Journal of Iran Futures Studies
Print ISSN: 6365-2423
Online ISSN: 2676-6183

Proposing a Hybrid BWM-COCOSO Approach for Selecting Technology Foresight Method

Mahdi Nasrollahi*
ccosiate Professor, Department of Management, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: m.nasrollahi@soc.ikiu.ac.ir

Abstract

Objective: Technology foresight is a critical strategic approach in innovation management and technology development, serving as an essential tool for analyzing and predicting future technological trends. However, the diversity of foresight methods and the lack of a comprehensive framework for selecting the most suitable method pose significant challenges. This study introduces an innovative framework based on the integration of the Best-Worst Method (BWM) and the Combined Compromise Solution (CoCoSo) to provide, for the first time, a comprehensive approach for selecting technology foresight methods.

Method: This research is applied in purpose and quantitative in nature, employing a descriptive approach for data collection and analysis. Initially, a literature review identified 12 primary foresight methods and 8 key evaluation criteria. The criteria were weighed using the BWM, and the methods were prioritized using the CoCoSo technique. Data were collected through questionnaires from 10 experts in the provinces of Tehran, Alborz, and Qazvin during the winter of 2024.

Results: The findings indicate that accuracy and flexibility are the most critical criteria for selecting technology foresight methods. Additionally, scenario planning and the Delphi method were identified by experts as the most suitable approaches for technology foresight.

Conclusion: Selecting an appropriate technology foresight method is vital for organizations to effectively address the challenges and opportunities arising from rapid technological changes. The proposed framework, emphasizing key criteria and integrating BWM and CoCoSo, enables organizations to enhance the accuracy and efficiency of their predictions and adapt to rapid technological advancements.

KeyWords: Technology Foresight, Foresight method, Weighting, Ranking, Decision making.

Cite this article: Nasrollahi Mahdi.(2025) Proposing a Hybrid BWM-COCOSO Approach for Selecting Technology Foresight Method,Volume9, NO.2 fall & winter 2025, 192-217
DOI: 10.30479/jfs.2025.21741.1618
Received on: 23June 2025 **Accepted on**: 9 March 2025
Copyright© 2025, The Author(s).
Publisher: Imam Khomeini International University
Corresponding Author/ E-mail: Mahdi Nasrollahi /m.nasrollahi@soc.ikiu.ac.ir

فصلنامه آینده پژوهی ایران

شاپای چاپی :۲۴۲۳-۶۳۶۳

شاپای الکترونیکی : ۶۱۸۳-۷۶۲۶

ارائه رویکرد ترکیبی بهترین –بدترین و کوکوسو برای انتخاب روش آینده‌نگاری فناوری

مهدی نصراللهی*

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران، (نویسنده مسئول)

m.nasrollahi@soc.ikiu.ac.ir

چکیده

هدف: آینده‌نگاری فناوری به عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای راهبردی در مدیریت نوآوری و توسعه فناوری و همچنین ابزاری مهم برای تحلیل و پیش‌بینی تحولات آینده در حوزه فناوری است. با این حال، تنوع روش‌ها و عدم وجود چارچوبی جامع برای انتخاب مناسب‌ترین روش، چالشی مهم در این حوزه محسوب می‌شود. این پژوهش با ارائه چارچوبی نوآورانه مبتنی بر ترکیب ۲ روش، رویکردی جامع برای انتخاب روش‌های آینده‌نگاری فناوری ارائه می‌دهد.

روش: تحقیق حاضر از نظر هدف یک پژوهش کاربردی و براساس ماهیت داده‌ها، یک پژوهش کمی محسوب می‌شود. همچنین از نظر گردآوری و تحلیل داده‌ها نیز یک پژوهش توصیفی است. ابتدا با مرور منابع، ۱۲ روش اصلی آینده‌نگاری و ۸ معیار کلیدی ارزیابی شناسایی گردید. وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش BWM و اولویت‌بندی روش‌ها با تکنیک CoCoSo انجام گرفت. داده‌ها از طریق پرسشنامه و با نظر ۱۰ نفر از خبرگان در استان‌های تهران، البرز و قزوین در زمستان ۱۴۰۳ جمع‌آوری شد.

یافته‌های پژوهش: یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های دقت و انعطاف‌پذیری بیشترین اهمیت را در انتخاب روش آینده‌نگاری فناوری دارند و روش‌های سناریوپردازی و دلفی نیز مناسب‌ترین روش‌ها برای آینده‌نگاری فناوری از دیدگاه خبرگان هستند.

نتیجه گیری: گزینش روش مناسب آینده‌نگاری فناوری نقش مهمی در موفقیت سازمان‌ها برای مواجهه با چالش‌ها و فرصت‌های ناشی از تغییرات سریع فناوری دارد. چارچوب پیشنهادی این پژوهش با تأکید بر معیارهای کلیدی و ترکیب روش‌ها، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با انتخاب روش مناسب، دقت و کارایی پیش‌بینی‌های خود را بهبود بخشند و با تغییرات سریع فناوری سازگار شوند.

واژگان کلیدی: آینده‌نگاری فناوری، روش‌های آینده‌نگاری، وزن‌دهی، اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری

*استناد: نصراللهی، مهدی. (۱۴۰۳) ارائه رویکرد ترکیبی بهترین –بدترین و کوکوسو برای انتخاب روش آینده‌نگاری فناوری. دو فصلنامه علمی آینده پژوهی ایران، مقاله پژوهشی، دوره ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، ۱۹۲-۲۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی۱۴۰۴/۴/۲

ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

در دنیای مدرن، فناوری با سرعتی غیرقابل تصور در حال پیشرفت است و این پیشرفت‌ها بر تمامی ابعاد زندگی انسان‌ها تأثیر می‌گذارند. رشد روزافزون فناوری‌های نوین و تغییرات پیوسته در تمامی حوزه‌ها، سازمان‌ها را با چالش‌های پیچیده‌ای روبرو کرده است که نیاز به پیش‌بینی دقیق و کارآمد از آینده را بیشتر می‌کند (Appio et al., 2021). بر اساس گزارش یونسکو (۲۰۲۳)، بیش از ۶۰٪ سازمان‌های فناوری‌محور به‌دلیل عدم پیش‌بینی دقیق روندهای فناوری، با شکست‌های استراتژیک مواجه شده‌اند. این موضوع، نشان‌گر ضرورت آمادگی برای مواجهه با چالش‌ها و فرصت‌های ناشی از این دگرگونی‌ها است (Dharmayanti et al., 2023). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که بیش از ۶۸٪ سازمان‌های فناوری‌محور در سطح جهانی با چالش‌های جدی در انتخاب روش‌های مناسب آینده‌نگاری مواجه هستند (McKinsey Global Institute, 2024). همچنین داده‌های OECD (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که ۵۷٪ از شرکت‌های فعال در حوزه‌های های‌تک، به دلیل عدم استفاده از روش‌های مناسب آینده‌نگاری، در تشخیص روندهای نوظهور فناوری ناموفق بوده‌اند که این امر منجر به از دست دادن سهم بازار و کاهش قابل‌توجه سودآوری (میانگین ۲۳٪) آنها شده است. عدم اطمینان و پیچیدگی‌های موجود در محیط‌های کسب‌وکار، تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را برای مدیران و برنامه‌ریزان با دشواری‌های زیادی مواجه می‌سازد. به‌طوری که در بسیاری از موارد، عدم توانایی در پیش‌بینی روندهای آینده منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست و شکست‌های استراتژیک می‌شود (Anjorin, Raji, & Olodo, 2024).

فناوری به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی تغییرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت آینده است. آینده‌نگاری فناوری[۱] فرآیندی تعاملی و فوق‌العاده باز است که با هدف درک و تحلیل ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فناوری‌های جدید و تأثیر احتمالی آنها بر سازمان‌ها و سایر ذینفعان انجام می‌شود (رحمتی و همکاران، ۱۴۰۱). این فرآیند به سازمان‌ها کمک می‌کند تا فرصت‌ها و تهدیدهای آینده را شناسایی کرده و برای آنها آماده شوند (Saritas & Smith, 2011). آینده‌نگاری فناوری ابزاری است که برای پاسخگویی به نیازهای نوظهور سازمان‌های بخش خصوصی و دولتی در محیط رقابتی جهانی استفاده می‌شود. هدف از هر نوع آینده‌نگاری و نقش اصلی آینده‌نگران، حمایت از تصمیم‌گیرندگان در ساخت برنامه‌های تجاری است.

اقتصاد و جامعه جهانی کنونی بیش از گذشته به قابلیت و کارایی نوآوری‌های تکنولوژیکی وابسته است (Ezeigweneme et al., 2024). علم و فناوری به معیار رقابت ملی یک کشور تبدیل شده است و این شاخص مهم توجه دولت‌ها و سازمان‌ها را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. در بسیاری مواقع، مدیران باید یک فناوری در حال بلوغ را کنار بگذارند و فناوری جدیدی را برای

۱. Technology Foresight

ماندن در رقابت بپذیرند (Valle-Cruz, & García-Contreras, 2023). اما یک مشکل اصلی و عملی که مدیران با آن مواجه هستند این است که چه زمانی باید سرمایه‌گذاری‌ها را از فناوری فعلی به فناوری آینده تغییر دهند. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری بین بهینه‌سازی فناوری‌های موجود یا توسعه یک فناوری کلیدی جدید، یکی از چالش برانگیزترین مشکلات کارکنان تحقیق و توسعه یک سازمان است (Hughes, & Hodgkinson, 2021). جست‌وجوی پاسخ برای این مشکلات، آینده‌نگاری فناوری را ابزار مهمی برای سازمان‌ها می‌سازد.

در بحران‌های اقتصادی و اجتماعی، نیاز به شروع مجدد و نوآوری در شیوه‌های کار می‌تواند نتیجه‌ای مثبت برای بهره‌وری و پایداری سازمان باشد. به‌همین دلیل، سازمان‌ها و دولت‌ها باید قادر باشند تا آینده را به‌طور کارآمد و دقیق پیش‌بینی کنند و برای آن برنامه‌ریزی نمایند. اما از آنجایی که عدم یقین در پیش‌بینی‌های آینده به‌ویژه در زمینه‌های فناوری و بازارهای نوظهور نمایان‌تر است، و با توجه به پیچیدگی و غیرقطعی بودن آینده، ایجاد چارچوبی جامع و قابل‌اعتماد برای آینده‌نگاری فناوری، به عنوان ابزاری اساسی در مدیریت استراتژیک و تصمیم‌گیری‌های بلندمدت، بیش از پیش احساس می‌شود. این چارچوب می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا با جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و به‌کارگیری روش‌های متنوع، نمای دقیقی از آینده ارائه دهند. با این‌حال، با وجود روش‌های متعدد آینده‌نگاری، انتخاب روش مناسب با توجه به شرایط خاص هر سازمان چالش‌برانگیز است، زیرا هر روش دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود است. بنابراین، نبود چنین چارچوبی ممکن است منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست، اتلاف منابع، یا ناکارآمدی در فرآیند برنامه‌ریزی استراتژیک شود (Bishop et al., 2007).

بنابراین، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این سوال است که چه چارچوبی می‌تواند به عنوان یک راهنما برای آینده‌نگاری فناوری عمل کند و چگونه می‌توان روش‌های مختلف آینده‌نگاری را بر اساس شاخص‌های ارزیابی معتبر وزن‌دهی و رتبه‌بندی کرد تا دقت و کارایی پیش‌بینی‌ها را افزایش دهد. در این پژوهش، با ترکیب روش‌های «بهترین-بدترین[۱]» و «کوکوسو[۲]»، چارچوبی نوآورانه برای انتخاب روش‌های آینده‌نگاری فناوری ارائه می‌شود. این ترکیب روش‌ها، امکان وزن‌دهی دقیق شاخص‌ها و رتبه‌بندی روش‌ها را فراهم می‌کند. این چارچوب نه تنها دقت و انعطاف‌پذیری در انتخاب روش‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه با توجه به شرایط خاص سازمان‌ها، امکان تطبیق و بهینه‌سازی فرآیندهای آینده‌نگاری را نیز فراهم می‌کند. به‌علاوه، پژوهش حاضر اهمیت زیادی در بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در سازمان‌ها دارد. با ارائه چارچوبی برای آینده‌نگاری فناوری، سازمان‌ها قادر خواهند بود تا با دقت بیشتری به برنامه‌ریزی بلندمدت بپردازند و در مواجهه با تغییرات سریع و غیرقابل پیش‌بینی و چالش‌هایی مانند محدودیت‌های منابع، نیاز به توسعه فناوری‌های بومی، و ضرورت هماهنگی بین بخش‌های مختلف صنعتی و دولتی، آماده‌تر عمل کنند.

۱.BWM

۲.CoCoSo

در نهایت، نتایج پژوهش می‌تواند به دانش نظری در زمینه آینده‌نگاری فناوری افزوده و به‌عنوان مرجعی برای تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

آینده‌نگاری فناوری به‌عنوان یک فرآیند سیستماتیک و استراتژیک برای شناسایی و تحلیل روندهای آینده در زمینه فناوری‌های نوین و تأثیرات آن‌ها بر جامعه و سازمان‌ها شناخته می‌شود (Glenn, 2009). این مفهوم به‌طور فزاینده‌ای در ادبیات مدیریت و برنامه‌ریزی استراتژیک مورد توجه قرار گرفته است (Miller & Lessard, 2001). آینده‌نگاری به مدیران این امکان را می‌دهد که با دیدی کمی و کیفی به پیش‌بینی شرایط آینده بپردازند و استراتژی‌های خود را بر اساس سناریوهای محتمل تنظیم کنند و برای مواجهه با چالش‌های آینده آماده شوند (Bennett & Jessani, 2011). روش‌های گوناگونی برای آینده‌نگاری فناوری توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که روش‌های آینده‌نگاری فناوری براساس رویکردها و ابزارهای مورد استفاده دسته‌بندی می‌شوند (Cuhls, 2016):

۱- **روش‌های کمی:** این روش‌ها مبتنی بر داده‌های عددی هستند. هدف آنها ایجاد پیش‌بینی‌های دقیق براساس تحلیل داده‌های تاریخی است (Popper, 2008).

۲- **روش‌های کیفی:** در این روش‌ها، از نظرات کارشناسان و تحلیل‌های کیفی برای شناسایی عوامل و روندهای کلیدی استفاده می‌شود. این روش‌ها انعطاف‌پذیری بیشتری در برخورد با تغییرات غیرمنتظره دارند (Cuhls, 2023).

۳- **روش‌های ترکیبی:** این روش‌ها از ترکیب ابزارهای کمی و کیفی استفاده می‌کنند تا نقاط قوت هر دو رویکرد را به‌کار گیرند (ساریتاس و اسمیت، ۲۰۱۱).

۴- **سناریوپردازی :**توسعه سناریوهای جایگزین بر اساس روندهای موجود و عدم قطعیت‌ها توسط این روش‌ها انجام می‌شود (ون در هایدن، ۲۰۰۵).

روش‌های آینده‌نگاری بر اساس ماهیت، هدف و نوع داده‌های مورد استفاده به دسته‌های متعددی تقسیم می‌شوند. جزئیات روش‌های آینده‌نگاری و کاربردهای آنها بر اساس مرور منابع معتبر، در جدول زیر، ارائه شده است:

جدول ۱ – روش‌های آینده‌نگاری

روش	شرح
روش دلفی[۱]	روش دلفی یکی از متداول‌ترین رویکردهای آینده‌نگاری است که بر جمع‌آوری نظرات کارشناسان به‌صورت ساختاریافته متمرکز است. این روش در دهه ۱۹۵۰ توسط مؤسسه رَند برای پیش‌بینی مسائل نظامی توسعه یافت و به‌تدریج در سایر حوزه‌ها نیز به کار گرفته شد (Cuhls, 2023). مزیت اصلی این روش در قابلیت آن برای جمع‌آوری نظرات از مجموعه‌ای متنوع از کارشناسان و ایجاد اجماع بدون نیاز به تعاملات حضوری است.
تحلیل روندها[۲]	تحلیل روندها بر شناسایی و تحلیل روندهای جاری و احتمالی آینده تمرکز دارد. این روش با بررسی داده‌های گذشته و حال، تلاش می‌کند الگوهای مشخصی را شناسایی کند که می‌توانند نشان‌دهنده تغییرات آینده باشند (Manetti, Lara-Navarra, & Serradell-López, 2022). تحلیل روندها به‌ویژه در حوزه‌های بازاریابی و توسعه محصولات بسیار مؤثر واقع شده است.
سناریوپردازی[۳]	سناریوپردازی شامل توسعه مجموعه‌ای از سناریوهای ممکن برای پیش‌بینی آینده است (Marciano, Fergnani, & Robiati, 2024). این روش به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با بررسی و تحلیل مسیرهای مختلف، برای مواجهه با شرایط غیرقابل پیش‌بینی آماده شوند (ون در هایدن، ۲۰۰۵). سناریوپردازی معمولاً در محیط‌های با عدم قطعیت بالا کاربرد دارد.
نقشه راه فناوری[۴]	نقشه راه فناوری فرایندی است که به ترسیم مسیر توسعه فناوری‌ها و محصولات می‌پردازد. این روش به سازمان‌ها کمک می‌کند تا استراتژی‌های خود را با توجه به روندهای فناوری آینده تنظیم کنند (Phaal et al., 2004). نقشه راه فناوری معمولاً شامل مراحل مختلف توسعه و نقاط عطف کلیدی است.
تحلیل اثرات متقاطع[۵]	تحلیل اثرات متقاطع به بررسی تعاملات و تاثیرات بین عوامل مختلف می‌پردازد (Reghabi, Farajpahlou, & Hariri, 2024). این روش به‌ویژه در حوزه‌هایی که عوامل متعددی در تعامل با یکدیگر تأثیرگذار هستند، مانند سیاست‌گذاری عمومی، کاربرد دارد (میرزایی، قلیچ، و ربانی، ۱۴۰۲).
پیش‌بینی فناوری[۶]	پیش‌بینی فناوری شامل استفاده از روش‌های کمی و کیفی برای پیش‌بینی تغییرات فناوری در آینده است (Dwivedi et al., 2023). این روش بر تحلیل داده‌های تاریخی و مدل‌سازی روندهای آینده مبتنی است (Kucharavy, Damand, & Barth, 2023).
شبیه‌سازی[۷]	شبیه‌سازی به مدل‌سازی و تحلیل تغییرات در شرایط مختلف می‌پردازد (Pankratova, Gorelova, & Pankratov, 2022). این روش امکان بررسی و تحلیل سناریوهای مختلف و تجزیه و تحلیل نتایج احتمالی را فراهم می‌کند (Groen et al., 2023).
تحلیل ذینفعان[۸]	تحلیل ذینفعان به شناسایی و تحلیل نقش ذینفعان مختلف در فرایند آینده‌نگاری می‌پردازد. این روش بر اهمیت جلب مشارکت و تعامل با گروه‌های مختلف در فرآیند آینده‌نگاری تأکید دارد (Freeman, 2010).
طوفان فکری[۹]	طوفان فکری به جمع‌آوری ایده‌ها از طریق مشارکت گروهی می‌پردازد و برای ایجاد خلاقیت و تولید ایده‌های نوین در فرایند آینده‌نگاری کاربرد دارد (عمرانی، بهرامی، و شفیعی، ۱۳۹۴).
تحلیل ساختاری[۱۰]	تحلیل ساختاری به تحلیل روابط بین عوامل کلیدی مؤثر بر آینده می‌پردازد و در شناسایی تعاملات پیچیده و ساختارهای زیربنایی کاربرد دارد (Godet, 2000).
شبکه‌های تخصصی[۱۱]	شبکه‌های تخصصی به استفاده از شبکه‌های تخصصی برای جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات می‌پردازند (Georghiou, 2008). این روش به ویژه در حوزه‌های علمی و تحقیقاتی کاربرد دارد (Popper, 2008).
تحلیل هوشمندی رقابتی[۱۲]	تحلیل هوشمندی رقابتی به پایش رقبا و روندهای بازار برای پیش‌بینی آینده می‌پردازد و در حوزه‌های تجاری و صنعتی کاربرد گسترده‌ای دارد (Wu, Yan, & Umair, 2023).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. Delphi Method
۲. Trend Analysis
۳. Scenario Building
۴. Technology Roadmapping
۵. Cross-Impact Analysis
۶. Technology Forecasting
۷. Simulation
۸. Stakeholder Analysis
۹. Brainstorming
۱۰. Structural Analysis
۱۱. Expert Networks
۱۲ Competitive Intelligence

روش‌های مختلف آینده‌نگاری فناوری هر یک دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند. انتخاب روش مناسب برای آینده‌نگاری بستگی به شرایط خاص سازمان و اهداف آن دارد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که انتخاب روش آینده‌نگاری باید بر اساس عوامل مختلفی از جمله هدف، منابع موجود، و نوع تکنولوژی مورد نظر انجام شود (Brandtner et al., 2015). بنابراین، برای ارزیابی مؤثر روش‌های آینده‌نگاری فناوری، لازم است که از مجموعه‌ای از شاخص‌ها استفاده کنیم که بتوانند نقاط قوت و ضعف هر یک از این روش‌ها را به‌طور جامع بررسی کنند. در پژوهش‌های پیشین، شاخص‌های کلیدی ارزیابی و چگونگی کاربرد آنها در ارزیابی روش‌ها توسعه داده شده‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از:

۱- دقت[۱]: دقت به معنی توانایی روش در ارائه پیش‌بینی‌های صحیح و معتبر برای تحولات آتی است و به صحت نتایج نهایی و انطباق با روندهای واقعی اشاره دارد (Miller & Lessard, 2001). دقت پیش‌بینی به‌طور مستقیم بر قابلیت اطمینان و قبول‌پذیری نتایج تأثیرگذار است. مطالعات بسیاری بر اهمیت این شاخص تأکید کرده‌اند (Schwartz, 1996).

۲- انعطاف‌پذیری[۲]: انعطاف‌پذیری به قابلیت انطباق روش با شرایط و نیازهای مختلف اشاره دارد. یک روش آینده‌نگاری باید بتواند به‌راحتی با تغییرات شرایط محیطی و نیازهای سازمانی هماهنگ شود. پژوهشگرانی در مطالعات خود نشان داده‌اند که انعطاف‌پذیری بالا می‌تواند مزیت رقابتی قابل‌توجهی برای سازمان‌ها فراهم کند (Sarpong & Maclean, 2011).

۳- تکرارپذیری[۳]: توانایی روش در تولید نتایج مشابه در شرایط مشابه شاخص قابلیت اعتماد روش است و به استانداردسازی فرآیند کمک می‌کند (Popper, 2008).

۴- زمان‌بر بودن[۴]: مدت زمان مورد نیاز برای اجرای کامل یک روش آینده‌نگاری نیز مهم است. این معیار به سازمان‌ها کمک می‌کند روش‌هایی را انتخاب کنند که در بازه زمانی موردنظر نتایج قابل‌قبول ارائه دهند. ون در هایدن[۵] (۲۰۰۵) نشان داده است که روش‌های با زمان اجرای کوتاه‌تر اغلب در محیط‌های پویا و با تغییرات سریع ترجیح داده می‌شوند.

۵- مشارکت ذینفعان[۶]: امکان جلب مشارکت افراد و گروه‌های مختلف در فرآیند آینده‌نگاری به‌عنوان شاخصی کلیدی شناخته می‌شود. این شاخص بر توانایی روش در ایجاد اجماع و

---

1. Accuracy
۲. Flexibility
۳. Repeatability
۴. Time Consumption
۵. Van der Heijden
۶. Stakeholder Participation

تعامل با ذینفعان تأکید دارد. مطالعات بیشاپ و همکاران[۱] (۲۰۰۷) نشان می‌دهند که مشارکت فعال ذینفعان می‌تواند به افزایش دقت و پذیرش نتایج کمک کند.

۶- هزینه اجرا[۲]: هزینه اجرا شامل منابع مالی و انسانی مورد نیاز برای اجرای روش است. این شاخص به‌طور مستقیم بر قابلیت‌های اقتصادی سازمان تأثیر می‌گذارد و انتخاب روش‌های مقرون‌به‌صرفه برای بسیاری از سازمان‌ها ضروری است. پوپر[۳] (۲۰۰۸) در تحقیقات خود به اهمیت ارزیابی هزینه‌های مرتبط با روش‌های آینده‌نگاری به‌منظور بهینه‌سازی منابع اشاره کرده است.

۷- سادگی اجرا[۴]: سادگی در پیاده‌سازی روش و نیاز به آموزش یا تخصص خاص از دیگر شاخص‌های مهم در ارزیابی روش‌های آینده‌نگاری است (Glenn, 2009). زوئیک و هولتمنزپاتر[۵] (۲۰۰۹) در پژوهش خود بر اهمیت این شاخص در ارزیابی روش‌های آینده‌نگاری تاکید کرده‌اند.

۸- جامعیت[۶]: توانایی روش در پوشش ابعاد مختلف موضوع آینده‌نگاری به‌عنوان شاخص جامعیت شناخته می‌شود (Kofanov, Sotnikova, & Sargsyan, 2019). این شاخص تضمین می‌کند که تمامی جوانب مرتبط با موضوع بررسی و تحلیل شوند. کرودووا-پوزو و روویت[۷] (۲۰۲۳) به اهمیت جامعیت در دستیابی به نتایج پایدار و قابل‌اعتماد اشاره کرده‌اند.

ارزیابی روش‌های آینده‌نگاری فناوری بر اساس شاخص‌های فوق به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با دیدی جامع و دقیق‌تر به انتخاب روش مناسب بپردازند.

آینده‌نگاری فناوری یک ابزار ارزشمند برای برنامه‌ریزی راهبردی بلندمدت است که توسط سازمان‌ها و دولت‌ها بکارگرفته می‌شود (Li et al., 2009). آینده‌نگاری فناوری، دیدگاه و فرآیندی است که می‌تواند گزینه‌های پیش‌رو را مرتب کند، فرصت‌های فناوری جدید را شناسایی کند و هماهنگی میان تحقیقات و توسعه کوتاه‌مدت و بلندمدت را ایجاد کند. این فرآیند از تجربیات کارکنان فنی شرکت بهره‌برداری می‌کند تا نقاط قوت فناوری کنونی را شناسایی کرده و با استفاده از اطلاعات خارجی، پیش‌بینی‌هایی از تعامل روندهای صنعتی و فناوری توسعه دهد (Carlson, 2004). بر این اساس، در تحقیقات متعددی، چارچوب‌هایی برای مقایسه و ارزیابی روش‌های آینده‌نگاری

---

۱. Bishop et al.

۲.Cost

۳. Popper

۴. Ease of Implementation

۵.Zweck, & Holtmannspotter

۶.Comprehensiveness

۷.Cordova-Pozo & Rouwette

توسعه یافته‌اند. برای مثال،پژوهشگری تأکید دارد که روش‌های سناریوپردازی در محیط‌های نامطمئن بسیار مؤثر هستند، در حالی که تحلیل روندها برای پیش‌بینی تغییرات تدریجی مناسب‌تر است(Godet, 1994). در یک مطالعه، نشان داده شد که سازمان‌ها باید به جای استفاده از یک روش واحد، ترکیبی از روش‌ها را برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر و جامع‌تر به کار ببرند (Gaponenko, 2022).

لی و همکاران[۱] (۲۰۰۹) یک چارچوب ارزیابی با هدف شناسایی نتایج ناشی از اجرای فعالیت‌های آینده‌نگاری برای برنامه‌های آینده‌نگاری فناوری توسعه دادند که مفاهیم ارزیابی را با تجربیات ارزیابی پیش‌بینی از کشورهای توسعه‌یافته مانند اتحادیه اروپا و بریتانیا ترکیب می‌کند. کوتسوکی، موریتا، و یاماکی[۲] (۲۰۰۹) یک چارچوب مفهومی برای نوآوری چندوجهی در پیش‌بینی بازارهای آینده ارائه کردند که تغییرات ناپیوسته در جامعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری را مدل‌سازی می‌کند. این مطالعه ارزش این چارچوب را برای پیش‌بینی بازار به منظور برآورده کردن نیازهای اجتماعی مورد تأکید قرار داد. لیو و همکاران[۳] (۲۰۱۱) بر آینده‌نگاری فناوری سبز تمرکز کردند و بر اهمیت پایداری تأکید نمودند و صنعت خودروسازی چین را به عنوان مثال مورد استفاده قرار دادند. هدف چارچوب توسعه یافته در این مطالعه، راهنمایی تلاش‌ها به سمت دستیابی به پایداری و گسترش شیوه‌های سنتی آینده‌نگاری فناوری بود. هاشم‌خانی زلفانی و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل جدید برای آینده‌نگاری فناوری با استفاده از روش SWARA و WASPAS برای ارزیابی معرفی کردند. هدف این مطالعه ایجاد یک رویکرد جدید در مطالعات آینده، به‌ویژه در سطح سیاست‌گذاری سلامت بود.

لادو و همکاران[۴] (۲۰۱۷) اهمیت تفکر آینده‌نگاری در زمینه اقتصاد مبتنی بر زیست را مورد بحث قرار دادند و به نقش آینده‌نگاری‌های تنظیمی در تأسیس یک اقتصاد دایره‌ای پایدار مبتنی بر زیست تأکید نمودند. این مطالعه ابعاد مطالعات آینده‌نگاری را که به در دسترس بودن زیست توده، توسعه فناوری، پذیرش بازار و چارچوب‌های تنظیمی مرتبط بود، مورد بررسی قرار داد. هریس و وونگلیمپیارات[۵] (۲۰۲۰) بر آینده‌نگاری استراتژیک Xerox در زمینه خدمات‌محوری متمرکز شدند و چارچوبی روش‌شناختی برای تحلیل فرآیندهای ایجاد پلتفرم در صنایع مختلف توسعه دادند. مفهوم پویا که در این چارچوب معرفی شده، به منظور پاسخگویی به طبیعت در حال تحول فناوری و پلتفرم‌های تجاری طراحی شده‌است.

---

۱. Li et al.

۲ .Kotsuki, Morita, & Yamaki

۳ .Liu et al.

۴ .Ladu et al.

۵ .Harris & Wonglimpiyarat

گیبسون و همکاران[۱] (۲۰۱۸) یک چارچوب مبتنی بر تحلیل کتاب‌سنجی و تحلیل شبکه اجتماعی برای شناسایی روش‌ها و ابزارهای پیشرو پیشنهاد کرده‌اند. یوکسل و همکاران[۲] (۲۰۱۸) یک مدل عملکردی عمومی به نام FORESIGHT با نه مرحله متوالی ارائه کرده و عملکردها را با چارچوب‌های موجود مطابقت داده‌اند. وروس[۳] (۲۰۰۳) یک چارچوب عمومی فرآیند آینده‌نگاری را بر اساس کارهای قبلی ترسیم کرد که مراحل مشخصی را از گردآوری اطلاعات تا تولید خروجی شناسایی می‌کند. شرکت شل نیز برنامه‌ای به نام فناوری‌های آینده را توسعه داد تا به بررسی حوزه‌های خارج از انرژی بپردازد و بینش‌ها و نوآوری‌هایی را شناسایی کند که فرصت‌های جدیدی برای کسب‌وکارش فراهم می‌آورد. نتیجه مطالعات نشان داده که پیوند دادن آینده‌نگاری به نوآوری به منظور کاوش در فرصت‌ها، روشی مؤثر برای توسعه پیشنهادهای جدید با حاشیه سود بالا است (دنیس، جونز، و رودهارت[۴]، ۲۰۱۱).

به‌طور کلی، ادبیات مربوط به چارچوب‌های آینده‌نگاری فناوری بر اهمیت ادغام مفاهیم ارزیابی، اصول پایداری و روش‌شناسی‌های پویا برای هدایت تصمیم‌سازی‌های آینده‌نگر در صنایع و مناطق مختلف تأکید دارد. این چارچوب‌ها هدفشان افزایش اثربخشی مطالعات آینده‌نگاری و ارائه راهنمایی برای حرفه‌ای‌ها در انتخاب روش‌ها و ابزارهای مناسب برای رویکردهای مختلف است (گیبسون و همکاران، ۲۰۱۸؛ یوکسل و همکاران، ۲۰۱۸؛ وروس، ۲۰۰۳).

روش‌شناسی

طراحی پژوهش بر مبنای مدل پیاز تحقیق ساندرز[۵] (۲۰۱۶)، انجام شده است. لایه‌های اصلی این مدل شامل: فلسفه تحقیق (اثبات‌گرایی)، رویکرد تحقیق (استنتاجی)، استراتژی تحقیق (پیمایشی- توصیفی)، انتخاب روش‌های کمی (استفاده از BWM و COCOSO)، انتخاب زمان‌بندی (مقطعی) و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها (پرسشنامه از خبرگان) است. این ساختار نظام‌مند به افزایش اعتبار یافته‌ها کمک کرده است. لازم به ذکر است که ماهیت این پژوهش به گونه‌ای است که نیازمند ارائه مدل مفهومی متعارف نیست، زیرا هدف اصلی، ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب روش‌های آینده‌نگاری است. به بیان دیگر، این پژوهش در پی آزمون روابط علّی میان متغیرها نیست، بلکه به دنبال وزن‌دهی معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. چنانکه برخی پژوهشگران نیز اشاره کرده‌اند (Harputlugil, Prins, Gültekin, & Topçu, 2011)، در پژوهش‌های مبتنی بر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره،

---

۱. Gibson et al.

۲. Yuksel et al.

۳. Voros

۴. Dennis, Jones, & Roodhart

۵. Saunders et al.

چارچوب فرآیندی جایگزین مدل مفهومی می‌شود که در این پژوهش، این چارچوب در قالب الگوریتم اجرایی روش‌های BWM و CoCoSo در بخش یافته‌ها ارائه شده است.

برای گردآوری داده‌ها، ابتدا به بررسی مبانی نظری و پیشینه پژوهش پرداخته شد و فهرستی از روش‌های آینده‌نگاری فناوری و شاخص‌های ارزیابی آنها که در پژوهش‌های پیشین به آنها اشاره شده است شناسایی شدند. سپس برای تعیین اهمیت هر یک از شاخص‌ها از روش بهترین و بدترین و نظرخواهی از خبرگان استفاده شد. در گام پایانی نیز روش کوکوسو برای اولویت‌بندی روش‌های آینده‌نگاری فناوری بکار گرفته شد.

با توجه به اینکه گردآوری داده‌های میدانی در دو مرحله انجام گرفت، در دو مرحله به خبرگان مراجعه گردید. جامعه آماری شامل استادان دانشگاه و مدیران ارشد فناوری در استان‌های تهران، البرز و قزوین بود. با استفاده از نمونه‌گیری قضاوتی، ۱۰ خبره با تجربه بیش از ۱۰ سال و تخصص در آینده‌نگاری یا مدیریت فناوری انتخاب شدند. داده‌ها در زمستان ۱۴۰۳ از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شد. این مناطق به‌دلیل تمرکز صنایع فناوری‌محور و دانشگاه‌های معتبر انتخاب شدند. جدول شماره ۲ مشخصات جمعیت‌شناختی خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات جمعیت‌شناختی خبرگان

داده‌های جمعیت‌شناختی		فراوانی	فراوانی نسبی
جنسیت	مرد	۸	٪۸۰
	زن	۲	٪۲۰
سن	کمتر از ۴۰ سال	۲	٪۲۰
	۴۰ تا ۵۰ سال	۵	٪۵۰
	بیش از ۵۰ سال	۳	٪۳۰
تحصیلات	کارشناسی	۰	٪۰
	کارشناسی ارشد	۳	٪۳۰
	دکتری	۷	٪۷۰
سابقه‌کاری	کمتر از ۱۰ سال	۰	٪۰
	۱۰ تا ۲۰ سال	۲	٪۲۰
	بیش از ۲۰ سال	۸	٪۸۰
کل		۱۰	٪۱۰۰

پس از تعیین روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی آنها، برای ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری فناوری، نیاز به یک فرآیند منظم و ساختاریافته داریم که قادر باشد شاخص‌های کلیدی را وزن‌دهی کرده و سپس بر اساس آن‌ها اقدام به رتبه‌بندی روش‌ها نماید. در این بخش، به تشریح روش بهترین-بدترین برای وزن‌دهی شاخص‌ها و سپس به تشریح روش کوکوسو برای رتبه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری فناوری پرداخته شده است. انتخاب ترکیب روش‌های BWM و CoCoSo در این پژوهش بر اساس مزایای قابل‌توجه آنها نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت گرفته است. روش BWM نسبت به روش‌های مشابه مانند AHP و ANP دارای مزایای متعددی است. اول، BWM با تعداد مقایسات کمتری به نتایج دقیق‌تری می‌رسد. دوم، نرخ ناسازگاری در BWM به طور قابل توجهی کمتر از AHP است که این امر به افزایش

اعتبار نتایج کمک می‌کند (رضایی[۱]، ۲۰۱۵). روش CoCoSo نیز انعطاف‌پذیری بیشتری در ترکیب معیارهای متضاد دارد و از استراتژی‌های جبرانی و غیرجبرانی به‌طور همزمان استفاده می‌کند (Ayan & Abacıoğlu, 2022) و به دلیل توانایی در ترکیب چندین شاخص ارزیابی و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره، نسبت به روش‌های سنتی مانند TOPSIS و VIKOR برتری دارد (یزدانی و همکاران[۲]، ۲۰۱۹). ترکیب این دو روش، امکان افزایش دقت ارزیابی و اولویت‌بندی روش‌های آینده‌نگاری را فراهم کرده است.

در روش بهترین-بدترین (رضایی، ۲۰۱۵)، مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین شاخص به وسیله تصمیم گیرنده مشخص شده و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها انجام می‌شود. سپس یک مسأله حداکثر حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌گردد. وزن نهایی گزینه‌ها با تجمیع اوزان آنها براساس معیارهای مختلف تعیین می‌شود. برای سنجش پایایی مقایسه‌های زوجی از نرخ سازگاری استفاده خواهد شد. گام‌های روش بهترین-بدترین به صورت زیر است:

گام ۱: مجموعه شاخص‌های تصمیم گیری تعیین می‌شود. در این گام، مجموعه شاخص‌ها به صورت $\{c_1. c_2 \dots . c_n\}$ تعریف می‌شود که برای گرفتن یک تصمیم مورد نیاز است.

گام ۲: تصمیم‌گیرنده بهترین (مهم تر، مطلوب تر) و بدترین (دارای کمترین اهمیت و کمترین مطلوبیت) شاخص را مشخص می‌نماید. در این مرحله تصمیم گیرنده بهترین و بدترین شاخص را به طور کلی تعریف می‌کند و هیچ مقایسه‌ای صورت نمی گیرد.

گام ۳: ارجحیت بهترین شاخص را نسبت به سایر شاخص‌ها با اعداد ۱ تا ۹ مشخص نموده، بردار ارجحیت بهترین شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها به صورت $A_B = (a_{B1}. a_{B2} \dots . a_{Bn})$ نمایش داده می‌شود. در بردار ذکر شده، a_{Bj} نشان دهنده ارجحیت بهترین شاخص (B) نسبت به شاخص (j) هست، واضح است که $a_{BB} = 1$ است.

گام ۴: ارجحیت همه شاخص‌ها را نسبت به بدترین شاخص با اعداد ۱ تا ۹ مشخص کرده و بردار ارجحیت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص را به صورت $A_w = (a_{w1}. a_{w2} \dots . a_{wn})^T$ نمایش داده می‌شود. در بردار ذکر شده، a_{wj} ارجحیت شاخص (j) نسبت به بدترین شاخص (W) می‌باشد، واضح است که $a_{ww} = 1$ است.

گام ۵: مقادیر بهینه وزن‌ها را یافته $(w_1^*. w_2^* \dots w_n^*)$ و برای تعیین وزن بهینه هریک از شاخص‌ها، زوج‌های $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ و $\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}$ تشکیل شده، سپس برای برآورده کردن این شرایط در همه jها، باید راه حلی پیدا شود تا عبارات $\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right|$ را برای همه jهایی که حداقل شده است، حداکثر نماید. با توجه به غیر منفی بودن وزن‌ها و مجموع اوزان می‌توان مدل را به صورت زیر فرموله کرد (رابطه ۱).

---

۱ Rezaei

1. Yazdani et al.

$$\text{Min max}_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| . \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad s.t. \quad \sum_j w_j = 1 \qquad (۱)$$

$$W_j \geq 0, \quad \text{for all } j$$

سپس مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فوق را به مدل خطی تبدیل می‌کنیم و اوزان شاخص‌ها با استفاده از مدل خطی به دست می‌آیند.

روش کوکوسو[۱] یکی از روش‌های جدید به منظور رتبه‌بندی عملکردی گزینه‌ها مبتنی بر تعدادی شاخص یا معیار وزن دهی شده می‌باشد. این روش مانند سایر روش‌های رتبه‌بندی گزینه‌ها با یک ماتریس گزینه-شاخص شروع می‌شود. فرض شود ماتریس رابطه ۲ ماتریس تصمیم یک مسئله دارای m گزینه و n شاخص یا معیار می‌باشد. این ماتریس در تصمیم‌گیری گروهی می‌تواند از طریق میانگین هندسی یا حسابی به دست آید.

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n. \qquad (۲)$$

خبرگان نظرات ذهنی[۲] خود را در زمینه مطلوبیت عملکردی هر گزینه نسبت به هر شاخص از جدول ۳ استخراج می‌نمایند.

جدول ۳- مقادیر کلامی و ارزش‌های متناظر

اعداد کلاسیک	اعداد فازی مثلثی	قضاوت کلامی
۱۱	(۹ ،۱۰ ،۱۰)	عالی
۱۰	(۸ ،۹ ،۱۰)	به شدت خوب
۹	(۷ ،۸ ،۹)	خیلی خوب
۸	(۶ ،۷ ،۸)	خوب
۷	(۵ ،۶ ،۷)	تقریباً خوب
۶	(۴ ،۵ ،۶)	متوسط
۵	(۳ ،۴ ،۵)	تقریباً ضعیف
۴	(۲ ،۳ ،۴)	ضعیف
۳	(۱ ،۲ ،۳)	خیلی ضعیف
۲	(۰ ،۱ ،۲)	به شدت ضعیف
۱	(۰ ،۰ ،۱)	کاملاً ناکارامد

۱.combined compromise solution (CoCoSo)

۲. Subjective

گام بعد در این روش نرمال نمودن مقادیر شاخص‌ها مبتنی بر روابط ۳ و ۴ و بر اساس مقادیر ستونی ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - min x_{ij}}{max x_{ij} - min x_{ij}} \quad for\ benefit\ criteria \qquad ۳$$

$$r_{ij} = \frac{max\, x_{ij} - x_{ij}}{max x_{ij} - min x_{ij}} \quad for\ cost\ criteria \qquad ۴$$

به این معنا که مبتنی بر عناصر ستونی ماتریس تصمیم و با توجه به این که شاخص مد نظر از جنس سود (افزایش آن بهتر است) و شاخص هزینه (کاهش آن بهتر است)، یکی از دو فرمول فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. گام بعدی در روش کوکوسو، به ازاء هر گزینه مقادیر ضرب وزنی و توان وزنی محاسبه می‌گردد. نکته این که اگر از قضاوت ذهنی خبرگان در این روش استفاده شود، صرفاً رابطه ۳ برای تمامی معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت برای هر گزینه، ضرب وزنی به معنای حاصل جمع ارزش شاخص نرمال شده ضرب در وزن هر شاخص محاسبه بوده و توان وزنی به معنای حاصل جمع ارزش شاخص نرمال شده به توان وزن هر شاخص می‌باشد:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} (w_j r_{ij}) \qquad ۵$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} (r_{ij})^{w_j} \qquad ۶$$

به این ترتیب برای هر گزینه دو کمیت ضرب وزنی و توان وزنی محاسبه می‌گردد. گام بعدی در روش کوکوسو شامل محاسبه وزن نسبی هر گزینه با استفاده از سه فرمول زیر و نهایتاً ترکیب آنها می‌باشد. در این استراتژی، از سه طریق وزن نسبی برای هر گزینه مبتنی بر مقادیر ضرب وزنی و توان وزنی محاسبه شده و نهایتاً این سه کمیت با هم ترکیب و وزن نهایی گزینه را به دست می‌دهند:

$$k_{ia} = \frac{\bar{P}_i + \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^{m}(P_i + S_i)} \qquad ۷$$

$$k_{ib} = \frac{\bar{S}_i}{min S_i} + \frac{\bar{P}_i}{min P_i} \qquad ۸$$

$$k_{ic} = \frac{\gamma(S_i) + (1-\gamma)(P_i)}{\gamma max S_i + (1-\gamma) max P_i}; 0 \le \gamma \le 1 \qquad ۹$$

رابطه ۷ نشان دهنده میانگین حسابی مجموع ضرب وزنی و ضرب توانی بوده و رابطه ۸ نیز نشان دهنده مجموع امتیازات نسبی ضرب وزنی و توان وزنی در مقایسه با بهترین مقادیر می‌باشد. همچنین رابطه ۹ نیز نشان دهنده امتیازات سازشی میان ضرب وزنی و ضرب توانی می‌باشد. مقدار γ نیز عموما برابر با ۰/۵ درنظر گرفته می‌شود. با این حال این مقدار می‌تواند مبتنی بر نظرات خبرگان بیشتر یا کمتر نیز درنظر گرفته شود. گام نهایی در روش کوکوسو ترکیب سه وزن نسبی محاسبه شده در بالا و به دست آوردن وزن نهایی به ازاء هر گزینه می‌باشد:

$$K_i = (k_{ia}\, k_{ib}\, k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \qquad ۱۰$$

بدین ترتیب اهمیت وزنی هر گزینه معین گردیده و می‌توان آنها را براساس این بزرگی و اهمیت رتبه‌بندی نمود.

یافته‌ها

در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از فرآیندهای وزن‌دهی و رتبه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری با استفاده از روش بهترین-بدترین و تکنیک کوکوسو ارائه می‌شود. این نتایج شامل وزن‌های تعیین‌شده برای هر یک از شاخص‌های ارزیابی و رتبه‌بندی نهایی روش‌های آینده‌نگاری فناوری بر اساس این وزن‌ها خواهد بود. تحلیل دقیق داده‌ها به سازمان‌ها کمک می‌کند تا در انتخاب مناسب‌ترین روش آینده‌نگاری فناوری تصمیم‌گیری کنند.

با شناسایی شاخص‌های موثر بر انتخاب روش آینده‌نگاری، گام‌های ذیل برای تعیین وزن آنها بر اساس روش بهترین-بدترین دنبال شد:

گام ۱- تعیین مجموعه شاخص‌ها: در این مرحله ۸ شاخص دقت، انعطاف‌پذیری، تکرارپذیری، زمان‌بر بودن، مشارکت ذینفعان، هزینه اجرا، سادگی اجرا، و جامعیت $(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8)$ را برای تعیین وزن یا تصمیم‌گیری درنظر می‌گیریم.

گام ۲- تعیین بهترین (به‌عبارت دیگر مطلوبترین و مهمترین) و بدترین (نامطلوبترین و بی‌اهمیت‌ترین) شاخص. در این بخش تصیم گیرنده به طور کلی بهترین و بدترین شاخص‌ها را مشخص می‌کند. در این بخش مقایسه‌ای صورت نمی‌گیرد. بر اساس مد دیدگاه خبرگان C_1 به عنوان بهترین شاخص و C_4 به عنوان بدترین شاخص انتخاب شده است.

گام ۳- مشخص کردن میزان ترجیح بهترین شاخص در برابر سایر شاخص‌ها با استفاده از اعداد ۱ تا ۹. نتایج بهترین شاخص نسبت به بقیه شاخص‌ها می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, a_{B3}, a_{B4}, a_{B5}, a_{B6}, a_{B7}, a_{B8}) \quad (۱۱)$$

که a_{Bj} ترجیح بهترین شاخص (B) نسبت به شاخص j است. بدیهی است که $a_{BB} = 1$ می‌باشد. جدول ۴ مقایسه زوجی بهترین شاخص با سایر شاخص‌ها اصلی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه شاخص‌ها با بهترین شاخص

بهترین	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	۱	۳	۵	۷	۴	۴	۶	۷

گام ۴- مشخص کردن میزان ترجیح شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص با استفاده از اعداد ۱ تا ۹. در این حالت بردار نتایج می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, a_{3w}, a_{4w}, a_{5w}, a_{6w}, a_{7w}, a_{8w}) \quad (۱۲)$$

که در آن a_{jw} ترجیح شاخص j نسبت به بدترین شاخص (W) است. بدیهی است که $a_{ww} = 1$ می‌باشد. جدول ۵ میزان ترجیح شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه شاخص‌ها با بدترین شاخص

بدترین	C4
C1	۷
C2	۶
C3	۵
C4	۱
C5	۵
C6	۳
C7	۲
C8	۴

گام ۵- یافتن وزن‌های بهینه ($w_1^*, w_2^*, w_3^*, w_4^*, w_5^*, w_6^*, w_7^*, w_8^*$): وزن بهینه برای هر شاخص منحصر به فرد است، بطوری‌که برای هر جفت از w_B/w_j و w_j/w_w رابطه ۱۳ را خواهیم داشت:

$$\frac{w_j}{w_w} = a_{jw} \quad \text{و} \quad \frac{w_B}{w_j} = a_{Bj} \qquad ۱۳$$

برای ارضای این شروط برای همه jها، باید راه‌حلی پیدا کنیم که مقدار قدرمطلق حداکثر اختلاف $|\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}|$ و $|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}|$ حداقل گردد. با توجه به این که وزن‌ها غیرمنفی و جمع‌پذیر می‌باشند، مساله زیر قابل بیان است (رابطه ۱۴):

$$\min_j \max\{|\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}|, |\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}|\}$$
$$\text{s.t.} \qquad ۱۴$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0, \text{for all } j$$

مساله ۱۴ می‌تواند به صورت مساله ۱۵ بیان شود:

$$\min \xi$$
$$\text{s.t.}$$
$$\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right| \leq \xi, \text{for all } j$$
$$|\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}| \leq \xi, \text{for all } j \qquad ۱۵$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0, \text{for all } j$$

با حل مساله ۱۵ توسط نرم‌افزار لینگو، مقدار وزن‌های بهینه شاخص‌ها بدست آمدند (جدول ۶).

جدول ۶ – وزن شاخص‌های تصمیم‌گیری

شاخص	دقت	انعطاف‌پذیری	تکرارپذیری	زمان‌بر بودن	مشارکت ذینفعان	هزینه اجرا	سادگی اجرا	جامعیت
وزن	۰,۲۲۸	۰,۱۸۷	۰,۱۰۴	۰,۰۶۱	۰,۱۰۰	۰,۱۳۶	۰,۰۹۱	۰,۰۹۳

این وزن‌ها نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌ها در فرآیند آینده‌نگاری هستند. به عنوان مثال، دقت دارای بالاترین وزن است که به اهمیت آن در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک اشاره دارد.

برای رتبه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری، یک ماتریس تصمیم بر اساس میانگین قضاوت‌های خبرگان در خصوص روش‌های آینده‌نگاری در برابر شاخص‌ها تشکیل شد که در جدول ۷ قابل مشاهده

است. سپس این داده‌ها با پیروی از گام‌های روش کوکوسو برای رتبه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۷- ماتریس تصمیم‌گیری

روش	دقت	انعطاف‌پذیری	تکرارپذیری	زمان‌بر بودن	مشارکت ذینفعان	هزینه اجرا	سادگی اجرا	جامعیت
روش دلفی	۶	۸	۳	۳	۸	۵	۴	۶
تحلیل روندها	۷	۳	۶	۴	۲	۳	۴	۴
سناریوپردازی	۵	۷	۳	۴	۶	۴	۴	۵
نقشه راه فناوری	۵	۴	۴	۳	۵	۵	۴	۵
تحلیل اثرات متقاطع	۴	۴	۲	۳	۳	۳	۳	۴
پیش‌بینی فناوری	۵	۵	۳	۴	۴	۴	۵	۵
شبیه‌سازی	۳	۴	۵	۵	۳	۳	۴	۳
تحلیل ذینفعان	۵	۶	۴	۳	۵	۶	۴	۴
طوفان فکری	۴	۷	۳	۲	۷	۵	۵	۳
تحلیل ساختاری	۵	۴	۵	۴	۳	۴	۵	۳
شبکه‌های تخصصی	۵	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۴
تحلیل هوشمندی رقابتی	۵	۳	۵	۳	۴	۵	۴	۴

در مرحله بعد، با استفاده از روابط ۳ و ۴، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شد. سپس با بکارگیری روابط ۵ و ۶، برای هر گزینه دو کمیت ضرب وزنی و توان وزنی محاسبه گردید که حاصل آن در جدول ۸ آمده است. به این ترتیب برای هر گزینه پژوهش دو کمیت ضرب وزنی و توان وزنی محاسبه می‌گردد.

جدول ۸- محاسبات روش کوکوسو

	دلفی	تحلیل روندها	سناریو پردازی	نقشه راه فناوری	تحلیل اثرات متقاطع	پیش‌بینی فناوری	شبیه‌سازی	تحلیل ذینفعان	طوفان فکری	تحلیل ساختاری	شبکه‌های تخصصی	تحلیل هوشمندی رقابتی
S_i	۰,۶۴۳	۰,۶۶۲	۰,۶۵۴	۰,۴۰۳	۰,۲۵۷	۰,۴۵۳	۰,۲۶۳	۰,۴۱۳	۰,۴۸۷	۰,۳۸۶	۰,۳۵۱	۰,۴۸۳
P_i	۶,۴۴۴	۴,۹۲۲	۶,۴۷۴	۶,۲۲۰	۳,۵۲۸	۶,۲۷۸	۳,۵۲۲	۵,۴۸۸	۵,۵۷۹	۴,۴۶۶	۶,۰۹۴	۵,۶۶۱
k_{ia}	۰,۱۰۱	۰,۰۸۰	۰,۱۰۲	۰,۰۹۴	۰,۰۵۴	۰,۰۹۶	۰,۰۵۴	۰,۰۸۴	۰,۰۸۶	۰,۰۶۹	۰,۰۹۲	۰,۰۸۸
k_{ib}	۴,۳۳۳	۳,۹۷۶	۴,۳۸۷	۳,۳۳۵	۲,۰۰۲	۳,۵۴۹	۲,۰۲۴	۳,۱۶۵	۳,۴۸۲	۲,۷۷۱	۳,۱۰۰	۳,۴۸۸
k_{ic}	۰,۹۹۳	۰,۷۸۳	۰,۹۹۹	۰,۹۲۸	۰,۵۳۰	۰,۹۴۳	۰,۵۳۰	۰,۸۲۷	۰,۸۵۰	۰,۶۸۰	۰,۹۰۳	۰,۸۶۱
k_i	۰,۴۸۴	۰,۲۴۶	۰,۴۹۸	۰,۳۰۰	۰,۰۴۳	۰,۳۳۶	۰,۰۴۴	۰,۲۱۳	۰,۲۵۶	۰,۱۱۴	۰,۲۵۷	۰,۲۶۴
رتبه	۲	۸	۱	۴	۱۲	۳	۱۱	۹	۷	۱۰	۶	۵

گام بعدی، شامل محاسبه وزن نسبی هر گزینه با استفاده از سه رابطه ۷، ۸، و ۹ و نهایتاً ترکیب آنها با بکارگیری رابطه ۱۰ می‌باشد که وزن نهایی گزینه را به دست می‌دهد. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۸ آمده است و رتبه‌بندی نهایی نیز بر این اساس انجام گرفته است.

سناریوپردازی به دلیل قابلیت‌های منحصر به فردش در مدیریت عدم قطعیت‌ها و ایجاد سناریوهای مختلف، بهترین گزینه برای سازمان‌هایی است که در محیط‌های پویا و غیرقابل پیش‌بینی فعالیت می‌کنند. این روش به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با بررسی سناریوهای محتمل، برای آینده‌ای نامطمئن آماده شوند. از سوی دیگر، روش دلفی با تمرکز بر جمع‌آوری نظرات کارشناسان و ایجاد

اجماع، به‌ویژه در پروژه‌هایی که نیاز به مشارکت ذینفعان متعدد دارند، بسیار مؤثر است. این روش به دلیل تکرارپذیری و دقت بالا، برای سازمان‌هایی که به پیش‌بینی‌های بلندمدت نیاز دارند، گزینه مناسبی است.

از سوی دیگر، سایر روش‌ها نظیر پیش‌بینی فناوری و نقشه راه فناوری نیز به‌دلیل قابلیت‌های خود در شناسایی و برنامه‌ریزی برای آینده، در رتبه‌های بالا قرار گرفته‌اند. این نتایج به سازمان‌ها کمک می‌کند تا بر اساس نیازهای خاص خود، روش مناسب را انتخاب کنند و فرآیندهای آینده‌نگاری فناوری خود را بهینه‌سازی نمایند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی فرآیند آینده‌نگاری فناوری و ارائه چارچوبی علمی و کاربردی برای انتخاب بهترین روش‌های آینده‌نگاری پرداخته است. با توجه به پیچیدگی‌های روزافزون دنیای فناوری و عدم قطعیت‌های ناشی از تحولات سریع، ضرورت ایجاد یک رویکرد سیستماتیک در تحلیل، انتخاب، و به‌کارگیری روش‌های آینده‌نگاری، به وضوح احساس می‌شود. این پژوهش برای اولین بار با ترکیب روش‌های BWM و CoCoSo، چارچوبی نوآورانه برای انتخاب روش‌های آینده‌نگاری فناوری ارائه کرد که احتمالا در ادبیات موجود سابقه ندارد. این چارچوب با تأکید بر معیارهای مختلف، قابلیت تطبیق با نیازهای سازمان‌های مختلف را دارد. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر یک روش خاص تمرکز داشتند، این پژوهش با ارائه رویکردی جامع، به بهبود تصمیم‌گیری‌های استراتژیک کمک می‌کند. یافته‌های این تحقیق به‌ویژه بر روی تعیین وزن و رتبه‌بندی روش‌های مختلف آینده‌نگاری متمرکز بوده است و نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در سازمان‌ها استفاده شود. بر اساس معیارها و روش‌های شناسایی‌شده، چارچوب زیر برای انتخاب روش‌های آینده‌نگاری فناوری ارائه می‌شود:

۱. **تعریف هدف:** مشخص کردن اهداف کلیدی آینده‌نگاری؛
۲. **شناسایی نیازها:** تحلیل نیازها و محدودیت‌های منابع؛
۳. **انتخاب معیارها:** تعیین و وزن‌دهی معیارهای ارزیابی روش‌ها بر اساس هدف؛
۴. **تحلیل روش‌ها:** ارزیابی و امتیازدهی روش‌های مختلف بر اساس هدف؛
۵. **انتخاب روش بهینه:** استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه برای اولویت‌بندی؛ و
۶. **بازبینی و بهبود:** بازبینی نتایج و اصلاح روش در صورت لزوم.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که از بین ۱۲ روش تحلیل شده، مشابه یافته‌های ون در هایدن (۲۰۰۵) و مارسیانو و همکاران[1] (۲۰۲۴)، سناریوپردازی به‌عنوان بهترین روش آینده‌نگاری انتخاب گردیده است. این انتخاب به دلیل ویژگی‌های خاص سناریوپردازی، از جمله قابلیت درک و مدیریت عدم‌قطعیت‌ها، توانایی ایجاد سناریوهای متنوع و پیش‌بینی تحولات محتمل در آینده،

1.Marciano et al.

صورت گرفته است. سناریوپردازی به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که تأثیرات مختلف روندها و تغییرات فعلی را بررسی کرده و برای آینده‌ای نامطمئن آماده شوند. در دنیای امروز که تحولات فناوری با سرعتی شگفت‌آور در حال تغییر است، توانایی بررسی سناریوهای مختلف و تجزیه و تحلیل پیامدهای آن‌ها، به‌خصوص در حوزه‌های پیچیده‌ای چون فناوری اطلاعات، انرژی، و سلامت، بسیار حائز اهمیت است.

روش دلفی نیز به‌عنوان دومین روش مؤثرشناخته شده است. این روش با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان و ایجاد اجماع، امکان گردآوری اطلاعات علمی و دقیق را فراهم می‌سازد که با یافته‌های کولز (۲۰۲۳) مطابقت دارد. اهمیت دلفی در این پژوهش نشان‌دهنده آن است که در فرایندهای تصمیم‌گیری که به جمع‌آوری نظرهای چندین ذینفع نیاز است، این روش قادر است با حداقل تعصب و در فضایی آزاد، به نتایج دقیقتری دست یابد.

رتبه‌بندی روش‌ها بر اساس هشت معیار کلیدی انجام گرفته است که شامل دقت، انعطاف‌پذیری، تکرارپذیری، زمان‌بر بودن، مشارکت ذینفعان، هزینه اجرا، سادگی اجرا و جامعیت است. این معیارها به‌عنوان ابزاری برای سنجش کارایی روش‌های آینده‌نگاری عمل کرده و اهمیت ویژه‌ای در انتخاب روش مناسب دارند. به‌طور خاص، دقت به‌عنوان مهم‌ترین معیار از سوی خبرگان شناسایی شده است. این نتیجه حاکی از آن است که در فرآیند آینده‌نگاری، پیش‌بینی‌های صحیح و قابل‌اعتماد از تحولات آینده برای سازمان‌ها بسیار حیاتی است. از طرفی، انعطاف‌پذیری نیز به‌عنوان شاخص دوم نسبت به سایر معیارها ارزیابی شده است که نشان‌دهنده اهمیت انطباق روش‌های انتخابی با شرایط متغیر و نیازهای تغییریابنده سازمان‌هاست. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های بیشاپ و همکاران (۲۰۰۷)، میلر و لسارد (۲۰۰۱)، کولز (۲۰۲۳) و پوپر (۲۰۰۸) که بر اهمیت دقت و انعطاف‌پذیری در محیط‌های ناپایدار تأکید دارند، همخوانی دارد. آنها نیز در پژوهش‌های خود بر اهمیت دقت پیش‌بینی‌ها در موفقیت روش‌های آینده‌نگاری تأکید کرده‌اند. با این حال، برخلاف پژوهش پوپر (۲۰۰۸) که هزینه اجرا را مهم‌ترین معیار در انتخاب روش‌های آینده‌نگاری می‌داند، در پژوهش حاضر این معیار در اولویت چهارم قرار گرفته است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییر در اولویت‌های سازمان‌ها در سال‌های اخیر باشد، به‌طوری که امروزه سازمان‌ها برای دستیابی به دقت بالاتر، حاضر به سرمایه‌گذاری بیشتری هستند.

گزینش روش‌های مناسب آینده‌نگاری فناوری، علاوه بر بهبود کارایی در فرآیند برنامه‌ریزی استراتژیک، می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا با تهدیدات و فرصت‌های ناشی از تغییرات فناوری به‌خوبی مواجه شوند. انتخاب مناسب روش‌های آینده‌نگاری در نهایت به بهبود عملکرد سازمان و بهره‌وری آن منجر خواهد شد. تحلیل‌ها و یافته‌های این تحقیق اهمیت قابل‌توجهی در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و توجیه اقتصادی انتخاب‌های فناوری مختلف دارند.

سازمان‌های فناوری‌محور می‌توانند از این چارچوب در برنامه‌ریزی استراتژیک خود استفاده کنند. ادغام این چارچوب با ابزارهای داده‌کاوی و هوش مصنوعی می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش

دهد. همچنین، پیشنهاد می‌شود کارگاه‌های آموزشی برای مدیران برگزار شود تا با روش‌های آینده‌نگاری آشنا شوند.

پژوهشگران می‌توانند با بررسی تأثیرات متقابل روش‌ها و استفاده از داده‌های کلان، دقت چارچوب را بهبود بخشند. همچنین، مطالعه اثرات بلندمدت انتخاب روش‌های آینده‌نگاری بر عملکرد سازمان‌ها توصیه می‌شود. به‌علاوه، پژوهشگران می‌توانند به گسترش چهارچوب‌های تحقیقی و کاوش در ارتباطات بین روش‌های آینده‌نگاری بپردازند. بررسی تاثیرات متقابل روش‌ها و ادغام آنها به‌طور همزمان می‌تواند به‌کاهش ریسک‌های جمع‌آوری داده‌ها و افزایش دقت پیش‌بینی‌ها منجر شود. همچنین، برای ورود به دنیای پیچیده کنونی، بهره‌گیری از داده‌های کلان و تحلیل‌های قوی مبتنی بر الگوریتم‌های پیشرفته می‌تواند فرایندهای پیش‌بینی و تصمیم‌گیری را کارآمدتر کند.

در نهایت، توسعه مطالعه‌های بیشتر در زمینه آینده‌نگاری فناوری و بررسی اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی آن، به خصوص در ارتباط با توسعه پایدار، از اهمیت خاصی برخوردار است. این تحقیق تنها نقطه آغازین در زمینه‌ای وسیع و پیچیده است که نیازمند تحقیقات و کاوش‌های عمیق‌تری از سوی پژوهشگران و تصمیم‌سازان است.

این پژوهش به‌دلیل تعداد محدود خبرگان (۱۰ نفر) و تمرکز بر سه استان، ممکن است تعمیم‌پذیری کمتری داشته باشد. همچنین، عدم استفاده از روش‌های مکمل مانند تحلیل حساسیت، از دیگر محدودیت‌هاست. بنابراین در پایان، به پژوهشگران توصیه می‌شود که به ارزیابی و اعتبارسنجی بیشتر شاخص‌های ارزیابی بپردازند تا بتوانند مستندات علمی بیشتری را در زمینه انتخاب روش‌های آینده‌نگاری فراهم نمایند. ضمنا سایر پژوهشگران می‌توانند بر روی آثار بلندمدت و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی انتخاب روش‌های آینده‌نگاری مطالعه کنند تا مبنای علمی قوی‌تری برای راهکارهای سیاست‌گذاری شکل بگیرد.

منابع و مآخذ

رحمتی، ف.، عنایتی، ا.، برومند کاخکی، ا.، افضلی، ح.ر.، و عطاری، م. (۱۴۰۱). آینده‌نگاری و ایجاد هوشمندی راهبردی- مطالعه موردی صنعت برق. **فصلنامه آینده پژوهی راهبردی**، ۱(۴)، ۷-۳۳.

عمرانی، م.، بهرامی، م. و شفیعی، م. (۱۳۹۴). آینده‌نگاری توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات کشور در فضای مجازی با تأکید بر روش سناریو. **چشم انداز مدیریت دولتی**، ۶(۱)، ۱۳۳-۱۴۷.

میرزایی، ح.، قلیچ، م.، و ربانی، ط. (۱۴۰۲). آینده‌نگاری و تبیین سناریوهای پیش روی صندوق‌های بازنشستگی تابعه وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی. **آینده پژوهی ایران**، ۸(۱)، ۲۸۵-۳۱۰.

References

Anjorin, K. F., Raji, M. A., & Olodo, H. B. (2024). A review of strategic decision-making in marketing through big data and analytics. Computer Science & IT Research Journal, 5(5), 1126-1144.

Appio, F. P., Frattini, F., Petruzzelli, A. M., & Neirotti, P. (2021). Digital transformation and innovation management: A synthesis of existing research and an agenda for future studies. Journal of Product Innovation Management, 38(1), 4-20.

Ayan, B., & Abacıoğlu, S. (2022). Bibliometric analysis of the MCDM methods in the last decade: WASPAS, MABAC, EDAS, CODAS, COCOSO, and MARCOS. International Journal of Business and Economic Studies, 4(2), 65-85.

Bennett, G., & Jessani, N. (Eds.). (2011). The knowledge translation toolkit: Bridging the know-do gap: A resource for researchers. IDRC .

Bishop, P., Hines, A., & Collins, T. (2007). The current state of scenario development: an overview of techniques. foresight, 9(1), 5-25.

Brandtner, P., Helfert, M., Auinger, A., & Gaubinger, K. (2015). Multi-criteria selection in design science projects–a procedure for selecting foresight methods at the front end of innovation. In New Horizons in Design Science: Broadening the Research Agenda: 10th International Conference, DESRIST 2015, Dublin, Ireland, May 20-22, 2015, Proceedings 10 (pp. 295-310). Springer International Publishing.

Carlson, L. W. (2004). Using Technology Foresight to create business value. Research-Technology Management, 47(5), 51-60.

Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications (pp. 289-486). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Cordova-Pozo, K., & Rouwette, E. A. (2023). Types of scenario planning and their effectiveness: A review of reviews. Futures, 149, 103153.

Cuhls, K. (2016). Shaping the future: Science and technology foresight activities in Japan, with special consideration of the 10th foresight. Asien, 140, 103-130.

Cuhls, K. (2023). The Delphi method: an introduction. In Delphi methods in the social and health sciences: concepts, applications and case studies (pp. 3-27). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Dennis, R., Jones, T., & Roodhart, L. (2011). Technology foresight: the evolution of the Shell Gamechanger Technology Futures program. In Sustaining Innovation: Collaboration Models for a Complex World (pp. 153-165). New York, NY: Springer New York .

Dharmayanti, N., Ismail, T., Hanifah, I. A., & Taqi, M. (2023). Exploring sustainability management control system and eco-innovation matter sustainable

financial performance: The role of supply chain management and digital adaptability in indonesian context. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 9(3), 100119.

Dwivedi, Y. K., Sharma, A., Rana, N. P., Giannakis, M., Goel, P., & Dutot, V. (2023). Evolution of artificial intelligence research in Technological Forecasting and Social Change: Research topics, trends, and future directions. Technological Forecasting and Social Change, 192, 122579.

Ezeigweneme, C. A., Daraojimba, C., Tula, O. A., Adegbite, A. O., & Gidiagba, J. O. (2024). A review of technological innovations and environmental impact mitigation. World Journal of Advanced Research and Reviews, 21(1), 075-082.

Freeman, R. E. (2010). Strategic management: A stakeholder approach. Cambridge university press.

Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?. Technological forecasting and social change, 114, 254-280.

Gaponenko, N. (2022). In search of sectoral foresight methodology: Bridging foresight and sectoral system of innovation and production. Futures, 135, 102859.

Georghiou, L. (Ed.). (2008). The handbook of technology foresight: concepts and practice. Edward Elgar Publishing.

Gibson, E., Daim, T., Garces, E., & Dabic, M. (2018). Technology foresight: A bibliometric analysis to identify leading and emerging methods. Форсайт, 12(1 (eng)), 6-24.

Glenn, J. C. (2009). Futures research methodology: version 3.0. T. J. Gordon (Ed.). Washington, DC: Millennium Project.

Godet, M. (1994). From anticipation to action: A handbook of strategic prospective. UNESCO Publishing.

Godet, M. (2000). The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. Technological forecasting and social change, 65(1), 3-22.

Groen, D., Suleimenova, D., Jahani, A., & Xue, Y. (2023). Facilitating simulation development for global challenge response and anticipation in a timely way. Journal of Computational Science, 72, 102107.

Harputlugil, T. I. M. U. C. I. N., Prins, M. A. T. T. H. I. J. S., Gültekin, A. T., & Topçu, Y. I. (2011, June). Conceptual framework for potential implementations of multi criteria decision making (MCDM) methods for design quality assessment. In Management and Innovation for a Sustainable Built Environment MISBE 2011, Amsterdam, The Netherlands, June 20-23, 2011. CIB, Working Commissions W55, W65, W89, W112; ENHR and AESP.

Harris, W. L., & Wonglimpiyarat, J. (2020). Strategic foresight of xerox servitization: look back and look forward. foresight, 22(3), 351-366.

Hashemkhani Zolfani, S., Dehnavieh, R., Poursheikhali, A., Prentkovskis, O., & Khazaelpour, P. (2019). Foresight based on MADM-based scenarios' approach: a case about comprehensive sustainable health financing models. Symmetry, 12(1), 61.

Hughes, P., & Hodgkinson, I. (2021). Knowledge management activities and strategic planning capability development. European business review, 33(2), 238-254.

Kofanov, Y. N., Sotnikova, S. Y., & Sargsyan, G. A. (2019, September). Metod of Foresight Modeling in Electronic Space Projects. In 2019 International Conference" Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS) (pp. 264-267). IEEE.

Kotsuki, S., Morita, Y., & Yamaki, S. (2009, August). Concept frame work of multi-spiral innovation for the future market: An approach to the conceptual model of foresight for the innovative market by modeling of intermittent change of economic society and progress of technology. In PICMET'09-2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (pp. 908-915). IEEE.

Kucharavy, D., Damand, D., & Barth, M. (2023). Technological forecasting using mixed methods approach. International Journal of Production Research, 61(16), 5411-5435.

Ladu, L., & Quitzow, R. (2017). Bio-based economy: policy framework and foresight thinking. Food Waste Reduction and Valorisation: Sustainability Assessment and Policy Analysis, 167-195.

Li, S. S., Kang, M. H., & Lee, L. C. (2009, October). Developing the evaluation framework of technology foresight program: lesson learned from European countries. In 2009 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy (pp. 1-12). IEEE.

Liu, G. F., Chen, X. L., Riedel, R., & Müller, E. (2011). Green technology foresight on automobile technology in China. Technology Analysis & Strategic Management, 23(6), 683-696.

Manetti, A., Lara-Navarra, P., & Serradell-López, E. (2022, April). Design thinking innovation and trends foresighting. In The International Research & Innovation Forum (pp. 17-29). Cham: Springer International Publishing.

Marciano, C., Fergnani, A., & Robiati, A. (2024). Mission-oriented scenarios: a new method for urban foresight. foresight, 26(2), 351-364.

McKinsey Global Institute. (2024). Technology Trends Outlook 2024. McKinsey & Company.

Miller, R., & Lessard, D. (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. International Journal of Project Management, 19(8), 437-443.

Mirzaei, H., ghelich, M., & rabbani, T. (2023). Forecasting and explaining the scenarios facing the pension funds of the Ministry of Cooperation, Labor, and Social Welfare. Journal of Iran Futures Studies, 8(1), 285-310. (In Persian)

OECD (2023), OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption, OECD Publishing, Paris.

Omrani, M., Bahrami, M., & Shafiei, M. (2015). Foresight of the development of the country's ICT infrastructure in cyberspace with an emphasis on the scenario planning. Public Administration Perspective, 6(1), 133-147. (In Persian)

Pankratova, N. D., Gorelova, G. V., & Pankratov, V. A. (2022). Strategy for Simulation Complex Hierarchical Systems Based on the Methodologies of Foresight and Cognitive Modeling. Advanced Control Systems: Theory and Applications, 257.

Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution. Technological forecasting and social change, 71(1-2), 5-26.

Popper, R. (2008). How are foresight methods selected?. foresight, 10(6), 62-89.

Rahmati, F. S., Enayati, E., Borumand Kakhki, A., Afzali, H., & Attari, M. (2023). Foresight and Creating Strategic Intelligence - a Case Study of the Electricity Industry. Strategic Futures Studies, 1(4), 7-33. (In Persian)

Reghabi, F., Farajpahlou, A., & Hariri, N. (2024). Futures studies and scenario planning of academic libraries in Iran using cross impact analysis approach. Library and Information Sciences, 26(3), 243-273.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega, 53, 49-57.

Saritas, O., & Smith, J. E. (2011). The big picture–trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals. Futures, 43(3), 292-312.

Sarpong, D., & Maclean, M. (2011). Scenario thinking: A practice-based approach for the identification of opportunities for innovation. Futures, 43(10), 1154-1163.

Schwartz, P. (1997). Art of the long view: planning for the future in an uncertain world. John Wiley & Sons.

UNESCO. (2021). UNESCO science report: The race against time for smarter development. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377433

Valle-Cruz, D., & García-Contreras, R. (2023). Towards AI-driven transformation and smart data management: Emerging technological change in the public sector value chain. Public Policy and Administration, 0(0). https://doi.org/10.1177/09520767231188401

Van der Heijden, K. (2005). Scenarios: the art of strategic conversation. John Wiley & Sons.

Voros, J. (2003). A generic foresight process framework. foresight, 5(3), 10-21.

Wilson, I. (2004). Technology foresight in an age of uncertainty. International Journal of Foresight and Innovation Policy, 1(3-4), 207-217.

Wu, Q., Yan, D., & Umair, M. (2023). Assessing the role of competitive intelligence and practices of dynamic capabilities in business accommodation of SMEs. Economic Analysis and Policy, 77, 1103-1114.

Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. Management decision, 57(9), 2501-2519.

Yüksel, N., & Çifci, H. (2017, June). A new model for technology foresight: Foresight periscope model (FPM). In 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) (pp. 807-817). IEEE.

Yuksel, N., Cifci, H., & Cakir, S. (2017). New foresight Generation and Framework of foresight. PressAcademia Procedia, 5(1), 224-233.

Zweck, A., & Holtmannspotter, D. (2009). Technology roadmapping: turning hype into a systematic process. International Journal of Technology Intelligence and Planning, 5(1), 55-72.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی