاب شود، برابر با صفر اگر طرح i انتخاب نشود.

توابع هدف

حداقل‌شدن ریسک طرح توسعه محصول

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_i^n \sum_j^m Wt_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * It_{ji} * X_i + \sum_i^n \sum_j^m Wc_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ic_{ji} * X_i \\ & \sum_i^n \sum_j^m Wq_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Iq_{ji} * X_i + \sum_i^n \sum_j^m Wp_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ip_{ji} * X_i \end{aligned} \quad (1)$$

حداکثرشدن درآمد حاصل از طرح توسعه محصول

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_2 = & \left[\left(\sum_i^n a1_i AR_i * a2_i N_i * X_i \right) \right. \\ & \left. - \left[\left(\sum_i^n (b_i C_i * a2_i N_i + c_i OC_i - Go_i - Sn_i) * X_i \right) \right] \right] \end{aligned} \quad (2)$$

حداکثرشدن توانایی استراتژیکی سازمان

$$\text{Max } Z_3 = \frac{\sum_i^n MS_i X_i}{\sum_i^n MS_i} + \frac{\sum_i^n CS_i X_i}{\sum_i^n CS_i} + \frac{\sum_i^n TT_i X_i}{\sum_i^n TT_i} + \frac{\sum_i^n KB_i X_i}{\sum_i^n KB_i} + \frac{\sum_i^n CE_i X_i}{\sum_i^n CE_i} \quad (3)$$

حداقل‌شدن تلاش برای طراحی مجدد طرح توسعه محصول

$$\text{Min } Z_4 = \frac{\sum_i^n AC_i X_i}{\sum_i^n AC_i} + \frac{\sum_i^n Cml_i X_i}{\sum_i^n Cml_i} \quad (4)$$

محدودیت‌های مدل

$$\sum_i^n X_i \leq 1 \quad (5)$$

$$\sum_i^n omoe_i X_i \geq OMOE \quad (6)$$

$$\sum_i^n nef_i X_i \geq \frac{\sum_i^n nef_i}{n} \quad (۷)$$

$$\sum_i^n b_i C_i X_i * a_{2i} N_i - \left(\sum_i^n GO_i X_i + \sum_i^n SN_i X_i \right) \leq TB \quad (۸)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m Wt_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * It_{ji} * X_i \leq \frac{\sum_i^n \sum_j^m Wt_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * It_{ji}}{n} \quad (۹)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m Wc_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ic_{ji} * X_i \leq \frac{\sum_i^n \sum_j^m Wc_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ic_{ji}}{n} \quad (۱۰)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m Wq_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Iq_{ji} * X_i \leq \frac{\sum_i^n \sum_j^m Wq_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Iq_{ji}}{n} \quad (۱۱)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m Wp_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ip_{ji} * X_i \leq \frac{\sum_i^n \sum_j^m Wp_i * (P_{ji} + Pr_{ji}) * Ip_{ji}}{n} \quad (۱۲)$$

$$\sum_i^n NC_i X_i \leq LNC \quad (۱۳)$$

$$\sum_i^n Cml_i X_i \leq \sum_i^n LCml_i X_i \quad (۱۴)$$

$$X_i \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall i \quad i = 1, \dots, n \quad (۱۵)$$

اولین تابع هدف مدل، رابطه ۱، به منظور حداقل شدن ریسک طرح منتخب تشکیل شده است. این تابع هدف، شاخص اولیه ریسک، PIR^{۲۶} است که بر مبنای احتمال وقوع ریسک و میزان اثرگذاری ریسک بر اهداف پروژه، شامل هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد بر مبنای استاندارد PMBOK (پیکره دانش مدیریت پروژه) تعریف شده است. W_Q, W_C, W_T و I_{jpi} به ترتیب میزان اثرگذاری ریسک j بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه و $I_{jqi}, I_{jci}, I_{jti}$ و W_P وزن اهمیت معیار اثر ریسک به ترتیب بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد پروژه است؛ به گونه ای که مجموع این اوزان برابر یک است. به علت در نظر گرفتن اثر متقابل ریسک ها بر هم، احتمال وقوع هر ریسک با مقدار افزایش احتمال آن ریسک به علت اثر متقابل دیگر ریسک ها، جمع می شود.

دومین تابع هدف مدل، رابطه ۲، به منظور حداکثر شدن درآمد حاصل از طرح منتخب ایجاد شده است. در قسمت اول تابع مذکور، ابتدا درآمد حاصل از طرح i محاسبه می شود؛ به این صورت که درآمد تخمین زده شده از هر طرح i در میزان تخمینی فروش طرح i ضرب می شود. به علت اینکه میزان تخمینی درآمد و تعداد فروش ممکن است دقیق و قابل اعتماد نباشد، می توان آنها را در میزان اعتماد به عدد تخمینی ضرب کرد. پس از محاسبه درآمد حاصل از طرح ها، باید مقدار درآمد را از هزینه کم کنیم که در تابع هدف مذکور، هزینه ها شامل هزینه کل و هزینه فرصت از دست رفته است. در ادامه، صرفه جویی های هزینه ای که به علت حمایت دولت و وجود هم افزایی ایجاد می شود، از هزینه ها کم می شود.

سومین تابع هدف، رابطه ۳، به منظور افزایش توانایی استراتژیکی سازمان تشکیل شده است. پارامترهای این تابع هدف، سهم بازار، توانایی تأمین کننده، توانایی در انتقال فناوری مدنظر، بلوک های دانشی و توانایی کارکنان است. به

علت اینکه برای افزایش توانایی استراتژیکی سازمان باید پنج متغیر سهم بازار، توانایی تأمین‌کننده، توانایی در انتقال فناوری و امتیاز بلوک‌های دانشی افزایش یابند، این مقادیر با هم جمع می‌شوند. به دلیل اینکه مقادیر هریک از این پارامترها در یک محدوده نیستند، همان‌طور که در تابع نیز مشاهده‌شدنی است، هریک از این پارامترها نرمال شده‌اند تا مقادیر آنها عددی بین ۰ تا ۱ باشد.

چهارمین تابع هدف، رابطه ۴، به منظور کاهش طراحی مجدد لازم برای هر طرح تعریف شده است که در راستای برآوردن اهداف رویکرد تنوع‌پذیری است. پارامترهای به کار رفته در این تابع هدف، شامل امتیاز کسب‌شده هر طرح از اجزای نیازمند استانداردسازی و شاخص اشتراکات است. این تابع نشان می‌دهد که هر طرح تا چه میزان احتیاج به تغییر اجزا و استانداردسازی برای برآوردن نیازهای آینده مشتری دارد، از طرفی اگر تیم طراحی قادر به استانداردسازی اجزا نباشد و ناگزیر به طراحی مجدد آن جزء در آینده باشد، پارامتر شاخص اشتراکات نشان می‌دهد این تغییر در مشخصه‌های طراحی به چه میزان است. طرح با مقدار تغییر و استانداردسازی کمتر در زمان فعلی و مقدار تغییر مشخصه‌های طراحی آینده طرح بهتری است. به دلیل اینکه مقادیر هریک از این پارامترها در یک محدوده نیستند، همان‌طور که در تابع نیز مشاهده‌شدنی است، هریک از این پارامترها نرمال شده‌اند تا مقادیر آنها عددی بین ۰ تا ۱ باشد.

محدودیت اول این مدل، رابطه ۵، نشان می‌دهد که مجموع متغیرهای صفر و یک X_i باید یک و یا کوچک‌تر از آن باشد؛ به این معنی که در نهایت یک طرح می‌تواند به‌عنوان طرح برتر انتخاب شود.

محدودیت دوم، رابطه ۶، مربوط به الزامات کارکردی طرح‌هاست و به این معناست که اثربخشی کلی طرح i نباید از میزان اثربخشی کلی تعیین‌شده برای آن محصول کمتر باشد.

محدودیت سوم، رابطه ۷، مربوط به الزامات غیرکارکردی است که نشان می‌دهد مقدار تابع ارزیابی الزامات غیرکارکردی طرح i نباید کمتر از حد مجاز تعیین‌شده برای آن محصول باشد. این حد مجاز، به کمک میانگین مقادیر تابع الزامات غیرکارکردی طرح‌ها به دست می‌آید؛ به این معنی که مقدار تابع الزامات غیرکارکردی طرح بهینه نباید از میانگین مقادیر تابع الزامات غیرکارکردی طرح‌ها کمتر باشد.

محدودیت چهارم، رابطه ۸، مربوط به بودجه و هزینه‌های مالی است. این محدودیت نشان می‌دهد هزینه کل با کسر حمایت‌های مالی و صرفه‌جویی هم‌افزایی، نباید از بودجه کل تخصیص‌یافته بیشتر باشد. همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، به علت اینکه ممکن است مقدار تخمینی کاملاً دقیق نباشد، مقدار تخمینی را در میزان اعتماد به آن مقدار تخمینی ضرب می‌کنیم.

محدودیت‌های پنجم تا هشتم، رابطه ۹ تا ۱۲، نشان می‌دهند مقدار ریسک‌های اثرگذار بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد نباید از حد مجازشان بیشتر باشند؛ برای مثال شاید مجموع تابع ریسک مقدار کمینه باشد، اما اگر ریسک‌های اثرگذار بر کیفیت از حد مجاز تعیین‌شده بیشتر باشند، آن طرح پذیرفتنی نیست. به کمک این محدودیت‌ها، فراتر بودن مقدار ریسک از حد مجاز سبب حذف آن طرح می‌شود. در پژوهش حاضر، حد مجاز به کمک میانگین مقدار ریسک‌های اثرگذار همه طرح‌ها محاسبه می‌شود؛ برای مثال، حد مجاز ریسک‌های اثرگذار بر زمان برابر است با میانگین مقدار ریسک‌های اثرگذار بر زمان همه طرح‌ها.

محدودیت نهم، رابطه ۱۳، نشان می‌دهد مجموع تعداد اجزای در اولویت اول، دوم و سوم استانداردسازی هریک از طرح‌ها، نباید از حد مجاز تعیین شده بیشتر باشد. حد مجاز تعداد اجزایی که در اولویت استانداردسازی قرار دارند، به انتظارات تولیدکننده و توانایی صنعت بستگی دارد و متناسب با محصولات مختلف، می‌تواند متفاوت باشد.

محدودیت دهم، رابطه ۱۴، نشان می‌دهد که میزان شاخص اشتراکات طرح i ام نباید از حد مجاز تعریف شده برای شاخص اشتراکات آن طرح باشد؛ به این معنی مقدار طراحی مجدد در نسل آینده نباید از حد مجاز تعریف شده بیشتر باشد. این حد مجاز توسط خبرگان طراحی محصول مدنظر تعیین شده است و برای هر طرح می‌تواند مقدار مشخصی داشته باشد.

محدودیت یازدهم، رابطه ۱۵، نیز نشان می‌دهد متغیر X_i تنها می‌تواند مقادیر ۰ و ۱ را اختیار کند.

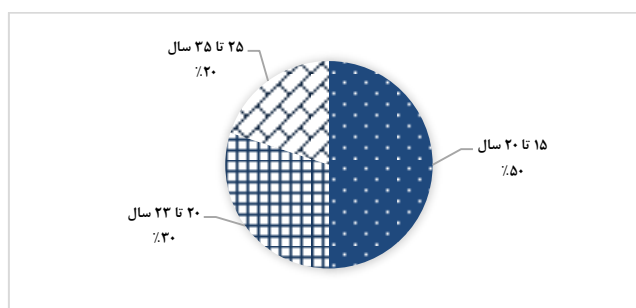
۴- یافته‌ها

در این بخش مقادیر کمی معیارهای اعتبارسنجی شده به کمک خبرگان دانشگاهی و صنایع و روش‌های موجود تعیین می‌شوند. اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان در جدول ۲ و نمودار فراوانی آنها در شکل ۱ آمده است. پس از محاسبه مقادیر کمی معیارهای ارزیابی طرح‌های توسعه رادار آرایه فازی، این مقادیر در مدل بهینه‌سازی چندهدفه به کار گرفته و از نظر میزان ریسک، درآمد، استراتژی سازمانی و میزان طراحی مجدد لازم، سنجش و درنهایت با حل مدل بهینه‌سازی به کمک نرم‌افزار GAMZ win 64 25.1.12 و با روش مجموع وزنی، بهترین طرح توسعه‌ای انتخاب می‌شود.

جدول ۲- اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان دانشگاهی و صنعت

Table2- Demographic information of academic and industry experts

ردیف	تخصص	نفرات
۱	مدیریت	۴
۲	مدیریت بازرگانی	۴
۳	مهندسی صنایع	۷
۴	استاندارد و کیفیت	۵
۵	مهندسی برق	۲
۶	مهندسی مکانیک	۳



شکل ۱- نمودار فراوانی جمعیت از لحاظ سابقه کاری خبرگان دانشگاهی و صنعت

Fig 1- Population frequency chart in terms of work experience of academic and industry experts

۴-۱- مقادیر کمی معیارهای منظر مالی

پس از اعتبارسنجی معیارهای منظر مالی، معیارهای نهایی این حوزه به کمک خبرگان صنعت و مطالعات پیشین محاسبه شده است. مقادیر کمی معیارهای حوزه‌ی مالی، به شرح جدول ۳ است:

جدول ۳- مقادیر کمی معیارهای حوزه‌ی مالی

Table3: Quantitative measures of the financial criteria

معیارهای منظر مالی	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳
هزینه‌ی فاز تعریف و مفهوم	۶۷	۶۴	۶۴
هزینه‌ی فاز طراحی و توسعه	۱۴۵	۱۳۸	۱۴۰
هزینه‌ی کل به‌ازای هر طرح	۱۳۸	۱۱۰	۱۲۵
هزینه‌ی فاز تولید یا ساخت	۴۵	۳۵	۳۰
هزینه‌ی فاز نصب و راه‌اندازی	۷۵	۶۴	۶۴
هزینه‌ی فاز عملیات، نگهداری و تعمیرات	۱۵	۱۲	۱۳
هزینه‌ی فاز وارهایی	۰	۵۹۰	۰
هزینه‌ی فرصت	۱۳۵	۱۳۵	۱۴۰
حمایت زیرساختاری	۴۵۰	۴۴۵	۴۵۰
حمایت مالی و اعتباری	۲۴۵	۲۴۵	۲۵۰
حمایت آموزشی و فنی	۱۱۵	۱۱۷	۱۲۰
حمایت مشاوره‌ای و ترویجی	۱۰۸	۱۰۷	۱۱۰
حمایت بازاریابی و تحقیقات بازار	۶۵۰	۵۹۰	۶۱۰
درآمد حاصل از هر محصول	۸	۷	۸
تعداد فروش	۲۰	۱۹	۱۸
میزان صرفه‌جویی هزینه‌ای به‌علت وجود هم‌افزایی	۳۲۰۰	۲۱۰۰	۲۸۰۰
بودجه‌ی کل هر طرح			

۴-۲- مقادیر کمی معیارهای منظر مشتری

همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، معیارهای مربوط به مشتری به دو دسته کیفیت محصول و رضایت مشتری تقسیم می‌شوند. در این قسمت ابتدا مقادیر کمی معیارهای کیفیت محصول تعیین می‌شود. این معیارها مربوط به الزامات کارکردی محصول اند که برای سه طرح توسعه رادار آرایه فازی از نیاز مشتریان این محصول شناسایی شده‌اند و به روش OMOE^{۲۷} کمی و برای استفاده در مدل بهینه‌سازی چندهدفه مهیا می‌شوند. پس از محاسبه این شاخص، اثربخشی کلی طرح ۱، ۰/۵۹، طرح ۲، ۰/۴۷ و طرح ۳، ۰/۶۳ است.

در گام بعد دسته معیارهای رضایت مشتری تعیین می‌شود. این معیارها در واقع الزامات غیرکارکردی اند که به رضایت هرچه بیشتر مشتریان منجر می‌شوند. پس از اعتبارسنجی، معیارهای نهایی مربوط به الزامات غیرکارکردی شامل دسترس‌پذیری، قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری و ارگونومی شده است که مقادیر کمی هر یک در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- مقادیر کمی معیارهای حوزه مشتری (رضایت مشتری)

Table4: quantitative measures of customer criteria (customer satisfaction)

الزامات غیرکارکردی	طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳	حد بالا	حد پایین
دسترس پذیری	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵
قابلیت اطمینان	۰/۷۷۱	۰/۷۷۸	۰/۷۶۳	۰/۸	۰/۷۵
تعمیرپذیری	۰/۷۹	۰/۸	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۷۹
ارگونومی	۶	۱۰	۹	۴	۱۰

پس از محاسبه یک به یک الزامات غیرکارکردی، لازم است تا به طور کلی طرح از نظر الزامات غیرکارکردی ارزیابی شود. به کمک این ارزیابی تعیین می شود که طرح از نظر الزامات غیرکارکردی چه جایگاهی در مقابل دیگر طرح ها دارد. به این منظور از تابع ارزیابی الزامات غیرکارکردی استفاده می شود و مقدار به دست آمده از این تابع، در مدل بهینه سازی چندهدفه به کار برده می شود (پارامسیوم و سنتیل^{۲۸}، ۲۰۰۹).

۳-۴- مقادیر کمی معیارهای منظر کسب و کار داخلی

معیارهای ارزیابی اعتبارسنجی شده منظر کسب و کار داخلی، شامل سهم بازار و توانایی تأمین کنندگان است. سهم بازار عبارت است از نسبت میزان فروش یک برند در یک محصول، به فروش کلی آن محصول در بازه های زمانی مشخص. برای محاسبه سهم بازار، ابتدا باید دوره زمانی و میزان فروش ها را تعیین کرد. این دوره می تواند سه ماهه، یک ساله و یا چندساله باشد؛ سپس به کمک گزارش های مالی شرکت، میزان فروش کلی محصول مدنظر، در شرکت مورد نظر به دست آورده می شود. گام بعد، محاسبه میزان فروش کلی محصول در بازار است که به کمک سازمان های معتبر صنعت و تجارت و آمارهای رسمی محاسبه می شود. پس از محاسبه سهم بازار هریک از طرح های رادار آرایه فازی، این سهم برای طرح اول ۹۰٪، طرح دوم ۹۲٪ و برای طرح سوم ۹۳٪ است.

برای سنجش توانایی تأمین کنندگان، از مجموعه ای از معیارها استفاده می شود. این معیارها به پنج دسته کلی کیفیت، مالی، هم افزایی، هزینه ای و تولیدی تقسیم می شوند که هرکدام نیز دارای زیرمعیارهایی هستند. معیارهای سیستم کیفیت، آن دسته از معیارهایی هستند که می توانند برای ارزیابی کیفیت توسط مصرف کننده حائز اهمیت باشند. معیارهای سیستم مالی آن دسته از معیارهایی هستند که در بر گیرنده میزان ثبات مالی تأمین کنندگان اند. معیار سیستم هم افزایی نیز تمام عواملی را مرتبط می کند که ممکن است رابطه سود بین مشتری و تأمین کننده را در تمام زنجیره تأمین تقویت کند. معیارهای سیستم، هزینه تمامی معیارهای مربوط به هزینه های معامله های تجاری را در بر می گیرد. آخرین دسته از معیارها، یعنی معیار سیستم تولید نیز شامل مسائل مربوط به نوآوری فنی و یا فرایندهای پشتیبانی است (آویلا و همکاران^{۲۹}، ۲۰۱۲). میزان توانایی تأمین کننده اصلی طرح اول ۷۹٪، طرح دوم ۸۴٪ و طرح سوم ۷۵٪ است.

۴-۴- مقادیر کمی معیارهای رشد و یادگیری

معیارهای ارزیابی اعتبارسنجی شده منظر رشد و یادگیری، دانش سازمانی، توانایی کارکنان و توانایی در انتقال فناوری است. در پژوهش حاضر، ارزیابی دانش سازمان به کمک ارزیابی بلوک‌های دانشی انجام می‌شود. برای محاسبه امتیاز بلوک‌های دانشی، هریک از آنها از نظر تخصص، اعتبار، توزیع و کدسازی سنجیده و نمره‌دهی می‌شوند. بلوک‌های دانشی طرح ۱ امتیاز ۴۳، طرح ۲ امتیاز ۴۵ و طرح ۳ امتیاز ۴۲ را کسب کردند. ارزیابی توانایی کارکنان سازمان به کمک معیارهایی انجام می‌شود که کارکنان را از نظر جنبه‌های مختلفی می‌سنجد. این معیارها به ۳ دسته اصلی طرز انجام کار، خصایص و ویژگی‌ها و سرپرستی تقسیم می‌شوند که برای هریک از این معیارهای اصلی، زیرمعیارهایی ذکر و وزن هریک از این معیارها و زیرمعیارها به کمک روش AHP تعیین شده است (امیرزاده و یعقوبی^{۳۰}، ۲۰۱۲). نمره نهایی طرح‌ها ۱، ۲ و ۳ از نظر کارکنان ساخت به ترتیب ۳/۹۴، ۳/۶۵ و ۳/۹۷ است.

طبق پژوهش میرحبیبی و مبلغی^{۳۱} (۲۰۱۶)، ۶ فاز انتقال فناوری شامل فاز گزینش و اکتساب، انطباق، جذب، کاربرد، بهبود و توسعه و انتشار است که هریک از این فازها، معیارهایی برای ارزیابی دارند. پس از ارزیابی طرح‌ها به کمک معیارهای فوق، نمره کسب‌شده برای طرح ۱، ۱۰/۸ و طرح ۲/۱۲ و طرح ۳/۱۳ است.

۴-۵- مقادیر کمی معیارهای ریسک

برای تعیین مقادیر کمی ریسک، ابتدا تیم تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود و آنها ریسک فاکتورها، حالات شکست و علل و پیامد آن را شناسایی می‌کنند. ریسک‌های مربوط به توسعه محصول جدید به ۶ دسته ریسک فنی، ریسک مالی، ریسک تأمین، ریسک بازار، ریسک چرخه عمر و ریسک سازمانی تقسیم می‌شوند که تیم تصمیم‌گیری باید ریسک فاکتورها، حالات شکست و علل و پیامدهای مربوط به هریک از این ریسک‌ها را برای محصول مدنظر فهرست کنند. در گام بعد، تمامی ریسک فاکتورهای شناسایی شده با توجه به تأثیری که بر هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد محصول می‌گذارند، دوباره دسته‌بندی می‌شوند و سپس به کمک طیف لیکرت^{۳۲}، مقادیر احتمال وقوع ریسک‌ها و میزان اثرگذاری آنها بر هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد تعیین می‌شود (صیادی و همکاران^{۳۳}، ۲۰۱۱). نکته‌ای که در بحث تعیین مقادیر کمی ریسک‌ها کمتر به آن توجه می‌شود، تعاملات و آثار دیگر ریسک‌ها بر احتمال رخداد یک ریسک است. تعامل بین ریسک‌ها نشان می‌دهد که چگونه رخداد یک ریسک، احتمال وقوع ریسک دیگری را افزایش یا کاهش می‌دهد (هوانگ و همکاران^{۳۴}، ۲۰۱۹). در پژوهش حاضر، این نکته در نظر گرفته شده است و به کمک روش ماتریس ساختار ریسک^{۳۵}، که الهام‌گرفته از ماتریس ساختار طراحی^{۳۶} است، مقدار تأثیر دیگر ریسک‌ها بر احتمال وقوع یک ریسک محاسبه می‌شود.

۴-۶- مقادیر کمی معیارهای تنوع‌پذیری

معیارهای ارزیابی اعتبارسنجی شده منظر تنوع‌پذیری شامل شاخص تنوع‌پذیری، شاخص اتصالات و شاخص اشتراکات است. شاخص تنوع نسلی، شاخص میزان تغییرات مجدد مورد نیاز یک مؤلفه برای انطباق با معیارهای تنوع‌پذیری است. این شاخص تخمین می‌زند که اگر بخواهیم قطعات، مطابق با معیارهای تنوع‌پذیری باشند، چقدر

باید برای طراحی مجدد تلاش کنیم. شاخص تنوع نسلی مبتنی بر عناصری است که تحت تأثیر عوامل بیرونی و کنترل‌نشده هستند. تغییر این محرک‌های بیرونی به مرور زمان سبب تغییر در نسل‌های بعدی خواهد شد که این تغییر با شاخص تنوع نسلی اندازه‌گیری می‌شود. در واقع مقدار این شاخص براساس برآورد تغییرات مورد نیاز در یک جزء، به علت محرک‌های کنترل‌نشده بیرونی است (مارک و ایشی، ۲۰۰۲).

شاخص اتصال، میزان شدت اتصال بین قطعات را در یک محصول نشان می‌دهد. هرچه رابطه بین قطعات قوی‌تر باشد، بیشتر احتمال دارد که تغییر یک قطعه مستلزم تغییر قطعه‌ای دیگر باشد و به این معنی است که کار برای تطابق محصول با نیازهای آینده و توسعه آن سخت‌تر می‌شود. شاخص اتصالات به دو شاخص CI-S و CI-R تقسیم می‌شود. شاخص بالای CI-S نشان می‌دهد که یک قطعه اطلاعات بسیاری را در اختیار دیگر قطعات قرار می‌دهد و اگر این قطعه عوض شود، احتمال بیشتری وجود دارد که به بروز تغییرات در قطعات دیگر منجر شود. شاخص بالای CI-R در یک قطعه نشان می‌دهد که با تغییر قطعات دیگر، احتمال بروز تغییر در این قطعه افزایش می‌یابد (مارک و ایشی، ۲۰۰۲). جدول ۵ اولویت‌بندی اجزا را برای استانداردسازی نشان می‌دهد.

به کمک شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات می‌توان قطعات و اجزایی را شناسایی کرد که به استانداردسازی احتیاج دارند و نشان داد که با استانداردسازی کدام قطعات و اجزا، می‌توان آن طرح را نسبت به تغییرات آینده مقاوم کرد (مارک و ایشی، ۲۰۰۲). نظر به اینکه در پژوهش حاضر، نتایج این روش در مدل بهینه‌سازی استفاده می‌شود، لازم است تا برای نشان دادن وضعیت هر یک از طرح‌ها، از یک عدد استفاده شود؛ بنابراین برای هر یک از این ۸ دسته، یک وزن در نظر گرفته می‌شود. وزن این دسته‌ها به صورت نزولی است؛ سپس تعیین می‌شود که با توجه به شاخص‌های تنوع نسلی و اتصالات هر یک از اجزای طرح، آن جزء، در کدام یک از این دسته‌ها قرار می‌گیرد؛ به بیان دیگر چه تعداد جزء، متعلق به هر یک از دسته‌هاست. در آخر با ضرب وزن هر دسته در تعداد اجزای مربوط به آن دسته، عددی حاصل می‌شود که میزان تغییرات لازم را نشان می‌دهد. بدیهی است که هرچه این عدد بیشتر باشد، نشان‌دهنده تلاش بیشتر برای استانداردسازی و طراحی مجدد اجزای آن طرح است؛ سپس از آن عدد در مدل بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، گاهی برخی قطعات و اجزا که نیازمند استانداردسازی اند و در اولویت استانداردسازی قرار دارند، به دلیل مخارج طراحی و ساخت و نیاز به تغییرات کلی قطعات و کمبود دانش و فناوری، استاندارد نمی‌شوند. به این معنی که این قطعات و اجزا نمی‌توانند نیازهای آینده مشتریان را برآورده کنند و در نسل‌های بعدی محصول، حتماً باید تغییر کنند؛ بنابراین این قطعات در نسل فعلی و نسل آینده غیرمشترک اند. برای بررسی این قطعات غیرمشترک، از شاخص اشتراکات استفاده می‌شود. به کمک شاخص اشتراکات، مشخص می‌شود که بین قطعات و اجزای غیرمشترک دو نسل فعلی و آینده تا چه میزان مشخصه‌های طراحی، تغییر می‌کنند. هرچه مقدار مشخصه‌های طراحی نسل آینده از نسل فعلی بالاتر و بیشتر باشد، به این معنی است که طرح، طرح بدتری است؛ زیرا در آینده، برای طراحی مجدد این اجزا و قطعات طرح تلاش بیشتری می‌شود.

جدول ۵ - اولویت‌بندی اجزا برای استانداردسازی

Table5: Prioritizing components for standardization

وزن	اولویت اجزا برای استانداردسازی	GVI	CI-R	CI-S	تعداد اجزا طرح			میزان تغییرات طرح (AC)		
					۱	۲	۳	۱	۲	۳
۰/۲۲۲	۱	H	L	H	۳	۰	۱			
۰/۱۹۴	۲	H	H	H	۱	۲	۴			
۰/۱۶۷	۳	H	L	L	۲	۳	۲			
۰/۱۳۹	۴	H	H	L	۱	۲	۰	۱/۷۷۸	۱/۶۶۶	۱/۵۵۵
۰/۱۱۱	۵	L	L	H	۱	۳	۱			
۰/۰۸۳	۶	L	H	H	۲	۲	۰			
۰/۰۵۶	۷	L	L	L	۳	۰	۳			

شاخص اشتراکات بیانگر میزان مشابهت محصول جدید با محصولات قبلی است که سابق در سازمان تولید می‌شد. این شاخص نه تنها شباهت قطعات را نشان می‌دهد، به کمک آن درصد مشابهت نوع مواد، فرایندها، روش مونتاژ و روش ساخت نیز مشخص می‌شود (وانگ و وین^{۳۷}، ۲۰۱۹).

محققان اغلب از شاخص‌های مشترک به‌عنوان یک پروکسی برای پیش‌بینی مقدار هزینه فعالیت مورد نیاز برای طراحی، تولید و مونتاژ یک متغیر محصول جدید استفاده می‌کنند (مارک و ایشی، ۱۹۹۶؛ تونات و سیمپسون^{۳۸}، ۲۰۰۶). میزان بالای اشتراکات بین انواع مختلف نشان می‌دهد که بخش بالایی از مؤلفه‌ها، مجدداً مورد استفاده قرار گرفته‌اند و این به آن معناست که یک شرکت می‌تواند به اقتصادهای بزرگ‌تری در مقیاس و دامنه دست یابد. با این حال، اشتراکات کامل به دلیل نیاز به متمایز کردن انواع محصول برای ارضای نیازهای مختلف مشتری، غیرعملی است. این شاخص، اشتراکات بین مشخصه‌های طراحی مؤلفه‌های غیرمشترک دو نسل فعلی و آینده محصول را بررسی می‌کند. هرچه این مؤلفه‌ها در محصول فعلی و محصول آینده به هم نزدیک‌تر باشند، به این معنی است که سازنده در آینده به تلاش کمتری برای تولید محصول نیاز دارد و طرح از نظر شاخص اشتراکات، طرح بهتری است (کرباسیان و همکاران^{۳۹}، ۲۰۲۲).

۵- بحث

پس از تعیین مقادیر کمی هر یک از پارامترهای مدل بهینه‌سازی، مدل به کمک نرم‌افزار GAMZ win 64 25.1.12 و با روش مجموع وزنی حل شده است. وزن هر یک از توابع هدف توسط خبرگان طراحی تعیین شده است. طبق نظر خبرگان، تابع هدف حداقل کردن طراحی مجدد مورد نیاز وزن ۰/۴۲، حداقل کردن و حداکثر کردن درآمد، ۰/۳۰، حداکثر کردن اثربخشی استراتژی سازمانی و حداقل کردن ریسک وزن ۰/۱۴ دارند. مقدار توابع هدف به‌ازای هر یک از طرح‌های توسعه محصول در جدول ۶ موجود است. باید توجه داشت، به‌علت اینکه مقادیر توابع هدف در یک محدوده قرار ندارند، ابتدا نرمال می‌شوند و سپس در رابطه ۱۶ قرار می‌گیرند. در نهایت تابع هدف نهایی معادل رابطه ۱۶ شده است. در ادامه با بررسی محدودیت‌های مدل ریاضی توسعه داده شده، می‌توان دریافت که طرح توسعه محصول ۲ به‌علت برآورده نکردن محدودیت، مربوط به الزامات غیرکارکردی حذف می‌شود؛ زیرا مقدار تابع الزامات غیرکارکردی طرح ۲ از میانگین مقدار توابع الزامات کارکردی هر سه طرح کمتر است. همین‌طور

می توان دریافت که طرح توسعه محصول ۳ نیز به علت فراتر بودن مقادیر ریسک های اثرگذار بر زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد از حد مجاز تعریف شده، طرح پذیرفتنی نیست و حذف می شود؛ بنابراین طرح توسعه محصول ۱ به عنوان طرح بهینه انتخاب می شود.

$$Z_f = 0.14 Z_1 - 0.30 Z_2 - 0.14 Z_3 + 0.42 Z_4 \quad (16)$$

جدول ۶- مقادیر توابع هدف به ازای هر یک از طرح های توسعه محصول

Table6: The values of the objective functions for each of the product development designs

وزن	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۴۲
مثبت / منفی	منفی	مثبت	مثبت	منفی
توابع هدف	حداقل شدن ریسک (۱)	حداکثر شدن درآمد (۲)	حداکثر شدن توانایی استراتژیکی	حداقل شدن تلاش برای طراحی مجدد (۴)
طرح ۱	۱/۲۸۶	۲۲۶۴/۳	۱/۶۳۲	۰/۷۰۲
طرح ۲	۱/۶۱۳	۱۴۸۳/۸۹	۱/۶۸۴	۰/۶۲۷
طرح ۳	۱/۸۲۴	۲۳۴۴/۲۸	۱/۶۸۳	۰/۶۲۵

جدول ۷ معیارهای به کار رفته در این ارزیابی را نشان می دهد. همان طور که از جدول ۷ استنباط می شود، پژوهش های مشابه تنها دو یا چند منظر از معیارها را ارزیابی کرده اند و آن دسته از پژوهش هایی که طرح های توسعه محصول را از نظر معیارهای عمومی به طور کامل ارزیابی کرده اند، تغییرات آینده محصول و معیار تنوع پذیری را در نظر نگرفته اند. پژوهش حاضر با تقسیم معیارهای ارزیابی به دو دسته عمومی و تنوع پذیری، در نظر دارد که طرح های توسعه محصول را از نظر کارایی حال حاضر محصول و نسبت به تغییرات آینده بسنجد.

جدول ۷- معیارهای به کار رفته در پژوهش حاضر، برای ارزیابی طرح های توسعه محصول

Table7- Literature Review

ردیف	معیارهای ارزیابی	نوع معیار	معیارهای ارزیابی					نام نویسنده (سال انتشار)
			چشم انداز مالی	چشم انداز مشتری	چشم انداز کسب و کار داخلی	چشم انداز رشد و یادگیری	چشم انداز ریسک	
۱	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓				آلیچی و همکاران (۲۰۲۰)
۲	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓				آیبرولا (۲۰۱۷)
۳	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓	✓	✓	✓	هائیس مجورده و همکار (۲۰۱۶)
۴	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓	✓	✓	✓	هرلیس و همکاران (۲۰۲۰)
۵	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓	✓	✓	✓	هائیس مجورده و همکاران (۲۰۱۵)
۶	معیارهای ارزیابی	معیارهای ارزیابی	✓	✓	✓	✓	✓	پژوهش حاضر

پیشنهادها برای تحقیقات آینده نیز به شرح زیر است:

- در پژوهش حاضر، پارامتر زمان لحاظ نشده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، زمان نیز در نظر گرفته شود.
- در پژوهش حاضر برای شناسایی اجزای غیرمشترک بین دو نسل فعلی و آینده، از روش محاسبه اولویت استانداردسازی اجزا و در نظر گرفتن توانایی فنی و مالی تولیدکننده استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود تنها به این روش اکتفا نشود و این انتخاب با توجه به فناوری‌های احتمالی، در آینده انجام شود.
- می‌توان از مناظر دیگری برای دسته‌بندی و شناسایی معیارها استفاده کرد.
- در این مدل برای محاسبه قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری طول عمر سیستم‌ها، به صورت نمایی و با نرخ خرابی ثابت فرض شده است. پیشنهاد می‌شود برای محاسبه واقع‌بینانه‌تر، از توزیع وایبال و با نرخ خرابی متغیر استفاده شود.
- می‌توان نتیجه ارزیابی به کمک مدل پژوهش فوق را با دیگر روش‌های موجود در پژوهش‌های دیگر مقایسه و تحلیل کرد.

۶- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی طرح توسعه محصول در مراحل ابتدایی طراحی محصول به کمک معیارهای شناسایی شده و با استفاده از ارائه یک مدل بهینه‌سازی و رویکرد تنوع‌پذیری بوده است. برای رسیدن به این هدف، ابتدا با مطالعه کتاب، مقالات و تحقیقات انجام شده مرتبط، معیارها به دو دسته عمومی و تنوع‌پذیری تقسیم و زیرمعیارهای مربوط به هر کدام برای ارزیابی طرح‌ها شناسایی شدند. در ادامه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه طراحی شده است که به کمک آن ارزیابی طرح‌های مهندسی از نظر معیارهای عمومی و تنوع‌پذیری انجام می‌شود. پژوهش حاضر تلاشی برای ارائه یک مدل جامع و هدفمند به منظور انتخاب بهترین طرح برای توسعه محصولات جدید و نوآورانه است. این پژوهش با ارائه مدل بهینه‌سازی چندهدفه در مراحل اولیه توسعه محصول جدید، طرحی را انتخاب می‌کند که بیشترین کارایی را در حال حاضر دارد و با تکیه بر معیارهای تنوع‌پذیری، می‌تواند در کمترین زمان و با کمترین تلاش و هزینه، پاسخگوی نیازهای آینده مشتریان نیز باشد. هدف این تحقیق یافتن معیارهای جامع و هدفمند برای ارزیابی همه‌جانبه طرح‌های توسعه محصول و ارائه مدلی است که بتواند علی‌رغم وجود معیارهای متناقض، طرح‌های توسعه محصول را بررسی کند. انتخاب طرحی بهینه می‌تواند از افزایش هزینه‌های اصلاح محصول و تلاش برای طراحی مجدد جلوگیری کند و زمان عرضه محصولات جدید را به بازار کاهش دهد.

محدودیت اصلی پژوهش حاضر، نبود اطلاعات دقیق در مراحل اولیه توسعه محصول است. در این تحقیق فرض شد که اطلاعات ارائه شده از سوی کارشناسان و طراحان صنعت مربوطه، صحیح و واقعی است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، از داده‌های فازی استفاده شود تا نتیجه، قابلیت اطمینان بیشتری داشته باشد.

References

- Abbasi, D. ; Ashrafi, M. and Ghodsypour, S.H. (2020). A Multi Objective-BSC Model for New Product Development Project Portfolio Selection. *Expert Systems with Applications*, (162). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113757>.
- Abbasi.M; Ashraf.M and Sharifi Tashnizi. E. (2014). Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. *Technovation*, 34(1), 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2013.09.001>.
- Aikhuelea, D. O. (2017). Interval-valued intuitionistic fuzzy multi-criteria model for design concept selection. *Management Science Letters*, (7), 457-466.
- Amir zade, R.; Yaghubi, Z. (2012). Evaluation of the performance of the employees of the National Iranian Petroleum Products Distribution Company in Ahvaz region by the method of hierarchical analysis process. *Journal of industrial management faculty of human resource*, 7(19), 97-107.
- Asgharizadeh. E., Ghaem maghami.M. and Farsijani. H. (2022). Designing a performance evaluation model with a world-class sustainable production approach in the automotive industry. *Production and Operations Management*, 13(3), 75-98. <https://civilica.com/doc/1583726>.
- Ávilaa, P. ;Motaa, A. ;Piresa, A. ;Bastosa, J. ;Putnikb, G. and Teixeira, J. (2012). Supplier's selection model based on an empirical study. *International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*, (5), 625-634. <https://doi.org/10.1016/j.protocy.2012.09.069>
- Azar, A, Gheidar Kheljani, J., Hashemi majumard, S.Mojtaba (2015). Provide a model for evaluating conceptual design options in complex defense product development projects, taking into account the coherence and interaction of risks. *Journal of management improvement*, (3), 53-82.
- Gapta, s. and Okudan. E. G., (2008). Framework for Generating Modularized Product Designs with Assembly and Variety Considerations. *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 1(1), 171-180.
- Ghasemi, M.; Mehr Alizade. M. and Musavi. M.(2019). Selection of the best conceptual design in terms of quality in the new product development process under conditions of uncertainty fuzzy. *3rd International conference on soft computing*, (3), 1933-1939. <https://civilica.com/doc/1006212>.
- Gül, E. O. and Shafin, T., (2008). Concept selection methods – a literature review from 1980 to 2008. *International Journal of Design Engineering*, 1(3), 243-277.
- Hashemi majumard., M. and Kasaei, M. (2016). Providing a new method for evaluating and selecting the portfolio of development projects New product (case of study): a company that produces appliances and Medical Equipment. *Journal of Industrial management studies*, (47), 23-43. <https://doi.org/10.22054/jims.2017.8115>
- Huang, P.; Di, P. and Li, J. (2019). Project Risk Identification Based on the Interaction of Risks from the Approach of Multi-agent Simulation. *4th International Conference on Energy Equipment Science and Engineering*, 242(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/242/5/052053>.
- Karbasian, M., Divsalar, P., Yousefi, O. and Gheidar Kheljani, J.(2022). Evaluating engineering designs using design for variety approach. (Case study: phased array radar). *Journal of engineering and management of quality*, 11(3), 243-259.
- Lam, P.K.; Chin, K.S. & Pun, K.F. (2007). Managing Conflict in Collaborative New Product Development: A Supplier Perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24(9), 891-907. <https://doi.org/10.1108/02656710710826171>.
- Li. X. ; Zhong. Zh. ; Liu. X. and Lau . W. (2019). Opportunity cost management in project portfolio selection with divisibility. *Journal of the Operational Research Society*, 70(7), 1164-1178. <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1506546>.
- Nadadur. G. ; Parkinson. M.B. and Simpson. T.W.(2012). Application of the generational variety index: a retrospective study of iphone evolution. *International Design Engineering Technical*

- Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7937-6_29
- Nooraei Baydokht, R., Hamed, M. and Asgharizadeh, E. (2018). A Model for R&D Project Portfolio Selection and Development in LCSI Enterprises. *Industrial management perspective*, 8(3), 9-36.
- Martin, M.V., Ishii, K. Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. *Res Eng Design* 13, 213–235 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00163-002-0020-2>.
- Mark, M.V. and Ishii, K. (1996). Design for variety: a methodology for understanding the costs of product proliferation. *Design Engineering Technical Conference*, Irvine, USA. ASME, New York. <https://doi.org/10.1115/96-DETC/DTM-1610>.
- Mark, M. V. and Ishii, K. (2000). Design for variety: A methodology for developing product platform architectures. *Design Engineering Technical Conferences*, Maryland, USA. <https://doi.org/10.1115/DETC2000/DFM-14021>.
- Mir Habibi, D. and mobaleghi, M. (2016). Evaluating the success rate of technology transfer process and improving its implementation by using the importance of performance analysis of Samam Company case study. *Journal of technology growth*, (42), 14-20. <https://civilica.com/doc/464048>.
- MohdShukri, N.F. ; Ramli, A. (2015). Organizational structure and performances of responsible Malasian health care providers: A balanced scored perspective. *Procedia Economics and Finance*,(28), 202-212. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01101-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01101-6).
- Nakhaeinejad.M. and MomenShad. N. (2020). Project portfolio selection by considering triple-wise interaction among projects. *Production and Operations Management*,11(1), 1-22. <https://doi.org/10.22108/jpom.2020.119184.1221>
- Oh, J., Yang, J., & Lee, S. (2012). Managing uncertainty to improve decision-making in NPD portfolio management with a fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications*, (39), 9868-9885. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.164>
- Olabanjia, O. and Mpofua, Kh. (2020). Hybridized fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy weighted average for identifying optimal design concept. *Heliyon* , 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03182>.
- Paramasivam, V. and Senthil, V. (2009). Analysis and evaluation of product design through design aspects using digraph and matrix approach. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, (13), 13-23. <https://doi.org/10.1007/s12008-009-0057-9>.
- Relich, M., & Pawlewski, P. (2017). A fuzzy weighted average approach for selecting portfolio of new product development projects. *Neurocomputing*, (231), 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.05.104>.
- Sayyadi, A. ; Hayati, M. and Azar, A. (2011). Assessment and Ranking of Risks in Tunneling Projects Using Linear Assignment Technique. *International Journal of industrial engineering and production management*, 1(22), 28-38.
- Thevenot, H. J. and Simpson, T. W. (2006). Commonality indices for product family design: a detailed comparison. *Journal of Engineering Design*, 17(2), 99–119. <https://doi.org/10.1080/09544820500275693>.
- Ullman, D.G. (2009). *The mechanical design process*. 4th edn. McGraw-Hill.
- Wei, C.-C., and Chang, H.-W. (2011). A new approach for selecting portfolio of new product development projects. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.081>.
- Wong, F.S. and Wynn, D.C. (2019). A new method to assess platform changes over successive generations of product variants from multiple design perspectives. *international conference on engineering design*, 1(1), 2931-2940. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.300>.

- ¹ Lam et al.
- ² Gül & Shafin
- ³ Ghasemi et al.
- ⁴ Ullman
- ⁵ Financial perspective
- ⁶ Customer perspective
- ⁷ Internal business process perspective
- ⁸ Growth and learning perspective
- ⁹ MohdShukri & Ramli
- ¹⁰ Gupta & Okudan
- ¹¹ Mark & Ishii
- ¹² Olabanjia & Mpofua
- ¹³ Aikhuelea
- ¹⁴ Hashemi majumard & kasae
- ¹⁵ Abbassi et al.
- ¹⁶ Azar et al.
- ¹⁷ Lawshe
- ¹⁸ Wei & Chang
- ¹⁹ Oh et al.
- ²⁰ Nooraei Baydokht et al.
- ²¹ Asgharizadeh et al.
- ²² Relich & Pawlewski
- ²³ Li et al.
- ²⁴ Nakhaeinejad & MomenShad
- ²⁵ Nadadur et al.
- ²⁶ Primary Index Risk
- ²⁷ Overall measurement of effectiveness
- ²⁸ Paramasivam & Senthil
- ²⁹ Ávila et al.
- ³⁰ Amir zadeh & Yaghubi
- ³¹ Mir Habibi & mobaleghi
- ³² Likert scale
- ³³ Sayyadi et al.
- ³⁴ Huang et al.
- ³⁵ Risk Structure Matrix (RSM)
- ³⁶ Design Structure Matrix (DSM)
- ³⁷ Wong & Wynn
- ³⁸ Thevenot & Simpson
- ³⁹ Karbasian et al.