



Efficiency Ranking of the Knowledge-Based Economy in Iran and Other Developing Countries Using a Result-Based Management Approach and Multi-layer DEA Method

Seyedeh Elahe Abbasi 

Department of Systems Management and Productivity, Faculty of Industrial Engineering and Systems Management, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: Seabasi20@aut.ac.ir

Mohsen Akbarpour Shirazi* 

Department of Systems Management and Productivity, Faculty of Industrial Engineering and Systems Management, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. (Corresponding Author)

E-mail: Akbarpour@aut.ac.ir

ABSTRACT

Objective: Knowledge-based economy is recognized as one of the main pillars of sustainable development and a driving force for innovation and entrepreneurship in today's world. The competitive advantage of countries is no longer primarily dependent on natural resources; rather, technological capabilities, the level of innovation, and the quality of knowledge-based infrastructure are considered the main determinants of national success. In this context, countries that can efficiently allocate their limited resources toward knowledge and technological development are capable not only of increasing productivity but also of creating the necessary environment for the growth of innovative and knowledge-based entrepreneurial activities. Therefore, assessing the efficiency of the knowledge-based economy in comparison to other countries holds not only theoretical importance but also practical and policy relevance for managers, policymakers, and entrepreneurs. Despite the high significance of this topic, a review of the literature indicates that most previous studies have been limited to simple Data Envelopment Analysis (DEA) models and have treated the internal structure of the knowledge-based economy as a black box. In response to this gap, the present study aims to design a systematic, multi-stage model capable of evaluating the efficiency of countries' knowledge-based economies with greater precision, taking into account their internal complexity and multi-dimensional structure.

Method: In this study, three fundamental stages in the realization of a knowledge-based economy were first identified using the Results-Based Management (RBM) approach. These stages correspond to short-term, medium-term, and long-term results. For each stage, a set of input and output indicators was selected based on a thorough review of literature, analysis of international reports such as KAM, GII, and GKI, and consultation with both domestic and international experts. The indicators were categorized according to a hierarchical structure and thematic overlap to enable the use of advanced models. Subsequently, a multi-layer Data Envelopment Analysis (Multi-layer DEA) model was employed. Given the multi-dimensional nature of the knowledge-based economy and the multiplicity of indicators, this model provides greater discriminative power compared to classical DEA models and ensures that essential expert-selected indicators are maintained while the computational precision of the analysis is preserved. The study's data pertains to 25 developing countries, including Iran, for the period 2016–2020, with averages calculated over the five years. The designed model allowed for the evaluation of countries' efficiency both at each stage and in overall terms, enabling a comprehensive comparison among the selected countries.

Results: The results indicate that Iran outperformed the average of the examined countries across all three defined stages. In the first stage, which represents the short-term outcomes of the knowledge-based economy, Iran achieved high efficiency by utilizing its existing institutional, human, and infrastructural capacities more effectively than its peers. In the second stage, which reflects medium-term outcomes, Iran's efficiency score slightly decreased but remained above the average level of the other countries. In the third stage, encompassing long-term outcomes, Iran's performance was relatively lower compared to the previous stages; however, it still exceeded the average of the selected countries. When considering overall efficiency, Iran obtained the highest score among the countries analyzed. This superiority is not only attributable to its high performance in individual stages but also reflects a relative balance across all three stages. In contrast, some countries demonstrated strong performance in one or two stages but had lower overall efficiency due to a lack of balance among the stages. Overall, the multi-layer analysis, which considers the hierarchical structure of indicators, not only overcomes the limitations of simple DEA

models in handling numerous indicators but also facilitates the identification of strengths and weaknesses of each country at various stages of knowledge-based economic development.

Conclusion: This study, by presenting a conceptual framework based on the Results-Based Management approach and utilizing a multi-layer DEA model, takes a significant step forward in evaluating the efficiency of national knowledge-based economies. Unlike previous studies, which assessed the knowledge-based economy as a black box, this research analyzes its internal components across three separate stages to clarify the contribution of each stage independently. The results demonstrate that Iran not only achieved the highest overall efficiency but also maintained a relative balance across the three stages, a factor that is crucial for achieving sustainable development. This balance indicates that Iran has been able to manage its resources in a way that simultaneously improves short-, medium-, and long-term outputs. Practically, the findings of this study can serve as valuable guidance for policymakers and planners. From an entrepreneurial perspective, the study highlights the critical importance of a knowledge-based economy in creating a stable foundation for the growth of innovative and technology-driven businesses. The balance among the various stages of the knowledge-based economy, particularly in terms of optimal resource utilization and the generation of sustainable results, creates favorable conditions for entrepreneurs to transform innovative ideas into knowledge-based products and services. Accordingly, policymakers can leverage these findings to design more effective strategies for supporting entrepreneurs and allocating resources to high-impact activities.

Keywords: *Efficiency evaluation, knowledge-based economy, data envelopment analysis, hierarchical structure, result-based management.*

Cite this article: Abbasi, S.E., & Akbarpour Shirazi, M. (2026). Efficiency Ranking of the Knowledge-Based Economy in Iran and Other Developing Countries Using a Result-Based Management Approach and Multi-layer DEA Method. *Journal of Entrepreneurship Development*, 18(5), 79-105. DOI: <http://doi.org/10.22059/jed.2025.401455.654571> (in Persian).

Received: 2025-08-28; **Revised:** 2025-09-28; **Accepted:** 2025-10-19; **Published online:** 2026-02-09

© The Author(s).

Article type: Research

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jed.2025.401455.654571>

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



رتبه‌بندی کارایی اقتصادی دانش‌بنیان ایران و سایر کشورهای در حال توسعه با رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه و روش DEA چندلایه

سیده الهه عباسی ^{ID}

گروه مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

رایانامه: Seabasi20@aut.ac.ir

محسن اکبرپور شیرازی ^{ID}*

نویسنده مسئول، گروه مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

رایانامه: Akbarpour@aut.ac.ir

چکیده

هدف: اقتصاد دانش‌بنیان به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار و موتور محرک نوآوری و کارآفرینی در جهان امروز شناخته می‌شود. مزیت رقابتی کشورها دیگر متکی بر منابع طبیعی نیست، بلکه توانمندی فناوریانه، سطح نوآوری و کیفیت زیرساخت‌های دانش‌محور عامل اصلی موفقیت آن‌ها به‌شمار می‌رود. در چنین شرایطی، کشورهایی که بتوانند به‌درستی منابع محدود خود را در مسیر توسعه دانش و فناوری به‌کار گیرند، قادر خواهند بود علاوه بر افزایش بهره‌وری، زمینه لازم برای رشد فعالیت‌های نوآوریانه و کارآفرینی دانش‌بنیان را فراهم آورند. از این‌رو، ارزیابی کارایی اقتصادی دانش‌بنیان در مقایسه با سایر کشورها نه‌تنها اهمیت نظری دارد بلکه از جنبه‌های سیاستی و کاربردی نیز برای مدیران، سیاست‌گذاران و کارآفرینان ضروری است. با وجود اهمیت بالای این موضوع، مرور ادبیات نشان می‌دهد اغلب مطالعات پیشین به مدل‌های ساده تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) محدود بوده‌اند و ساختار درونی اقتصاد دانش‌بنیان را به‌صورت یک جعبه سیاه در نظر گرفته‌اند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ، به طراحی مدلی نظام‌مند و چندمرحله‌ای پرداخته است که بتواند کارایی اقتصادی دانش‌بنیان کشورها را با دقت بیشتر و با توجه به پیچیدگی‌های درونی ارزیابی کند.

روش: در این پژوهش ابتدا با استفاده از رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه (RBM) سه مرحله اساسی در مسیر تحقق اقتصاد دانش‌بنیان شناسایی شد که شامل نتایج کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت است. برای هر مرحله، مجموعه‌ای از شاخص‌های ورودی و خروجی با مرور ادبیات نظری، تحلیل گزارش‌های بین‌المللی نظیر KAM، GII و GKI، و اخذ نظرات خبرگان داخلی و خارجی انتخاب گردید. شاخص‌ها بر اساس ساختار سلسله‌مراتبی و هم‌پوشانی موضوعی دسته‌بندی شدند تا امکان استفاده از مدل‌های پیشرفته فراهم گردد. سپس از مدل تحلیل پوششی داده‌های چندلایه (Multi-layer DEA) بهره گرفته شد. این مدل با توجه به ماهیت چندبعدی اقتصاد دانش‌بنیان و تعدد شاخص‌ها، قدرت تمایز بالاتری نسبت به مدل‌های DEA کلاسیک دارد و می‌تواند ضمن حفظ شاخص‌های مهم از دید خبرگان، دقت محاسبات را نیز تضمین کند. داده‌های تحقیق مربوط به ۲۵ کشور در حال توسعه از جمله ایران است که برای بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ گردآوری و به‌صورت میانگین محاسبه شد. مدل طراحی‌شده این امکان را فراهم کرد که کارایی کشورها به تفکیک هر مرحله و همچنین به‌صورت کلی محاسبه و مقایسه گردد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ایران در هر سه مرحله تعریف‌شده، عملکردی بالاتر از میانگین کشورهای مورد بررسی دارد. در مرحله اول که نتایج کوتاه‌مدت اقتصاد دانش‌بنیان را دربرمی‌گیرد، ایران با کارایی بالا توانسته از ظرفیت‌های موجود در حوزه‌های نهادی، منابع انسانی و زیرساختی بهره‌برداری مؤثرتری نسبت به کشورهای هم‌گروه داشته باشد. در مرحله دوم، یعنی نتایج میان‌مدت، امتیاز کارایی ایران اندکی کاهش یافته است، اما همچنان بالاتر از سطح میانگین کشورهای دیگر قرار دارد. در مرحله سوم که نتایج بلندمدت اقتصاد دانش‌بنیان را شامل می‌شود، هرچند عملکرد ایران نسبت به مراحل قبلی ضعیف‌تر است، اما همچنان بالاتر از میانگین کشورهای منتخب قرار دارد. در ارزیابی نهایی و محاسبه کارایی کل، ایران موفق به کسب بالاترین امتیاز در میان کشورهای منتخب شد. این برتری نه‌تنها ناشی از کارایی بالای کشور در مراحل منفرد، بلکه نتیجه نوعی توازن نسبی میان سه مرحله است. در حالی که برخی کشورها با وجود عملکرد مناسب در یک یا دو مرحله، به دلیل عدم تعادل در سایر مراحل، کارایی کل پایین‌تری داشته‌اند. به‌طور کلی، تحلیل چندلایه با در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی شاخص‌ها علاوه بر آنکه ضعف مدل‌های ساده DEA در مواجهه با شاخص‌های متعدد را برطرف کرده، امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر کشور را در مراحل مختلف توسعه اقتصاد دانش‌بنیان فراهم ساخته است.

نتیجه: پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب مفهومی مبتنی بر رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه (RBM) و بهره‌گیری از مدل تحلیل پوششی داده‌های چندلایه، گامی نو در ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان کشورها برداشت. برخلاف مطالعات پیشین که اقتصاد دانش‌بنیان را به‌صورت یک جعبه سیاه ارزیابی می‌کردند، در این تحقیق تلاش شد اجزای درونی آن در قالب سه مرحله مجزا تحلیل شود تا سهم هر مرحله به‌طور مستقل روشن گردد. نتایج نشان داد ایران علاوه بر کسب رتبه نخست در کارایی کل، از نوعی توازن نسبی میان مراحل سه‌گانه برخوردار است؛ امری که اهمیت زیادی در دستیابی به توسعه پایدار دارد. این توازن بیانگر آن است که ایران توانسته تا حدی منابع موجود را به‌گونه‌ای مدیریت کند که خروجی‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت به شکل هم‌زمان بهبود یابند. از منظر کاربردی، یافته‌های این پژوهش می‌تواند برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان الهام‌بخش باشد و از منظر کارآفرینی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا اقتصاد دانش‌بنیان زمانی می‌تواند به موتور محرک توسعه تبدیل شود که بستری پایدار برای رشد کسب‌وکارهای نوآورانه و کارآفرینی فناورانه فراهم آورد. توازن میان مراحل مختلف اقتصاد دانش‌بنیان، به‌ویژه در استفاده بهینه از منابع و خلق نتایج پایدار، شرایطی را فراهم می‌کند که کارآفرینان بتوانند ایده‌های نوآورانه خود را به محصولات و خدمات دانش‌بنیان تبدیل کنند. در این راستا، سیاست‌گذاران می‌توانند با استفاده از یافته‌های تحقیق، مسیرهای مؤثرتری برای حمایت از کارآفرینان و تخصیص منابع به فعالیت‌های اثربخش طراحی نمایند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی کارایی، اقتصاد دانش‌بنیان، تحلیل پوششی داده‌ها، ساختار سلسله‌مراتبی، مدیریت مبتنی بر نتیجه.

استناد به این مقاله: عباسی، سیده الهه؛ اکبرپور شیرازی، محسن (۱۴۰۴). رتبه‌بندی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان ایران و سایر کشورهای در حال توسعه با رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه و روش DEA چندلایه. توسعه کارآفرینی، ۱۸(۵)، ۷۹-۱۰۵. <http://doi.org/10.22059/jed.2025.401455.654571>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰
 © نویسندگان. نوع مقاله: پژوهشی ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.



۱. مقدمه

در جهان امروز، مزیت رقابتی کشورها بیش از منابع طبیعی یا سرمایه فیزیکی، به سطح نوآوری و توانمندی فناورانه آنها وابسته است. این تحول موجب شده است که دانش و فناوری به‌عنوان موتور اصلی رشد و توسعه اقتصادی شناخته شوند. اگرچه در گذشته، اقتصاد کشاورزی بر زمین، اقتصاد صنعتی بر سرمایه و نیروی کار، و اقتصاد پسا صنعتی بر خدمات استوار بود، اما از دهه ۱۹۸۰ به بعد، نظریه‌پردازان عصر جدیدی را مطرح کردند که در آن دانش به منبع اصلی ثروت و تولید اقتصادی تبدیل می‌شود. سازمان همکاری و توسعه اقتصادی در سال ۱۹۹۶ این تغییر را با اصطلاح «اقتصاد دانش‌بنیان» معرفی کرد؛ اقتصادی که بر تولید، توزیع و بکارگیری دانش استوار است و از آن زمان تاکنون در راهبردهای توسعه کشورها جایگاه ویژه‌ای یافته است. این جایگاه ویژه، کشورها را مجاب کرده است که ارزیابی مستمر آن را به‌عنوان ابزاری حیاتی در سیاست‌گذاری اقتصادی مورد توجه قرار دهند. اما این اقتصاد چندبعدی و پیچیده، شامل مؤلفه‌های متعددی است که سنجش و مقایسه آن را دشوار کرده است. در سال‌های اخیر، سازمان‌های بین‌المللی و پژوهشگران با معرفی شاخص‌ها و مدل‌های گوناگون، به ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان کشورها پرداخته و زمینه شناسایی نقاط قوت و ضعف و تدوین سیاست‌های بهبود را فراهم کرده‌اند. سه مدل معروف در ادامه معرفی می‌شود.

سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه در سال ۱۹۹۶ نخستین چارچوب سنجش اقتصاد دانش‌بنیان را با پنج مؤلفه شامل اقتصاد دانش‌بنیان، ICT، سیاست‌های علم و فناوری، جهانی‌سازی، و خروجی‌ها و اثرات معرفی کرد (سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه^۱، ۱۹۹۶). پس از آن، بانک جهانی با روش‌شناسی ارزشیابی دانش^۲ (KAM) پنج مؤلفه معیارهای عملکردی، رژیم انگیزشی و نهادی، آموزش و نیروی انسانی، نوآوری و فناوری اطلاعات را پیشنهاد داد (بانک جهانی^۳، ۲۰۱۲). همچنین سازمان همکاری‌های اقتصادی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۰) چارچوبی چهار مؤلفه‌ای شامل خلق دانش، تحصیل و یادگیری دانش، انتشار دانش و کاربرد دانش را ارائه داد (سازمان همکاری‌های اقتصادی آسیا و اقیانوسیه^۴، ۲۰۰۰). برخی شاخص‌های جهانی مانند شاخص جهانی نوآوری^۵ (GII) (داتا^۶ و همکاران، ۲۰۲۲) و شاخص جهانی دانش^۷ (GKI) (برنامه پیشرفت و توسعه ملل متحد^۸، ۲۰۲۲) نیز هم‌پوشانی موضوعی زیادی با اقتصاد دانش‌بنیان دارند و می‌توان از آنها برای تحلیل این حوزه بهره گرفت. GII دارای ۷ بُعد (۵ ورودی: مؤسسه‌ها، سرمایه انسانی و تحقیقاتی، زیرساخت‌ها، پیچیدگی بازار، پیچیدگی کسب‌وکار و ۲ خروجی: خروجی‌های دانش و فناوری، خروجی‌های اخلاقانه) و GKI دارای ۷ بُعد (تحقیق و توسعه و نوآوری، ICT، اقتصاد، فضای برانگیزاننده و سه بُعد آموزش) است.

از طرفی با توجه به محدودیت منابع و ظرفیت‌های کشورها، بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود برای توسعه اقتصاد دانش‌بنیان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است؛ ازاین‌رو، ارزیابی کارایی این نوع اقتصاد در سطح ملی به‌عنوان ابزاری کلیدی برای هدایت سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های راهبردی اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. اما بررسی مطالعات نشان می‌دهد با وجود

1. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
2. Knowledge Assessment Methodology (KAM)
3. The World Bank
4. Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC)
5. Global Innovation Index (GII)
6. Dutta et al
7. Global Knowledge Index (GKI)
8. United Nations Development Program (UNDP)

توجه به شاخص‌گذاری و مدل‌سازی اقتصاد دانش‌بنیان، ارزیابی کارایی آن در سطح کشورها کمتر انجام شده و اغلب با مدل‌های ساده تحلیل پوششی داده‌ها^۱ (DEA) و بدون بررسی تعاملات داخلی بین اجزا و شاخص‌ها صورت گرفته است؛ رویکردی که تصویر دقیقی از نقاط قوت و ضعف ارائه نمی‌دهد و مانع تدوین راهکارهای هدفمند می‌شود. در پاسخ به خلأهای موجود در ادبیات پژوهش، این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان کشورها، رویکردی دقیق‌تر و چندمرحله‌ای ارائه می‌دهد که تعامل شاخص‌های مرتبط را در نظر می‌گیرد. با استفاده از رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه^۲ (RBM)، سه مرحله کلیدی در ساختار اقتصاد دانش‌بنیان تعریف و شاخص‌های ورودی و خروجی هر مرحله شناسایی می‌گردد که در بخش ۳ ارائه شده است. در بخش ۴، مدل ریاضی DEA چندلایه با ساختار سلسله‌مراتبی شاخص‌ها^۳ (Multi-layer DEA) پیشنهاد شده که به دلیل تعدد شاخص‌ها و حفظ تمام متغیرهای موردنظر خبرگان، امکان ارزیابی دقیق‌تر هر مرحله را فراهم می‌سازد. در بخش ۵، کارایی اقتصاد دانش‌بنیان ایران و ۲۴ کشور در حال توسعه در سه مرحله تعریف‌شده، بر اساس میانگین داده‌های سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۶ ارزیابی شده و در بخش ۶ نتیجه‌گیری بصورت خلاصه بیان شده است.

۲. مروری بر مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۱.۲. نظریه‌های پایه و رویکردهای ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان

توجه به نقش دانش در اقتصاد، موضوعی تازه نیست و ریشه در نظریات متفکران بزرگ اقتصادی دارد. بکر^۴ (۱۹۶۴) اهمیت سرمایه‌گذاری در آموزش و تحقیق را در شکل‌گیری سرمایه انسانی و ارتقای کارایی اقتصادی تبیین نمود. اسمیت^۵ (۱۹۷۶) بر نقش علم و آموزش در پیشرفت اجتماعی و فرهنگی و همچنین در افزایش بهره‌وری از طریق تقسیم کار تأکید داشت. شومپتر^۶ (۱۹۳۴) دانش را سرچشمه نوآوری دانست و آن را موتور محرک کارآفرینی و تحول ساختارهای اقتصادی معرفی کرد که این ایده با ظهور نظریه رشد درون‌زا، شتاب بیشتری گرفت. نظریه رشد درون‌زا معتقد است که رشد اقتصادی در درجه اول نتیجه نیروهای درون‌زا و نه خارجی است، که در آن سرمایه انسانی و نوآوری از عوامل مهم رشد اقتصادی هستند (رومر^۷ ۱۹۹۰؛ لوکاس^۸ ۱۹۸۸). در کنار این نظریه‌ها، سایر اندیشمندان نیز در چارچوب‌های گوناگون بر اهمیت دانش و سرمایه انسانی تأکید کرده‌اند؛ مجموعه این تلاش‌ها نهایتاً به پیدایش مفهومی منسجم تحت عنوان «اقتصاد دانش‌بنیان» منجر گردید.

اگرچه مبانی نظری اقتصاد دانش‌بنیان اهمیت دانش، سرمایه انسانی، نوآوری و تعاملات فناورانه را در رشد اقتصادی روشن ساخته‌اند، اما برای بهره‌گیری عملی از این دیدگاه‌ها، باید چارچوب‌هایی کمی و قابل اندازه‌گیری تدوین گردد. موضوعی که موجب شکل‌گیری مدل‌ها و شاخص‌های بین‌المللی متعددی شده است. همانطور که در بخش معرفی

1. Data Envelopment Analysis (DEA)
2. Results-Based Management (RBM)
3. Multi-layer Data Envelopment Analysis
4. Becker
5. Smith
6. Schumpeter
7. Romer
8. Lucas

اشاره شد، سازمان‌های بین‌المللی معتبر تلاش کرده‌اند تا با ارائه شاخص‌ها و چارچوب‌های مختلف به ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان کشورها بپردازند تا از این طریق نقاط ضعف و قوت آنها شناسایی و در جهت بهبود، اقدام نمایند. برخی پژوهشگران به مقایسه این مدل‌های اقتصاد دانش‌بنیان پرداخته‌اند. مثلاً چن^۱ (۲۰۰۸) با گردآوری شاخص‌های مدل‌های معتبر و تحلیل عاملی، مدلی ساختاری ارائه کرده است. همچنین کاتوشکاکوا^۲ و همکاران (۲۰۲۳) با نظر خبرگان، شاخص‌ها و مدل‌های پرکاربرد کنونی (از جمله GII و GKI) را بررسی و نقاط قوت و ضعف آنها را تحلیل کرده‌اند. برخی از پژوهشگران نیز تلاش کرده‌اند با روش‌های مختلف به ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان کشورها بپردازند. اندرس^۳ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش شبکه عصبی و شاخص‌های مدل KAM بانک جهانی، شاخص اقتصاد دانش را برای ۷۱ کشور توسعه‌یافته پیش‌بینی کردند. پاز مارتین^۴ و همکاران (۲۰۱۵) و فیسس و کرینا^۵ (۲۰۱۴) با بکارگیری روش خوشه‌بندی، کشورهای منتخب را بر اساس سطح توسعه‌یافتگی اقتصاد دانش‌بنیان دسته‌بندی و رتبه‌بندی کردند. چرچی^۶ و همکاران (۲۰۱۱) یک شاخص ترکیبی با مدل DEA با داده‌های نادقیق برای سنجش اقتصاد دانش‌بنیان کشورهای اروپایی ارائه دادند که بر اساس یک ورودی مجازی و ۲۳ شاخص خروجی بود. همچنین گویاتا^۷ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از ترکیب روش تحلیل چند معیاره^۸ و DEA، شاخص ترکیبی دیگری برای سنجش و رتبه‌بندی کشورها از نظر سطح اقتصاد دانش‌بنیان پیشنهاد کردند که از یک ورودی مجازی و ۱۰ شاخص خروجی بهره می‌برد. برخی پژوهشگران داخلی نیز به مقایسه وضعیت اقتصاد دانش‌بنیان ایران با سایر کشورهای منطقه بر اساس مدل KAM بانک جهانی پرداختند که از آن جمله می‌توان به فلاح و سلامی (۱۳۹۵) و نوری و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد.

۲.۲. ارزیابی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان

بدون شک اقتصاد دانش‌بنیان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار و موتور محرک نوآوری و کارآفرینی در جهان امروز شناخته می‌شود. در چنین شرایطی، کشورهایی که بتوانند به‌درستی از منابع محدود خود در مسیر توسعه دانش و فناوری استفاده کنند، می‌توانند زمینه رشد فعالیت‌های نوآورانه و کارآفرینی دانش‌بنیان را فراهم آورند. از این‌رو، ارزیابی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان در مقایسه با سایر کشورها ضروری است. با وجود اهمیت بالای این موضوع، مرور ادبیات نشان می‌دهد پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ارزیابی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان بسیار محدود بوده و تنها از مدل‌های ساده DEA استفاده شده است. بدیت ترتیب که اقتصاد دانش‌بنیان را بدون توجه به جزییات و روابط داخلی، به‌صورت جعبه سیاه بررسی کرده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به آیان و پابوچو^۹ (۲۰۱۸) اشاره کرد که کارایی اقتصاد دانش‌بنیان کشورهای اتحادیه اروپا را با مدل DEA با ۳ ورودی و ۴ خروجی ارزیابی کردند و بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۶ دریافتند کشور آلمان بطور واضحی از سایر کشورها جلوتر است.

1. Chen

2. Katuščáková et al

3. Andrés et al

4. Paz-Marin et al

5. Fucec and Corina

6. Cherchye et al

7. Guaita et al

8. Multiple Criteria Analysis

9. Ayan and Pabuccu

همچنین تن و هو^۱ (۲۰۰۷) توسعه اقتصاد دانش‌بنیان ۹ کشور را با مدل CCR^۲ که مدل پایه‌ای DEA است، بر اساس ۵ ورودی و ۸ خروجی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کشورهای کوچک عملکرد بهتری در استفاده از ورودی‌های انتخاب شده در مدل دارند و در واقع در کنترل و مدیریت منابع دانش خود کارآمدتر هستند. تن^۳ و همکاران (۲۰۰۸) نیز با مدل CCR بر اساس ۱۳ ورودی و ۱۶ خروجی، کارایی نسبی اقتصاد دانش‌بنیان ۱۲ کشور را بر اساس داده‌های سال ۲۰۰۱ مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که آمریکا تنها کشور دارای قدرت در نوآوری دانش است، و چهار کشور در حال ظهور (هند، اندونزی، تایلند و چین) در توسعه اقتصاد دانش‌بنیان نسبتاً ناکارآمد هستند و فرار مغزها می‌تواند یکی از جدی‌ترین مشکلات آنها در مقایسه با سایر کشورها باشد. عیدمحمدزاده و همکاران (۱۳۸۶) نیز با مدل‌های DEA پایه به ارزیابی و رتبه‌بندی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان ایران و کشورهای منطقه پرداختند که در آن ۳ شاخص ورودی و ۱ خروجی در نظر گرفته شده است. ایران بعنوان کشور ناکارا شناسایی شد و ترکیه الگوی مناسب برای ایران معرفی گردید.

۳. چارچوب مفهومی ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان با رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه

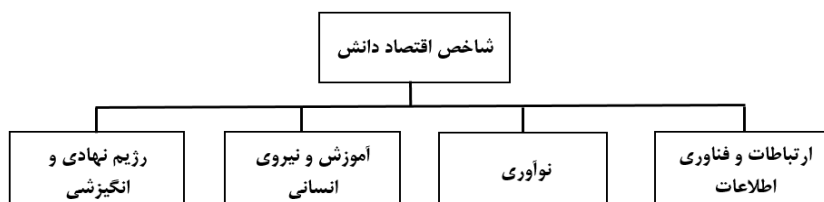
در این بخش با کمک رویکرد RBM، به معرفی یک چارچوب جدید برای ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان می‌پردازیم. در سال‌های اخیر، رویکرد RBM به دلیل محدودیت منابع و نیاز به شفافیت نتایج، در برنامه‌های ملی و بین‌المللی بسیار محبوب شده است. در این رویکرد، مدیریت و ارزیابی با محوریت «نتیجه» انجام می‌شود (موینیان^۴، ۲۰۰۵). زنجیره نتایج یکی از ارکان اصلی و مجموعه‌ای از نتایج است که بطور منطقی به هم متصل شده‌اند. بعضی از این نتایج فوری‌تر و برخی دیرتر حاصل می‌شوند. نتایج هر مرحله جمع می‌شوند تا نتیجه بالاتر را ایجاد کنند (کوسک و ریست^۵، ۲۰۰۴). در این پژوهش برای نخستین بار از رویکرد RBM در مدل‌سازی اقتصاد دانش‌بنیان استفاده شده، از اینرو تعریف چارچوب مفهومی، با مطالعه پیشینه نظری و نظر خبرگان اقتصاد، اقتصاد دانش‌بنیان، سیاستگذاری علم و فناوری و نوآوری انجام شد. مراحل که برای طراحی مدل مفهومی انجام شد در ادامه آمده است.

۱.۳. انتخاب شاخص‌ها

در انتخاب شاخص‌ها، اعتبار و دسترسی به داده‌ها مدنظر بود و مدل KAM بانک جهانی به دلیل جامعیت و اعتبار جهانی، مبنای اصلی این تحقیق قرار گرفت که چارچوب آن بصورت شکل ۱ است.

1. Tan and Hooy
2. Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR)
3. Tan et al
4. Moynihan
5. Kusek and Rist

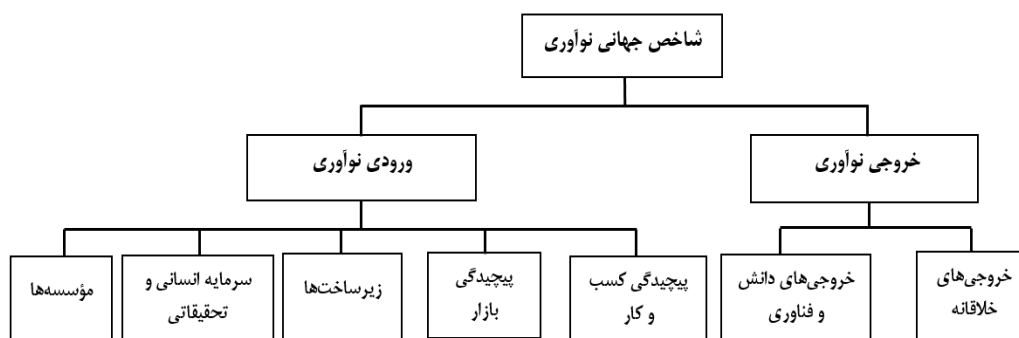
رتبه‌بندی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان ایران و سایر کشورهای در حال توسعه ... (عباسی و اکبریور)



شکل ۱. چارچوب مفهومی شاخص اقتصاد دانش در مدل KAM

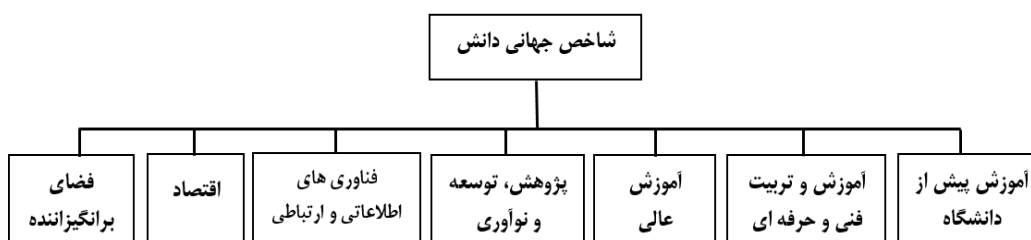
Figure 1. The conceptual framework of the knowledge economy index in the KAM model

همانطور که قبلاً اشاره شد شاخص جهانی نوآوری (GII) و شاخص جهانی دانش (GKI) هم‌پوشانی موضوعی بالایی با حوزه اقتصاد دانش‌بنیان دارند. چارچوب این شاخص‌های جهانی بصورت شکل ۲ و ۳ است. با توجه به توقف انتشار مدل KAM بانک جهانی از ۲۰۱۲، گزارش‌های به‌روز و سالانه GII و GKI در کنار آن برای انتخاب شاخص‌های پژوهش استفاده شد.



شکل ۲. چارچوب مفهومی GII

Figure 2. The conceptual framework of the GII



شکل ۳. چارچوب مفهومی GKI

Figure 3. The conceptual framework of the GKI

بنابراین برای انتخاب شاخص‌ها از ۳ مدل معروف جهانی (جمعاً ۳۸۴ شاخص در سطح خرد) استفاده شده است که شرح مختصری از آنها در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. مدل‌های جهانی مورد استفاده برای انتخاب شاخص‌های تحقیق

Table 1. Global models used to select research indicators

عنوان	متولی	سال گزارش	ابعاد	تعداد شاخص‌ها
شاخص اقتصاد دانش ^۱ (KEI)	بانک جهانی	2012	4	148
شاخص جهانی نوآوری (GII)	سازمان جهانی مالکیت فکری	2022	7	81
شاخص جهانی دانش (GKI)	برنامه توسعه سازمان ملل متحد و بنیاد دانش راشد المکتوم	2022	7	155

۲.۳. تعیین زنجیره نتایج و مراحل داخلی مدل بر اساس رویکرد RBM

بر اساس رویکرد RBM، نتایج باید در سه دسته کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت دسته‌بندی شده و مراحل تولیدکننده این نتایج نیز مشخص گردند. در این راستا، ابتدا شاخص‌های عملکردی (در گزارش KAM) و برون‌دادها (در گزارش GII و گزارش GKI)، به همراه شاخص‌های پیشنهادی خبرگان به عنوان نتیجه گزینش شدند. در فرآیند تعیین نتایج و مراحل، این معیارها مدنظر قرار گرفت: ۱) امکان تفکیک نتایج به سه سطح زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت با حفظ ارتباط منطقی آن‌ها؛ ۲) معناداری مراحل در اقتصاد دانش بنیان و تصمیم‌سازی؛ ۳) افق پنج‌ساله سیاست‌گذاری و ارزیابی با تأیید خبرگان. تعدد و همپوشانی شاخص‌های اقتصاد دانش بنیان، استفاده مستقیم آن‌ها در مدل‌های پایه DEA را موجب کاهش قدرت تفکیک و دقت تحلیل می‌کند. بنابراین، در این پژوهش شاخص‌ها با توجه به نقش و کارکرد، و با اتکا به پیشینه نظری و نظر خبرگان، در دسته‌های مرتبط سازمان‌دهی و نام‌گذاری شدند. این دسته‌بندی امکان بهره‌گیری از مدل‌های چندلایه DEA را فراهم می‌کند که با در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی شاخص‌ها، قدرت تمایز بالاتری از مدل‌های سنتی دارند. در ادامه، مطابق با چارچوب RBM، نتایج اقتصاد دانش بنیان، دسته‌بندی شاخص‌ها و سه مرحله داخلی مرتبط با تولید این نتایج در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

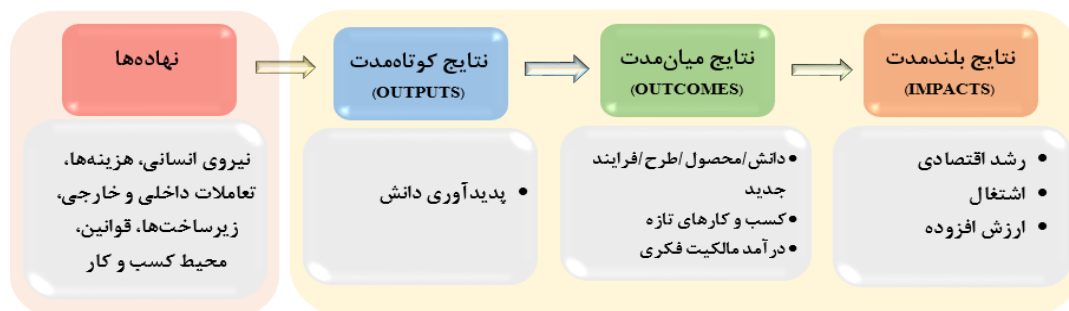
جدول ۲. نتایج، دسته‌بندی نتایج و سه مرحله داخلی ساختار اقتصاد دانش بنیان

Table 2. Results, Categorization of Results, and Internal Stages of the Knowledge-Based Economy

مرحله	عنوان دسته نتایج	نتایج
پژوهش در آموزش عالی و تحقیق و توسعه در مؤسسات	پدیدآوری دانش	مقالات علمی و فنی
		شاخص اچ انتشارات استنادپذیر
		اظهارنامه‌های ثبت اختراع
تحقیق و توسعه و نوآوری در شرکت‌های تجاری	دانش/محصول/طرح/فرایند جدید	اظهارنامه‌های طرح‌های صنعتی
		اظهارنامه‌های جهانی پی.سی.تی
	کسب و کارهای تازه	تراکم کسب و کارهای تازه
		رشد شرکت‌های نوآور
		شرکت‌هایی که کالا و خدمات جدید تولید می‌کنند
	درآمد مالکیت فکری	رسیدهای مالکیت فکری

توسعه کسب و کار دانش‌بنیان و تجاری‌سازی ایده‌ها	اشتغال	اشتغال در خدمات دانش‌بنیان
		اشتغال در بخش صنعت
	ارزش افزوده	ارزش افزوده صنعت
		ارزش افزوده خدمات
		ارزش افزوده تولید با فناوری متوسط و پیشرفته
	رشد اقتصادی	رشد سالانه تولید ناخالص داخلی

قابل ذکر است که بر اساس گزارش GKI، شاخص "اظهارنامه ثبت اختراع" برون‌داد مؤسسات تحقیقاتی و شاخص "اظهارنامه جهانی پی.سی.تی" برون‌داد شرکت‌های تجاری است که ملاک عمل قرار گرفت. سایر شاخص‌های جمع‌آوری شده که در قالب نیروی انسانی، زیرساخت، قوانین، محیط کسب‌وکار و تعاملات قابل دسته‌بندی هستند، نقش نهاده‌ها (ورودی) را ایفا می‌کنند و بدین ترتیب زنجیره نتایج اقتصاد دانش‌بنیان بصورت شکل ۴ تعیین گردید.

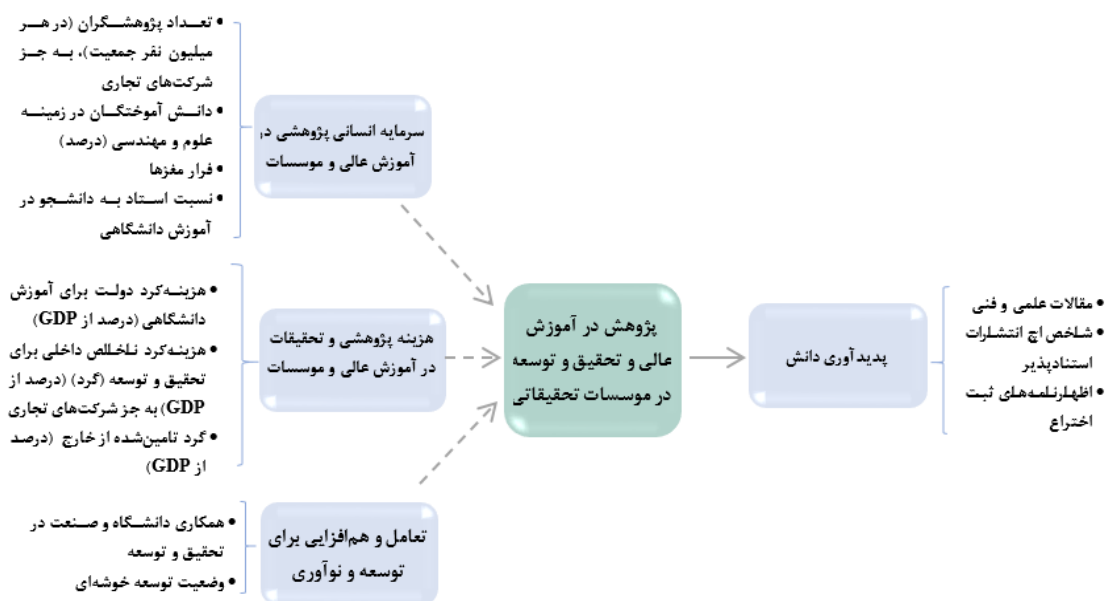


شکل ۴. زنجیره نتایج اقتصاد دانش‌بنیان (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 4. Results Chain of the knowledge-based economy (Source: Research Findings)

۳.۳. جانمایی شاخص‌ها بر اساس زنجیره نتایج، اصلاح و تکمیل مدل مفهومی

پس از تعیین زنجیره نتایج و مراحل، سایر شاخص‌های مرتبط به‌عنوان ورودی‌های اختصاصی، مشترک دو مرحله یا مشترک سه مرحله (زیرساخت‌ها و عوامل محیطی) دسته‌بندی و در مدل جانمایی شدند. مدل مفهومی حاصل، با نظر خبرگان اصلاح و نهایی شد و مبنای ارزیابی سه مرحله‌ای اقتصاد دانش‌بنیان بر پایه رویکرد RBM قرار گرفت. ساختار نهایی سه مرحله اقتصاد دانش‌بنیان، در قالب شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است.

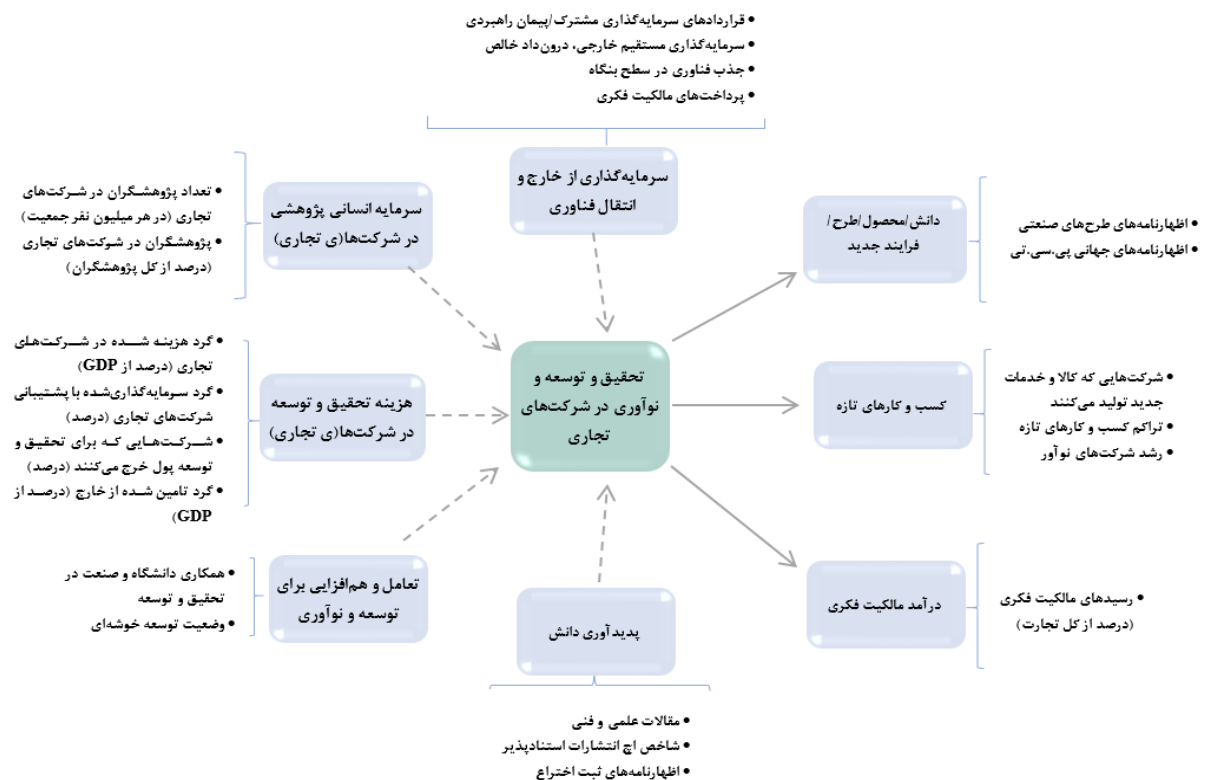


شکل ۵. مدل مفهومی ارزیابی مرحله اول اقتصاد دانش‌بنیان (تولید نتایج کوتاه‌مدت، مبتنی بر رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه)، (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 5. The conceptual model for assessing the first stage of Knowledge-Based Economy (producing of short-term results, based on the RBM approach), (Source: Research Findings)

مطابق شکل ۵، مرحله اول مدل: "پژوهش در آموزش عالی و تحقیق و توسعه در مؤسسات تحقیقاتی" است که منجر به پدیدآوری دانش می‌شود و با شاخص‌های مقالات علمی و فنی، استنادات مقاله و ثبت اختراع سنجیده می‌شود. ورودی‌های این مرحله در سه دسته هزینه پژوهشی، سرمایه انسانی پژوهشی، و تعامل و هم‌افزایی قرار گرفته‌اند. تمرکز اصلی این مرحله بر روی پژوهش و تحقیقاتی است که در آموزش عالی و مراکز تحقیقاتی انجام می‌شود.

رتبه‌بندی کارایی اقتصادی دانش‌بنیان ایران و سایر کشورهای در حال توسعه ... (عباسی و اکبریور)



شکل ۶. مدل مفهومی ارزیابی مرحله دوم اقتصاد دانش‌بنیان (تولید نتایج میان‌مدت، مبتنی بر رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه)، (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 6. The conceptual model for assessing the second stage of Knowledge-Based Economy (producing of medium-term results, based on the RBM approach), (Source: Research Findings)

مطابق شکل ۶، مرحله دوم "تحقیق و توسعه و نوآوری در شرکت‌های تجاری" است که یک گام بعد از پدیدآوری دانش و متمرکز بر توسعه فناوری است. نتایج این مرحله، در سه دسته "دانش/محصول/طرح/فرایند جدید"، "کسب‌وکارهای تازه"، و "درآمد مالکیت فکری" قرار دارند. یکی از ورودی‌های این مرحله، "پدیدآوری دانش" (نتایج مرحله اول) و دیگری "هم‌افزایی و تعامل برای توسعه و نوآوری" (ورودی مشترک مرحله اول و دوم) است. بر اساس شکل ۷، مرحله سوم "توسعه کسب و کار دانش‌بنیان و تجاری‌سازی ایده‌ها" است. مرحله آخر مربوط به نتایج موردانتظار برای بهبود شرایط اقتصادی است که در سه دسته اشتغال، ارزش افزوده و رشد اقتصادی قرار گرفتند. همانطور که در شکل مشخص است، نتایج مرحله دوم، بعنوان ورودی به این مرحله وارد شده‌اند. همچنین ورودی "سرمایه‌گذاری از خارج و انتقال فناوری"، بعنوان ورودی مشترک برای مرحله دوم و سوم استفاده می‌شود. در شکل ۸ سایر شاخص‌های مرتبط با مراحل تعریف‌شده نشان داده شده است. این شاخص‌ها ورودی مشترک سه مرحله هستند که غالباً از جنس زیرساخت، قوانین و عوامل محیطی هستند. این موارد در ۶ گروه شامل ICT، حکمرانی، سهولت کسب و کار، بازار کار، نظام مالی، و پایداری اقتصاد کلان دسته‌بندی شده‌اند.



شکل ۷. مدل مفهومی ارزیابی مرحله سوم اقتصاد دانش‌بنیان (تولید نتایج بلندمدت، مبتنی بر رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه)، (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 7. The conceptual model for assessing the third stage of Knowledge-Based Economy (producing of long-term results, based on the RBM approach), (Source: Research Findings)



شکل ۸. زیرساخت‌ها، قوانین و عوامل محیطی در چارچوب ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان (ورودی‌های مشترک برای سه مرحله ارزیابی)، (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 8. infrastructure, laws, and the environment for assessing the Knowledge-Based Economy (shared inputs for all three stages of assessing), (Source: Research Findings)

۴. مدل ریاضی پیشنهادی

DEA یک روش برنامه‌ریزی ریاضی ناپارمتری است که با تخمین توابع مرزی به سنجش کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری^۱ (DMUs) همگن می‌پردازد و در سال ۱۹۷۸ توسط چارلز، کوپر و رودز^۲ معرفی شد. منطق اصلی DEA این است که اگر واحدهای تحت بررسی دارای یک ورودی و یک خروجی باشند، کارایی حاصل تقسیم خروجی به ورودی است. اما اگر تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها بیشتر باشد یافتن وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها مشکل است. در اینجا است که تکنیک DEA برای ارزیابی هر یک از واحدهای تصمیم، یک مدل برنامه‌ریزی خطی نوشته و بر اساس آن، کارایی نسبی DMUها را با هم مقایسه می‌کند. مدل‌های DEA یکی از روش‌های پرکاربرد برای سنجش کارایی نسبی هستند و کاربرد گسترده آن در ارزیابی کارایی، اثباتی بر این ادعا است.

۱.۴. مدل CCR

مدل ۱ مدل CCR ورودی‌محور است که یکی از مدل‌های سنتی DEA محسوب می‌شود. در مدل‌های ورودی‌محور با ثابت نگه داشتن ورودی‌ها، مقدار خروجی‌ها را حداکثر می‌کند. اگر فرض کنیم n واحد تصمیم‌گیری داشته باشیم که m ورودی را استفاده کنند و s خروجی را تولید می‌کنند، در این صورت ورودی‌های DMU_p شامل $X_{1p}, X_{2p}, \dots$ و خروجی‌های DMU_p شامل $Y_{1p}, Y_{2p}, \dots, Y_{sp}$ است. با داشتن این داده‌ها می‌توان کارایی هر DMU_p را با مدل CCR محاسبه کرد. این مدل که خطی شده است برای واحد p بصورت مدل ۱ است:

$$\begin{aligned} \text{MAX } Z_p &= \sum_{r=1}^S U_r Y_{rp} \\ \text{s.t.} \\ \sum_{i=1}^m V_i X_{ip} &= 1 \\ \sum_{r=1}^S U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} &\leq 0, \quad (j=1, \dots, n) \\ U_r, V_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (\text{مدل ۱})$$

که در آن U_r وزن یا ضریب خروجی r ام و V_i وزن یا ضریب ورودی i ام است. در این مدل، کارایی هر کدام از n واحد تصمیم‌گیری، با حل یک برنامه‌ریزی خطی برای هر یک از DMUها محاسبه می‌شود.

۲.۴. مدل DEA چند لایه

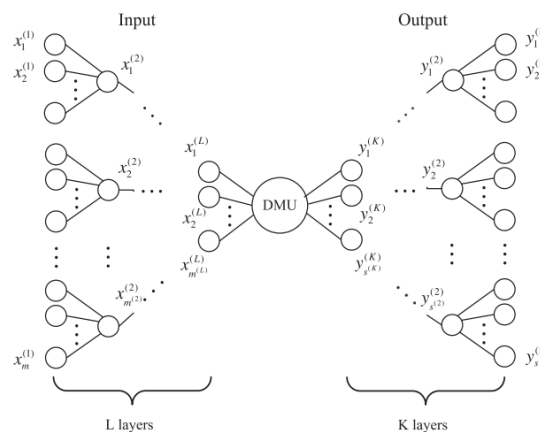
معمولاً در مدل‌بندی موضوعات و مسائل واقعی با تعداد زیادی شاخص ورودی و خروجی که متعلق به دسته‌بندی‌های مختلفی هستند روبرو هستیم. مشابه آنچه در مدل مفهومی تعریف شده در تحقیق حاضر نیز قابل مشاهده است. در

1. Decision Making Units

2. Charnes, Cooper and Rhodes

واقع در اینگونه مسایل، با معیارها و زیرمعیارهایی مواجه هستیم که دارای ساختار سلسله مراتبی هستند و مدل‌های پایه‌ای DEA قادر به لحاظ کردن آنها نیستند. نادیده گرفتن ساختار سلسله مراتبی شاخص‌ها، منجر به قدرت تمایز پایین مدل و نمرات کارایی نادرست می‌شود. حذف شاخص‌های مرتبط نیز تحلیل جامع را کاهش می‌دهد، بنابراین باید ساختار مدل را تغییر داد.

برای حل این موضوع، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار چندلایه ارائه شده‌اند. مدل‌های گوناگونی برای لحاظ کردن ساختار سلسله مراتبی و یا اصطلاحاً چندلایه برای معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. یکی از مدل‌های ارائه شده، توسط منگ^۱ و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شد که مدل DEA را برای ساختار دو لایه معیار و زیرمعیار در نظر گرفته بودند. این مدل غیرخطی بود و وزن زیرمعیارها توسط مدل محاسبه نمی‌شد. آنها برای خطی کردن مدل و وزن‌دهی به زیرمعیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی^۲ استفاده کردند. سپس کائو^۳ (۲۰۰۸) مدل خطی دو لایه را با کمک تغییر متغیر و تعریف متغیرهای جدید ارائه کرد. البته این مدل فقط دو لایه از معیارها و زیرمعیارها را در نظر گرفته و پیشنهادی برای ساختاری با بیش از دو لایه ارائه نکرده است. سپس شن^۴ و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی مدل‌های فوق، فرم خطی DEA را ارائه کردند که در آن بیش از دو لایه در نظر گرفته شده بود و حالت چند لایه‌ای داشت و همچنین وزن معیارها و زیرمعیارها توسط خود مدل محاسبه می‌شد. این DEA چندلایه، در شکل ۹ و مدل ۲، ارائه شده است:



شکل ۹. ساختار سلسله مراتبی تحلیل پوششی داده‌های چندلایه (شن و همکاران، ۲۰۱۱)

Figure 9. Multiple-Layer DEA hierarchical structure (Shen et al., 2011)

در این مدل، $Y_{f_k j}$ نشان‌دهنده زیرمعیار واحد j ام برای معیار f در سطح k است. در این مدل مقدار $Y_{f_1 j}$ نشان‌دهنده مقدار نرمال شده هر یک از زیرمعیارها در پایین‌ترین سطح سلسله مراتب معیارها است. همچنین $\hat{U}_{f_k}$ نشان‌دهنده وزن معیار f در سطح k است. بعد از محاسبه وزن تمام زیرمعیارها در لایه آخر، متغیر U_{f_k} بعنوان وزن هر معیار در لایه اول بر اساس جمع وزن تمام زیرمعیارهای هر معیار محاسبه می‌شود. متغیر $P_{f_k}^{(k)}$ نشان‌دهنده سهم هر یک از زیرمعیارهای معیار f است. این سهم همان فراوانی نسبی وزن زیرمعیارها در هر معیار است. همچنین برای افزایش

1. Meng et al
2. Analytic Hierarchy Process
3. Kao
4. Shen et al

قدرت تمایز بین واحدها، می‌توان با نظر خبرگان، قیدهایی را بر روی وزن معیارها و زیرمعیارها اعمال کرد. مدل تحلیل پوششی داده‌های چندلایه برای ارزیابی عملکرد در موارد بسیاری که در آنها شاخص‌ها ساختار سلسله مراتبی داشته‌اند مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\begin{aligned}
 E_0 = \text{Max} \quad & \sum_{f_l=1}^S \hat{u}_{f_l} y_{f_l0} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{g_l=1}^m \hat{v}_{g_l} x_{g_l0} = 1 \\
 & \sum_{f_l=1}^S \hat{u}_{f_l} y_{f_lj} - \sum_{g_l=1}^m \hat{v}_{g_l} x_{g_lj} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \\
 & \sum_{f_l \in A_{f_k}^{(K)}} \hat{u}_{f_l} = u_{f_k}, \quad f_l=1, \dots, S, \quad f_k=1, \dots, S^{(K)} \\
 & \sum_{g_l \in B_{g_l}^{(L)}} \hat{v}_{g_l} = v_{g_l}, \quad g_l=1, \dots, m, \quad g_l=1, \dots, m^{(L)} \\
 & \sum_{f_l \in A_{f_k}^{(k)}} \hat{u}_{f_l} / \sum_{f_l \in A_{f_{k+1}}^{(k+1)}} \hat{u}_{f_l} = p_{f_k}^{(k)}, \quad f_k=1, \dots, S^{(k)}, \quad k=1, \dots, K-1 \\
 & \sum_{g_l \in B_{g_l}^{(l)}} \hat{v}_{g_l} / \sum_{g_l \in B_{g_{l+1}}^{(l+1)}} \hat{v}_{g_l} = q_{g_l}^{(l)}, \quad g_l=1, \dots, m^{(l)}, \quad l=1, \dots, L-1 \\
 & u_{f_k}, v_{g_l} \geq \varepsilon, \quad f_k=1, \dots, S^{(K)}, \quad g_l=1, \dots, m^{(L)} \\
 & p_{f_k}^{(k)} \geq \zeta, \quad f_k=1, \dots, S^{(k)}, \quad k=1, \dots, K-1 \\
 & q_{g_l}^{(l)} \geq \zeta, \quad g_l=1, \dots, m^{(l)}, \quad l=1, \dots, L-1 \\
 & \hat{u}_{f_l}, \hat{v}_{g_l} \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon, \quad f_l=1, \dots, S, \quad g_l=1, \dots, m
 \end{aligned}
 \tag{مدل ۲}$$

۳.۴. مدل DEA چند لایه با ورودی‌های مشترک

بر اساس آنچه پیش‌تر تشریح شد، سه مرحله برای ارزیابی کارایی اقتصاد دانش‌بنیان در چارچوب رویکرد RBM تعریف گردید. با توجه به اینکه در این رویکرد، تمرکز بر به حداکثر رساندن نتایج (خروجی‌ها) در برابر منابع مصرفی است، مدل CCR ورودی‌محور برای تحلیل کارایی مناسب است؛ چرا که با منطق این رویکرد و ماهیت اقتصاد

دانش‌بنیان هم‌خوانی بیشتری دارد و امکان ارزیابی اثربخشی کارایی در هر مرحله را فراهم می‌سازد. همچنین با توجه به اینکه این مراحل شامل شاخص‌های ورودی و خروجی متعددی هستند که از نظر مفهومی قابل دسته‌بندی در گروه‌های معناداری هستند، برای حفظ قدرت تمایز مدل، باید از مدل‌های DEA چندلایه استفاده کرد. از طرفی شاخص‌های ورودی، شامل ورودی‌های اختصاصی، ورودی‌های مشترک بین دو مرحله، و ورودی‌ها مشترک بین سه مرحله هستند. طبق نظر خبرگان، به‌منظور حفظ تمایز نقش ورودی‌های اختصاصی در هر مرحله، برای ورودی‌های مشترک وزن‌هایی کمتر از اختصاصی‌ها در نظر گرفته شده است. از اینرو این سهم‌ها که در مدل‌ها با α_1 ، α_2 و α_3 نمایش داده شده است، در زمان اجرای مدل‌ها با اعداد مربوطه مطابق جدول ۳ جایگزین می‌شوند. بعنوان مثال برای باکس "تعامل و هم‌افزایی برای توسعه و نوآوری" که ورودی مشترک بین مرحله اول و دوم است، مقدار α_3 صفر و مقدار α_1 و α_2 برابر ۰.۵ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳. سهم مراحل مدل از شاخص‌های مشترک

Table 3. Stage Proportions of the Model from Shared Inputs

$\alpha_1 = 0/5$	$\alpha_2 = 0/5$	$\alpha_3 = 0$	شاخص‌های مشترک بین مرحله اول و دوم
$\alpha_1 = 0$	$\alpha_2 = 0/5$	$\alpha_3 = 0/5$	شاخص‌های مشترک بین مرحله دوم و سوم
$\alpha_1 = 0/33$	$\alpha_2 = 0/33$	$\alpha_3 = 0/33$	شاخص‌های مشترک بین مرحله اول و دوم و سوم

بر اساس تمام توضیحات ذکر شده، در ادامه مدل‌های ریاضی مناسب برای سه مرحله تعریف‌شده، ارائه می‌گردد که پارامترهای آن به شرح زیر است:

$\hat{v}_{a1}^1$: وزن ورودی اختصاصی a ام مرحله اول در پایین‌ترین لایه	m^1 : تعداد ورودی اختصاصی مرحله اول در پایین‌ترین لایه
$\hat{v}_{b1}^2$: وزن ورودی اختصاصی b ام مرحله دوم در پایین‌ترین لایه	m^2 : تعداد ورودی اختصاصی مرحله دوم در پایین‌ترین لایه
$\hat{v}_{c1}^3$: وزن ورودی اختصاصی c ام مرحله سه در پایین‌ترین لایه	m^3 : تعداد ورودی اختصاصی مرحله سه در پایین‌ترین لایه
$\hat{v}_{d1}^4$: وزن ورودی مشترک d ام در پایین‌ترین لایه	m^4 : تعداد ورودی مشترک در پایین‌ترین لایه
$\hat{w}_{e1}^1$: وزن خروجی e ام مرحله اول در پایین‌ترین لایه	s^1 : تعداد خروجی مرحله اول در پایین‌ترین لایه
$\hat{w}_{f1}^2$: وزن خروجی f ام مرحله دوم در پایین‌ترین لایه	s^2 : تعداد خروجی مرحله دوم در پایین‌ترین لایه
$\hat{w}_{r1}$: وزن خروجی r ام مرحله سوم در پایین‌ترین لایه	s^3 : تعداد خروجی مرحله سوم در پایین‌ترین لایه

DMUj: واحد تصمیم‌گیری j ام ($j=1, \dots, n$)

X_{a1j}^1 : ورودی اختصاصی a ام مرحله اول واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($a=1, \dots, m^1$)

X_{b1j}^2 : ورودی اختصاصی b ام مرحله دوم واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($b=1, \dots, m^2$)

X_{c1j}^3 : ورودی اختصاصی c ام مرحله سوم واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($c=1, \dots, m^3$)

X_{d1j}^4 : ورودی مشترک d ام واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($d=1, \dots, m^4$)

Z^1_{e1j} : خروجی e ام مرحله اول واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($e=1, \dots, s^1$)

Z^2_{f1j} : خروجی f ام مرحله دوم واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($f=1, \dots, s^2$)

Y_{r1j} : خروجی r ام مرحله سوم واحد تصمیم‌گیری j در پایین‌ترین لایه ($r=1, \dots, s^3$)

E_k^1 : کارایی مرحله اول واحد تصمیم‌گیری k

E_k^2 : کارایی مرحله دوم واحد تصمیم‌گیری k

E_k^3 : کارایی مرحله سوم واحد تصمیم‌گیری k

α_{1d1} و α_{2d1} و α_{3d1} : به ترتیب سهم مرحله اول، دوم و سوم از ورودی‌های مشترک در پایین‌ترین لایه

وزن هر معیار در هر لایه (لایه H, P, L, Q, O, T و G): بر اساس جمع وزن تمام زیرشاخص‌های پایین‌ترین لایه

$\beta_{r_g}^{(g)} \quad r_g \in A_{r_g+1}^{(g+1)}, \Omega_{a_h}^{(h)} \quad a_h \in B_{a_h+1}^{(h+1)}, \Phi_{b_p}^{(p)} \quad b_p \in C_{b_p+1}^{(p+1)}, \gamma_{c_l}^{(l)} \quad c_l \in D_{c_l+1}^{(l+1)}, \lambda_{d_q}^{(q)} \quad d_q \in E_{d_q+1}^{(q+1)}, \mu_{e_o}^{(o)} \quad e_o \in F_{e_o+1}^{(o+1)}, \psi_{f_t}^{(t)} \quad f_t \in G_{f_t+1}^{(t+1)}$: سهم هر یک از زیرشاخص‌های هر معیار در هر لایه

مرحله اول "پژوهش در آموزش عالی و تحقیق و توسعه در مؤسسات تحقیقاتی" است که در شکل ۵ نمایش داده شد. کارایی مرحله اول بعد از خطی‌سازی بصورت مدل ۳ محاسبه می‌شود:

$$E^1_k = \sum_{e1=1}^{S1} \hat{w}^1_{e1} Z^1_{e1k}$$

s.t.

$$\sum_{a1=1}^{m1} \hat{v}^1_{a1} X^1_{a1k} + \sum_{d1=1}^{m4} \alpha_{1d1} \hat{v}^4_{d1} X^4_{d1k} = I$$

$$\sum_{e1=1}^{S1} \hat{w}^1_{e1} Z^1_{e1j} - \sum_{a1=1}^{m1} \hat{v}^1_{a1} X^1_{a1j} - \sum_{d1=1}^{m4} \alpha_{1d1} \hat{v}^4_{d1} X^4_{d1j} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{a1 \in B_{a1}^{(H)}} \hat{v}^1_{a1} = v^1_{aH}, \quad a1=1, \dots, m^1, \quad aH=1, \dots, m^{1(H)} \quad (\text{مدل ۳})$$

$$\sum_{d1 \in E_{d1}^{(Q)}} \hat{v}^4_{d1} = v^4_{dQ}, \quad d1=1, \dots, m^4, \quad dQ=1, \dots, m^{4(Q)}$$

$$\sum_{e1 \in F_{e1}^{(O)}} \hat{w}^1_{e1} = w^1_{eO}, \quad e1=1, \dots, S^1, \quad eO=1, \dots, S^{1(O)}$$

$$\sum_{a1 \in B_{a1}^{(h)}} \hat{v}^1_{a1} / \sum_{a1 \in B_{a1+1}^{(h+1)}} \hat{v}^1_{a1} = \Omega_{a_h}^{(h)}, \quad a_h=1, \dots, m^{1(h)}, \quad h=1, \dots, H-1$$

$$\sum_{d_l \in E_{d_q}^{(q)}} \hat{v}_{d_l}^4 / \sum_{d_l \in E_{d_{q+1}}^{(q+1)}} \hat{v}_{d_l}^4 = \lambda_{d_q}^{(q)} \quad d_q = 1, \dots, m^{4(q)} \quad , \quad q = 1, \dots, Q-1$$

$$\sum_{e_l \in F_{e_o}^{(o)}} \hat{w}_{e_l}^1 / \sum_{e_l \in F_{e_{o+1}}^{(o+1)}} \hat{w}_{e_l}^1 = \mu_{e_o}^{(o)} \quad e_o = 1, \dots, S^{1(o)} \quad , \quad o = 1, \dots, O-1$$

$$v_{a_H}^1, v_{d_Q}^4, w_{e_O}^1 \geq \varepsilon$$

$$\Omega_{a_h}^{(h)} \quad a_h \in E_{a_{h+1}}^{(h+1)} \quad , \quad \lambda_{d_q}^{(q)} \quad d_q \in E_{d_{q+1}}^{(q+1)} \quad , \quad \mu_{e_o}^{(o)} \quad e_o \in F_{e_{o+1}}^{(o+1)} \geq \zeta$$

$$\hat{v}_{a_l}^1, \hat{v}_{d_l}^4, \hat{w}_{e_l}^1 \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon$$

مرحله دوم با عنوان "تحقیق و توسعه و نوآوری در شرکت های تجاری"، است که در شکل ۶ نمایش داده شد. کارایی مرحله دوم بعد از خطی سازی بصورت مدل ۴ محاسبه می شود:

$$E_k^2 = \sum_{f_l=1}^{S2} \hat{w}_{f_l}^2 Z_{f_l k}^2$$

s.t.

$$\sum_{b_l=1}^{m2} \hat{v}_{b_l}^2 X_{b_l k}^2 + \sum_{d_l=1}^{m4} \alpha_{2d_l} \hat{v}_{d_l}^4 X_{d_l k}^4 + \sum_{e_l=1}^{S1} \hat{w}_{e_l}^1 Z_{e_l k}^1 = I$$

$$\sum_{f_l=1}^{S2} \hat{w}_{f_l}^2 Z_{f_l j}^2 - \sum_{b_l=1}^{m2} \hat{v}_{b_l}^2 X_{b_l j}^2 - \sum_{d_l=1}^{m4} \alpha_{2d_l} \hat{v}_{d_l}^4 X_{d_l j}^4 - \sum_{e_l=1}^{S1} \hat{w}_{e_l}^1 Z_{e_l j}^1 \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{b_l \in C_{b_p}^{(P)}} \hat{v}_{b_l}^2 = v_{b_p}^2 \quad , \quad b_l = 1, \dots, m^2 \quad , \quad b_p = 1, \dots, m^{2(P)}$$

$$\sum_{d_l \in E_{d_q}^{(Q)}} \hat{v}_{d_l}^4 = v_{d_Q}^4 \quad , \quad d_l = 1, \dots, m^4 \quad , \quad d_Q = 1, \dots, m^{4(Q)} \quad (\text{مدل ۴})$$

$$\sum_{e_l \in F_{e_o}^{(O)}} \hat{w}_{e_l}^1 = w_{e_O}^1 \quad , \quad e_l = 1, \dots, S^1 \quad , \quad e_O = 1, \dots, S^{1(O)}$$

$$\sum_{f_l \in G_{f_T}^{(T)}} \hat{w}_{f_l}^2 = w_{f_T}^2 \quad , \quad f_l = 1, \dots, S^2 \quad , \quad f_T = 1, \dots, S^{2(T)}$$

$$\sum_{b_l \in C_{b_p}^{(P)}} \hat{v}_{b_l}^2 / \sum_{b_l \in C_{b_{p+1}}^{(P+1)}} \hat{v}_{b_l}^2 = \Phi_{b_p}^{(P)} \quad b_p \in C_{b_{p+1}}^{(P+1)} \quad , \quad b_p = 1, \dots, m^{2(p)} \quad , \quad p = 1, \dots, P-1$$

$$\sum_{d_l \in E_{d_q}^{(q)}} \hat{v}_{d_l}^4 / \sum_{d_l \in E_{d_{q+1}}^{(q+1)}} \hat{v}_{d_l}^4 = \lambda_{d_q}^{(q)} \quad d_q = 1, \dots, m^{4(q)} \quad , \quad q = 1, \dots, Q-1$$

$$\sum_{e_l \in F_{e_o}^{(o)}} \hat{w}_{e_l}^1 / \sum_{e_l \in F_{e_o+1}^{(o+1)}} \hat{w}_{e_l}^1 = \mu_{e_o}^{(o)} \quad e_o \in F_{e_o+1}^{(o+1)}, \quad e_o = 1, \dots, S^{l(o)}, \quad o = 1, \dots, O-1$$

$$\sum_{f_t \in G_{f_t}^{(t)}} \hat{w}_{f_t}^2 / \sum_{f_t \in G_{f_t+1}^{(t+1)}} \hat{w}_{f_t}^2 = \psi_{f_t}^{(t)} \quad f_t \in G_{f_t+1}^{(t+1)}, \quad f_t = 1, \dots, S^{2(t)}, \quad t = 1, \dots, T-1$$

$$v_{b_p}^2, v_{d_Q}^4, w_{e_o}^1, w_{f_T}^2 \geq \varepsilon$$

$$\phi_{b_p}^{(P)} \quad b_p \in C_{b_{p+1}}^{(P+1)}, \quad \lambda_{d_q}^{(q)} \quad d_q \in E_{d_{q+1}}^{(q+1)}, \quad \mu_{e_o}^{(o)} \quad e_o \in F_{e_o+1}^{(o+1)}, \quad \psi_{f_t}^{(t)} \quad f_t \in G_{f_t+1}^{(t+1)} \geq \zeta$$

$$v_{b_l}^2, v_{d_l}^4, \hat{w}_{e_l}^1, \hat{w}_{f_l}^2 \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon$$

مرحله سوم که به "توسعه کسب و کار دانش‌بنیان و تجاری‌سازی ایده‌ها" اختصاص دارد در شکل ۷ نمایش داده شد. کارایی مرحله سوم بعد از خطی‌سازی بصورت مدل ۵ محاسبه می‌شود:

$$E_k^3 = \sum_{r=1}^{S3} \hat{u}_{r1} Y_{r1k}$$

s.t.

$$\sum_{c=1}^{m3} \hat{v}_{c1}^3 X_{c1k}^3 + \sum_{d=1}^{m4} \alpha_{3d1} \hat{v}_{d1}^4 X_{d1k}^4 + \sum_{f=1}^{S2} \hat{w}_{f1}^2 Z_{f1k}^2 = I$$

$$\sum_{r=1}^{S3} \hat{u}_{r1} Y_{r1j} - \sum_{c=1}^{m3} \hat{v}_{c1}^3 X_{c1j}^3 - \sum_{d=1}^{m4} \alpha_{3d1} \hat{v}_{d1}^4 X_{d1j}^4 - \sum_{f=1}^{S2} \hat{w}_{f1}^2 Z_{f1j}^2 \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

(مدل ۵)

$$\sum_{r_l \in A_{r_g}^{(G)}} \hat{u}_{r_l} = u_{r_g}, \quad r_l = 1, \dots, S^3, \quad r_g = 1, \dots, S^{3(G)}$$

$$\sum_{c_l \in D_{c_L}^{(L)}} \hat{v}_{c_l}^3 = v_{c_L}^3, \quad c_l = 1, \dots, m^3, \quad c_L = 1, \dots, m^{3(L)}$$

$$\sum_{d_l \in E_{d_Q}^{(Q)}} \hat{v}_{d_l}^4 = v_{d_Q}^4, \quad d_l = 1, \dots, m^4, \quad d_Q = 1, \dots, m^{4(Q)}$$

$$\sum_{f_t \in G_{f_T}^{(T)}} \hat{w}_{f_t}^2 = w_{f_T}^2, \quad f_t = 1, \dots, S^2, \quad f_T = 1, \dots, S^{2(T)}$$

$$\sum_{r_l \in A_{r_g}^{(g)}} \hat{u}_{r_l} / \sum_{r_l \in A_{r_{g+1}}^{(g+1)}} \hat{u}_{r_l} = \beta_{r_g}^{(g)} \quad , \quad r_g = 1, \dots, S^{3(g)} \quad , \quad g = 1, \dots, G-1$$

$$\sum_{c_l \in D_{c_l}^{(l)}} \hat{v}_{c_l}^3 / \sum_{c_l \in D_{c_{l+1}}^{(l+1)}} \hat{v}_{c_l}^3 = \gamma_{c_l}^{(l)} \quad , \quad c_l = 1, \dots, m^{3(l)} \quad , \quad l = 1, \dots, L-1$$

$$\sum_{d_l \in E_{d_q}^{(q)}} \hat{v}_{d_l}^4 / \sum_{d_l \in E_{d_{q+1}}^{(q+1)}} \hat{v}_{d_l}^4 = \lambda_{d_q}^{(q)} \quad , \quad d_q = 1, \dots, m^{4(q)} \quad , \quad q = 1, \dots, Q-1$$

$$\sum_{f_t \in G_{f_t}^{(t)}} \hat{w}_{f_t}^2 / \sum_{f_t \in G_{f_{t+1}}^{(t+1)}} \hat{w}_{f_t}^2 = \psi_{f_t}^{(t)} \quad , \quad f_t = 1, \dots, S^{2(t)} \quad , \quad t = 1, \dots, T-1$$

$$u_{r_g} \quad , \quad v_{c_l}^3 \quad , \quad v_{d_q}^4 \quad , \quad w_{f_t}^2 \geq \varepsilon$$

$$\beta_{r_g}^{(g)} \quad , \quad \gamma_{c_l}^{(l)} \quad , \quad \lambda_{d_q}^{(q)} \quad , \quad \psi_{f_t}^{(t)} \geq \zeta$$

$$\hat{u}_{r_l} \quad , \quad \hat{v}_{c_l}^3 \quad , \quad \hat{v}_{d_l}^4 \quad , \quad \hat{w}_{f_l}^2 \geq \zeta^{(K-1)} \varepsilon$$

بدین ترتیب مدل‌های ریاضی مناسب برای ارزیابی کارایی مراحل داخلی اقتصاد دانش‌بنیان بر اساس رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه تکمیل شد. در بخش بعد با مدل‌های ریاضی طراحی شده، کارایی کشورهای منتخب ارزیابی می‌شود.

۵. آنالیز تجربی

۱.۵. داده‌ها

از آنجایی که یکی از شروط استفاده از مدل‌های DEA، همگنی واحدهای تصمیم‌گیری (در این تحقیق کشورها) است، از این رو ایران و ۲۴ کشور از بین کشورهای در حال توسعه انتخاب شده است تا این شرط رعایت شود. داده‌های کشورها از بانک‌های اطلاعاتی معتبر برای بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ برای هر شاخص استخراج شد و میانگین این داده‌های ۵ ساله مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی وضعیت داده‌های گمشده در شاخص‌ها و طبق نظر خبرگان، شاخص‌هایی که داده‌های گمشده آنها کمتر از ۲۲٪ بودند حفظ شدند. زیرا برای درصدهای کمتر، شاخص‌های مهمی از مدل حذف می‌شدند بطوریکه مدل مفهومی را دچار اشکال کرده و امکان انجام تحلیل‌های مورد نظر را از بین می‌برد. از این رو از کل ۶۶ شاخص اولیه، ۶۳ شاخص در مدل باقی ماند و ۳ شاخص حذف شدند شامل: "شرکت‌هایی که برای تحقیق و توسعه پول خرج می‌کنند (درصد)"؛ "شرکت‌هایی که کالا و خدمات تازه تولید می‌کنند (درصد)"؛ "نسبت کارگران ماهر تولیدی". در نهایت داده‌های باقیمانده با روش min-max نرمال شدند.

۲.۵. محدودیت‌های وزنی

مطابق با مدل‌های DEA چندلایه، فرمول‌های زیر برای تعیین کران پایین و بالای وزن زیرشاخص‌های مدل استفاده شده است. این محدودیت‌های وزنی بر اساس شدنی بودن مدل و منطقی بودن نتایج (طبق نظر خبرگان) تعیین شده است.

$$\varepsilon = 0.02 \quad \text{کران پایین زیرشاخص‌های معیار F ام} = \frac{1}{\text{تعداد زیرشاخص‌های معیار F ام}} * 0.02$$

$$\zeta = 0.1 \quad \text{کران بالای زیرشاخص‌های معیار F ام} = \frac{1}{\text{تعداد زیرشاخص‌های معیار F ام}} * 1$$

مدل‌ها با نرم افزار لینگو کدنویسی و حل شد و خلاصه‌ای از نتایج بدست آمده در ادامه ارائه شده است.

۳.۵. نتایج و یافته‌های تجربی

برای محاسبه کارایی هر مرحله، از مدل تحلیل پوششی داده‌های دولایه (مدل‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب برای مرحله اول، دوم و سوم) استفاده شده است و امتیاز کارایی کل از میانگین موزون کارایی بخش‌ها (وزن مراحل مساوی و ۰.۳۳ در نظر گرفته شد) محاسبه شده است. امتیازات کارایی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. امتیازات کارایی مراحل داخلی اقتصاد دانش‌بنیان و کارایی کل

Table 4. Overall and internal stages efficiency scores of the Knowledge-Based Economy

ردیف	کشور	کارایی کل	رتبه کل	کارایی مرحله ۱	رتبه	کارایی مرحله ۲	رتبه	کارایی مرحله ۳	رتبه
1	ارمنستان	0.4868	7	0.5263	4	0.4686	14	0.4654	16
2	آذربایجان	0.2955	25	0.1082	22	0.4293	21	0.3490	24
3	بحرین	0.3089	24	0.0465	25	0.4519	17	0.4283	19
4	برزیل	0.5395	4	0.5318	3	0.5822	8	0.5043	11
5	شیلی	0.4686	9	0.4350	8	0.6242	6	0.3464	25
6	مصر	0.4362	11	0.2793	13	0.4551	16	0.5743	1
7	هند	0.4951	6	0.4831	6	0.4843	13	0.5180	8
8	اندونزی	0.3218	23	0.1259	20	0.4382	20	0.4014	23
9	ایران	0.6839	1	0.8145	1	0.6703	4	0.5668	2
10	اردن	0.3849	17	0.3053	11	0.4429	19	0.4064	22
11	قزاقستان	0.3243	22	0.1167	21	0.3463	25	0.5100	9
12	کویت	0.4137	12	0.0986	24	0.6111	7	0.5314	6
13	مالزی	0.4106	13	0.3174	10	0.4601	15	0.4543	17
14	مکزیک	0.3870	16	0.3191	9	0.3653	23	0.4764	14
15	عمان	0.3694	20	0.1053	23	0.4972	12	0.5058	10

21	0.4110		9	0.5331		14	0.2677		14	0.4039		پاکستان	16
4	0.5570		18	0.4503		19	0.1368		18	0.3814		فیلیپین	17
5	0.5319		10	0.5234		18	0.1377		15	0.3977		قطر	18
3	0.5656		11	0.5133		2	0.6349		3	0.5713		روسیه	19
15	0.4698		5	0.6404		12	0.3006		8	0.4703		عربستان	20
20	0.4129		3	0.6761		7	0.4554		5	0.5148		آفریقای جنوبی	21
13	0.4766		22	0.4012		15	0.2657		19	0.3812		تایلند	22
12	0.4935		1	0.8044		5	0.5006		2	0.5995		ترکیه	23
18	0.4500		2	0.7665		17	0.1379		10	0.4515		امارات	24
7	0.5311		24	0.3516		16	0.2158		21	0.3662		ویتنام	25

همانطور که از اعداد جدول ۴ مشخص است در بین کشورهای در حال توسعه منتخب، بالاترین کارایی کل با میزان ۰.۶۸ به کشور ایران تعلق دارد. رتبه ایران در کارایی مراحل نیز بسیار خوب است بگونه‌ای که در مرحله اول رتبه ۱، در مرحله دوم رتبه ۴ و در مرحله سوم رتبه ۲ را دارد که نشان می‌دهد این کشور کارایی خوبی در مراحل داخلی اقتصاد دانش بنیان دارد. رتبه دوم کارایی کل مربوط به کشور ترکیه است. این کشور نیز رتبه خوبی در مرحله اول (رتبه ۵) و مرحله دوم (رتبه ۱) دارد، هرچند رتبه مرحله سوم آن ۱۲ ام می‌باشد. کشور روسیه که رتبه سوم کارایی کل را دارد نیز کارایی مناسبی در مرحله اول (رتبه ۲) و مرحله سوم (رتبه ۳) دارد، هرچند رتبه دوم آن ۱۱ است. بدترین کارایی کل، مربوط به کشور آذربایجان و بحرین است.

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین کارایی کشورهای مورد بررسی در مرحله اول (تولید نتایج کوتاه مدت) برابر با ۰.۳۰، در مرحله دوم (نتایج میان مدت) برابر با ۰.۵۲ و در مرحله سوم (نتایج بلند مدت) معادل ۰.۴۸ بوده است؛ در حالی که امتیازات ایران در این سه مرحله به ترتیب ۰.۸۱، ۰.۶۷ و ۰.۵۷ است. این ارقام نشان می‌دهند که ایران در هر سه مرحله از میانگین کشورهای هم گروه بالاتر قرار دارد و بخصوص امتیاز کارایی مرحله اول ایران (۰.۸۱) نسبت به میانگین کارایی کشورها (۰.۳) فاصله زیادی دارد، که نشان دهنده عملکرد خیلی مناسب تر ایران در این مرحله نسبت به سایر کشورها دارد.

نکته قابل توجه آن است که در برخی کشورها، علی رغم برخورداری از عملکرد نسبتاً مناسب در یک یا دو مرحله، امتیاز کارایی کل پایین تری مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که عدم توازن کارایی میان مراحل مختلف وجود دارد. در مقابل، ایران علاوه بر کسب امتیازهای بالا، از توازن نسبی در کارایی میان مراحل برخوردار بوده است، که خود یک نقطه قوت در ساختار درونی اقتصاد دانش بنیان کشور محسوب می‌شود.

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش، چارچوبی نوین برای ارزیابی کارایی اقتصاد دانش بنیان کشورها ارائه شد که برای نخستین بار از رویکرد مدیریت مبتنی بر نتیجه (RBM) برای مدل سازی مراحل داخلی این نوع اقتصاد بهره می‌گیرد. برخلاف مدل های متداول

پیشین که اقتصاد دانش‌بنیان را به صورت یک جعبه سیاه در نظر می‌گرفتند، این تحقیق با تفکیک ساختار درونی اقتصاد دانش‌بنیان به سه مرحله زنجیره‌ای (نتایج کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت)، امکان ارزیابی دقیق‌تر عملکرد هر مرحله را فراهم کرده است. برای حفظ شاخص‌های کلیدی شناسایی شده توسط خبرگان و رفع چالش تعدد شاخص‌ها، از مدل تحلیل پوششی داده‌های چندلایه (Multi-layer DEA) با ساختار سلسله‌مراتبی استفاده شد که قدرت تمایز بالایی دارد. برای تحلیل از میانگین داده‌های سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۶ استفاده شد و نتایج به دست آمده نشان داد که ایران، در میان ۲۵ کشور در حال توسعه مورد بررسی، بالاترین کارایی کل و همچنین رتبه‌های قابل توجهی در هر سه مرحله دارد. از جمله نکات کلیدی یافته‌ها، وجود توازن نسبی در عملکرد سه مرحله‌ای اقتصاد دانش‌بنیان ایران است. با توجه به اینکه اقتصاد دانش‌بنیان بستر مناسبی برای گسترش نوآوری و تقویت کارآفرینی فناورانه فراهم می‌کند، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی الهام‌بخش برای سیاست‌گذاری‌های آینده در راستای حمایت از کارآفرینان و تخصیص مؤثر منابع به فعالیت‌های نوآورانه باشد.

با وجود مزایای روش به کار رفته، باید توجه داشت که مراحل اقتصاد دانش‌بنیان در واقعیت به صورت پیوسته و در تعامل مستقیم با یکدیگر عمل می‌کنند؛ به گونه‌ای که خروجی یک مرحله، بر روی ورودی مرحله بعد اثر دارد. از این رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، از مدل‌هایی با ساختار شبکه‌ای یا دینامیک بهره گرفته شود تا تعاملات داخلی مراحل، با دقت بالاتری مدنظر قرار گیرند. چنین رویکردهایی می‌توانند به تصمیم‌گیران کمک کنند تا با درک دقیق‌تری از روابط درونی ساختار اقتصاد دانش‌بنیان، سیاست‌های توسعه‌ای مؤثرتری طراحی کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

بنا به اظهار نویسندگان، تمام اصول اخلاق پژوهش در آماده‌سازی این مقاله رعایت شده است.

تعارض منافع

بنا به اظهار نویسندگان، در این مقاله هیچ گونه تعارض منافع وجود ندارد.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

References

- Andrés, A. R., Otero, A., & Amavilah, V. H. (2021). Using deep learning neural networks to predict the knowledge economy index for developing and emerging economies. *Expert Systems with Applications*, vol. 184, no. 1, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115514>
- APEC (2000). Towards Knowledge Based Economies in APEC, *APEC Economic Committee*. <https://apec.org/docs/publications/2000/11>
- Ayan, T.Y., & Pabuccu, H. (2018) The assessment of knowledge economy efficiency: Comparing Turkey with the European Union countries. *Zb. Rad. Ekon. Fak. Rij*, 36, 443–464. <https://doi.org/10.18045/zbefri.2018.2.443>
- Becker, G. S. (1964). Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. *Columbia University Press*.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, C. K. (2008). Construct model of the knowledge-based economy indicators. *Transformations in business & Economics*, 7 (2), 21-31.
- Cherchye, L., Moesen, W., & Rogge, N. (2011). Van Puyenbroeck, T. Constructing composite indicators with imprecise data: A proposal. *Expert Systems with Applications*, 38, 10940–10949. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.136>
- Dutta, S., Lanvin, B., Rivera Leon, L., & Wunsch-Vincent, S (2022). The Global Innovation Index. Available at <https://www.globalinnovationindex.org>.
- Eidmohammadzadeh, H., Rezaei, J., Faghih-nasiri, M., & Tavakoli-faghdada-abad, M. R. (2007). Evaluating the Efficiency of Knowledge Economy Using a Mathematical Programming Model (Iran and Regional Countries). *Journal of Economic Research Journal*, Vol. 10, No. 1, Spring. 115-135. https://joer.atu.ac.ir/article_2796.html [in persian]
- Fallah, E., & Salami, R. (2016). A Comparative Study of the Knowledge-Based Economy of Iran and Selected Asian Countries, and a Roadmap for Improving Iran's Status. *Journal of Economic Development Policy*, Alzahra University, Vol. 4, No. 4, Winter. 145-169. https://ieda.alzahra.ac.ir/article_3089.html [in persian]
- Fucec, A. A., & Corina, M. (2014). "Knowledge economies in European Union: Romania's position", *Emerging Markets Queries in Finance and Business*, Vol. 15, No. 481–489. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00489-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00489-4)
- Guaita, J.M., Martín, J.M., Ostos, M.S., & de Castro-Pardo, M. (2021). Constructing knowledge economy composite indicators using an MCA-DEA approach. *Econ. Res.-Ekon. Istraz.*, VOL. 34, NO. 1, 331–351. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1782765>
- Kao, C. (2008). A linear formulation of the two-level DEA model. *Omega*, Vol. 36, pp. 958-962. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2008.01.002>
- Katuščáková, M., Capková, E., & Grečnár, J. (2023). How to Measure Knowledge Economy. *Electronic Journal of knowledge management*, 21(2), 87-102. <https://doi.org/10.34190/ejkm.21.2.3025>
- Kusek, J. Z., & Rist, R. C. (2004). Ten steps to a results-based monitoring and evaluation system. *A Handbook for Development Practitioners*. Volume 289, World Bank Publications.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3 - 42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Meng, W., Zhang, D., Qi, L., & Liu, W. (2008). Two-level DEA approaches in research evaluation, *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 36, pp. 950-957. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2007.12.005>
- Moynihán, D. (2005). Why and How Do State Governments Adopt and Implement Managing for Results Reforms?. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1(15), pp. 219-243. <https://doi.org/10.1093/jopart/mui012>

- Noori, J., Bonyadi-Naeini, A., & Esmaeilzadeh, M. (2016). Determining Iran's Position in the Region in Terms of Knowledge-Based Economy Based on a Clustering Algorithm. *Journal of Strategic and Macro Policies*, Vol. 4, Special Issue on Resistance Economy, pp. 133-155. Autumn. https://www.jmsp.ir/article_38477.html [in persian]
- OECD. (1996). The Knowledge Based Economy. Paris. General distribution, OCDE/GD (96)102.
- Paz-Marin, M., Gutierrez-Pena, P. A., & Martinez, C. (2015). Classification of countries' progress toward a knowledge economy based on machine learning classification techniques. *Expert Systems with Applications*, 42(1), 562-572. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.08.008>
- Romer, P.M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, S71-S102. <http://dx.doi.org/10.1086/261725>
- Schumpeter, J. A. (1934). The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. *Harvard University Press*.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., & Vanhoof, K. (2011). "A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation". *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 12, pp. 15262-15272. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.073>
- Smith, A. (1976), "An Inquiry into the Nature and Cause of the Wealth of Nations". *Oxford: Clarendon Press*.
- Tan, H. B., & Hooy, C.W. (2007). The Development of East Asian Countries Towards a Knowledge-based Economy, A DEA Analysis. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 12:1. <https://doi.org/10.1080/13547860601083538>
- Tan, H. B., Hooy, C.W., Manzoni, A., & Islam, S. M. N. (2008). Relative efficiency measures for the knowledge economies in the Asia Pacific region. *Journal of Modeling in Management*, 3:2, 111-124. <https://doi.org/10.1108/17465660810890108>
- UNDP & MBRF (United Nations Development Program & Mohammed Bin Rashid Al Maktoum Knowledge Foundation). (2022). Global Knowledge Index. Available at: <https://gki.knowledge4all.com>
- World Bank "Knowledge Assessment Methodology (KAM)". (2012). World Bank Institute. Available at: <http://www.worldbank.org/kam>