



Assessing Research and development strategies with customer satisfaction (A case study on automotive battery industries)

Masoud Latifian

Department of Technology Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: latifian.masoud@gmail.com

Mohammad Ali Keramati

* Corresponding Author, Department of Technology Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: moh.keramati@iauctb.ac.ir

Reza Tavakkoli-Moghaddam,

School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: tavakoli@ut.ac.ir

Abstract

A research and development (R&D) department is an essential and critical section for all organizations, which are eager to actively participate and compete in national and international markets. Today's investment in this field has been approved and all organizations are aware of its role to increase competitive risk. Improving R&D departments and promoting the efficiency of companies can help a country to move toward knowledge-based economy and also assist to stop illogical exchange currency flow to foreign countries against import of technology transfer from them. A problem in a domestic market is the lack of the R&D strategy to produce new products and promote the customer's satisfaction level in industrial companies. The objective of this research is to introduce a two-phase decision-making approach to assess R&D strategies in automotive battery industries stressing on the customer's satisfaction parameter. In the first section, the practical strategies on R&D management and the effective indices of the customer's satisfaction on R&D strategies are recognized. In the second section, weighting coefficients related to customer's satisfaction indices are reached by utilizing the fuzzy best-worst method (FBWM) as an effective multi-criteria decision-making (MCDM) method. Moreover, the weight of any individual strategy and their final prioritization is calculated using the analytical method of the interval-valued triangular fuzzy-gray relation analysis (IVTFN-GRA). Based on the results gained from the proposed FBWM, three effective factors in evaluating R&D strategies in an automotive battery industry are recognized, respectively, as combination with other operations, price index and function improvements. Finally, among the existing strategies, the joint R&D strategy with 0.375 rate is selected.

Keywords: Research and development strategy, Multi-criteria decision making, Fuzzy best-worst method, Interval-valued triangular fuzzy - gray relationship analysis

Citation: Latifian, M., Keramati, M. A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). Assessing Research and development strategies with customer satisfaction (A case study on automotive battery industries). *Consumer Behavior Studies Journal*, 9 (1), 182-206. (in Persian)



ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه با در نظر گرفتن رضایت مشتری (مطالعه موردی: صنایع باتری‌سازی خودرو)

مسعود لطیفیان

گروه مدیریت تکنولوژی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

رایانامه: Latifian.masoud@gmail.com

محمدعلی کرامتی

* نویسنده مسئول، گروه مدیریت تکنولوژی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رایانامه: moh.keramati@iauctb.ac.ir

رضا توکلی مقدم

دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: tavakoli@ut.ac.ir

چکیده

بخش تحقیق و توسعه، ارگانی لازم و حیاتی برای تمام سازمان‌هایی است که قصد حضور فعال در بازارها و رقابت در سطح داخلی و بین‌المللی را دارند. امروزه سرمایه‌گذاری در این حوزه نهادینه و همه سازمان‌ها به نقش این امر برای افزایش ریسک رقابتی آگاه می‌باشند. تقویت واحدهای تحقیق و توسعه و ارتقای بهره‌وری بنگاه‌ها، می‌تواند کشور را در حرکت به سمت اقتصاد دانش‌بنیان یاری نموده و از خروج ارز بی‌رویه به واسطه انتقال تکنولوژی از سایر کشورها، کمک نماید. یکی از مشکلات شرکت‌های داخلی، نبود استراتژی تحقیق و توسعه با هدف تولید محصولات جدید و افزایش سطح رضایت مشتریان در صنایع می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری دمرحله‌ای جهت ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو با تأکید بر رضایت مشتریان است. ابتدا، استراتژی‌های مؤثر بر مدیریت تحقیق و توسعه و همچنین شاخص‌های اثرگذار رضایت‌مندی مشتریان بر استراتژی‌های تحقیق و توسعه شناسایی می‌شوند. سپس، ضرایب وزنی مربوط به شاخص‌های رضایت‌مندی مشتریان از طریق به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین فازی (FBWM) نتیجه می‌گردد. علاوه‌براین نیز وزن هر استراتژی و اولویت‌بندی نهایی آن‌ها با استفاده از روش تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای محاسبه می‌شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش FBWM، سه عوامل اثرگذار در ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو به ترتیب عبارت‌انداز: میزان ترکیب با سایر عملیات، شاخص قیمت و بهبود عملکرد. در نهایت نیز استراتژی‌های موجود، استراتژی "تحقیق و توسعه مشترک" با وزن ۰/۳۷۵ انتخاب شد.

واژگان کلیدی: استراتژی تحقیق و توسعه، تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهترین-بدترین فازی، تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای

استناد: لطیفیان، مسعود؛ کرامتی، محمدعلی و توکلی مقدم، رضا (۱۴۰۱). ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه با در نظر گرفتن رضایت مشتری (مطالعه موردی: صنایع باتری‌سازی خودرو). *مطالعات رفتار مصرف‌کننده*، ۹ (۱)، ۱۸۲-۲۰۶.

۱. مقدمه

یکی از عوامل مهم در موفقیت تحقیق و توسعه در سازمان‌ها، سرمایه‌گذاری مناسب و به‌موقع در این مقوله و نقش این عامل در شکل‌دهی به استراتژی‌های این بخش بسیار حیاتی می‌باشد. ثبات نتایج و نتایج سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه به‌عنوان یک موضوع موردعلاقه محققان در مدیریت تحقیق و توسعه مطرح می‌باشد. هرچند که نظریات مختلف و متفاوتی در مورد ماندگاری و یا فرار نتایج تحقیق و توسعه وجود دارد اما نتایج سرمایه‌گذاری به عوامل مختلفی از جمله شدت تحقیق و توسعه، نسبت محققین به کل پرسنل و میزان فروش بستگی دارد. همچنین توانمندی‌های تکنولوژیکی و شوک‌های مثبت و منفی بازار نیز در نتایج سرمایه‌گذاری مؤثر می‌باشند (Kang, Baek & Lee, 2017). نتایج پژوهش انجام‌شده بر روی ۷۷۲ شرکت چینی از سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ جهت بررسی رابطه میان هزینه‌های تحقیق و توسعه و ارتباط آن با عملکرد آتی سازمان‌ها، نشانگر اثر مثبت هزینه‌های تحقیق و توسعه بر عملکرد آن شرکت‌ها می‌باشد (Ruiqi, Wang, Xu & Yuan, 2017). ارزیابی استراتژی‌های نوآوری و هزینه‌های تحقیق و توسعه بر عملکرد شرکت‌های حوزه فناوری اطلاعات، نشان می‌دهد که نوآوری در این شرکت‌ها اغلب به معرفی محصولات جدید به بازار بستگی دارد. مکانیزم‌های انتخاب استراتژی‌های مناسب نوآوری و تخمین مناسب پروژه‌های تحقیق و توسعه بر عملکرد سازمان‌ها تأثیر مثبت دارد (Babkin, Lipatnikov & Muraveva, 2015). اما سؤال اصلی این است که نحوه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تحقیق و توسعه چگونه است و مدیران تحقیق و توسعه می‌بایست سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه را به‌صورت ایستا انجام دهند یا با عکس‌العمل سریع نسبت به تغییرات تصمیم‌گیری نمایند؟ (Penetier, Girotra & Mihm, 2019).

با توجه به محدودیت منابع سازمانی، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه می‌بایست بر عملکرد سازمان‌ها مؤثر واقع گردد، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، تأثیر دوبرابری بر افزایش سهم بازار نسبت به سرمایه‌گذاری در دارایی‌های مشهود دارد و همچنین رابطه مثبت میان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و رشد درآمد نیز وجود دارد (Ruiqi et al., 2017). نکته مهم دیگر رابطه میان اندازه و وسعت سازمان‌ها با میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه می‌باشد. شرکت‌های چندملیتی با دارابودن منابع مختلف و متنوع، امکان سرمایه‌گذاری بیشتری در تحقیق و توسعه را دارا هستند (Castellani, Montresor, Schubert & Vezzani, 2017). اما تنها شرکت‌های بزرگ نیستند که در تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری می‌کنند، شرکت‌های با سایز کوچک و متوسط فعال در تحقیق و توسعه نیز نیازمند هزینه در تحقیق و توسعه هستند، البته نوع و مقدار این هزینه وابسته به عواملی مانند ظرفیت جذب، سرمایه در گردش و زمینه‌های فعالیت این شرکت‌ها و میزان فروش و صادرات می‌باشد (Di Cintio, Ghosh & Grassi, 2017; Khoshnevis & Teirlinck, 2018).

در دهه‌های اخیر، نقش دانش در اقتصادهای صنعتی بیشتر شده و از این‌رو اقتصادهای صنعتی، اقتصادهای دانش‌بنیان نام گرفتند؛ زیرا که تداوم رشد این اقتصادها، منوط به شتاب‌بخشیدن به تحولات فناوری و نوآوری است. از این‌رو تحقیق و توسعه از مقولات مهم اقتصاد دانش‌بنیان تلقی می‌شود که بخشی از عوامل تحول فناوری را توضیح می‌دهد (Azoulay, Graff Zivin, Li & Sampat, 2019). شرکت‌ها به‌وسیله تحقیقاتی که انجام می‌دهند، نیازهای مشتریان را شناسایی کرده و به راه‌های جدیدی برای برآوردن نیازهای آنان دست می‌یابند. در چند دهه اخیر، توجه به بازار رقابتی شدید در عرصه‌های فناوری و خدمات و اهمیت بخش تحقیق و توسعه در ایجاد مزیت رقابتی برای ارائه‌دهندگان کالا و خدمات و در نهایت ارزش‌افزوده بسیار بالا، باعث شده است تا به واحدهای تحقیق و توسعه و روش‌های تقویت و ارتقای سطح کیفی این مراکز توجه خاصی صورت گیرد. در واقع حفظ رابطه با مشتری، پیش‌بینی

و آگاهی داشتن از نیازهای مشتری و فراهم کردن آن است. با جمع‌آوری، بخش‌بندی و تحلیل داده‌های مشتریان از طریق پایگاه داده، می‌توان به رفتار، ترجیحات، علایق و نیازمندی آن‌ها پی برد (Rezvani, Sadat Asadi & Rezaee, 2022). امروزه رضایت مشتری به‌عنوان اساس موفقیت در فضای به‌شدت رقابتی کسب‌وکار فعلی به‌کار می‌رود. بر این اساس، اهمیت رضایت و حفظ مشتری در توسعه راهبردهای بازارگرا و مشتری‌محور را به هیچ‌عنوان نمی‌توان نادیده گرفت. رضایت مشتری، کیفیت خدمات و ارزش؛ سه عنصری هستند که مدیران هر سازمانی در ارائه خدمات موردنظر به مشتریان باید موردتوجه جدی قرار دهند (Mahdieh, Pirayesh & Baboli, 2022). اهداف کلی فرآیند تحقیق و توسعه عبارتند از: رصد کردن بازار، ارائه خدمات به بازار، شکل‌دادن به بازار و حفظ بازار. به این منظور، چهار فعالیت کلیدی متناظر با این اهداف باید در دستور کار شرکت‌ها قرار گیرد که به ترتیب متناسب با اهداف فوق‌الذکر عبارتند از: تحقیق، توسعه، نوآوری و پشتیبانی (Zhang, Ding & Ke, 2019). امروزه همه کشورها اعم از کشورهای صنعتی و کشورهای درحال توسعه، در تلاش هستند تا بر حجم سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی خود بیفزایند. در این میان، کشورهای صنعتی برای حفظ موقعیت خود و یا افزایش برتری خویش در صحنه‌های رقابت بین‌المللی، در تحقیقات سرمایه‌گذاری می‌کنند و کشورهای درحال توسعه نیز دریافته‌اند که برای رسیدن به رشد و توسعه واقعی و حل و رفع اصولی مسائل و مشکلات اقتصادی و اجتماعی خود، راهی جز سرمایه‌گذاری در زمینه تحقیقات ندارند. یکی از عوامل مهمی که منجر به ایجاد شکاف بین کشورها شده است، تفاوت در توانمندی آن‌ها در انجام نوآوری مستمر در تمامی ابعاد سیاسی، اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی است. با توجه به رشد سریع فناوری در دو دهه اخیر و پیش‌بینی این روند در آینده، بی‌شک اگر تمهیدات مناسبی اندیشیده نشود، با گذشت زمان بر وسعت این شکاف افزوده خواهد شد. یکی از راه‌های مقابله با این چالش، افزایش توانمندی نوآوری در کشور از طریق افزایش فعالیت‌های تحقیق و توسعه در بخش‌های مختلف اقتصادی است (Simao & Franco, 2020).

بنابراین با توجه به توضیحات فوق، هدف از این پژوهش، ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری دومارحله‌ای جهت ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو با تأکید بر رضایت مشتریان است. در بخش نخست، ابتدا استراتژی‌های مؤثر بر مدیریت تحقیق و توسعه و همچنین شاخص‌های اثرگذار رضایت‌مندی مشتریان بر استراتژی‌های تحقیق و توسعه شناسایی می‌شوند. در بخش دوم، ضرایب وزنی مربوط به شاخص‌های رضایت‌مندی مشتریان از طریق به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین فازی (FBWM) نتیجه می‌گردد. علاوه بر این نیز وزن هر استراتژی و اولویت‌بندی نهایی آن‌ها با استفاده از روش تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای (IVTFN-GRA) محاسبه می‌شود. در ادامه، ساختار پژوهش به شرح زیر تقسیم‌بندی شده است: بخش دوم، به مرور ادبیات پژوهش می‌پردازد، بخش سوم، روش پژوهش را شرح می‌دهد، بخش چهارم، مورد مطالعاتی پژوهش و همچنین چارچوب معیارهای پیشنهادی را ارائه می‌دهد، بخش پنجم، به بحث در مورد نتایج محاسبات می‌پردازد، در نهایت، در بخش ششم نیز نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

¹ Best-Worst Method

² Interval-valued Triangular Fuzzy Numbers-Grey Relation Analysis

۲. مبانی نظری

تحقیق و توسعه، به مجموع فعالیت‌های بدیع، خلاق، نوآورانه، نظام یافته و برنامه ریزی شده‌ای که به طور کلی با هدف گسترش مرزهای شناخت علمی و گنجینه دانش انسان و جامعه انسانی و کاربرد این دانش در عرصه‌های گوناگون برای بهبود زندگی انسان و به طور خلاصه در جهت نوآوری و ایجاد فرآورده‌ها، فرآیندها، وسایل، ابزارها، نظام‌ها، خدمات و روش‌های جدید صورت پذیرد، اطلاق می‌شود (Lukach, Kort & Plasmans, 2007). امروزه فعالیت‌های تحقیق و توسعه، محرک و عامل اصلی توسعه صنعتی و اقتصادی کلیه بنگاه‌ها شناخته شده‌اند و یکی از عوامل مهم در تقویت توان فناورانه و رشد اقتصادی کشورها است. روش‌ها و مکانیزم‌های مختلفی برای توسعه فناوری از طریق تحقیق و توسعه مانند تحقیق و توسعه داخلی، تحقیق و توسعه مشترک، قرارداد تحقیق و توسعه و برون سپاری تحقیق و توسعه وجود دارد (Penan, 1996). واحدهای وظیفه‌ای، همانند واحدهای تحقیق و توسعه نیاز به استراتژی ویژه جهت پیشبرد اهداف و وظایف واحد خود را دارند. این استراتژی‌ها باید هماهنگ و همگام با استراتژی‌های شرکت طراحی شوند.

استراتژی‌های تحقیق و توسعه، شامل تعریف مجموعه پروژه‌های تحقیق و توسعه مورد نیاز به منظور دستیابی به اهداف مشخص شده در زمینه اکتساب تکنولوژی تعریف شده در چارچوب استراتژی کلی شرکت می‌باشد. چهار جز اصلی استراتژی تحقیق و توسعه به شرح زیر می‌باشند (Pisano, 2012):

۱_ معماری استراتژی؛ شامل تمرکز یا عدم تمرکز فعالیت‌های تحقیق و توسعه

۲_ فرآیندها؛ شامل فرآیندهای توسعه‌ای، تصمیم‌گیری و شاخص‌های فرآیندی کارکنان

۳_ تحقیق و توسعه؛ شامل متخصصین و سایر پرسنل وابسته

۴_ سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه؛ شامل خصوصیات پروژه‌ها و پروژه‌های ایده‌آل

از مهم‌ترین استراتژی‌های تحقیق و توسعه، می‌توان به استراتژی‌های اجرایی تحقیق و توسعه اشاره نمود. اجرای پروژه‌های تحقیق و توسعه به صورت داخلی، همکاری‌های مشترک و یا برون سپاری پروژه‌ها راهکارهایی است که در منابع مختلف به آن‌ها پرداخته شده است. بررسی موفقیت سازمان‌ها در بهره‌برداری از سرریز تحقیق و توسعه به صورت داخلی و یا خرید آن از شرکت‌های خارجی و رابطه این دو با ظرفیت جذب سازمان‌ها، نشان می‌دهد سازمان‌های با ظرفیت جذب یکسان که در شرایط و محیط اقتصادی پیشرفته‌تری قرار دارند، در بهره‌برداری از سرریزهای تحقیق و توسعه موفق‌تر هستند (Aldieri, Sena & Vinci, 2018). برون سپاری تحقیق و توسعه، باعث افزایش دانش سازمان‌ها می‌شود و این بدان معنی است که نه تنها آنچه این دسته از سازمان‌ها می‌توانند انجام دهند (شایستگی‌ها) بهبود می‌یابد، بلکه کارهایی که باید از آن‌ها دوری کنند (هزینه‌ها) نیز برای سازمان‌ها شفاف می‌گردد. همچنین، انجام تحقیق و توسعه در کشورهای پیشرفته، باعث ارتقای سطح تحقیق و توسعه می‌گردد (Lampert & Kim, 2019). در کسب و استفاده از دانش برای تحقیق و توسعه، دو راهکار عمده وجود دارد: یکی محدود نمودن گستره دانش و دیگری گوناگونی آن. نتایج به دست آمده از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که به صورت کلی کنترل محدوده جریان دانش در زمینه‌های خاص، تأثیر بیشتری بر فروش محصول جدید دارد. برون سپاری داخلی و خارجی تحقیق و توسعه تأثیرات متفاوتی بر عملکرد نوآوری خواهد داشت و تعداد این قراردادها بر نحوه واگذاری و نتایج به دست آمده مؤثر است (Steinberg, Procher & Urbig, 2017).

تصمیم‌گیری چندمعیاره یکی از روش‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه‌ها از میان یک مجموعه راه‌حل است. خیلی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تلاش هستند که یک محیط تصمیم‌گیری ایده‌آلی را ترسیم نمایند

که در آن محیط، تصمیم‌گیران به‌طور منطقی همه جنبه‌های مسئله را موردتوجه قرار داده و همه اطلاعات دقیق را به‌دست آورند و سپس به اجماع یک راه‌حل را می‌پذیرند. تصمیم‌گیری چندمعیاره، شناخته‌شده‌ترین شاخه تصمیم‌گیری است. این شاخه یکی از طبقات کلی مدل‌های پژوهش در عملیات است که برای حل مسائل تصمیم که دارای چندین معیار تصمیم باشند، به‌وجود آمده است (Tzeng & Huang, 2011).

۳. پیشینه پژوهش

ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. Chan & Daim (2018) در پژوهشی به ارزیابی زمینه‌های فناوری آینده‌نگر، استراتژی‌های توسعه و منابع مختلف نوآوری در بخش داروسازی چین با استفاده از یک روش AHP پرداختند. نتایج حاکی از آن است که گرچه SME‌های داخلی، عمده‌ترین گزینه جایگزین نوآوری هستند. تجزیه و تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اثربخشی تصمیمات سیاسی، تحت تأثیر برخی از حوزه‌های فناوری پیشرفته است. این تحقیق یک چارچوب را برای تدوین استراتژی‌های نوآوری در مقابله با عدم قطعیت‌های توسعه فن‌آوری و تصمیم‌گیری‌های سیاست در صنعت بیودارویی پیشنهاد می‌کند. Gang & Wei (2017) یک سیستم ارزیابی جامع فازی مبتنی بر Delphi-AHP که شامل یک روش تصمیم‌گیری گروهی برای ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارزیابی پروژه‌های برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه، یک فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی بهبودیافته مبتنی بر دلفی برای تعیین شاخص وزن و یک روش ارزیابی جامع فازی برای محاسبه نتایج ارزیابی ارائه نمودند. (2018) Kyung در پژوهشی یک مدل اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری را براساس نقشه راه فناوری برای یکپارچه‌سازی سیاست سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه با استفاده از الگوی تصمیم‌گیری AHP پیشنهاد نمود.

Salimi & Rezaei (2018) در پژوهشی به سنجش عملکرد تحقیق و توسعه با در نظر گرفتن سطوح مختلف اهمیت اقدامات تحقیق و توسعه، با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین برای شناسایی وزن اقدامات تحقیق و توسعه و اندازه‌گیری عملکرد SME‌های فنی تحقیق و توسعه پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که چگونه اختصاص وزن‌های مختلف به اقدامات مختلف تحقیق و توسعه منجر به رتبه‌بندی متفاوت بنگاه‌ها می‌شود و به مدیران تحقیق و توسعه اجازه می‌دهد تا با به‌کارگیری دانش در مورد اهمیت اقدامات مختلف تحقیق و توسعه، استراتژی‌های مؤثرتری را برای بهبود عملکرد تحقیق و توسعه شرکت خود تدوین کنند. (2017) Cin, Kim & Vonortas بررسی اثرات سیاست ارتقاء تحقیق و توسعه بر عملکرد SME‌ها براساس رویکرد دومرحله‌ای داده‌های تابلویی پویای لاجیت/تابیت پرداختند. آن‌ها از یک مجموعه داده بزرگ در مورد یارانه‌های تحقیق و توسعه عمومی به شرکت‌های تولیدکننده استفاده نمودند. نتایج حاصل از پژوهش، نشان داد که سیاست تقویت پیشرفت‌های فناوری در پیشرفت اقتصادی رشد موفقی داشته است.

Kiraz, Canpolat, Erkan & Albayrak (2018) یک رویکرد دومرحله‌ای فازی به‌منظور تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه یک شرکت انرژی براساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و تاپسیس فازی (FTOPSIS) پیشنهاد دادند. هدف از مطالعه Kang, Kim & Seol (2019) آشکار ساختن شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در صنایع تولیدی و خدماتی در اولویت‌بندی فناوری‌ها و نقش‌های تحقیق و توسعه عمومی براساس روش دلفی است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اولویت‌های مختلف فن‌آوری در صنایع خدماتی و تولیدی، نیاز به رویکردهای متفاوتی نسبت به نقش‌های تحقیق و توسعه عمومی دارد، درحالی‌که نقش تحقیق و توسعه عمومی، عدم

موفقیت بازار، شکست سیستم و عدم موفقیت دولت را پوشش می‌دهد. Song (2019) در پژوهشی به استخراج و ارزیابی اولویت‌های استراتژیک برای انتخاب مشارکت برون‌سپاری در تحقیق و توسعه دارویی براساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پرداختند. دو سناریوی متفاوت برون‌سپاری در نظر گرفته شد: (۱) برون‌سپاری فعالیت‌های تحقیق و توسعه و (۲) برون‌سپاری وظایف امور نظارتی. نتایج نشان داد که در صورت برون‌سپاری تحقیق و توسعه، معیار "پتانسیل صرفه‌جویی در هزینه" مهم‌ترین عامل مؤثر است. در صورت برون‌سپاری وظیفه امور نظارتی، "اعتبار" به‌عنوان معیار مهم انتخاب نتیجه شدند. Yalcin, Kilic & Guler (2019) به ارزیابی پروژه‌های تحقیق و توسعه در بخش تولید و خدمات براساس یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. برای مقابله با عدم قطعیت از مجموعه‌های فازی شهودی (IFS) استفاده نمودند. آن‌ها در مرحله اول، روش IF-DEMATEL را برای نشان‌دادن روابط بین معیارها و حذف معیارهای ناکارآمد به کار بردند. پس از آن، با استفاده از معیارهای موثر انتخاب‌شده، مناسب‌ترین گزینه را از طریق ارائه روش IF-TOPSIS انتخاب کردند.

Soltanzadeh, Elyasi, Ghaderifar, Rezaei Soufi & Khoshsirar (2020) به ارزیابی تأثیر مداخله دولت بر فعالیت‌های نوآوری شرکت پرداختند. این پژوهش چارچوبی را برای توضیح تغییرات رفتاری در شرکت ناشی از مداخلات دولت ارائه می‌دهد. با استفاده از روش همسان‌سازی براساس نمرات (PMS)، این پژوهش سعی دارد تأثیر یارانه‌های تحقیق و توسعه بر شرکت‌های ایرانی (شرکت‌های کوچک و متوسط و شرکت‌های بزرگ) را تخمین بزند. در این پژوهش مشخص شد که یارانه‌های تحقیق و توسعه تأثیر بسزایی در روند نوآوری دارند.

Sinimole & Saini (2020) در پژوهشی به ارزیابی و مقایسه عملکرد تحقیق و توسعه کشورهای آسیایی که براساس هزینه آستانه یک درصد تولید ناخالص داخلی برای تحقیق و توسعه به دو گروه تقسیم شده‌اند. آن‌ها در این پژوهش از یک مدل DEA خروجی‌گرا استفاده نمودند. Chachuli, Mat, Ludin & Sopian (2021) در پژوهش خود، عملکرد فعالیت‌های تحقیق و توسعه در پنج منبع انرژی تجدیدپذیر را بررسی نمودند. آن‌ها براساس داده‌های سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ که در رابطه با دو محور سیاست، یعنی برنامه سیستماتیک تحقیق و توسعه و توسعه سرمایه انسانی برای استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر در مالزی در نظر می‌گیرند. این پژوهش با توجه به متغیرهای موجود در سیاست انرژی تجدیدپذیر دولت، از روش DEA برای ارزیابی کارایی فعالیت‌های تحقیق و توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌کند. Koçak, Kınacı & Shehzad (2021) در پژوهشی به بررسی کارایی زیست‌محیطی هزینه‌های تحقیق و توسعه برای بهره‌وری انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر، سلول‌های آبی و سوختی، انرژی فسیلی، انرژی هسته‌ای و سایر فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی و انرژی در کشورهای OECD با استفاده از تجزیه و تحلیل پوششی داده (DEA) پرداختند. در ادامه، خلاصه تحقیقات مرور شده پیشین مرتبط با موضوع در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول (۱). خلاصه بررسی پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع

ردیف	رفرنس	سال	نوع مسئله		ماهیت پارامتر		متدولوژی پژوهش
			تئوری	بهبودسازی	قطعی	احتمالی	
۱	Cin et al.,	۲۰۱۷	تئوری	بهبودسازی	✓		رویکرد دو مرحله‌ای داده‌های تابلویی پویای لاجیت/تابیت (Panel Data)

¹ Propensity Score Matching

تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)	✓	✓	۲۰۱۷	Gang & Wei	۲
تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، تاپسیس فازی (FTOPSIS)	✓	✓	۲۰۱۸	Kiraz et al.,	۳
بهترین-بدترین)	✓	✓	۲۰۱۸	Salimi & Rezaei	۴
تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	✓	✓	۲۰۱۸	Kyung	۵
تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	✓	✓	۲۰۱۸	Chan & Daim	۶
روش دلفی (Delphi)	✓	✓	۲۰۱۹	Kang et al.,	۷
تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	✓	✓	۲۰۱۹	Song	۸
روش اقتصادسنجی داده‌های تابلویی (Panel Data)	✓	✓	۲۰۱۹	Moradi et al.,	۹
مجموعه‌های فازی شهودی (IFS)، دیمتل (DEMATE)، تاپسیس (TOPSIS)	✓	✓	۲۰۱۹	Yalcin et al.,	۱۰
روش همسان‌سازی براساس نمرات (PMS)	✓	✓	۲۰۲۰	Soltanzadeh et al.,	۱۱
تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)	✓	✓	۲۰۲۰	Sinimole & Saini	۱۲
تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)	✓	✓	۲۰۲۱	Chachuli et al.,	۱۳
تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)	✓	✓	۲۰۲۱	Koçak et al.,	۱۴
روش بهترین-بدترین فازی، تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه ایی (IVTFN-GRA)	✓	✓		پژوهش حاضر	

۴. چارچوب MCDM فازی پیشنهادی

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) یک شاخه شناخته‌شده در تصمیم‌گیری است که به‌طور گسترده‌ای در رتبه‌بندی یک یا چند گزینه از مجموعه‌ای از گزینه‌های موجود با مشخصه‌های چندگانه استفاده می‌شود. در واقع MCDM چهارچوب مؤثری را برای تصمیم‌گیری مبتنی بر ارزیابی معیارهای متناقض چندگانه فراهم می‌کند. در این بخش، تعاریف اساسی تئوری مجموعه فازی، روش بهترین-بدترین و همچنین روش تحلیل رابطه خاکستری با ارزش بازه‌ای فازی (IVTFN-GRA) به‌طور خلاصه بیان می‌شوند. بر این اساس، مفاهیم اساسی رویکرد جدید ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی پیشنهاد می‌گردد.

۴-۱. تئوری مجموعه فازی

عباراتی مانند "نه خیلی شفاف"، "احتمالاً" و "خیلی شبیه" در زندگی روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرند و به میزان بسیار یا کم برای نشان دادن درجه‌ای از میزان عدم قطعیت ذهنی انسان به کار گرفته می‌شوند. تئوری منطق فازی توسط Zadeh (1965) جهت نگاشت عبارات کلامی به عبارات عددی در تصمیمات انسانی پیشنهاد شد. مجموعه فازی، اغلب برای حل عدم قطعیت و نامعینی در تخصیص اوزان معیارها و رتبه‌های گزینه‌ها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تعریف می‌شود. یک مجموعه فازی که توسط یک تابع عضویت نمایش داده می‌شود، به هر معیار رتبه عضویتی را بین $[0,1]$ تخصیص می‌دهد و درجات معیارهای مربوط به مجموعه را منعکس می‌کند؛ بنابراین در این پژوهش، با استفاده از تئوری مجموعه فازی به اندازه‌گیری عملکرد با استفاده از تخمین ذهنی ارزیاب می‌پردازد.

۲-۴. مجموعه فازی

عدد فازی مثلثی به صورت سه‌گانه (a_1, a_2, a_3) تعریف می‌شود. تابع عضویت آن برابر است با (Fenton & Wang, 2006):

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & \text{if } a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & \text{if } a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

به طوری که a_1 و a_2 و a_3 به ترتیب کمترین مقدار ممکن، بیشترین مقدار ممکن و حداکثر مقدار ممکن \tilde{a} می‌باشند.

اگر $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ دو عدد مثلثی فازی باشند به طوری که $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ و $b_1 \leq b_2 \leq b_3$ در این صورت عملیات‌های اساسی اعداد مثلثی فازی عبارت است از (Vincent & Hu, 2010):

$$\tilde{a} \oplus \tilde{b} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\tilde{a} \otimes \tilde{b} = (a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \quad (3)$$

$$\tilde{a} / \tilde{b} = (a_1, a_2, a_3) / (b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1) \quad (4)$$

اگر $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ دو عدد مثلثی فازی باشند در این صورت فاصله بین \tilde{a} و \tilde{b} به صورت زیر محاسبه می‌شود (Chen, 2000):

$$\delta(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (5)$$

۳-۴. متغیرهای کلامی

مفهوم متغیرهای کلامی برای مقابله با موقعیت‌های بسیار پیچیده در عبارات کمی سنتی بسیار سودمند است. متغیر کلامی، متغیری است که مقادیر آن کلمات یا جملات به زبان طبیعی یا مصنوعی است. در مسائل فازی MCDM، مقادیر ضریب عملکردی معمولاً با استفاده از اعداد فازی تعیین می‌شوند. در این پژوهش، مقادیر مربوط به معیارها به صورت متغیرهای زبانی در نظر گرفته می‌شوند؛ به طوری که این متغیرهای زبانی می‌توانند به صورت اعداد فازی مثلثی برای روش FBWM و همچنین اعداد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای برای روش IVTFN-GRA مطابق با جداول ۲ و ۳ بیان شوند:

جدول (۲). عبارات کلامی و شاخص سازگاری برای ارزیابی شاخص‌های رضایتمندی مشتریان

عبارات کلامی	اهمیت مطلق (AI)	اهمیت زیاد (VI)	اهمیت نسبی (FI)	اهمیت ضعیف (WI)	اهمیت یکسان (EI)
TFNs	(۷/۲، ۴، ۹/۲)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	(۳/۲، ۲، ۵/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)
CI	۸،۰۴	۶،۶۹	۵،۳۹	۳،۸۰	۳

جدول (۳). عبارات کلامی برای ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه

متغیرهای کلامی	اعداد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای
بسیار ضعیف (VP)	[(۰، ۰)، ۰، (۱، ۱، ۵)]
ضعیف (P)	[(۰، ۰، ۵)، ۱، (۲، ۵، ۳، ۵)]
نسبتاً ضعیف (MP)	[(۰، ۱، ۵)، ۳، (۴، ۵، ۵، ۵)]
متوسط (M)	[(۲، ۵، ۳، ۵)، ۵، (۶، ۵، ۷، ۵)]
نسبتاً خوب (MG)	[(۴، ۵، ۵، ۵)، ۷، (۸، ۹، ۵)]
خوب (G)	[(۵، ۵، ۷، ۵)، ۹، (۹، ۵، ۱۰)]
خیلی خوب (VG)	[(۸، ۵، ۹، ۵)، ۱۰، (۱۰، ۱۰)]

۴-۴. دی‌فازی‌سازی

یک گام مهم در مدل‌سازی فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، رویکرد دی‌فازی‌سازی است، به طوری که بهترین مقدار عملکرد غیرفازی (BNP) را تعیین می‌کند. روش‌های مختلفی برای دی‌فازی‌سازی در دسترس است که می‌توان به حداکثر میانگین (MOM)، مرکز ناحیه (COA)، روش میانگین درجه‌بندی‌شده نمایش ادغامی (GMIR) و روش برش α اشاره نمود. استفاده از روش GMIR به منظور یافتن BNP روشی ساده و کاربردی است و نیازی به ترجیح ذهنی هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای ندارد؛ بنابراین در این پژوهش از این روش استفاده می‌شود. اگر $\tilde{A}_i = (l_i, m_i, u_i)$ یک عدد فازی مثلثی باشد و در این صورت بهترین عملکرد غیرفازی \tilde{A}_i به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Liao, Liang & Chen, 2013; Zhao & Guo, 2014):

$$R(\tilde{A}_i) = \frac{1}{6}(l_i + 4m_i + u_i) \quad (۶)$$

۴-۵. روش بهترین-بدترین فازی

روش بهترین-بدترین یکی از روش‌های قدرتمند در حل مسائل MCDM است که به منظور به دست آوردن اوزان گزینه‌ها و معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rezaei, 2015; 2016). این روش، ضعف‌های روش‌های مبتنی بر مقایسات زوجی (به عنوان مثال AHP و ANP) از قبیل عدم سازگاری را جبران می‌کند. علاوه بر این، تعداد مقایسات زوجی را به طور قابل ملاحظه‌ای تنها با انجام مقایسات مرجعی کاهش می‌دهد. در سال‌های اخیر، BWM توسط محققان بسیاری جهت تعیین اوزان و رتبه‌بندی گزینه‌ها در حوزه‌های مختلف به کار گرفته شده است. اما با توجه به وجود ابهام در تصمیم‌گیری، به کارگیری تئوری فازی در تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند منجر به نتایج قابل اعتمادتری

¹ Best Non-fuzzy Performance

² Mean of Maxima

³ Center of Area

⁴ Graded Mean Integration Representation

شود. از این روش بهترین-بدترین فازی علاوه بر دستیابی به اوزان قابل اعتمادتر، سازگاری بالاتری را در مقایسه‌های زوجی نسبت به حالت قطعی این روش فراهم می‌کند. همچنین این روش می‌تواند به آسانی با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ادغام شود. به‌طور کلی ساختار روش بهترین-بدترین فازی FBWM شامل مراحل زیر است (Guo & Zhao, 2017):

گام ۱: ایجاد مجموعه معیارهای تصمیم. در این گام معیارها از طریق مرور ایبات و نظرات خبرگان به‌دست‌آمده و به‌صورت $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ در نظر گرفته می‌شوند.

گام ۲: تعیین بهترین و بدترین معیار براساس مجموعه معیارهای تصمیم، بهترین و بدترین معیار بایستی توسط تصمیم‌گیرندگان شناسایی شوند. بهترین معیار با نماد c_B و بدترین معیار نیز با نماد w_B نشان داده می‌شوند.

گام ۳: انجام مقایسات مرجعی فازی برای بهترین معیار با استفاده از عبارات کلامی تصمیم‌گیرندگان که در جدول ۲ لیست شده است، ترجیحات فازی بهترین معیار نسبت به تمام معیارها تعیین می‌شود. سپس، ترجیحات فازی به‌دست‌آمده به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. بردار فازی بهترین-سایرین به‌صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\tilde{A}_B = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn}) \quad (7)$$

به‌طوری‌که \tilde{A}_B بیانگر بردار فازی بهترین-سایرین، \tilde{a}_{Bj} بیانگر ترجیحات فازی بهترین معیار نسبت به سایر معیارهای j و $j = 1, 2, \dots, n$. به‌طوری‌که $\tilde{a}_{BB} = (1, 1, 1)$.

گام ۴: انجام مقایسات مرجعی فازی برای بدترین معیار به طریق مشابه نیز ترجیحات فازی تمام معیارها نسبت به بدترین معیار تعیین می‌شود. سپس، ترجیحات فازی به‌دست‌آمده مطابق با دستورالعمل جدول ۲ به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. بردار فازی سایرین-بدترین به‌صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\tilde{A}_W = (\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW}) \quad (8)$$

به‌طوری‌که \tilde{A}_W بیانگر بردار فازی سایرین-بدترین، \tilde{a}_{jW} بیانگر ترجیحات فازی بهترین معیار j نسبت به بدترین معیار w_B است و $j = 1, 2, \dots, n$. به‌طوری‌که $\tilde{a}_{WW} = (1, 1, 1)$.

گام ۵: تعیین اوزان بهینه فازی $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$. در نهایت در معادله ۹، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مبتنی بر بردارهای بهترین-سایرین و سایرین-بدترین بیان شده است. به‌طوری‌که $(l_j^w, m_j^w, u_j^w) = \tilde{w}_j$ ، $(l_B^w, m_B^w, u_B^w) = \tilde{a}_{Bj}$ و $(l_{jW}^w, m_{jW}^w, u_{jW}^w) = \tilde{a}_{jW}$. علاوه بر این نیز $\tilde{w}_j = (l_j^w, m_j^w, u_j^w)$ برابر است با وزن فازی معیار j .

$$\min \xi^* \quad (9)$$

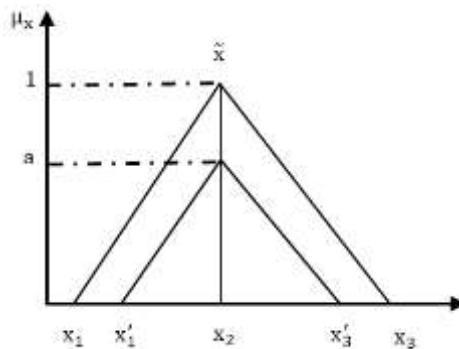
$$s. t. \begin{cases} \left| \frac{(l_B^w, m_B^w, u_B^w)}{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)} - (l_{Bj}, m_{Bj}, u_{Bj}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \left| \frac{(l_j^w, m_j^w, u_j^w)}{(l_{jW}^w, m_{jW}^w, u_{jW}^w)} - (l_{jW}, m_{jW}, u_{jW}) \right| \leq (k^*, k^*, k^*) \\ \sum_{j=1}^n R(\tilde{w}_j) = 1 \\ l_j^w \leq m_j^w \leq u_j^w \\ l_j^w \geq 0 \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

به‌طوری‌که $(l^\xi, m^\xi, u^\xi) = \xi^*$; $\xi^* = (k^*, k^*, k^*)$; $k^* \leq l^\xi \leq m^\xi \leq u^\xi$

در نتیجه اوزان فازی بهینه $(\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*)$ و مقدار بهینه ξ^* از طریق حل مدل ۹ قابل دستیابی است. از آنجا که وزن فازی معیار z به صورت $\tilde{w}_j = (l_j^w, m_j^w, u_j^w)$ حاصل می‌شود، نیاز به دی‌فازی‌سازی است. این مهم با به‌کارگیری روش میانگین درجه‌بندی‌شده نمایش ادغامی (معادله ۶) صورت می‌پذیرد. مرحله بعدی در این روش، بررسی نسبت سازگاری است. شاخص سازگاری (CI) با توجه به عبارات مختلف کلامی تصمیم‌گیرندگان برای FBWM در جدول ۲ آورده شده است. از این‌رو، نسبت سازگاری (CR) از طریق رابطه $CR = \xi^*/CI$ حاصل می‌شود. بدیهی است که هرچه CR نزدیک به صفر باشد، ثبات بالاتر نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد (Tian, Wang & Zhang, 2018).

۴-۶. روش تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای

برای یک مسئله MCDM با مجموعه گزینه‌های متناهی $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ و مجموعه‌های معیارهای متناهی $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ بردار وزن معیارها $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ به صورت نامعلوم است به طوری که $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ و $j = 1, 2, \dots, n, w_j \geq 0$ فرض می‌شود عملکرد گزینه A_i نسبت به معیار C_j به صورت \tilde{x}_{ij} نشانه‌گذاری شود، سپس ماتریس تصمیم فازی عبارت است از $\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$ همان‌طور که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است، عدد فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای به صورت $\tilde{x} = \{(x_1, x_2, x_3), (x'_1, x_2, x'_3)\}$ بیان می‌گردد. علاوه بر این \tilde{x} می‌تواند به صورت $\tilde{x} = [(x_1 x'_1); x_2; (x_3, x'_3)]$ نیز تعریف شود. در ادامه مراحل روش توسعه‌یافته GRA برای مسئله MCDM شرح داده می‌شود (Zhang, Liu & Zhai, 2011):



شکل (۱). عدد فازی مثلثی ارزش بازه‌ای

گام ۱) محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده \tilde{R} . اگر $\tilde{x}_{ij} = [(a_{ij}, a'_{ij}); b_{ij}; (c'_{ij}, c_{ij})]$ ضریب عملکردی نرمال شده به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{a'_{ij}}{c_j^+} \right); \frac{b_{ij}}{c_j^+}; \left(\frac{c'_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \right] \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \text{ for } j \in I \quad (10)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{c'_{ij}} \right); \frac{a_j^-}{b_{ij}}; \left(\frac{a_j^-}{a'_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \right] \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; \text{ for } j \in J \quad (11)$$

به طوری که $c_j^+ = \max\{c_{ij}, i = 1, \dots, m\}$ و $a_j^- = \min\{a_{ij}, i = 1, \dots, m\}$. در اینجا به منظور ساده نویسی $\bar{R} = [(g_{ij}, g'_{ij}); h_{ij}; (l_{ij}, l'_{ij})]_{m \times n}$ نشان گذاری می شود؛ از این رو ماتریس تصمیم نرمال شده عبارت است از:

گام ۲) تعیین سری مرجعی که به صورت زیر تعریف می شود:

$$R_0 = (r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0n}) = [(1,1); 1; (1,1)], [(1,1); 1; (1,1)], \dots, [(1,1); 1; (1,1)] \quad (۱۲)$$

گام ۳) محاسبه فاصله بین مقدار مرجعی با هر یک از مقادیر مقایسه ای که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\delta_{ij}^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{3}[(g'_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l'_{ij} - 1)^2]},$$

$$\delta_{ij}^{(2)} = \sqrt{\frac{1}{3}[(g_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l_{ij} - 1)^2]}. \quad (۱۳)$$

معادله ی (۱۳) به منظور تعیین فاصله بین مقدار مرجعی با مقادیر مقایسه ای در بازه $[\delta_{ij}^{(1)}, \delta_{ij}^{(2)}]$ به کار گرفته می شود. در ادامه نیز بیشینه مقدار $\delta_{max}^{(1)}$ ، $\delta_{max}^{(2)}$ و کمینه مقدار $\delta_{min}^{(1)}$ ، $\delta_{min}^{(2)}$ نتیجه شده به طوری که $\delta_{max}^{(1)} = \max_{i,j} \delta_{ij}^{(1)}$ ، $\delta_{max}^{(2)} = \max_{i,j} \delta_{ij}^{(2)}$ ، $\delta_{min}^{(1)} = \min_{i,j} \delta_{ij}^{(1)}$ و $\delta_{min}^{(2)} = \min_{i,j} \delta_{ij}^{(2)}$ و $j = 1, 2, \dots, n$ ، $i = 1, 2, \dots, m$.

گام ۴) محاسبه ضریب روابط خاکستری براساس معادله زیر:

$$\xi_{ij}^{(1)} = \frac{\delta_{min}^{(1)} + \zeta \delta_{max}^{(1)}}{\delta_{ij}^{(1)} + \zeta \delta_{max}^{(1)}},$$

$$\xi_{ij}^{(2)} = \frac{\delta_{min}^{(2)} + \zeta \delta_{max}^{(2)}}{\delta_{ij}^{(2)} + \zeta \delta_{max}^{(2)}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (۱۴)$$

به طوری که $\zeta = 0.5$ لحاظ می گردد.

گام ۵) محاسبه درجه روابط خاکستری براساس معادله زیر:

$$\gamma_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^{(1)},$$

$$\gamma_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^{(2)}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (۱۵)$$

قاعده کلی روش GRA بر این اصل استوار است که گزینه ای با درجه روابط خاکستری بزرگ تر نسبت به راه حل مرجعی بایستی انتخاب گردد (Wei, 2010). این حالت در شرایطی است که بردار مربوط به اوزان معیارها معلوم باشد. از طرفی واضح است که مقادیر بزرگ تر $\gamma_i^{(1)}$ و $\gamma_i^{(2)}$ نشان دهنده بهتر بودن گزینه A_i می گردد. اما در مواقعی که اطلاعات در زمینه اوزان معیارها در دسترس نباشد، به منظور دستیابی به مقادیر $\gamma_i^{(1)}$ و $\gamma_i^{(2)}$ می بایست در ابتدا اوزان محاسبه شود. در این پژوهش برای این مهم از روش بهترین-بدترین فازی استفاده می شود.

گام ۶) رتبه بندی گزینه ها

عبارت "گزینه A_s بدتر از گزینه A_t نیست" به صورت $A_s \geq A_t$ علامت گذاری می شود. درست نمایی $A_s \geq A_t$ از طریق $\bar{\gamma}_s \geq \bar{\gamma}_t$ تعریف و اندازه گیری می شود به طوری که $\bar{\gamma}_s$ و $\bar{\gamma}_t$ به ترتیب مقادیر فاصله ای درجه روابط خاکستری نظیر به نظیر گزینه های A_s و A_t در مجموعه گزینه های A است. براساس مفهوم درست نمایی برای اعداد

فاصله‌ای (Li, Wang, Liu & Shan, 2009)، درست نمایی $A_s \geq A_t$ برای گزینه‌های A_s و A_t در مجموعه گزینه‌های A به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$p(A_s \geq A_t) = p(\bar{\gamma}_s \geq \bar{\gamma}_t) = \max \left\{ 1 - \max \left\{ \frac{\gamma_t^{(2)} - \gamma_s^{(1)}}{L(\bar{\gamma}_s) + L(\bar{\gamma}_t)}, 0 \right\}, 0 \right\} \quad (16)$$

به طوری که $L(\bar{\gamma}_s) = [\gamma_s^{(2)} - \gamma_s^{(1)}]$ و $L(\bar{\gamma}_t) = [\gamma_t^{(2)} - \gamma_t^{(1)}]$ ، $\bar{\gamma}_t = [\gamma_t^{(1)}, \gamma_t^{(2)}]$ ، $\bar{\gamma}_s = [\gamma_s^{(1)}, \gamma_s^{(2)}]$

بنابراین ماتریس درست نمایی حاصل شده عبارت است از:

$$P = (p_{st})_{m \times m} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & & p_{mm} \end{bmatrix} \quad (17)$$

به طوری که $p_{st} = p(A_s \geq A_t)$ برای گزینه‌های A_s و A_t در مجموعه گزینه‌های A است. از آنجا که ماتریس P ماتریس قضاوت مکمل فازی ایست، درجات بهینه عضویت برای گزینه‌های $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ براساس معادله زیر تعریف می‌گردد (Li et al., 2009):

$$V_i = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{r=1}^m p_{ir} + \frac{m}{2} - 1 \right) \quad (18)$$

بنابراین بردار رتبه‌ای $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$ گزینه‌ها حاصل می‌گردد. در نهایت تمامی گزینه‌های $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ مطابق با مقادیر $V_i (i = 1, 2, \dots, m)$ رتبه‌بندی و انتخاب می‌شوند. به طوری که بزرگ‌ترین مقدار V_i نشان‌دهنده بهترین گزینه A_i است.

۷. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، در چارچوب پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد. جامعه آماری این پژوهش نیز شامل خبرگان و کارشناسان شرکت‌های صنعتی تولیدی باتری‌سازی است. مسئله‌ای که پژوهشگران در پژوهش حاضر، درصدد پاسخگویی به آن هستند، آن است که چگونه می‌توان رویکردی جهت ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو به کمک روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (FMCDM) ارائه نمود تا براساس آن، فناوری‌های موردنیاز را مشخص و فرآیند دستیابی به آن‌ها را آغاز نمود. برای حل این مسئله، به دلیل ماهیت پژوهش و متناسب با گزاره‌های پژوهش، از روش پژوهش توصیفی-ریاضی (توصیفی-تحلیلی) استفاده شده است. در ادامه، نحوه به کارگیری رویکرد ترکیبی پیشنهادی برای ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه با تکیه بر شاخص‌های رضایتمندی مشتریان در چهار دسته کلی بعد مشتری، بعد فرآیندهای داخلی، بعد رشد و یادگیری و بعد عدم قطعیت ارائه می‌شود.

۷-۱. تعیین اوزان معیارها

در این بخش، براساس نظرات خبرگان، مهم‌ترین (بهترین) و کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) معیار تعیین می‌شوند. جهت پاسخگویی و ارزش‌گذاری معیارها، از نظرات یک کمیته خبره بهره برده شده است. بهترین معیار شناسایی شده توسط کمیته مهم‌ترین معیار مؤثر ارزیابی شاخص رضایتمندی مشتریان و بدترین معیار شناسایی شده توسط کمیته کم‌اهمیت‌ترین آن براساس نظرات خبرگان است. بهترین و بدترین معیار انتخاب شده از بین شاخص‌های بعد اصلی، توسط خبرگان در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول (۴). بهترین و بدترین معیار تعیین شده از بین شاخص‌های ابعاد اصلی

ابعاد	مهم‌ترین معیار	کم‌اهمیت‌ترین معیار
عدم قطعیت (R ₁)		✓
مشتری (R ₂)	✓	
رشد و یادگیری (R ₃)		
فرآیندهای داخلی (R ₄)		

از بین تمام معیارهای ارزیابی شاخص رضایتمندی مشتریان، بهترین و بدترین مشخصه از طریق یک توافق جمعی و متقابل انتخاب شدند. بر همین اساس معیار "مشتری (R₂)" به‌عنوان بهترین و معیار "عدم قطعیت (R₁)" به‌عنوان بدترین معیار انتخاب شدند. سپس اولویت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و همچنین اولویت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار توسط خبرگان براساس مقیاس کلامی ارائه‌شده در جدول ۲ تعیین شدند. در نهایت بردار زوجی بهترین معیار- سایر معیارها و همچنین بردار زوجی سایر معیارها- بدترین معیار در جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول (۵). نتایج مربوط به مقایسه زوجی شاخص‌های ابعاد اصلی

فرآیندهای داخلی (R ₄)	رشد و یادگیری (R ₃)	مشتری (R ₂)	عدم قطعیت (R ₁)	بردار زوجی بهترین- سایر
(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	بهترین معیار: مشتری (R ₂)
بدترین معیار: عدم قطعیت (R ₁)				
(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	عدم قطعیت (R ₁)
(۵/۲، ۳، ۷/۲)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	مشتری (R ₂)
(۳/۲، ۲، ۵/۲)	(۳/۲، ۲، ۵/۲)	(۳/۲، ۲، ۵/۲)	(۳/۲، ۲، ۵/۲)	رشد و یادگیری (R ₃)
(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	فرآیندهای داخلی (R ₄)

پس از تعیین درجه اولویت معیارها، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای به‌دست‌آوردن وزن‌های بهینه‌شده فازی ساخته می‌شود. به‌عنوان مثال، مدل NLP برای ابعاد اصلی به صورت معادله ۱۹ تعریف شده است. این مدل با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS نسخه ۲۴/۳ و با به‌کارگیری حل‌کننده MINOS حل شده است.

$$\min k^*$$

$$\begin{aligned}
 s. t. \quad & \left\{ \begin{aligned}
 & \left| \frac{l_2^w}{u_1^w} - \frac{5}{2} \right| \leq k, \left| \frac{m_2^w}{m_1^w} - 3 \right| \leq k, \left| \frac{u_2^w}{l_1^w} - \frac{7}{2} \right| \leq k \\
 & \left| \frac{l_2^w}{u_3^w} - \frac{2}{3} \right| \leq k, \left| \frac{m_2^w}{m_3^w} - 1 \right| \leq k, \left| \frac{u_2^w}{l_3^w} - \frac{3}{2} \right| \leq k \\
 & \left| \frac{l_2^w}{u_4^w} - \frac{2}{3} \right| \leq k, \left| \frac{m_2^w}{m_4^w} - 1 \right| \leq k, \left| \frac{u_2^w}{l_4^w} - \frac{3}{2} \right| \leq k \\
 & \left| \frac{l_3^w}{u_1^w} - \frac{3}{2} \right| \leq k, \left| \frac{m_3^w}{m_1^w} - 2 \right| \leq k, \left| \frac{u_3^w}{l_1^w} - \frac{5}{2} \right| \leq k \\
 & \left| \frac{l_4^w}{u_1^w} - \frac{2}{3} \right| \leq k, \left| \frac{m_4^w}{m_1^w} - 1 \right| \leq k, \left| \frac{u_4^w}{l_1^w} - \frac{3}{2} \right| \leq k \\
 & \frac{1}{6} \sum_{j=1}^4 (l_j^w + 4m_j^w + u_j^w) = 1 \\
 & l_1^w \leq m_1^w \leq u_1^w, l_2^w \leq m_2^w \leq u_2^w, l_3^w \leq m_3^w \leq u_3^w, l_4^w \leq m_4^w \leq u_4^w \\
 & l_1^w \geq 0, l_2^w \geq 0, l_3^w \geq 0, l_4^w \geq 0
 \end{aligned} \right. \quad (19)
 \end{aligned}$$

بعد از حل مدل، اوزان بهینه‌شده فازی برای تمام معیارها و همچنین مشخصه ξ^* در جدول ۶ نشان داده شده است. به‌منظور دی‌فازی‌سازی اوزان بهینه حاصل‌شده از رابطه ۶ بهره گرفته شده است. با توجه به اینکه مقدار درجه اولویت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار برابر $(\bar{\alpha}_{BW})$ برابر با $(\frac{9}{2}, 4, \frac{7}{2})$ ، شاخص سازگاری برای مقایسات زوجی انجام شده برابر با مقدار $0.4/8$ است. از این‌رو نسبت سازگاری برابر است با $0.98/0$ که نشان‌دهنده سازگاری بسیار بالای نتایج دارد، چراکه این مقدار کمتر از 0.1 است.

جدول (۶). نتایج مربوط به اوزان بهینه فازی شاخص‌های ابعاد اصلی

معیارهای اصلی	اوزان محلی فازی	اوزان محلی دی‌فازی شده	رتبه	ξ^*	CR
(R ₁) عدم قطعیت	(0, 127, 0, 127, 0, 159)	0, 132	4	0, 562	0, 084
(R ₂) مشتری	(0, 309, 0, 309, 0, 405)	0, 325	2		
(R ₃) رشد و یادگیری	(0, 324, 0, 324, 0, 328)	0, 325	1		
(R ₄) فرآیندهای داخلی	(0, 196, 0, 198, 0, 261)	0, 208	3		

به روشی مشابه، مقایسه دوبه‌دو معیارهای فرعی هر چهار بعد، وزن محلی و همچنین نسبت‌های سازگاری در جداول مربوطه در پیوست ارائه شده است. در نهایت، وزن‌های سراسری بهینه‌شده برای شاخص‌های رضایتمندی مشتریان به شرح جدول ۷ نتیجه شده است.

جدول (۷). اوزان سراسری بهینه شاخص‌های رضایتمندی مشتریان

ابعاد اصلی	وزن محلی ابعاد اصلی	زیرمعیار	وزن محلی هر زیرمعیار	وزن سراسری	رتبه
(R ₁) عدم قطعیت	0, 132	پیچیدگی برنامه (R ₁₁)	0, 589	0, 078	6
		نیاز بازار (R ₁₂)	0, 167	0, 022	12
		تأثیر قوانین (R ₁₃)	0, 244	0, 032	11
(R ₂) مشتری	0, 325	بازخورد متمرکز گروه مشتری (R ₂₁)	0, 167	0, 054	8
		شاخص قیمت (R ₂₂)	0, 461	0, 150	2
		بهبود عملکرد (R ₂₃)	0, 372	0, 121	3

۱	۰,۱۹۰	۰,۵۶۷	میزان ترکیب با سایر عملیات ها (R ₃₁)	۰,۳۳۵	رشد و یادگیری (R ₃)
۴	۰,۰۹۷	۰,۲۹۰	شاخص وزن (R ₃₂)		
۹	۰,۰۴۸	۰,۱۴۴	میزان تناسب (R ₃₃)		
۵	۰,۰۹۶	۰,۴۶۱	دوام (فنی و بازاری) (R ₄₁)	۰,۲۰۸	فرآیندهای داخلی (R ₄)
۷	۰,۰۷۷	۰,۳۷۲	سطح توسعه (R ₄₂)		
۱۰	۰,۰۳۵	۰,۱۶۷	تعداد اعضای آموزش دیده به منظور نگهداری و تعمیرات (R ₄₃)		

۲-۷. ارزیابی استراتژی‌های تحقیق و توسعه

در مراحل قبل به تعیین اوزان شاخص‌های رضایتمندی مشتریان در صنایع باتری‌سازی خودرو پرداخته شد، در این بخش با تبدیل متغیرهای کلامی به مقادیر کمی و با استفاده از روش تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای، مشخصه عملکردی هر استراتژی قابل اندازه‌گیری است. به همین منظور، با توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه‌های مربوطه و اجرای گام به گام روش پیشنهادی رتبه‌بندی، چهار استراتژی تحقیق و توسعه شناسایی شده از قبیل "قرارداد تحقیق و توسعه"، "تحقیق و توسعه داخلی"، "تحقیق و توسعه مشترک" و "برون‌سپاری تحقیق و توسعه" انجام شد که مراحل آن مطابق زیر است.

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری ارزش بازه‌ای فازی مثلثی: در این مرحله با استفاده از پرسش‌نامه نظرات جمع‌آوری گردیده و سپس با میانگین‌گیری از نظرات ماتریس معیار-گزینه مطابق با جدول ۸ تشکیل می‌گردد.

مرحله ۲- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری معیار-گزینه نرمال: در این مرحله با به‌کارگیری معادلات ۱۰ و ۱۱ تمام درایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری معیار-گزینه نرمال می‌گردد که بر این اساس ماتریس معیار-گزینه نرمال در جدول ۹ نشان داده شده است. مرحله ۳- تعریف سر مرجعی: در این بخش با به‌کارگیری معادله ۱۲ سری مرجعی نیز به صورت $R_0 = [(1,1); 1; (1,1)], [(1,1); 1; (1,1)], \dots, [(1,1); 1; (1,1)]$ تعریف می‌شود.

جدول (۸). ماتریس تصمیم‌گیری ارزش بازهای فازی مثلثی

معیار- گزینه	قرارداد تحقیق و توسعه (A ₁)	تحقیق و توسعه داخلی (A ₂)	تحقیق و توسعه مشترک (A ₃)	برون‌سپاری تحقیق و توسعه (A ₄)
R ₁₁	1);27;(33.5;38)] [(13;9.5	1;25.5);33;(39.5;44)] [(9.5	1;25.5);32;(37;40.5)] [(8.5	;21.5);29;(36.5;41.5)] [(16.5
R ₁₂	2);36;(41;44.5)] [(23;9.5	;24.5);29;(36.5;41.5)] [(16.5	1;25.5);33;(39.5;44)] [(9	;19.5);27;(34.5;39.5)] [(14.5
R ₁₃	);27;(32.5;37.5)] [(12.5;18.5	1;18.5);25;(31.5;36)] [(3	2;33.5);40;(45;48.5)] [(7.5	;25.5);33;(40.5;45.5)] [(20.5
R ₂₁	2);31;(37.5;42)] [(17;3.5	;23.5);31;(38.5;43.5)] [(18	30.;39.5);46;(48;50)] [(5	;19.5);27;(34.5;39.5)] [(14.5
R ₂₂	);23;(30.5;35.5)] [(9.5;15.5	2;37.5);44;(47;49.5)] [(9.5	;33.5);41;(44.5;47.5)] [(24.5	;23.5);31;(38.5;43.5)] [(18.5
R ₂₃	);27;(34.5;39.5)] [(14;19.5	30.;39.5);46;(48;50)] [(5	2;33.5);42;(45;47.5)] [(7.5	;23.5);31;(38.5;43.5)] [(18
R ₃₁	2);29;(35.5;40)] [(15.5;1.5	(22;27.5);34;(40;44)] [	;19.5);27;(32.5;36.5)] [(11	;17.5);25;(32.5;37.5)] [(12.5
R ₃₂	2);30;(35;38.5)] [(19;4.5	;18.5);25;(32.5;37.7)] [(14	;31.5);39;(44.5;48.5)] [(24.5	;17.5);25;(32.5;37.5)] [(12.5
R ₃₃	);33;(40.5;45.5)] [(20.5;25.5	;16.5);21;(26.5;30.5)] [(11	;33.5);41;(44.5;47.5)] [(24.5	1;18.5);25;(31.5;36)] [(3
R ₄₁	2);31;(37.5;42)] [(17.5;3.5	;14.5);21;(28.5;33.5)] [(9	1;27.5);35;(39.5;43)] [(9	;17.5);25;(32.5;37.5)] [(12.5
R ₄₂	2);28;(35.5;40)] [(15.5;1.5	;43.5);47;(48.5;49.5)] [(38.5	;19.5);27;(32.5;36.5)] [(11	;19.5);27;(34.5;39.5)] [(13.5
R ₄₃	);31;(35.5;38.5)] [(19.5;25.5	;31.5);39;(42.5;45.5)] [(22	;17.5);25;(32.5;37.5)] [(12	;19.5);27;(34.5;39.5)] [(13.5

جدول (۹). ماتریس تصمیم‌گیری معیار-گزینه نرمال

معیار- گزینه	قرارداد تحقیق و توسعه (A ₁)	تحقیق و توسعه داخلی (A ₂)	تحقیق و توسعه مشترک (A ₃)	برون‌سپاری تحقیق و توسعه (A ₄)
R ₁₁	0.6;(0.76;0.86)] [(0.30;0.44);1	0.5);0.75;(0.90;1.00)] [(0.44;8	0.5);0.73;(0.84;0.92)] [(0.42;8	0.4);0.66;(0.83;0.94)] [(0.38;9
R ₁₂	0.8;(0.92;1.00)] [(0.52;0.66);1	0.4);0.65;(0.82;0.93)] [(0.37;8	0.5);0.74;(0.89;0.99)] [(0.43;7	0.4);0.61;(0.78;0.89)] [(0.33;4
R ₁₃	0.5;(0.67;0.77)] [(0.26;0.38);6	0.3);0.52;(0.65;0.74)] [(0.27;8	0.6);0.82;(0.93;1.00)] [(0.57;9	0.5);0.68;(0.84;0.94)] [(0.42;3
R ₂₁	0.6;(0.75;0.84)] [(0.34;0.47);2	0.4);0.62;(0.77;0.87)] [(0.36;7	0.7);0.92;(0.96;1.00)] [(0.61;9	0.3);0.54;(0.69;0.79)] [(0.29;9
R ₂₂	0.4;(0.62;0.72)] [(0.19;0.31);6	0.7);0.89;(0.95;1.00)] [(0.60;6	0.6);0.83;(0.90;0.96)] [(0.49;8	0.4);0.63;(0.78;0.88)] [(0.37;7
R ₂₃	0.5;(0.69;0.79)] [(0.28;0.39);4	0.7);0.92;(0.96;1.00)] [(0.61;9	0.7);0.84;(0.90;0.95)] [(0.55;1	0.4);0.62;(0.77;0.87)] [(0.36;7
R ₃₁	0.6;(0.81;0.91)] [(0.35;0.49);6	0.6);0.77;(0.91;1.00)] [(0.50;3	0.4);0.61;(0.74;0.83)] [(0.25;4	0.4);0.57;(0.74;0.85)] [(0.28;0
R ₃₂	0.6;(0.72;0.79)] [(0.39;0.51);2	0.3);0.52;(0.67;0.77)] [(0.29;8	0.6);0.80;(0.92;1.00)] [(0.51;5	0.3);0.52;(0.67;0.77)] [(0.26;6
R ₃₃	0.6;(0.85;0.96)] [(0.43;0.54);9	0.3);0.44;(0.56;0.64)] [(0.23;5	0.7);0.86;(0.94;1.00)] [(0.52;1	0.3);0.53;(0.66;0.76)] [(0.27;9
R ₄₁	0.7;(0.87;0.98)] [(0.41;0.55);2	0.3);0.49;(0.66;0.78)] [(0.21;4	0.6);0.81;(0.92;1.00)] [(0.44;4	0.4);0.58;(0.76;0.87)] [(0.29;1

R ₄₂	0.5;(0.72;0.81)]	0.8);0.95;(0.98;1.00)]	0.3);0.55;(0.66;0.74)]	0.3);0.55;(0.70;0.80)]
	[(0.31;0.43);9	[(0.78;8	[(0.22;9	[(0.27;9
R ₄₃	0.6;(0.78;0.85)]	0.6);0.86;(0.93;1.00)]	0.3);0.55;(0.71;0.82)]	0.4);0.59;(0.76;0.87)]
	[(0.43;0.56);8	[(0.48;9	[(0.26;8	[(0.30;3

مرحله ۴- تعیین فاصله از سری مرجع: در این مرحله فاصله بین مقدار سری مرجعی با هر یک از مقادیر مقایسه‌ای با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه شده و در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول (۱۰). فاصله از سری مرجعی

	$[\delta_{Aj}^{(1)}, \delta_{Aj}^{(2)}]$	$[\delta_{Bj}^{(1)}, \delta_{Bj}^{(2)}]$	$[\delta_{Cj}^{(1)}, \delta_{Cj}^{(2)}]$	$[\delta_{Dj}^{(1)}, \delta_{Dj}^{(2)}]$	$[\delta_{min}^{(1)}, \delta_{min}^{(2)}]$	$[\delta_{max}^{(1)}, \delta_{max}^{(2)}]$
R ₁₁	[0.40*0.48	[0.28*0.36	[0.29*0.38	[0.36*0.42		
]]]]		
R ₁₂	[0.22*0.30	[0.36*0.43	[0.29*0.37	[0.40*0.47		
]]]]		
R ₁₃	[0.46*0.53	[0.48*0.55	[0.21*0.27	[0.33*0.39		
]]]]		
R ₂₁	[0.39*0.46	[0.38*0.45	[0.13*0.23	[0.46*0.52		
]]]]		
R ₂₂	[0.53*0.60	[0.15*0.24	[0.21*0.31	[0.38*0.44		
]]]]		
R ₂₃	[0.46*0.52	[0.13*0.23	[0.19*0.28	[0.38*0.45		
]]]]		
R ₃₁	[0.36*0.44	[0.25*0.32	[0.40*0.51	[0.44*0.51		
]]]]		
R ₃₂	[0.38*0.44	[0.47*0.53	[0.23*0.31	[0.48*0.55		
]]]]		
R ₃₃	[0.32*0.38	[0.54*0.60	[0.19*0.29	[0.47*0.54		
]]]]		
R ₄₁	[0.31*0.39	[0.50*0.58	[0.23*0.34	[0.43*0.50		
]]]]		
R ₄₂	[0.42*0.49	[0.08*0.13	[0.46*0.56	[0.45*0.53		
]]]]		
R ₄₃	[0.33*0.40	[0.20*0.31	[0.45*0.52	[0.41*0.49		
]]]]		
$[\min_i \delta_{ij}^{(1)}, \min_i \delta_{ij}^{(2)}]$	[0.31*0.38	[0.08*0.13	[0.13*0.23	[0.38*0.44	[0.08*0.13]	-
]]]]		
$[\max_i \delta_{ij}^{(1)}, \max_i \delta_{ij}^{(2)}]$	[0.55*0.60	[0.56*0.61	[0.66*0.69	[0.58*0.62	-	[0.54*0.60]
]]]]		

مرحله ۵- محاسبه ماتریس ضریب روابط خاکستری: در این مرحله ضریب روابط خاکستری حد بالایی و پایینی هر گزینه مطابق با رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود، به طوری که این نتایج در جداول ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

جدول (۱۱). ماتریس ضریب روابط خاکستری $\xi_{ij}^{(1)}$

	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₃₁	R ₃₂	R ₃₃	R ₄₁	R ₄₂	R ₄₃
$\xi_{Aj}^{(1)}$	۰,۰۴۰	۰,۰۱۵	۰,۱۵۲	۰,۰۲۸	۰,۰۶۵	۰,۰۵۷	۰,۱۰۴	۰,۰۵۲	۰,۰۲۸	۰,۰۵۷	۰,۰۳۹	۰,۰۲۰
$\xi_{Bj}^{(1)}$	۰,۰۴۹	۰,۰۱۲	۰,۱۴۸	۰,۰۲۸	۰,۱۲۲	۰,۱۰۵	۰,۱۲۵	۰,۰۴۵	۰,۰۲۱	۰,۰۴۳	۰,۰۷۷	۰,۰۲۶
$\xi_{Cj}^{(1)}$	۰,۰۴۸	۰,۰۱۴	۰,۲۳۳	۰,۰۴۷	۰,۱۰۷	۰,۰۹۰	۰,۰۹۷	۰,۰۶۷	۰,۰۳۶	۰,۰۶۶	۰,۰۳۶	۰,۰۱۷
$\xi_{Dj}^{(1)}$	۰,۰۴۳	۰,۰۱۱	۰,۱۸۳	۰,۰۲۶	۰,۰۸۰	۰,۰۶۴	۰,۰۹۳	۰,۰۴۵	۰,۰۲۲	۰,۰۴۸	۰,۰۳۷	۰,۰۱۸

جدول (۱۲). ماتریس ضریب روابط خاکستری $\xi_{ij}^{(2)}$

	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₂₁	R ₂₂	R ₂₃	R ₃₁	R ₃₂	R ₃₃	R ₄₁	R ₄₂	R ₄₃
$\xi_{Aj}^{(2)}$	۰,۰۴۳	۰,۰۱۶	۰,۱۶۶	۰,۰۳۱	۰,۰۷۲	۰,۰۶۴	۰,۱۱۲	۰,۰۵۶	۰,۰۳۰	۰,۰۶۱	۰,۰۴۲	۰,۰۲۲
$\xi_{Bj}^{(2)}$	۰,۰۵۱	۰,۰۱۳	۰,۱۶۴	۰,۰۳۱	۰,۱۱۹	۰,۰۹۹	۰,۱۳۲	۰,۰۵۰	۰,۰۲۳	۰,۰۴۷	۰,۰۷۷	۰,۰۲۵
$\xi_{Cj}^{(2)}$	۰,۰۵۰	۰,۰۱۴	۰,۲۴۲	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۰۹۰	۰,۱۰۲	۰,۰۶۹	۰,۰۳۵	۰,۰۶۵	۰,۰۳۹	۰,۰۱۸
$\xi_{Dj}^{(2)}$	۰,۰۴۷	۰,۰۱۲	۰,۲۰۰	۰,۰۲۹	۰,۰۸۸	۰,۰۷۰	۰,۱۰۲	۰,۰۵۰	۰,۰۲۵	۰,۰۵۲	۰,۰۴۰	۰,۰۱۹

مرحله ۶- محاسبه درجه روابط خاکستری: در این مرحله درجه روابط خاکستری هر گزینه با به کارگیری رابطه ۱۵ و مطابق با جداول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول (۱۳). درجه روابط خاکستری

$\gamma_A^{(1)}$	$\gamma_B^{(1)}$	$\gamma_C^{(1)}$	$\gamma_D^{(1)}$
۰,۵۵۲	۰,۶۳۱	۰,۶۱۱	۰,۵۱۸
$\gamma_A^{(2)}$	$\gamma_B^{(2)}$	$\gamma_C^{(2)}$	$\gamma_D^{(2)}$
۰,۵۸۳	۰,۶۴۷	۰,۶۱۹	۰,۵۵۴
$\bar{\gamma}_A$	$\bar{\gamma}_B$	$\bar{\gamma}_C$	$\bar{\gamma}_D$
[۰,۵۵۲, ۰,۵۸۳]	[۰,۶۳۱, ۰,۶۴۷]	[۰,۶۱۱, ۰,۶۱۹]	[۰,۵۱۸, ۰,۵۵۴]

مرحله ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این مرحله با انجام مقایسات زوجی بین استراتژی‌های تحقیق و توسعه، ماتریس درست‌نمایی مطابق با جدول ۱۴ محاسبه می‌شود. به‌عنوان مثال، از طریق به کارگیری معادله ۱۶ درست‌نمایی استراتژی A و B به صورت رابطه ۲۰ نتیجه می‌شود.

$$p(A_A \geq A_B) = p(\bar{\gamma}_A \geq \bar{\gamma}_B) = \max \left\{ 1 - \max \left\{ \frac{0.832 - 0.658}{0.118 + 0.143}, 0 \right\}, 0 \right\} = 0.331 \quad (20)$$

به طریق مشابه نیز برای سایر گزینه‌ها محاسبه می‌شود؛ بنابراین ماتریس درست‌نمایی به شرح رابطه ۲۱ عبارت است از:

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.331 & 0 & 0.374 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0.626 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (21)$$

در نهایت نیز با به کارگیری معادله ۱۸ درجات بهینه عضویت و اولویت استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو تعیین می‌گردد:

جدول (۱۴). درجات بهینه عضویت استراتژی‌های تحقیق و توسعه

	قرارداد تحقیق و توسعه (A ₁)	تحقیق و توسعه داخلی (A ₂)	تحقیق و توسعه مشترک (A ₃)	برون‌سپاری تحقیق و توسعه (A ₄)
درجه بهینه عضویت	۰,۱۸۴	۰,۲۹۲	۰,۳۷۵	۰,۱۷۷
رتبه	۳	۲	۱	۴

براساس جدول ۱۴ استراتژی "تحقیق و توسعه مشترک" به دلیل داشتن بزرگ‌ترین درجه بهینه عضویت به‌عنوان استراتژی بهینه انتخاب می‌شود.

۸. نتیجه گیری و پیشنهادها

امروزه بسیاری از شرکت‌ها با چالش‌هایی در زمینه تقویت و افزایش توان رقابت‌پذیری خود برای بقا در محیط رقابتی کسب‌وکار مواجه شده‌اند. در این میان، تنها شرکت‌هایی که از قابلیت‌های کلیدی و مزیت‌های نسبی بهره می‌جویند، توانسته‌اند موفقیت‌ پایداری را کسب نمایند. در فرآیند ایجاد مزیت‌های رقابتی، فعالیت‌های تدوین استراتژی تحقیق و توسعه نقش بسیار مهمی، ایفا می‌نماید. با توجه به اینکه، فرآیند برنامه‌ریزی استراتژی تحقیق و توسعه، باید پیش از طراحی و توسعه محصول انجام پذیرد، تاکنون روش‌شناسی‌های ساختارمند محدودی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ بنابراین، در این پژوهش یک الگوی جدید فازی جهت ارزیابی و انتخاب استراتژی تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو با تأکید بر رضایت مشتریان پیشنهاد شده است. نخست کمیته‌ای خبره و آشنا با مسائل تحقیق و توسعه و رضایتمندی مشتریان انتخاب شدند. با توجه به مرور ادبیات پیشین و همچنین نظرات کارشناسان و خبرگان، شاخص‌های نهایی جهت ارزیابی شاخص رضایتمندی مشتریان با به‌کارگیری روش دلفی و طوفان فکری در چهار دسته عوامل عدم قطعیت، مشتری، فرآیندهای داخلی و رشد و یادگیری شناسایی و نهایی شدند. در مرحله دوم، از طریق توافق جمعی که بین کارشناسان صورت گرفت، بهترین و بدترین شاخص تعیین شده و پس از تخصیص ترجیحات ذهنی خبرگان، به آن‌ها وزن نهایی معیارها از طریق حل مدل غیرخطی روش بهترین-بدترین فازی محاسبه گردید. علاوه بر این، وزن هر استراتژی و اولویت‌بندی نهایی آن‌ها با استفاده از روش تحلیل رابطه خاکستری فازی مثلثی با ارزش بازه‌ای (IVTFN-GRA) نتیجه گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش FBWM، سه عامل اثرگذار در ارزیابی شاخص رضایتمندی مشتری در صنایع باتری‌سازی خودرو به ترتیب عبارتند از: "میزان ترکیب با سایر عملیات‌ها"، "شاخص قیمت" و "بهبود عملکرد". علاوه بر این، "استراتژی تحقیق و توسعه مشترک" به دلیل داشتن بزرگ‌ترین درجه بهینه عضویت به‌عنوان استراتژی برتر و همچنین "استراتژی برون‌سپاری تحقیق و توسعه مشترک"، کمترین میزان اهمیت در بین استراتژی‌های تحقیق و توسعه در صنایع باتری‌سازی خودرو را کسب نمودند.

۹. پیوست

در این بخش، مقایسه زوجی بین معیارهای فرعی هر بعد از ابعاد اصلی، وزن‌های محلی و همچنین نسبت‌های سازگاری از طریق حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی روش FBWM به شرح جداول زیر گزارش شده است.

جدول الف-۱: مقایسه زوجی شاخص‌های بعد عدم قطعیت

تأثیر قوانین (R ₁₃)	نیاز بازار (R ₁₂)	پیچیدگی برنامه (R ₁₁)	بردار زوجی بهترین - سایر
(۳/۲، ۲، ۵/۲)	(۷/۲، ۴، ۹/۲)	(۱، ۱، ۱)	بهترین معیار: پیچیدگی برنامه (R ₁₁)
بدترین معیار: نیاز بازار (R ₁₂)			بردار زوجی سایر - بدترین
	(۷/۲، ۴، ۹/۲)		پیچیدگی برنامه (R ₁₁)
	(۱، ۱، ۱)		نیاز بازار (R ₁₂)
	(۲/۳، ۱، ۳/۲)		تأثیر قوانین (R ₁₃)

جدول الف-۲: اوزان بهینه شاخص‌های بعد عدم قطعیت

CR	*ξ	اوزان محلی دیفازی شده	اوزان محلی فازی	شاخص‌های بعد عدم قطعیت
۰٫۰۵۵	۰٫۴۴۹	۰٫۵۸۹	(۰٫۶۲۹، ۰٫۵۸۱، ۰٫۵۸۱)	پیچیدگی برنامه (R ₁₁)

نیاز بازار (R ₁₂)	(۰,۱۵۵, ۰,۱۶۴, ۰,۱۹۰)	۰,۱۶۷
تأثیر قوانین (R ₁₃)	(۰,۲۱۳, ۰,۲۳۷, ۰,۳۰۳)	۰,۲۴۴

جدول ب-۱: مقایسه زوجی شاخص‌های بعد مشتری

بهبود عملکرد (R ₂₃)	شاخص رضایتمندی مشتری (R ₂₂)	بازخورد متمرکز گروه مشتری (R ₂₁)	بردار زوجی بهترین - سایر
(۲/۳, ۱, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	بهترین معیار: شاخص قیمت (R ₂₂)
بدترین معیار: بازخورد متمرکز گروه مشتری (R ₂₁)			
	(۱, ۱, ۱)		بردار زوجی سایر - بدترین
	(۵/۲, ۳, ۷/۲)		شاخص وزن (R ₂₂)
	(۳/۲, ۳, ۵/۲)		بهبود عملکرد (R ₂₃)

جدول ب-۲: اوزان بهینه شاخص‌های بعد مشتری

CR	ξ*	اوزان محلی دیفازی شده	اوزان محلی فازی	شاخص‌های بعد مشتری
۰,۰۲۵	۰,۲۳۶	۰,۱۶۷	(۰,۱۶۴, ۰,۱۶۴, ۰,۱۸۰)	بازخورد متمرکز گروه مشتری (R ₂₁)
		۰,۴۶۱	(۰,۴۰۷, ۰,۴۵۴, ۰,۵۴۲)	شاخص قیمت (R ₂₂)
		۰,۳۷۲	(۰,۳۱۲, ۰,۳۶۷, ۰,۴۵۰)	بهبود عملکرد (R ₂₃)

جدول ج-۱: مقایسه زوجی شاخص‌های بعد رشد و یادگیری

میزان تناسب (R ₃₂)	شاخص رضایتمندی گروه (R ₃₂)	میزان ترکیب با سایر عملیات‌ها (R ₃₁)	بردار زوجی بهترین - سایر
(۷/۲, ۴, ۹/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۱, ۱, ۱)	بهترین معیار: میزان وزن (R ₃₁)
بدترین معیار: میزان تناسب (R ₃₃)			
	(۷/۲, ۴, ۹/۲)		بردار زوجی سایر - بدترین
	(۳/۲, ۲, ۵/۲)		میزان ترکیب با سایر عملیات‌ها (R ₃₁)
	(۱, ۱, ۱)		شاخص وزن (R ₃₂)
			میزان تناسب (R ₃₃)

جدول ج-۲: اوزان بهینه شاخص‌های بعد رشد و یادگیری

CR	ξ*	اوزان محلی دیفازی شده	اوزان محلی فازی	شاخص‌های بعد رشد و یادگیری
۰,۰۰۵	۰,۰۴۳	۰,۵۶۷	(۰,۵۰۹, ۰,۵۷۸, ۰,۵۷۸)	میزان ترکیب با سایر عملیات‌ها (R ₃₁)
		۰,۲۹۰	(۰,۲۲۷, ۰,۲۹۵, ۰,۳۳۰)	شاخص وزن (R ₃₂)
		۰,۱۴۴	(۰,۱۳۰, ۰,۱۴۶, ۰,۱۴۷)	میزان تناسب (R ₃₃)

جدول د-۱: مقایسه زوجی شاخص‌های بعد فرایندهای داخلی

تعداد اعضای آموزش دیده به منظور نگهداری و تعمیرات (R43)	سطح توسعه (R42)	دوام (فنی و بازاری) (R41)	بردار زوجی بهترین - سایر
(۵/۳، ۳، ۷/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)	بهترین معیار: دوام (فنی و بازاری) (R41)
بدترین معیار: تعداد اعضای آموزش دیده به منظور نگهداری و تعمیرات (R43)			
(۵/۳، ۳، ۷/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)	بردار زوجی سایر - بدترین
(۵/۳، ۳، ۷/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)	دوام (فنی و بازاری) (R41)
(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۲/۳، ۱، ۳/۲)	(۱، ۱، ۱)	سطح توسعه (R42)
(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	تعداد اعضای آموزش دیده به منظور نگهداری و تعمیرات (R43)

جدول د-۲: اوزان بهینه شاخص‌های بعد فرایندهای داخلی

CR	*ع	اوزان محلی دیفازی شده	اوزان محلی فازی	شاخص‌های بعد فرایندهای داخلی
۰،۳۵	۰،۲۳۶	۰،۴۶۱	(۰،۴۰۷، ۰،۴۵۴، ۰،۵۴۲)	دوام (فنی و بازاری) (R41)
		۰،۳۷۲	(۰،۳۱۲، ۰،۳۶۷، ۰،۴۵۰)	سطح توسعه (R42)
		۰،۱۶۷	(۰،۱۶۴، ۰،۱۶۴، ۰،۱۸۰)	تعداد اعضای آموزش دیده به منظور نگهداری و تعمیرات (R43)

منابع

رضوانی، مهران؛ سادات اسدی، نورالهدی و رضایی، مرضیه (۱۴۰۰). طراحی استراتژی‌های فروش متنوع با استفاده از بازاریابی مبتنی بر پایگاه داده (مورد مطالعه: شرکت بیمه فعال در مناطق آزاد تجاری). *مطالعات رفتار مصرف کننده*. ۸ (۴)، ۳۱-۴۵.

سلطان زاده، جواد؛ الیاسی، مهدی؛ قادری فر؛ اسماعیل؛ رضایی صوفی، حجت و خوش سیرت، محسن (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر یارانه‌های تحقیق و توسعه بر رفتار نواورانه شرکت‌های ایرانی. *مدیریت سیاست علم و فناوری*. ۱۱ (۱)، ۴۸-۱۷.

مهدیه، امید؛ پیرایش، رضا و بابلی، مینو (۱۴۰۰). تأثیر هزینه جابجایی بر وفاداری و احتمال رویگردانی مشتریان. *مطالعات رفتار مصرف کننده*. ۸ (۴)، ۴۶-۶۱.

References

- Aldieri, L., Sena, V., & Vinci, C. P. (2018). Domestic R&D spillovers and absorptive capacity: Some evidence for US, Europe and Japan. *International Journal of Production Economics*, 198, 38-49.
- Azoulay, P., Graff Zivin, J. S., Li, D., & Sampat, B. N. (2019). Public R&D investments and private-sector patenting: evidence from NIH funding rules. *The Review of economic studies*, 86(1), 117-152.
- Babkin, A., Lipatnikov, V., & Muraveva, S. (2015). Assessing the impact of innovation strategies and R&D costs on the performance of IT companies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 207, 749-758.
- Castellani, D., Montresor, S., Schubert, T., & Vezzani, A. (2017). Multinationality, R&D and productivity: Evidence from the top R&D investors worldwide. *International Business Review*, 26(3), 405-416.
- Chachuli, F. S. M., Mat, S., Ludin, N. A., & Sopian, K. (2021). Performance evaluation of renewable energy R&D activities in Malaysia. *Renewable Energy*, 163, 544-560.

- Chan, L., & Daim, T. (2018). A research and development decision model for pharmaceutical industry: case of China. *R&D Management*, 48(2), 223-242 .
- Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and Systems*, 114(1), 1-9 .
- Cin, B. C., Kim, Y. J & . Vonortas, N. S. (2017). The impact of public R&D subsidy on small firm productivity: evidence from Korean SMEs. *Small Business Economics*, 48(2), 345-360 .
- Di Cintio, M., Ghosh, S., & Grassi, E. (2017). Firm growth, R&D expenditures and exports: An empirical analysis of Italian SMEs. *Research Policy*, 46(4), 836-852 .
- Fenton, N., & Wang, W. (2006). Risk and confidence analysis for fuzzy multicriteria decision making. *Knowledge-Based Systems*, 19(6), 430-437 .
- Gang, J., & Wei, Y. (2017). A Fuzzy Comprehensive Evaluation System Based Delphi-AHP and Its Application to R&D Planning Project Evaluation. *Paper presented at the Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management*, 341-351.
- Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31 .
- Kang, J., Kim, J.-S., & Seol, S. (2019). The prioritization of technologies and public R&D roles between the manufacturing and service industries in the fourth industrial revolution. *foresight*, 21(6), 680-694.
- Kang, T., Baek, C., & Lee, J.-D. (2017). The persistency and volatility of the firm R&D investment: Revisited from the perspective of technological capability. *Research Policy*, 46(9), 1570-1579 .
- Khoshnevis, P., & Teirlinck, P. (2018). Performance evaluation of R&D active firms. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 16-28 .
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Albayrak, F. (2018). Evaluating R&D Projects Using Two Phases Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 49-53 .
- Koçak, E., Kınacı, H., & Shehzad, K. (2021). Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: A bootstrap DEA approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 19381-19390 .
- Kyung, J.-s. (2018). A Study on R&D Investment Decision Making Model by Using Small-Medium Enterprises Strategic Technology Roadmap. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(12), 786-794 .
- Lampert, C. M., & Kim, M. (2019). Going far to go further: Offshoring, exploration, and R&D performance. *Journal of Business Research*, 103, 376-386 .
- Li, D.-F., Wang, Y.-C., Liu, S., & Shan, F. (2009). Fractional programming methodology for multi-attribute group decision-making using IFS. *Applied soft computing*, 9(1), 219-225 .
- Liao, M.-S., Liang, G.-S., & Chen, C.-Y. (2013). Fuzzy grey relation method for multiple criteria decision-making problems. *Quality & Quantity*, 47(6), 3065-3077 .
- Lukach, R., Kort, P. M., & Plasmans, J. (2007). Optimal R&D investment strategies under the threat of new technology entry. *International Journal of Industrial Organization*, 25(1), 103-119 .
- Mahdieh, O., Pirayesh, R., & Baboli, M. (2022). The Effect of Switching Cost on Customers Loyalty and Likelihood of Churn. *Consumer Behavior Studies Journal*, 8(4), 46-61. (In Persian)
- Penan, H. (1996). R & D strategy in a techno-economic network: Alzheimer's disease therapeutic strategies. *Research Policy*, 25(3), 337-358 .
- Pennetier, C., Girotra, K., & Mihm, J. (2019). R&D Spending: Dynamic or Persistent? *Manufacturing & Service Operations Management*, 21(3), 636-657 .

- Pisano, G. (2012). *Creating an R&D Strategy*, Harvard Business School. Retrieved from
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57 .
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130 .
- Ruiqi, W., Wang, F., Xu, L., & Yuan, C. (2017). R&D expenditures, ultimate ownership and future performance: Evidence from China. *Journal of Business Research*, 71, 47-54 .
- Rezvani, M., Sadat Asadi, N., & Rezaee, M. (2022). Designing Diversified Sales Strategy by Using Database Marketing (Case Study: Insurance Company Active in Free Trade Zones). *Consumer Behavior Studies Journal*, 8(4), 21-45. (In Persian)
- Salimi, N., & Rezaei, J. (2018). Evaluating firms' R&D performance using best worst method. *Evaluation and program planning*, 66, 147-155 .
- Simao, L., & Franco, M. (2020). Understanding the influence of R&D collaboration on organizational innovation: Empirical evidences *Disruptive Technology: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1983-2005): IGI Global.
- Sinimole, K., & Saini, K. M. (2020). Performance evaluation of R&D organisations: an Asian perspective. *International Journal of the Economics of Business*, 1-19 .
- Soltanzadeh, J., Elyasi, M., Ghaderifar, E., Rezaei Soufi ,H., & Khoshsirat, M. (2020). Evaluation of the effect of R&D subsidies on Iranian firms' innovative behavior. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 11(1), 17-48. (In Persian)
- Song, C. H. (2019). Deriving and Assessing Strategic Priorities for Outsourcing Partner Selection in Pharmaceutical R&D: an Approach Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Based on 34 Experts' Responses From Korean Pharmaceutical Industry. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 14(1), 66-75 .
- Steinberg ,P. J., Procher, V. D., & Urbig, D. (2017). Too much or too little of R&D offshoring: The impact of captive offshoring and contract offshoring on innovation performance. *Research Policy*, 46(10), 1810-1823 .
- Tian, Z.-p., Wang, J.-q., & Zhang, H.-y . (2018). An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and VIKOR methods. *Applied Soft Computing*, 72, 636-646 .
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*: Chapman and Hall/CRC.
- Vincent, F. Y., & Hu, K.-J. (2010). An integrated fuzzy multi-criteria approach for the performance evaluation of multiple manufacturing plants. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), 269-277 .
- Wei, G.-W. (2010). GRA method for multiple attribute decision making with incomplete weight information in intuitionistic fuzzy setting. *Knowledge-Based Systems*, 23(3), 243-247 .
- Yalcin, A. S., Kilic, H. S., & Guler, E. (2019). *Research and Development Project Selection via IF-DEMATEL and IF-TOPSIS*. Paper presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems.
- Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353 .
- Zhang, H., Ding, D., & Ke, L. (2019). The effect of R&D input and financial agglomeration on the growth private enterprises: Evidence from Chinese manufacturing industry. *Emerging Markets Finance and Trade*, 55(10), 2298-2313 .
- Zhang, S.-f., Liu, S.-y., & Zhai, R.-h. (2011). An extended GRA method for MCDM with interval-valued triangular fuzzy assessments and unknown weights. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1336-1341 .
- Zhao, H., & Guo, S. (2014). Selecting green supplier of thermal power equipment by using a hybrid MCDM method for sustainability. *Sustainability*, 6(1), 217-235.

نویسندگان این مقاله:

مسعود لطیفیان؛ دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی - مدیریت تحقیق و توسعه، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران مرکزی می‌باشند. لازم به ذکر است که تحصیلات کارشناسی ارشد ایشان نیز در رشته مدیریت تکنولوژی - سیاست‌های تحقیق و توسعه دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. حوزه فعالیت ایشان در زمینه تحقیق و توسعه و مشتری‌مداری می‌باشد.



دکتر محمدعلی کرامتی؛ دانشیار و مدیر گروه مدیریت تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران مرکزی می‌باشند. ایشان دارای مقالات متعدد در زمینه رضایتمندی مشتریان و تکنولوژی می‌باشند.



دکتر رضا توکلی مقدم؛ استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران می‌باشند. ایشان درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه ملبورن استرالیا اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۷۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوین برن استرالیا گردید. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان طراحی سیستم‌های صنعتی (مکانیابی و استقرار تسهیلات)، مسیریابی وسایط حمل و نقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتم‌های فرابتنکاری در بهینه‌سازی می‌باشد.

