

The Impact of Knowledge-Based Economy Components on Performance of Environment: A Comparative Study of Iran and Neighboring Countries

*M. Salehnia*¹

Received: 17 November, 2024 Accepted: 13 July, 2025

Introduction: Knowledge-Based Economy (KBE) is often explained as a possible way for society to achieve sustainable economic growth, and solve various environmental challenges caused by the increasing scarcity of resources. Today, in most countries, the process of sustainable development is well aligned with the development process of KBE. To achieve appropriate changes, these two processes need to be coordinated. Based on this, this study aimed mainly at focusing on the factors related to KBE, that improves the environmental situation, increases competitiveness, and achieves sustainability in Iran. Despite all the advantages of KBE and its role in the development of countries, according to the latest ranking of KBE in 2012 by the World Bank, Iran's economy was not in a good place among other countries. Also, currently one of the most important issues at the global and national level in many countries of the world is environmental issues, and for this reason, several environmental indicators were proposed to monitor the processes of environmental destruction. One of the most important indicators, which is currently widely used as a benchmark for comparing countries and is published biannually regarding environmental protection, is the Environmental Performance Index (EPI). In this research, an attempt was made to investigate the effect of KBE components on Environmental Performance Index (EPI) of Iran and neighboring countries.

Materials and Methods: The World Bank identified four pillars in the framework of KBE, including economic and institutional regime, education and skills, information and communication infrastructure, and innovation system. Each of these pillars consists of indicators. The Knowledge Economy Index (KEI), developed by the World Bank for the Knowledge Assessment Method (KAM), examines whether the environment is suitable for the effective use of

1. Assistant Professor, Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute (APERDRI), Tehran, Iran (m.salehnia@agri-peri.ac.ir).

knowledge for economic development. KEI is a comprehensive index equivalent to the average normalized scores of the performance of a country or region in each of the four pillars, indicating the overall progress of that country or region from the perspective of the knowledge economy. On the other hand, the environmental performance index is also a composite index that summarizes country-level data on 40 specific indicators. In this study, while knowing the components of the Environmental Performance Index (EPI) and the Knowledge-Based Economy (KBE), the performance of EPI was evaluated against each of the dimensions of the knowledge-based economy. For this purpose, the components of the KBE were included in the modeling once in the form of four pillars in a separate form, and again in the form of the KEI composite index. The studied countries included Iran, Türkiye, Iraq, Pakistan, Azerbaijan and Armenia.

Results and Discussion: According to the study results, the highest score obtained in the composite index of KBE belongs to Türkiye with a value of 7.27, and after that, Armenia and Iran are in almost the same rank with an average of 5.85 and 5.57, respectively. In terms of the constituent elements of the KBE, Armenia performed better than other countries in providing an economic and institutional regime, and the same was true for Türkiye in education and skills. Azerbaijan and Iran countries were leaders in the field of information and communication infrastructure, and innovation system, respectively. The estimation of the final model of the panel data with the Generalized Least Squares (GLS) method indicated that the share of government education expenditures in the GDP (related to the education and skills component) was the only variable that had a positive effect on the Environmental Performance Index (EPI). In such a way that with a one percent increase in the share of education expenses, EPI would increase by 0.336 percent. The variable of the volume of international trade (one of the indicators of the pillar of the economic and institutional regime) and the variable of the share of research and development expenses in GDP (belonging to the pillar of the innovation system) showed a significant negative effect on the environmental performance of countries. Similarly, the composite index of the KBE also had an inverse relationship with EPI.

Conclusion and Suggestions: Based on the results, it is necessary to adopt strict environmental laws for the activities of relevant units, especially foreign companies, in order to prevent pollution and resource depletion. Avoiding the sale of raw materials and exporting products with higher value-added is recommended in this regard. In the case of Iran, with a high rank in the pillar of the innovation system, the development of the export of technical and engineering services can

be considered. Keeping in mind the positive effect of investing in education and human resource development, it is recommended to pay attention to increasing the share of government education in the GDP. It should also be ensured that the resources needed to finance education are distributed fairly in educational levels, programs and regions to improve the enrollment rate and quality of education.

Keywords: *Environmental Performance Index (EPI), Generalized Least Squares (GLS), Knowledge-Based Economy (KBE), Panel Data.*

JEL Classification: Q56, Q59

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۳۱، پاییز ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر عملکرد محیط زیست: مقایسه ایران با کشورهای همسایه

مینا صالح‌نیا^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲

چکیده

اقتصاد دانش‌بنیان (KBE)، به‌طور معمول، به‌عنوان یک راهکار بالقوه برای تحقق رشد اقتصادی پایدار در جامعه مطرح می‌شود و می‌تواند در رفع چالش‌های مختلف زیست‌محیطی ناشی از کمبود روزافزون منابع، مؤثر باشد. از این‌رو، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) در ایران و کشورهای همسایه شامل ترکیه، عراق، پاکستان، جمهوری آذربایجان و ارمنستان بود. بدین منظور، شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان برای کشورهای مورد مطالعه با استفاده از روش ارزیابی دانش بانک جهانی طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۶ محاسبه و سپس، تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر عملکرد محیط زیست در چارچوب داده‌های پانل و با به‌کارگیری روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته (GLS) بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان، ترکیه با میانگین ۷/۲۷ بیشترین امتیاز را کسب کرده است؛ پس از آن، ارمنستان و ایران، به‌ترتیب، با میانگین‌های ۵/۸۵ و ۵/۵۷ در رتبه‌های بعدی

۱- استادیار اقتصاد کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران، ایران.
(m.salehnia@agri-peri.ac.ir)

DOI: 10.30490/aead.2025.367328.1643

قرار دارند. نتایج برآورد مدل نهایی داده‌های پانل نیز حاکی از آن بود که سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی (مربوط به رکن آموزش و توسعه منابع انسانی) تنها متغیر دارای اثر مثبت بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی است، به‌گونه‌ای که با افزایش یک درصدی این سهم، EPI به میزان ۰/۳۳۶ درصد افزایش می‌یابد؛ افزون بر این، متغیر حجم تجارت بین‌الملل (از شاخص‌های رکن نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی) و نیز متغیر سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی (متعلق به رکن نوآوری و پذیرش ابداعات) اثر منفی و معنی‌دار بر عملکرد زیست‌محیطی کشورها دارند؛ به‌طور مشابه، شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان نیز رابطه معکوس با شاخص EPI دارد. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که در راستای بهبود عملکرد زیست‌محیطی، برای فعالیتهای واحدهای اقتصادی به‌ویژه شرکت‌های خارجی، قوانین زیست‌محیطی دقیق اعمال شود؛ همچنین، توسعه صادرات خدمات فنی و مهندسی و نیز افزایش سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی به‌همراه توزیع عادلانه آن از دیگر پیشنهادهای پژوهش حاضر به‌شمار می‌روند.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد دانش‌بنیان، شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI)، داده‌های پانل، حداقل مربعات تعمیم‌یافته (GLS).

طبقه‌بندی JEL : Q56, Q59

مقدمه

در دنیای امروز، موضوعات مرتبط با پایداری به‌گونه‌ای فزاینده حائز اهمیت شده‌اند. در بین تعاریف مختلف مفهوم پایداری، یک ویژگی مشترک وجود دارد که آن جهت‌گیری آینده‌نگر است. اقتصاد پایدار معمولاً بر پایه کارایی منابع بنا می‌شود. از آنجا که اقتصاد پایدار به آینده‌ای بلندمدت و عمدتاً ناشناخته مربوط می‌شود، طرح و پاسخ پرسش‌هایی در مورد دانش تضمین‌کننده ثبات و رشد پایدار کشورها ضروری می‌نماید (Širá et al., 2020).

موضوعات پایداری و اقتصاد دانش‌بنیان^۱ دو محور کلیدی در فرآیند توسعه به‌شمار می‌روند. اقتصاد دانش‌بنیان تنها یک مفهوم نظری جدید نیست، بلکه نشانگر آغاز یک دوره جدید است که با عصر اقتصاد کشاورزی یا اقتصاد صنعتی تفاوت‌های بنیادین دارد (Širá et al., 2020). این دوره جدید از اوایل دهه ۱۹۹۰ آغاز شده و در تمام ابعاد اقتصادی و اجتماعی، تحولاتی قابل توجه را پدید آورده است که همواره نیز در حال گسترش است. کشورها با تغییرات مستمر در زمینه‌های علمی و فناوری روبه‌رو هستند و هر بازیگر در این بازار جهانی ناچار است که خود را با این تغییرات سریع سازگار کند. کشورها تلاش می‌کنند تا با توجه به منابع موجود، سطح توسعه خود را افزایش دهند. منابع به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به توسعه‌اند، اما با توجه به محدود بودن بسیاری از منابع، باید به‌گونه‌ای مدیریت

1. Knowledge-Based Economy (KBE)

شوند که نیازهای نسل‌های آینده نیز برآورده شود. در حال حاضر، در بسیاری از کشورها، روند توسعه پایدار با توسعه اقتصاد دانش‌بنیان همسو شده است. از این رو، برای دستیابی به تغییرات مناسب، این دو فرآیند به هماهنگی نیاز دارند (Jednak & Kragulj, 2015). اقتصاد دانش‌بنیان به‌عنوان یکی از راهکارهای ممکن برای دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و نیز مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی ناشی از کمبود منابع مطرح شده است (Režný et al., 2019).

به‌طور کلی، اقتصاد دانش‌بنیان اقتصادی است که به‌طور مستقیم، بر پایه تولید، توزیع و مصرف دانش و اطلاعات بنا شده است. نکته‌ای که باید همواره مد نظر قرار گیرد، این است که برای تحقق اقتصاد دانش‌بنیان، صرفاً تولید، توزیع و انتقال اطلاعات کافی نیست، بلکه نکته حائز اهمیت به‌کارگیری مؤثر این اطلاعات در مدیریت پایدار منابع اقتصادی است. به‌دیگر سخن، کاربردی کردن دانش و بهره‌گیری مؤثرتر از آن در افزایش قابلیت‌ها و بهبود استفاده از منابع اساسی‌ترین شرط برای شکل‌گیری یک اقتصاد دانش‌بنیان است (Raei & Dahmardeh, 2021).

با وجود تمام مزایای اقتصاد دانش‌بنیان و نقش آن در توسعه کشورها، جایگاه ایران در این زمینه مناسب نیست. طبق آخرین رتبه‌بندی اقتصاد دانش‌بنیان که در سال ۲۰۱۲ توسط بانک جهانی انجام گرفته، شاخص اقتصاد دانش‌بنیان برای ایران ۳/۹۱ از عدد ده محاسبه شده و در این سال، ایران، با یک پله صعود نسبت به ارزیابی سال ۲۰۰۰، در جایگاه ۹۴ جهانی قرار گرفته است (Azizi & Moradi, 2018). شناخت سیر حرکت به سمت اقتصاد دانش‌بنیان و بررسی موقعیت کنونی کشورها در این زمینه ضرورت محاسبه و ارزیابی سطح دانش‌پایگی اقتصاد را برای هر کشوری آشکار می‌سازد. در پژوهش حاضر، سنجش روند تغییرات وضعیت کشور و منطقه انجام گرفته است تا ضمن بررسی وضع موجود، ارکان قوت و ضعف شاخص اقتصاد دانش‌بنیان شناسایی شود و در برنامه‌ریزی‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

در حال حاضر، در بسیاری از کشورهای جهان، یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بحث در سطوح جهانی و ملی مسائل زیست‌محیطی است. تاکنون همایش‌ها، نشست‌ها و پیمان‌های بین‌المللی متعدد در این زمینه برگزار شده و نقش برخورداری از اطلاعات کافی در زمینه وضعیت محیط زیست کشورها و بررسی روند تغییرات زیست‌محیطی، برای شناخت دقیق وضعیت موجود و تعیین تغییرات لازم در نحوه مدیریت و طراحی برنامه‌های مدیریتی، بسیار مهم است. به همین دلیل، تاکنون شاخص‌های زیست‌محیطی متعدد نیز برای نظارت بر فرایندهای تخریب محیط زیست از سوی سازمان ملل متحد و مراکز علمی معرفی شده‌اند. یکی از مهم‌ترین این شاخص‌ها که در حال حاضر، در زمینه حفاظت از محیط زیست و به‌طور رایج به‌عنوان معیاری برای مقایسه کشورها از آن استفاده می‌شود،

شاخص عملکرد زیست‌محیطی^۱ است. گزارش این شاخص توسط دانشگاه‌های ییل و کلمبیا با همکاری مجمع جهانی اقتصاد (داووس) هر دو سال یکبار منتشر می‌شود (CIESIN-YCELP, 2022). هدف از انتشار این گزارش دوسالانه، که با همکاری مرکز قوانین و سیاست‌های زیست‌محیطی دانشگاه ییل و مرکز بین‌المللی شبکه اطلاعات علوم زمین دانشگاه کلمبیا از سوی مجمع جهانی اقتصاد تهیه می‌شود، ارائه‌نمایی از وضعیت محیط زیست کشورهای مختلف جهان به سیاست‌گذاران در حوزه‌های مختلف به‌ویژه عرصه‌های توسعه‌ای است. گزارش شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) نه‌تنها کشورها را به ادامه تلاش‌ها در شاخص‌های با عملکرد مثبت تشویق می‌کند، بلکه چشم‌اندازی جامع درباره تغییر رویکردها و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای بهبود عملکرد در شاخص‌های ضعیف ارائه می‌دهد (Soleimani & Cheraghi, 2021). اولین گزارش در این زمینه در سال ۲۰۰۶ منتشر شد و تاکنون نه نسخه از این گزارش منتشر شده است. شاخص EPI از صفر تا صد تعیین شده و امتیاز صد بهترین و صفر بدترین وضعیت محیط زیست را نشان می‌دهد. وضعیت جمهوری اسلامی ایران در رده‌بندی EPI در سال ۲۰۲۲، با کسب رتبه ۱۳۳ و امتیاز ۳۴/۵، نسبت به سال ۲۰۲۰ (رتبه ۶۷)، نامطلوب‌تر بوده است (Wolf et al., 2022).

امروزه، دانش را می‌توان راهی برای مقابله با انواع مشکلات زیست‌محیطی دانست، چراکه نقش مؤثر و حیاتی در جایگزینی سرمایه طبیعی با سرمایه انسانی دارد (Al-Roubaie, 2013). همچنین، شناسایی انواع دانش و راه‌های توسعه و به‌کارگیری آن منجر به بهبود کیفیت محیط زیست، کاهش آلودگی و جلوگیری از تخریب منابع طبیعی می‌شود (Alaeddine, 2023). اقتصاد دانش‌بنیان می‌تواند با اولویت‌دهی به نوآوری، آموزش و استفاده کارآمد از منابع، تأثیری مثبت بر کیفیت محیط زیست داشته باشد و به‌طور بالقوه، منجر به توسعه پایدار شود (Kalim et al., 2024). علی‌رغم این اهمیت روزافزون، آگاهی زیست‌محیطی و کاربرد دانش برای کمک به حفاظت از محیط زیست در اغلب کشورها همچنان پایین، ناکافی و فاقد دستور کار جامع است.

از دهه ۱۹۸۰، ظهور چالش‌های جدی‌تر زیست‌محیطی در سراسر جهان بحث تأثیر تخریب محیط زیست بر نرخ رشد اقتصادی را به مسیر دیگری سوق داد. در آن زمان، تحقیقات زیادی در مورد رابطه آلودگی - درآمد انجام شد که یکی از آنها منجر به نظریه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس^۲ شد. کوزنتس در سال ۱۹۵۵ بر این باور بود که نابرابری در وضعیت اقتصادی با گذشت زمان افزایش می‌یابد و سپس، با

-
1. Environmental Performance Index (EPI)
 2. Environmental Kuznets curve (EKC)

افزایش درآمد سرانه، به تعادل می‌رسد. به دیگر سخن، آلودگی محیط زیست و رشد اقتصادی با سه عامل به هم ارتباط دارند، که عبارت‌اند از: مقیاس، ترکیب و شیوه (تکنیک) (Grossman & Krueger, 1991). به دلیل تأثیر مقیاس، افزایش تولید به‌ناگزیر استخراج مقدار بیشتری از دارایی‌های محیط زیست و منابع انرژی تجدیدناپذیر را در پی دارد (Sarkodie & Strezov, 2019a). اثر ترکیب بیان می‌کند که تغییرات ساختاری اقتصادی، مانند تغییر از فعالیت‌های کشاورزی به صنعتی و یا از اقتصاد انرژی‌بر به اقتصاد خدمات‌محور و دانش‌بنیان، تأثیر زیادی بر چگونگی درک اثرات زیست‌محیطی توسعه اقتصادی دارد (Sarkodie & Strezov, 2019b). از سوی دیگر، اثر شیوه ادعا می‌کند که رشد اقتصادی با اثرات زیست‌محیطی مثبت همراه است، زیرا با افزایش سرمایه‌گذاری در «تحقیق و توسعه»، جایگزینی فناوری‌های منسوخ‌شده که باعث ایجاد مشکلات آلودگی قابل توجه می‌شوند، با فناوری‌های جدیدتر، پاک‌تر و پیچیده‌تر امکان‌پذیر می‌شود، که به بهبود کیفیت محیط زیست می‌انجامد. با توجه بدین سه عامل، منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) بدین نتیجه می‌رسد که در مراحل اولیه توسعه، اثر منفی مقیاس بر محیط زیست بسیار زیاد به‌نظر می‌رسد. اما به تدریج، بر اثر مزایای ترکیب و فناوری، میزان آلودگی کاهش می‌یابد و باعث بهبود محیط زیست می‌شود (Dinda, 2004; Sarkodie & Strezov, 2018). در پژوهش حاضر، به بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی ایران و کشورهای منتخب پرداخته شده است.

مطالعات متعدد در داخل و خارج کشور به بررسی و ارزیابی نقش اقتصاد دانش‌بنیان در حوزه‌های گوناگون پرداخته‌اند. برای نمونه، نقوی (Naghavi, 2019)، با استفاده از روش مدل اثرهای ثابت و ارزیابی دانش بانک جهانی، طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۸، به بررسی نقش اقتصاد دانش‌بنیان در رشد کشاورزی برخی از کشورهای منتخب با تأکید بر کشور ایران پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که متغیرهای موجودی سرمایه، اشتغال و شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان تأثیر مثبت و معنی‌دار بر رشد کشاورزی کشورهای منتخب دارند. راعی و دهمرده (Raei & Dahmardeh, 2021) نیز با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های ۹۵-۱۳۵۷ و مدل خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی^۱، تأثیر اقتصاد دانش‌بنیان بر صادرات غیرنفتی ایران را بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، شاخص آموزش و توسعه منابع انسانی در کوتاه‌مدت بیشترین تأثیر مثبت، و شاخص ابداعات و نوآوری در بلندمدت بیشترین تأثیر منفی را بر صادرات غیرنفتی ایران داشته است. همچنین، اسدپورکردی و همکاران (Asadpourkordi et al., 2023)، با هدف تعیین اهمیت اقتصاد دانش‌بنیان در میزان آلودگی

1. Auto-Regressive Distributed Lags (ARDL)

محیط زیست، انتشار سه آلاینده مهم شامل CO_2 ، CH_4 و N_2O را در هشت کشور اسلامی در حال توسعه موسوم به DA برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ بررسی کردند. برای دستیابی بدین هدف در این مطالعه، از روش حداقل مربعات معمولی پویا^۱ و شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داد که انتشار آلودگی [آلاینده‌های یادشده]، شاخص فناوری اطلاعات و شاخص نوآوری اثر منفی و معنی‌دار و شاخص آموزش اثر مثبت و معنی‌دار بر کاهش انتشار آلودگی داشته است. ساخارف (Sukharev, 2021)، برای تعیین مقیاس اقتصاد دانش‌بنیان در اتحادیه اروپا و ارزیابی سهم آن در نرخ رشد اقتصادی کشورها، از روش تحلیل ساختاری استفاده کرد و نتایج نشان داد که مقیاس بخش اقتصاد دانش‌بنیان با موقعیت کشورها از نظر درآمد سرانه قابل مقایسه است. محمد و همکاران (Mohamed et al., 2022)، با استفاده از داده‌های پانل، به بررسی تأثیر عوامل مرتبط با اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد اقتصادی بیست کشور در حال توسعه طی سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۶ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که ۹۳ درصد از تغییرات رشد اقتصادی کشورهای مورد مطالعه ناشی از وابستگی به اقتصاد دانش‌بنیان بوده است. الغزالی و همکاران (Alghazali et al., 2022)، با استفاده از داده‌های پانل سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۶، تأثیر اقتصاد دانش‌بنیان (مخارج تحقیق و توسعه، هزینه‌های آموزشی دولت و نیروی کار دارای تحصیلات عالی) بر رشد اقتصادی کشورهای خاورمیانه را ارزیابی کردند و نتایج نشان داد که کلیه متغیرهای یادشده اثر مطلوب و معنی‌دار بر رشد اقتصادی کشورهای خاورمیانه دارند. در پژوهش القحطانی و شیرازی (Al-Qahtani & Shirazi, 2023) نیز با استفاده از رویکردهای توصیفی و کیفی، به بررسی محدودیت‌های الزام‌آور شکل‌گیری اقتصاد دانش‌بنیان در قطر پرداخته شد. بر پایه یافته‌های این پژوهش، از آنجا که توسعه اقتصادی مبتنی بر منابع طبیعی ممکن است پایدار نباشد، چشم‌انداز ملی قطر برای سال ۲۰۳۰ به گونه‌ای طراحی شده است که از طریق گسترش و اصلاحات آموزشی، اقتصاد مبتنی بر کربن این کشور به یک «اقتصاد دانش‌بنیان» تبدیل شود. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که قطر، در مقایسه با سایر کشورهای منطقه، در ابعاد مختلف اقتصاد نهادی جدید از جمله نهاد، حکومت، بازار و فرهنگ، امتیازات نسبتاً بالا کسب کرده، بدین معنی که اقتصاد دانش‌بنیان قطر در مسیر توسعه قرار گرفته است.

مرور منابع موجود نشان می‌دهد که مفهوم اقتصاد دانش‌بنیان در تعیین و مقایسه رتبه کشورها کاربرد فراوان دارد. همچنین، بررسی تأثیر عوامل مرتبط با اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد اقتصادی از

-
1. Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS)
 2. Artificial Neural Networks (ANN)

موضوعات مورد توجه در این حوزه بوده است. واضح است که فعالیت‌های انسانی در روند توسعه اقتصادی می‌تواند بر عملکرد زیست‌محیطی کشورها تأثیرگذار باشد. با این همه، علی‌رغم اهمیت موضوع، تنها تعداد اندکی از مطالعات داخلی بدین موضوع پرداخته‌اند. افزون بر این، در این مطالعات محدود نیز تنها به یک جزء از اجزای عملکرد محیط زیست پرداخته شده، همانند مطالعه اسدپورکردی و همکاران (Asadpourkordi et al., 2023) که اهمیت اقتصاد دانش‌بنیان در میزان انتشار سه آلاینده مهم بررسی کرده است، در حالی که شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) ترکیبی از سه مؤلفه زندگی زیست‌بوم، سلامت محیط زیست، و اقلیم است و انتشار آلاینده‌ها تنها قسمتی از بعد اقلیمی محیط زیست را پوشش می‌دهد. با توجه به آنچه گفته شد، در مطالعه حاضر، به بررسی تأثیر اقتصاد دانش‌بنیان بر کل عملکرد زیست‌محیطی ایران و کشورهای همسایه و همچنین، ضمن شناخت مؤلفه‌های شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) و شاخص اقتصاد دانش‌بنیان (KBE)، به ارزیابی شاخص EPI در ازای هر کدام از ابعاد KBE پرداخته شده و مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان (KBE) نیز یک بار در قالب ارکان آن به صورت تفکیک‌شده و بار دیگر در قالب شاخص ترکیبی در مدل‌سازی لحاظ شده است.

مواد و روش‌ها

اقتصاد دانش‌بنیان

مفهوم اقتصاد دانش‌بنیان برگرفته از نظریه‌ای معروف به نام «مدل رشد درون‌زا» بوده که نخست، توسط پل رومر معرفی شده و سپس، توسط هلپمن و گروسمن توسعه یافته است. این پژوهشگران نشان دادند که پیشرفت فناوری را می‌توان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در رشد اقتصادی باثبات دانست (Afzal, 2014). اصطلاح اقتصاد دانش‌بنیان در دهه ۱۹۹۰ توسط سازمان همکاری اقتصادی و توسعه مطرح و به‌عنوان نوعی از اقتصاد تعریف شده که به‌طور مستقیم، مبتنی بر تولید، توزیع و به‌کارگیری دانش و اطلاعات است (APEC, 2000). بانک جهانی، به‌عنوان یکی از نهادهای پیشگام در ترویج مفهوم اقتصاد دانش‌بنیان، چهار رکن را در چارچوب اقتصاد دانش‌بنیان شناسایی کرده، که شامل نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی، آموزش و توسعه منابع انسانی، فناوری اطلاعات و ارتباطات، و نوآوری و پذیرش ابداعات است (World Bank, 2007). همچنین، پروژه بانک جهانی موسوم به دانش برای توسعه^۱ به توسعه پایگاه داده و مجموعه‌ای از شاخص‌ها برای ارزیابی پیشرفت کشورها بر مبنای چهار رکن اقتصاد دانش‌بنیان پرداخته است. روش ارزیابی دانش^۲ ابزاری است که ارزیابی‌هایی

1. Knowledge for Development (K4D)
2. Knowledge Assessment Methodology (KAM)

اولیه در زمینه آمادگی کشورها و مناطق را از منظر اقتصاد دانش بنیان ارائه می‌دهد. این ابزار به کشورها کمک می‌کند تا از طریق مقایسه عملکرد خود در طول زمان با سایر کشورها، نقاط قوت و ضعف خود را شناسایی کنند. بدین ترتیب، ۱۴۸ شاخص برای اقتصاد دانش بنیان استخراج شده است و البته، به دلیل دشواری استفاده از همه این شاخص‌ها، بانک جهانی شاخص‌هایی را خلاصه کرده، که به کارت امتیازدهی اولیه^۱ مشهور است. شاخص (ترکیبی) اقتصاد دانش^۲ که توسط بانک جهانی برای روش ارزیابی دانش (KAM) توسعه یافته است، این موضوع را بررسی می‌کند که آیا محیط برای استفاده اثربخش از دانش به منظور توسعه اقتصادی مناسب است یا خیر. شاخص اقتصاد دانش (KEI) شاخصی جامع است که نشان دهنده پیشرفت کلی یک کشور یا منطقه از منظر اقتصاد دانش بر مبنای عملکرد آن در چهار رکن اقتصاد دانش است. این شاخص معادل «میانگین امتیازات نرمال شده عملکرد» یک کشور یا منطقه در هر کدام از چهار رکن یادشده است^۳، که شاخص‌های آن در جدول ۱ آمده است (World Bank, 2007).

جدول ۱- شاخص‌های اقتصاد دانش بنیان

شاخص‌ها	ارکان اقتصاد دانش بنیان
موانع تعرفه‌ای و غیرتعرفه‌ای	نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی
کیفیت مقررات	
حاکمیت قانون	
نرخ باسوادی بزرگسالان	آموزش و توسعه منابع انسانی
ثبت نام در دوره دوم تحصیلی	
ثبت نام در دوره سوم تحصیلی	
تعداد خطوط تلفن به ازای هر هزار نفر	فناوری اطلاعات و ارتباطات
تعداد رایانه‌ها به ازای هر هزار نفر	
تعداد کاربران اینترنت به ازای هر هزار نفر	
نسبت تعداد درخواست‌های ثبت اختراع در کشور توسط مخترعان مقیم داخل به ازای هر یک میلیارد GDP (بر اساس برابری قدرت خرید)	نوآوری و پذیرش ابداعات
تعداد مقالات در مجلات علمی و فنی به ازای هر یک میلیون نفر	
حق بهره‌برداری از اختراع و حق امتیاز دریافتی به ازای هر یک میلیون نفر	

مأخذ: بانک جهانی (World Bank, 2007)

1. basic scorecard
2. Knowledge Economy Index (KEI)

۳- نحوه محاسبه شاخص در «روش تحقیق و گردآوری داده‌ها» توضیح داده شده است.

شاخص عملکرد زیست‌محیطی

شاخص عملکرد زیست‌محیطی سال ۲۰۲۲، به‌عنوان یک شاخص ترکیبی، داده‌های سطح کشورها را در مورد چهل نشانگر خاص، در یازده دسته موضوعی، سه هدف سیاستی و یک امتیاز کلی در قالب جدول ۲ خلاصه می‌کند (Wolf et al., 2022). در این جدول، سه هدف سیاستی برای تعیین عملکرد زیست‌محیطی، به‌ترتیب، شامل اقلیم، سلامت محیط زیست، و زندگی زیست‌بوم بوده که به‌تفکیک، یک موضوع برای هدف اقلیم، چهار موضوع برای هدف سلامت محیط زیست، و شش موضوع برای هدف زندگی زیست‌بوم (در مجموع یازده دسته) معین شده است. برای هر کدام از این دسته‌های موضوعی نیز نشانگرهایی به‌شرح جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- چارچوب شاخص عملکرد زیست‌محیطی سال ۲۰۲۲

اقلیم	سلامت محیط زیست	زندگی زیست‌بوم
کاهش تغییرات اقلیم	مدیریت پسماند	آب و بهداشت
کیفیت هوا	فلزات سنگین	تغذیه و زیستگاه
نرخ رشد CO ₂	پسماندهای جامد کنترل شده	حفاظت از زیست‌بوم زمینی (ملی)
نرخ رشد CH ₄	سوختهای جامد خانوار	حفاظت از زیست‌بوم زمینی (جهانی)
نرخ رشد N ₂ O	ازن	مناطق حفاظت‌شده دریایی
نرخ رشد گازهای F	NO _x	شاخص نشان‌دهنده مناطق حفاظت‌شده
نرخ رشد دوده	SO ₂	شاخص زیستگاه گونه‌ها
پیش‌بینی انتشار CO ₂ از ۲۰۵۰	CO	شاخص حفاظت از گونه‌ها
انتشار CO ₂ از پوشش زمین	ترکیبات آلی فرار	شاخص زیستگاه تنوع زیستی
شدت گازهای گلخانه‌ای		
سرانه گازهای گلخانه‌ای		

مأخذ: ولف و همکاران (Wolf et al., 2022)

تقریباً در هر کدام از نه گزارشی که تاکنون درباره شاخص EPI منتشر شده، با توجه به اطلاعات در دسترس، تغییراتی در ساختار، نشانگرها، وزن نشانگرها، نحوه محاسبه و تعداد کشورهای مورد بررسی ایجاد شده است (Soleimani & Cheraghi, 2021). ویژگی اصلی گزارش سال ۲۰۲۲ افزوده شدن «تغییر اقلیم» به عنوان یک هدف سیاستی جدید در ساختار محاسبه شاخص بوده که با توجه به اهمیت روزافزون تغییر اقلیم در مباحث و ملاحظات سیاسی و اثر آن بر رفاه انسان و محیط زیست، این کار صورت گرفته است. این در حالی است که کلیه گزارش‌های قبلی بر اساس دو هدف سیاستی «سلامت محیط زیست» و «زندگی زیست‌بوم» طراحی شده بودند. در حال حاضر، وزن هر کدام از اهداف اقلیم، سلامت محیط زیست، و زندگی زیست‌بوم، به ترتیب، معادل ۳۸، ۲۰، و ۴۲ درصد در شاخص ترکیبی EPI است (Wolf et al., 2022).

مدل پژوهش و نحوه گردآوری داده‌ها

چنان‌که پیش‌تر گفته شد، در پژوهش حاضر، ضمن شناخت مؤلفه‌های شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) و شاخص اقتصاد دانش‌بنیان (KBE)، به ارزیابی شاخص EPI در ازای هر کدام از ابعاد KBE پرداخته شده و بدین منظور، مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان (KBE) یک بار در قالب ارکان چهارگانه به صورت تفکیک‌شده در قالب رابطه (۱) و بار دیگر در قالب شاخص ترکیبی KBE به صورت رابطه (۲) در مدل‌سازی لحاظ شده است. از این‌رو، تصریح تجربی رابطه بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل (توضیحی) به شکل روابط زیر خواهند بود:

$$\ln epi_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln eco_{it} + \alpha_2 \ln hr_{it} + \alpha_3 \ln inn_{it} + \alpha_4 \ln ict_{it} + \alpha_5 \ln pop_{it} + \alpha_6 \ln agr_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\ln epi_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln kei_{it} + \alpha_2 \ln pop_{it} + \alpha_3 \ln agr_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

در رابطه (۱)، $\ln epi_{it}$ شاخص عملکرد زیست‌محیطی است و متغیرهای مستقل، به ترتیب، عبارت‌اند از ابعاد نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی، آموزش و توسعه منابع انسانی، نوآوری و پذیرش ابداعات، و فناوری اطلاعات و ارتباطات؛ علاوه بر ابعاد چهارگانه اقتصاد دانش‌بنیان، از متغیرهای رشد جمعیت ($\ln pop$) (درصد سالانه) و ارزش افزوده بخش کشاورزی ($\ln agr$) (درصد از GDP) نیز به عنوان متغیرهای کنترلی در معادله استفاده شده است؛ همچنین، i مناطق (در اینجا، کشورهای مورد مطالعه) و t زمان (در اینجا، سال‌های مورد مطالعه) را نشان می‌دهد. انتخاب متغیرهای نشانگر چهار رکن اقتصاد

دانش‌بنیان با توجه به مرور منابع موجود و در دسترس بودن آمار و اطلاعات صورت گرفته و همچنین، از آنجا که لحاظ تعداد زیاد متغیرهای مستقل در حجم نمونه کم می‌تواند درجه آزادی را به شدت کاهش داده، از کارایی تخمین‌زن‌ها بکاهد و منجر به ایجاد مشکل هم‌خطی شود (Gojarati, 2013)، همانند مطالعات مشابه، تنها یک متغیر به ازای هر رکن اقتصاد دانش‌بنیان انتخاب شده است. بر همین اساس، متغیرهای حجم کل تجارت بین‌الملل (درصد از تولید ناخالص داخلی یا همان GDP)، سهم مخارج آموزش دولتی از GDP (درصد)، سهم مخارج تحقیق و توسعه از GDP (درصد)، و تعداد کاربران تلفن همراه (موبایل) به ازای هر صد نفر به‌عنوان چهار متغیر ابعاد اقتصاد دانش‌بنیان در مدل وارد شده است. در رابطه (۲)، Inkei شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان بوده و تعاریف سایر متغیرها به همان صورت تعاریف رابطه (۱) است. محاسبه شاخص ترکیبی (دانش) kei، با استفاده از روش ارزیابی اقتصاد دانش (KAM)، که توسط مؤسسه بانک جهانی طراحی شده، صورت گرفته است. بدیهی است که چون متغیرهای زیرمجموعه روش ارزیابی اقتصاد دانش (KAM) در دامنه‌های متفاوت ارزش‌ها (و با واحدهای مختلف سنجش) قرار دارند، باید همه متغیرها نرمال شوند. مراحل محاسبه شاخص ترکیبی به‌صورت زیر است (Chen & Dahlman, 2006):

(۱) داده‌های خام مربوط به هر شاخص (یا متغیر) از پایگاه داده بانک جهانی و مطالعات بین‌المللی موجود جمع‌آوری شد.

(۲) کشورها، بر اساس مقادیر خام، رتبه‌بندی شدند، به‌گونه‌ای که رتبه یک به کشور دارای بهترین عملکرد به ازای متغیر مورد نظر در نمونه مورد بررسی اختصاص یافت؛ رتبه دو نیز به کشور با عملکرد پایین‌تر تعلق گرفت و این فرآیند تا رتبه‌بندی کل کشورها ادامه یافت. شایان ذکر است که کشورهای با عملکرد یکسان نیز رتبه‌های یکسان را کسب کردند.

(۳) برای هر کشور، تعداد کشورهای دارای رتبه کمتر از آن (N_w) محاسبه شد.

(۴) به‌منظور نرمال‌سازی امتیازات هر کشور طبق رتبه‌بندی صورت‌گرفته، از رابطه زیر استفاده شد (لازم به ذکر است که N_c تعداد کل کشورهای موجود در نمونه است):

$$(۳) \quad \text{مقدار نرمال‌شده} = 10 \left(\frac{N_w}{N_c} \right)$$

که بر اساس آن، در نهایت، یک امتیاز نرمال‌شده بین صفر تا ده به کشورهای مورد مطالعه تخصیص یافت؛ امتیاز ده یا بالاترین امتیاز مختص کشورهای موفق بوده و امتیاز صفر به کشورهای با عملکرد ضعیف تعلق گرفته است. در کلیه مستندات منتشرشده از روش ارزیابی اقتصاد دانش (KAM) بانک

جهانی، از میانگین ساده (حسابی) به‌عنوان روش اندازه‌گیری شاخص ترکیبی و زیرشاخص‌های آن استفاده شده، که شاخص‌های به‌کار رفته برای محاسبه شاخص ترکیبی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- شاخص‌های به‌کار رفته برای محاسبه شاخص ترکیبی

ارکان	نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی	آموزش و توسعه منابع انسانی	فناوری اطلاعات و ارتباطات	نوآوری و پذیرش ابداعات
	حجم کل تجارت بین‌الملل ^۱ (درصد از GDP)	سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی (درصد)	تعداد کاربران اینترنت (درصد از جمعیت)	سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی (درصد)
شاخص‌ها	کیفیت مقررات ^۲	ثبت نام در دوره دوم مدارس (درصد)	تعداد کاربران تلفن همراه (در هر صد نفر)	درخواست‌های ثبت اختراع ساکنان (مجموع سالانه)
	حاکمیت قانون ^۳	ثبت نام در دوره سوم مدارس (درصد)		تعداد مقالات علمی (مجموع سالانه)

- ۱- معادل مجموع صادرات و واردات کالا و خدمات به‌صورت سهمی از تولید ناخالص داخلی بوده و نشان‌دهنده اهمیت نسبی تجارت بین‌الملل در اقتصاد یک کشور است. این شاخص، همچنین، درجه باز بودن اقتصاد یک کشور در مقابل تجارت بین‌الملل را اندازه می‌گیرد و از این‌رو، «درجه باز بودن تجاری» نیز نامیده می‌شود. به‌دلیل عدم دسترسی به شاخص موانع تعرفه‌ای و غیرتعرفه‌ای، در اکثر مطالعات، به‌جای آن، از شاخص حجم کل تجارت بین‌الملل استفاده شده است.
- ۲- کیفیت مقررات به معنی توانایی دولت برای تدوین و اجرای سیاست‌ها و مقرراتی صحیح است که منجر به توسعه بخش خصوصی و ارتقای آن می‌شود. برآورد شاخص کل در بازه ۲/۵- تا ۲/۵ قرار می‌گیرد.
- ۳- حاکمیت قانون عبارت است از درک میزان اعتماد و پایداری کارگزاران به قوانین جامعه و به‌ویژه کیفیت اجرای قرارداد، حقوق مالکیت، پلیس و دادگاه‌ها. حاکمیت قانون، همچنین، احتمال وقوع جرم و خشونت را نشان می‌دهد. برآورد شاخص کل در بازه ۲/۵- تا ۲/۵ قرار می‌گیرد.

از آنجا که در پژوهش حاضر، از تلفیق داده‌های مقطعی (کشورهای منتخب) و سری زمانی (سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۶) استفاده شده، داده‌ها از نوع تابلویی (پانل) است. از جمله مزایای این نوع داده احتمال هم‌خطی، ناهمسانی واریانس و تورش برآورد کمتر و درجه آزادی و کارایی برآورد بیشتر است (Baltagi, 2008). در تحلیل‌های رگرسیونی، رابطه زیر به‌عنوان یک الگوی داده‌های تابلویی (مدل پانل دیتا) به‌کار گرفته می‌شود (Mehreghan & Teimouri, 2020):

$$y_{it} = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

که در آن، y_{it} متغیر وابسته کشورها در زمان‌های گوناگون، x_{kit} متغیرهای توضیحی کشورهای مورد بررسی در زمان‌های گوناگون، β پارامترهای مدل، ε_{it} جمله اختلال، اندیس i تعداد مشاهدات در دسترس از هر متغیر برای مقاطع و افراد جامعه در یک زمان خاص و اندیس t تعداد مشاهدات طی دوره زمانی مورد بررسی است.

در تخمین مدل‌های پانل، گام اول مشخص شدن این است که رگرسیون مورد نظر به صورت تلفیقی و بدون لحاظ اثر فردی هر واحد مقطعی (در اینجا، کشور) یا به صورت مدل اثرات ثابت و با عرض از مبداهای مجزا برای هر واحد برآورد شود. برای روشن شدن این موضوع، می‌توان از آزمون تلفیق‌پذیری استفاده کرد که آماره F مربوط به آن (با نام F لیمر^۱) به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_{UR}) / (N - 1)}{RSS_{UR} / (NT - N - K)} \quad (5)$$

که در آن، RSS_R و RSS_{UR} ، به ترتیب، مجموع مجزورات پسماند برای مدل اثرات ثابت و مدل تلفیقی، N تعداد واحدها (کشورها)، T تعداد مشاهدات زمانی و K تعداد پارامترهای مورد نظر برای برآورد است. اگر F با درجه آزادی $N - 1$ و $NT - N - K$ معنی‌دار باشد، به کارگیری رگرسیون تلفیقی مناسب نخواهد بود (Ashrafzadeh & Mehreghan, 2014).

مفهوم اثرات ثابت و تصادفی بحث مهم دیگری در انتخاب مدل‌های پانل است. در رویکرد اثر ثابت، اثر فردی هر کدام از واحدهای مقطعی (کشورها) جمله‌ای ثابت در نظر گرفته می‌شود که بیانگر ویژگی خاص هر کدام از آنهاست. اما در رویکرد اثرات تصادفی، اثر فردی نوعی جمله تصادفی (شبیبه جزء اختلال) در نظر گرفته می‌شود. یکی از روش‌ها برای انتخاب بین دو اثر ثابت و تصادفی آزمون هاسمن^۲ است (Baltagi, 2008).

در تحقیق حاضر، با تبیین مراحل برآورد الگوی داده‌های پانل، کلیه مراحل مربوط به انجام آزمون‌ها و برآورد مدل با استفاده از نرم‌افزار Stata 17 انجام شد. داده‌های مورد نیاز برای شاخص عملکرد زیست‌محیطی از مرکز برنامه‌ها و داده‌های اقتصادی اجتماعی ناسا^۳ و داده‌های مربوط به متغیرهای توضیحی (شامل حجم کل تجارت بین‌الملل، کیفیت مقررات، حاکمیت قانون، سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی، ثبت نام در دوره دوم مدارس، ثبت نام در دوره سوم مدارس،

1. F-Leamer
2. Hausman test
3. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)

تعداد کاربران اینترنت، تعداد کاربران تلفن همراه، سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی، درخواست‌های ثبت اختراع ساکنان و تعداد مقالات علمی) از پایگاه داده بانک جهانی برای دوره زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۶ اخذ شده و کشورهای مورد مطالعه شامل ایران، ترکیه، عراق، پاکستان، جمهوری آذربایجان و ارمنستان بوده است.

نتایج و بحث

نخست و پیش از برآورد الگو، تحلیل ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد بررسی، به صورت متوسط کل دوره، انجام شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج این جدول، کشورهای ارمنستان و پاکستان، به ترتیب، از بالاترین و پایین‌ترین عملکرد زیست‌محیطی در منطقه برخوردارند؛ و عملکرد جمهوری اسلامی ایران در این زمینه در سطح متوسط قرار دارد. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد که انتشار گازهای گلخانه‌ای، فلزات سنگین، و تنوع زیستی در ایران سه نشانگر با عملکرد نامطلوب گزارش شده است، به ویژه، انتشار دی‌اکسید کربن که حدود چهارده درصد از عملکرد زیست‌محیطی کشورها را توضیح می‌دهد، در ایران نسبت به سایر کشورهای مورد مطالعه در بالاترین سطح قرار دارد. از نظر حجم تجارت بین‌الملل، کشورهای آذربایجان و پاکستان، به ترتیب، بیشترین و کمترین حجم تجارت را در سطح بین‌الملل به خود اختصاص داده‌اند؛ ایران نیز در این زمینه عملکرد ضعیف دارد و پس از پاکستان، کمترین حجم تجارت را تجربه کرده است. سهم مخارج آموزش و تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی در کشورهای مختلف مشابه است و کشورهای ترکیه و ایران، به ترتیب، بیشترین سهم را از تولید ناخالص داخلی خود بدین بخش‌ها اختصاص داده‌اند. در زمینه دسترسی به فناوری‌های اطلاعات و ارتباط، مردم ارمنستان از دسترسی بیشتری به تلفن همراه برخوردارند (۱۰۶/۷۲). همچنین، در کشورهای پاکستان و عراق، ارزش افزوده بخش کشاورزی، به ترتیب، با ۲۲/۰۶ و ۴/۴ درصد، بیشترین و کمترین سهم را از تولید ناخالص داخلی داشته‌اند. افزون بر این، در عراق و ارمنستان، به ترتیب، با ۲/۵۸ و ۰/۰۳ درصد، بالاترین و پایین‌ترین رشد سالانه جمعیت کشورها مشاهده شده است.

بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر.....

جدول ۴- ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد استفاده به تفکیک کشورها

متغیر	کشور	ارمنستان	آذربایجان	ایران	عراق	پاکستان	ترکیه
شاخص عملکرد زیست‌محیطی	میانگین	۶۱/۷۱	۵۷/۴۲	۵۶/۴۱	۴۱/۹	۴۰/۹۵	۵۵/۳۷
	انحراف استاندارد	۱۱/۸۹	۱۴/۲۵	۱۲/۶۲	۱۲/۴۲	۱۰/۳۵	۱۵/۹۲
	حداقل	۴۷/۴۸	۳۸/۶	۳۴/۵	۲۵/۳۲	۲۴/۶	۲۶/۳
	حداکثر	۸۱/۶	۸۳/۷۸	۷۶/۹	۶۳/۹۷	۵۸/۷	۷۵/۹
حجم کل تجارت بین‌الملل (درصد از GDP)	میانگین	۷۴/۵۵	۸۴/۲۳	۴۷/۶۶	۶۹/۹۹	۳۰/۲۵	۵۶/۲۳
	انحراف استاندارد	۱۴/۷۲	۱۱/۴۷	۵/۷۷	۱۰/۹۸	۳/۳	۱۰/۸۸
	حداقل	۵۴/۵۴	۶۹/۴۸	۴۰/۳۹	۵۴/۵۹	۲۴/۷	۴۶/۶۹
	حداکثر	۱۰۱	۱۰۵/۲۶	۵۸/۵۶	۸۹/۶۵	۳۴/۳۵	۸۱/۱۷
سهم مخارج آموزش دولتی (درصد از GDP)	میانگین	۲/۷۱	۲/۷۸	۳/۴۳	-/۷۹	۲/۳۱	۳/۹
	انحراف استاندارد	۰/۳۵	-/۶۴	۰/۵۱	-/۲۳	۰/۲۳	-/۵۸
	حداقل	۲/۲۵	۲/۰۷	۲/۶۲	-/۵	۱/۹۷	۳
	حداکثر	۳/۲۵	۴/۳۳	۴/۲۹	۱/۱	۲/۷۵	۴/۶۲
سهم مخارج تحقیق و توسعه (درصد از GDP)	میانگین	۰/۲۲	۰/۲	۰/۵۵	-/۰۴	۰/۲۹	-/۹۹
	انحراف استاندارد	۰/۰۲	-/۰۲	۰/۲۲	-/۰۰	۰/۱۶	-/۳۱
	حداقل	۰/۱۹	-/۱۶	۰/۲۶	-/۰۳	۰/۱۶	-/۵۵
	حداکثر	۰/۲۴	-/۲۲	۰/۸	-/۰۴	۰/۶۳	۱/۴۳
تعداد کاربران تلفن همراه به ازای هر صد نفر	میانگین	۱۰۶/۷۲	۹۲/۸۵	۹۱/۵۹	۷۷/۵۸	۵۹/۴۹	۹۱/۹
	انحراف استاندارد	۳۵/۶۱	۲۳/۲	۴۲/۵۱	۲۰/۲۶	۱۸/۷۳	۸/۴۷
	حداقل	۴۱/۶۲	۳۷/۹۲	۲۱/۵۸	۳۲/۳۳	۱۹/۳۸	۷۵/۶۶
	حداکثر	۱۳۵/۲۵	۱۰۸/۳۲	۱۶۴/۵	۹۸/۱۸	۸۱/۷۵	۱۰۵/۸۱
ارزش افزوده بخش کشاورزی (درصد از GDP)	میانگین	۱۵/۹۵	۵/۶۶	۹/۰۹	۴/۴	۲۲/۰۶	۷/۰۹
	انحراف استاندارد	۳/۲۶	-/۷۶	۲/۵۶	۱/۱۸	۱/۱۳	۱/۰۳
	حداقل	۱۰/۳۷	۴/۷۶	۶/۱۲	۲/۸۱	۲۰/۳۵	۵/۷۹
	حداکثر	۱۹	۷/۰۹	۱۲/۷۶	۶/۰۹	۲۳/۴۹	۸/۹۷
رشد جمعیت کشور (درصد سالانه)	میانگین	۰/۰۳	۱/۰۷	۱/۳۵	۲/۵۸	۱/۷۹	۱/۲۶
	انحراف استاندارد	۰/۰۰	-/۵۵	۰/۴	۱/۰۶	۰/۳۶	-/۱۸
	حداقل	-/۰۲	-/۰۴	-/۷۱	-/۷۲	۱/۲	-/۹۷
	حداکثر	۰/۰۴	۲/۱	۱/۹	۴/۴۹	۲/۲۵	۱/۵۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، برای محاسبه شاخص اقتصاد دانش‌بنیان کشورهای مورد مطالعه، با استفاده از رابطه (۳)، ابتدا امتیاز هر کشور در هر کدام از متغیرهای مربوط به ارکان چهارگانه، محاسبه شد. سپس، با بهره‌گیری از میانگین حسابی، امتیاز متغیرها برای محاسبه ارکان یادشده و در نهایت، شاخص ترکیبی به‌کار گرفته شد. با توجه به نتایج جدول ۵، بالاترین امتیاز در شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان، با مقدار ۷/۲۷، به کشور ترکیه تعلق دارد؛ پس از آن، ارمنستان و ایران، به‌ترتیب، با امتیازات ۵/۸۵ و ۵/۵۷، در رتبه‌های بعدی قرار دارند؛ و کشورهای آذربایجان، عراق و پاکستان نیز به‌ترتیب، در رده‌های چهارم تا ششم جای گرفته‌اند. از لحاظ ارکان تشکیل‌دهنده اقتصاد دانش‌بنیان، عملکرد ارمنستان در زمینه ارائه نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی و نیز عملکرد ترکیه در حوزه آموزش و توسعه منابع انسانی بهتر از کشورهای دیگر بوده است. آذربایجان و ایران نیز به‌ترتیب، در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات و نوآوری و پذیرش ابداعات، پیشتاز بوده‌اند. بررسی شاخص‌ها هم نشان می‌دهد که وضعیت حاکمیت قانون در نظام نهادی در کلیه کشورهای منطقه نامناسب بوده و مقادیر منفی را تجربه کرده است. برآیند کیفیت مقررات نیز به استثنای کشورهای ترکیه و ارمنستان، در سایر کشورها منفی است. در زمینه نوآوری، ایران با اینکه نسبت به ترکیه درصد کمتری از GDP خود را صرف تحقیق و توسعه کرده، اما تعداد اختراعات و مقالات منتشرشده بیشتری را به ثبت رسانده است.

جدول ۵- مقادیر محاسبه‌شده برای ارکان چهارگانه و شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان در کشورهای منتخب در بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۶

کشورها	ارکان	نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی	آموزش و توسعه منابع انسانی	فناوری اطلاعات و ارتباطات	نوآوری و پذیرش ابداعات	شاخص ترکیبی
ارمنستان	۷/۷۳	۵/۹۶	۵/۵۷	۳/۰۸	۵/۵۸۵	
آذربایجان	۶/۴۲	۴/۷۷	۷/۴۲	۳/۲۲	۵/۴۵۷	
ایران	۳/۰۴	۵/۸۱	۵/۰۲	۸/۴۱	۵/۵۷	
عراق	۳/۹۶	۴/۲۵	۳/۸۱	۴/۹۳	۴/۲۳۷	
پاکستان	۵/۱۵	۲/۹۷	۲/۷۴	۵/۸۸	۴/۱۸۵	
ترکیه	۷/۳۴	۷/۲۲	۶/۹۸	۷/۵۶	۷/۲۷۵	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر.....

در ادامه، برای بررسی امکان بروز هم‌خطی بین متغیرهای مستقل، از آزمون عامل تورم واریانس^۱ استفاده شد. به‌عنوان یک قاعده سرانگشتی، چنانچه مقدار این آماره بزرگ‌تر از ده باشد، احتمال هم‌خطی وجود دارد و متغیرها باید مورد بررسی بیشتری قرار گیرند (Torres-Reyna, 2007). نتایج آزمون عامل تورم واریانس (VIF) در جدول ۶ حاکی از عدم احتمال جدی بروز هم‌خطی در مورد هر کدام از متغیرهاست. مقدار میانگین کل این آماره نیز برای مدل‌های ۱ و ۲، به‌ترتیب، ۴/۰۴ و ۱/۱۱ گزارش شده است.

جدول ۶- نتایج آزمون عامل تورم واریانس بین متغیرهای مستقل

مدل	متغیر	lneco	lnhr	lninn	lnict	lnpop	lnagr	میانگین
۱	آماره	۳/۶۹	۶/۱۴	۵/۹۷	۱/۲۳	۳/۳۶	۳/۸۳	۴/۰۴
	متغیر	lnkei						
۲	آماره		۱/۰۱			۱/۱۷	۱/۱۶	۱/۱۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پس از ارزیابی داده‌ها، آزمون‌های وابستگی مقاطع پسران و فریدمن^۲ جهت تعیین نوع آزمون ریشه واحد انجام شد. مقادیر آماره محاسباتی در دو آزمون یادشده، به‌ترتیب، ۰/۸۳۰ و ۰/۴۲۲ و احتمال متناظر با آنها برابر با ۰/۱۲۰۸ و ۰/۸۹۵۷ به‌دست آمده است؛ از این‌رو، شواهد کافی برای رد فرض صفر آزمون وجود نداشته و وابستگی مقطعی در داده‌های مورد مطالعه احراز نشده است. بنابراین، ایستایی متغیرها با استفاده از آزمون‌های ریشه واحد^۳ لوین، لین و چو^۴ و ایم، پسران و شین^۵ مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. برازش رگرسیون‌ها برای تعداد یک تا چهار وقفه و انتخاب رگرسیون با کمترین مقدار معیار آکائیک^۶ صورت گرفته است.

1. Variance Inflation Factor (VIF)
2. Pesaran and Fridman tests of cross section dependance
3. unit root tests
4. Levine, Lin, and Cho (LLC)
5. Im, Pesaran, and Shin (IPS)
6. Akaike criterion

جدول ۷- نتایج آزمون‌های ریشه واحد لوین، لین و چو (LLC) و ایم، پسران و شین (IPS)

متغیر	توضیحات	آزمون لوین، لین و چو			آزمون ایم، پسران و شین		
		آماره آزمون	مقدار احتمال	ایستایی	آماره آزمون	مقدار احتمال	ایستایی
lnepi	شاخص عملکرد زیست‌محیطی	-۵/۷۵	۰/۰۰۰۰	سطح صفر درصد	-۲/۱۶	۰/۰۱۵۶	سطح پنج درصد
lneco	حجم کل تجارت بین‌الملل	-۳/۰۲	۰/۰۰۱۳	سطح صفر درصد	-۱/۸۷	۰/۰۳۰۸	سطح پنج درصد
lnhr	سهم مخارج آموزش دولتی از GDP	-۲/۲۸	۰/۰۱۴۸	سطح پنج درصد	-۱/۳۴	۰/۰۸۹۳	سطح ده درصد
lninn	سهم مخارج تحقیق و توسعه از GDP	-۸/۲۴	۰/۰۰۰۰	سطح صفر درصد	-۱/۵۴	۰/۰۵۷۲	سطح ده درصد
lnict	تعداد کاربران تلفن همراه	-۸/۲۷	۰/۰۰۰۰	سطح صفر درصد	-۳/۵۹	۰/۰۰۰۴	سطح صفر درصد
lnpop	رشد جمعیت	-۱/۹۳	۰/۰۲۷۱	سطح پنج درصد	-۱/۴۳	۰/۰۷۶۹	سطح ده درصد
lnagr	ارزش افزوده بخش کشاورزی	-۴/۱۱	۰/۰۰۰۰	سطح صفر درصد	-۲/۷۶	۰/۰۰۲۹	سطح صفر درصد
lnkei	شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان	-۷/۴۴	۰/۰۰۰۰	سطح صفر درصد	-۲/۴۵	۰/۰۰۷۱	سطح صفر درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج هر دو آزمون به کار رفته در جدول ۷ در خصوص ایستایی متغیرها تقریباً مشابه است. در مواردی که تفاوت‌های جزئی بین نتایج دو آزمون مشاهده می‌شود (مانند متغیر نوآوری که از نظر آزمون LLC، در سطح صفر درصد و از نظر آزمون IPS، در سطح ده درصد ایستاست)، از رسم نمودار به منظور بررسی دقیق‌تر روند متغیرها استفاده شد. از این‌رو، با توجه به نتایج به دست آمده، همه متغیرها انباشته از درجه صفر و ایستا محسوب می‌شوند.

در ادامه، برای انتخاب بهترین روش تخمین، آزمون F لیمر برای انتخاب بین داده‌های پانل و داده‌های تلفیقی انجام شد. همان‌گونه که نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد، مقدار آماره F لیمر برای هر دو

مدل حاکی از انتخاب روش داده‌های پانل در برآورد مدل است. در مرحله بعد، برای انتخاب مدل اثرات ثابت یا تصادفی از آزمون هاسمن استفاده شده که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۸)، فرض صفر برای هر دو مدل رد و فرض جایگزین (استفاده از مدل اثرات ثابت) پذیرفته می‌شود.

جدول ۸- نتایج آزمون F لیمر برای مقایسه داده‌های ترکیبی و آزمون هاسمن برای استفاده از مدل اثرات ثابت یا تصادفی

مدل	نوع آزمون	آماره آزمون	مقدار احتمال	نتیجه
۱	F لیمر	۳/۰۷	۰/۰۱۸۸	روش داده‌های پانل
۲	F لیمر	۲/۸۱	۰/۰۲۷۲	روش داده‌های پانل
۱	هاسمن	۲۰/۶۵	۰/۰۰۲۱	مدل اثرات ثابت
۲	هاسمن	۱۴/۹۵	۰/۰۲۰۶	مدل اثرات ثابت

مأخذ: یافته‌های پژوهش

قبل از ارائه و تفسیر نتایج مربوط به بررسی و تحلیل نقش مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان در عملکرد محیط زیست ایران و کشورهای منطقه، با استفاده از آزمون‌های مربوط، احتمال وجود ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی در مدل‌های برآوردی بررسی شد. نتایج آزمون والد تعدیل‌شده^۱ و نسبت درست‌نمایی^۲ که در جدول ۹ آمده، نشان‌دهنده عدم رد فرض صفر و تأیید وجود همسانی واریانس در مدل است. نتایج حاصل از آزمون خودهمبستگی وولدریج^۳ نیز نشان می‌دهد که شواهد کافی برای رد فرض صفر عدم وجود خودهمبستگی وجود دارد.

جدول ۹- نتایج آزمون‌های ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی

مدل	آزمون	آماره آزمون	مقدار احتمال	نتیجه
۱	والد تعدیل‌شده	۶/۹۱	۰/۳۲۹۰	همسانی واریانس
۲	والد تعدیل‌شده	۲/۸۵	۰/۸۲۶۸	همسانی واریانس
۱	نسبت درست‌نمایی	۴/۶۲	۰/۷۰۶۳	همسانی واریانس
۲	نسبت درست‌نمایی	۳/۸۱	۰/۴۳۲۴	همسانی واریانس
۱	آزمون وولدریج	۸۵/۰۲	۰/۰۰۰۳	خودهمبستگی
۲	آزمون وولدریج	۷۱/۶۳	۰/۰۰۰۴	خودهمبستگی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

1. adjusted Wald test
2. Likelihood Ratio
3. Wooldridge autocorrelation test

به منظور فائق آمدن بر مشکل خودهمبستگی، مدل نهایی با روش حداقل مربعات تعمیم یافته^۱ برآورد شده، که نتایج برآورد مدل‌های نهایی در جدول ۱۰ آمده است. در این جدول، مقدار احتمال آماره χ^2 مدل‌های ۱ و ۲، به ترتیب، کمتر از ۰/۰۵ و ۰/۰۱ بوده و بیانگر آن است که کل ضرایب مدل با عدد صفر متفاوت است. از این رو، مدل‌های برآوردی، در مجموع، خوب برازش شده و تفسیر ضرایب به لحاظ آماری امکان‌پذیر است. از نظر معنی‌داری تک تک ضرایب نیز مقدار آماره z حاکی از آن است که به استثنای متغیرهای تعداد کاربران تلفن همراه (فناوری اطلاعات و ارتباطات) و ارزش افزوده بخش کشاورزی، سایر متغیرها اثر معنی‌دار بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی دارند. متغیر حجم تجارت بین‌الملل اثر منفی معنی‌دار بر عملکرد زیست‌محیطی کشورها را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که در سطح اطمینان ده درصد، با افزایش یک درصد در حجم تجارت، شاخص عملکرد زیست‌محیطی ۰/۰۵۶ درصد کاهش می‌یابد. این علامت بدین معنی است که جهت‌گیری فعالیت‌های تجاری کشورها همسو با اهداف زیست‌محیطی نبوده است. سوروج-دل-ری و همکاران (Sorroche-del-Rey et al., 2023) نیز بر این باورند که تجارت باعث ارتقای تولید صنعتی در مقیاس بزرگ و در نتیجه، افزایش انتشار گازهای آلاینده، مصرف منابع انرژی و مواد سمی می‌شود، که تخریب محیط زیست را تشدید می‌کند. علاوه بر این، برخی از کشورهای دارای مقررات زیست‌محیطی ضعیف‌تر (معمولاً کشورهای در حال توسعه)، توجه شرکت‌های چندملیتی را به خود جلب می‌کنند. این موضوع باعث می‌شود که فعالیت‌های آلاینده مرتبط با محصولات تجاری بدین کشورها منتقل شود.

سهام مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی (GDP) تنها متغیری است که تأثیر مثبت بر متغیر وابسته دارد و در سطح اطمینان یک درصد، می‌توان گفت که با افزایش یک درصدی سهم مخارج آموزش، EPI به اندازه ۰/۳۳۶ درصد افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که ترکیه (۳/۹ درصد) و سپس، ایران (۳/۴۳ درصد) در این زمینه بیشترین سهم را داشته‌اند و میانگین این سهم در بین کشورها معادل ۲/۶۵ است. نتایج مطالعات شیرری و اختری (Shiri & Okhrati, 2019)، اسدپورکردی و همکاران (Asadpourkordi et al., 2023) و دینکا و همکاران (Dincă et al., 2022) نیز وجود رابطه مثبت بین آموزش و عملکرد محیط زیست را تأیید می‌کند. مبانی نظری موجود حاکی از آن است که آموزش، توانایی فرد را در دریافت، درک و پردازش اطلاعات افزایش می‌دهد و بر یادگیری و تغییر رفتار وی تأثیر می‌گذارد (Uralovich et al., 2023). بر اساس این رویکرد، آموزش می‌تواند با افزایش سطح دانش و آگاهی، انتقال ارزش‌ها و ارتقای باورها، توان (پتانسیل) بالا برای تغییر سبک زندگی و رفتارهای آسیب‌رسان

1. Generalized Least Squares (GLS)

به محیط زیست داشته باشد. با ارتقای سطوح تحصیلی، دغدغه مردم درباره نگرانی‌های زیست‌محیطی بیشتر می‌شود و افراد از خود رفتارهایی مسئولانه‌تر نشان می‌دهند (Vargas-Merino et al., 2024). با افزایش سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی (GDP)، ضمن فراهم آمدن فرصت‌ها و امکانات بیشتر آموزشی، کیفیت و عملکرد محیط زیست بهبود می‌یابد.

سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی (GDP) اثر منفی معنی‌دار بر عملکرد محیط زیست دارد و با افزایش یک درصدی آن، شاخص EPI کاهش ۰/۰۶۷ درصدی را تجربه خواهد کرد. نتایج گویای این رابطه منفی در پژوهش حاضر با نتایج مطالعه اسدپورکردی و همکاران (Asadpourkordi et al., 2023) مطابقت دارد و در سایر مطالعاتی هم که به بررسی اثر اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد اقتصادی کشورها (Amini Milani & Jalili, 2015) یا صادرات غیرنفتی (Raei & dahmardeh, 2021) پرداخته‌اند، اثر منفی تحقیق و توسعه تأیید شده است. به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری در نوآوری و پذیرش ابداعات نتوانسته است دانش نظری را به دانش کاربردی در این زمینه تبدیل کند. آمارها نشان می‌دهد که عملکرد ایران، با اختصاص ۰/۵۵ درصد از تولید ناخالص داخلی خود به تحقیق و توسعه، بیش از میانگین کشورهای منطقه (۰/۳۸) در این خصوص بوده است. همچنین، از نظر تولید مقالات علمی و اختراعات، ایران در صدر کشورهای مورد بررسی قرار دارد. از این‌رو، ضرورت دارد که بین طرح‌های تحقیقاتی و برنامه‌های عملیاتی در کشور رابطه‌ای قوی‌تر برقرار شود.

کاربری تلفن همراه و ارزش افزوده بخش کشاورزی، هر دو اثر منفی غیرمعنی‌دار بر عملکرد زیست‌محیطی دارند. با توجه بدین اثر ارزش افزوده بخش کشاورزی در هر دو مدل، می‌توان بدین نکته پی برد که تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر عملکرد محیط زیست کشورها با عدم قطعیت همراه بوده است، به‌گونه‌ای که تاکنون، اثری منفی و البته، معنی‌دار مشاهده نشده و فعالیت‌های کشاورزی از آستانه تحمل محیط زیست عبور نکرده است. همچنین، شماری از مطالعات انجام‌گرفته در سطح جهان گرفتن وابستگی محصولات کشاورزی به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها به‌ویژه استفاده از سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی و فشار بیش از حد به زمین برای افزایش عملکرد، کشاورزی را عامل اصلی آلودگی آب و خاک و نیز فرسایش و افت کیفیت خاک برشمرده‌اند. در مقابل، پژوهش‌های دیگری مانند مطالعه رحمان و همکاران (Raihan et al., 2023)، با استناد به فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس، افزایش سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی را موجب افزایش تولید ناخالص داخلی و بهبود کیفیت محیط زیست

دانسته‌اند. از این‌رو، اجماع نظر قاطع در این خصوص وجود ندارد و باید تحلیل رابطه بین ارزش افزوده کشاورزی و عملکرد زیست‌محیطی به تناسب شرایط و موقعیت هر کشور صورت گیرد.

متغیر درصد سالانه رشد جمعیت با ضرایب $-0/052$ در مدل اول و $-0/064$ در مدل دوم اثر منفی معنی‌دار بر شاخص EPI داشته است و انتظار می‌رود که رشد بیشتر جمعیت کشورهای تنزل وضع محیط زیست را به دنبال داشته باشد. کشورهای عراق و پاکستان از بالاترین نرخ رشد جمعیت و پایین‌ترین مقدار شاخص EPI برخوردارند. در نهایت، شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان در مدل دوم در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار بوده است و با افزایش یک درصدی ضریب آن، میزان عملکرد محیط زیست معادل $0/388$ درصد افت خواهد کرد. در واقع، همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، از بین چهار رکن اقتصاد دانش‌بنیان، تاکنون، صرفاً بعد آموزش و توسعه منابع انسانی اثر مثبت بر محیط زیست بر جا گذاشته است و سه رکن دیگر آن به‌ویژه نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی، و نوآوری و پذیرش ابداعات آثار منفی داشته‌اند، که لزوم برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در راستای ایجاد فضای مناسب و توسعه زیرساخت‌ها برای خلق ایده‌های نوآورانه و تبدیل دانش نظری به دانش کاربردی و تجاری را آشکار می‌سازد.

جدول ۱۰- نتایج برآورد نقش اقتصاد دانش‌بنیان در عملکرد محیط زیست ایران و کشورهای منطقه در مدل‌های ۱ و ۲

متغیر	توضیحات	ضریب	آماره Z
مدل ۱			
lneco	حجم کل تجارت بین‌الملل	$-0/056^*$	$-1/73$
lnhr	سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی	$0/336^{***}$	$4/82$
lninn	سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی	$-0/067^{**}$	$-1/98$
lnict	تعداد کاربران تلفن همراه	$-0/136$	$-1/44$
lnpop	رشد جمعیت	$-0/052^*$	$-1/83$
lnagr	ارزش افزوده بخش کشاورزی	$-0/129$	$-1/15$
عرض از مبدأ		$4/607^{***}$	$4/12$
		کی‌دو (χ^2): $13/67$	احتمال: $0/0387$
مدل ۲			
		ضریب	آماره Z
lnkei	شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان	$-0/388^{***}$	$-3/53$
lnpop	رشد جمعیت	$-0/064^{**}$	$-2/30$
lnagr	ارزش افزوده بخش کشاورزی	$-0/063$	$-0/85$
عرض از مبدأ		$4/576^{***}$	$5/10$
		کی‌دو (χ^2): $16/04$	احتمال: $0/0011$

*، ** و ***، به ترتیب، معنی‌داری در سطوح یک، پنج و ده درصد. مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

میزان تحقق مفهوم اقتصاد دانش‌بنیان و سطح هر کشور در تحقق پایه‌های آن موضوعی است که اکثر کشورها به دنبال ارزیابی آنند تا برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها بر حسب نتایج آن ارزیابی انجام شود. بر این اساس، ایده اصلی پژوهش حاضر تأکید بر عوامل مرتبط با اقتصاد دانش‌بنیان بوده است که باعث بهبود وضعیت زیست‌محیطی، رشد رقابت‌پذیری و حصول پایداری در کشور می‌شود. در این راستا، تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی ایران و کشورهای منتخب بررسی شد. محاسبه شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان با استفاده از روش ارزیابی دانش‌بانک جهانی نشان داد که طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۶، بالاترین امتیاز در شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان، با مقدار ۷/۲۷، به کشور ترکیه تعلق دارد و پس از آن، ارمنستان و ایران، به ترتیب، با میانگین ۵/۸۵ و ۵/۵۷ تقریباً در رتبه یکسان قرار دارند. کشورهای آذربایجان، عراق و پاکستان، به ترتیب، در رده‌های بعدی جای می‌گیرند. از نظر ارکان تشکیل‌دهنده اقتصاد دانش‌بنیان، ارمنستان در ارائه نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی، و ترکیه در آموزش و توسعه منابع انسانی، عملکرد بهتری نسبت به سایر کشورها داشته‌اند. کشورهای آذربایجان و ایران نیز به ترتیب، در زمینه فناوری اطلاعات و ارتباطات، و نوآوری و پذیرش ابداعات، پیشتاز بوده‌اند. برآورد مدل نهایی داده‌های پانل با روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته (GLS) حاکی از آن بوده که سهم مخارج آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی (مربوط به رکن آموزش و توسعه منابع انسانی) تنها متغیری است که تأثیر مثبت بر شاخص عملکرد زیست‌محیطی دارد. متغیر حجم تجارت بین‌الملل (از شاخص‌های رکن نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی) و متغیر سهم مخارج تحقیق و توسعه از تولید ناخالص داخلی (متعلق به رکن نوآوری و پذیرش ابداعات) اثر منفی معنی‌دار را بر عملکرد زیست‌محیطی کشورها نشان می‌دهند. به‌طور مشابه، شاخص ترکیبی اقتصاد دانش‌بنیان نیز رابطه معکوس با شاخص EPI دارد. بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش حاضر و در راستای بهبود رابطه اقتصاد دانش‌بنیان و عملکرد محیط زیست، پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌شود:

- از آنجا که نظام انگیزشی و نهادی اقتصادی، متشکل از سه شاخص تجارت بین‌الملل، کیفیت مقررات و حاکمیت قانون، با توجه به عملکرد نامطلوب آنها طی سال‌های مورد بررسی (به‌ویژه در دو شاخص اخیر)، بخش بزرگی از نیروی ایجادشده توسط سایر ارکان را با اثر بر فعالیت بخش خصوصی در حرکت به سمت اقتصاد دانش‌بنیان خنثی کرده، شایسته است که به‌منظور چاره‌اندیشی در این چالش، برای جلوگیری از ایجاد آلودگی و تخلیه منابع، قوانین زیست‌محیطی دقیق در راستای فعالیت واحدهای مربوط به‌ویژه شرکت‌های خارجی وضع و اجرا شود. پرهیز از خام‌فروشی منابع و همچنین، صدور

محصولات با ارزش افزوده بالاتر در این خصوص قابل توصیه است. در مورد ایران با رتبه بالا در رکن نوآوری و پذیرش ابداعات، توسعه صادرات خدمات فنی و مهندسی (کالاها و خدمات با فناوری بالا) را می‌توان مورد توجه قرار داد. با این همه، شایان یادآوری است که در هر جامعه، پیش‌نیاز فعالیت واحدهای اقتصادی فراهم‌سازی بستر و محیط مناسب از منظر کیفیت مقررات و حاکمیت قانون در جامعه است، به‌گونه‌ای که بتوان از این رهگذر، با تدوین و اجرای صحیح سیاست‌ها، زمینه توسعه بخش خصوصی را ارتقا بخشید و پایبندی به مقررات را تضمین کرد.

- بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین رشد شاخص اقتصاد دانش‌بنیان برای ایران مربوط به رکن نوآوری و پذیرش ابداعات بوده، گویای آنکه ایران در مهم‌ترین پیش‌رانه اقتصاد دانش‌بنیان که نماینده کاربرد دانش در اقتصاد است، ظرفیت قابل توجه برای رشد دارد. اما برای به بهره‌برداری از این ظرفیت، باید نکاتی را مد نظر قرار داد، که از آن جمله‌اند: توجه به تعریف پروژه‌های مسئله‌محور زیست‌محیطی، کاربردی کردن نتیجه تحقیقات علمی، سرمایه‌گذاری در راستای تجاری‌سازی نوآوری، و برنامه‌ریزی به‌منظور افزایش تعامل و همکاری بخش‌های علمی و اجرایی. برای ارتقای سهم صدور محصولات دانش‌بنیان در صادرات غیرنفتی، باید زمینه‌های ارتباط نهادی واسط بین دولت، صنعت و دانشگاه مانند پارک‌های علم و فناوری و شرکت‌های دانشگاهی و ... توسعه یابد و سازوکارهایی برای تبدیل بخشی از درآمدها به دارایی‌های مولد دانش فراهم شود؛ و افزون بر آن، مقررات لازم برای حمایت از حقوق مالکیت فکری پیش‌بینی شود تا امکان تعامل نوآوران در قالب شبکه‌ها افزایش یابد.

- با توجه به اثر مثبت سرمایه‌گذاری در زمینه آموزش و توسعه منابع انسانی، شایسته است که افزایش سهم آموزش دولتی از تولید ناخالص داخلی مورد توجه قرار گیرد و همچنین، از توزیع عادلانه منابع لازم برای تأمین مالی آموزش در سطوح آموزشی، برنامه‌ها و مناطق برای بهبود نرخ ثبت نام و کیفیت آموزش اطمینان حاصل شود.

منابع

1. Afzal, M. N. I. (2014). Knowledge-Based Economy (KBE): an investigation of theoretical frameworks and measurement techniques in the South East Asian Region. PhD Dissertation in University of Southern Queensland.
2. Alaeddine, S. (2023). The relationship between knowledge economy and environmental pollution: evidence from Arab countries. *BAU Journal* -

- Creative Sustainable Development*, 4(2-Article 9), 1-27. DOI: 10.54729/2789-8334.1109.
3. Alghazali, T., Al-Sudani, A. Q. A. S., Alabass, H. S. H., Hawash, M. K., Talib, S. G., Ali, M. H., Mohammad, T. A., Yousif, Y. D., & Al-Muttar, M. Y. O. (2022). The impact of knowledge-based economy on the economic growth of middle eastern countries. *Cuadernos de Economía*, 45(127), 163-170.
 4. Al-Qahtani, A. S. S. A., & Shirazi, N. S. (2023). What are the binding constraints for a knowledge-based economy in Qatar? *Sustainability*, 15(5), 3871. DOI: 10.3390/su15053871.
 5. Al-Roubaie, A. (2013). Building knowledge capacity for sustainable development in the Arab World. *International Journal of Innovation and Knowledge Management in Middle East & North Africa*, 2(1), 7-20.
 6. Amini Milani, M., & Jalili, N. (2015). The impacts of knowledge-based economy' components on economic growth in Iran (1975-2012). *Iranian Economic Development Analyses*, 3(4), 73-116. DOI: 10.22051/edp.2017.13059.1065.
 7. APEC (2000). Towards knowledge-based economies in APEC. A Report of APEC Economic Committee. Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC). Available at https://apec.org/docs/default-source/Publications/2000/11/Towards-KnowledgeBased-Economies-in-APEC-2000/00_ec_knowledgebased.pdf.
 8. Asadpourkordi, M., Amirnejad, H., & Eshghi, F. (2023). The role of a knowledge-based economy in maintaining and improving the quality of the environment. *Agricultural Market and Economics*. 1(1), 30-42. [In Persian]
 9. Ashrafzadeh, S. H. R., & Mehregan, N. (2014). Panel data econometrics. University of Tehran, Cooperative Research Institute, Tehran. [In Persian]
 10. Azizi, F., & Moradi, F. (2018). Calculating the index and sub-indices of knowledge-based economy for Iran (1996-2014). *Journal of Economic Research and Policies*, 26(85), 243-270. [In Persian]
 11. Baltagi, B. (2008). Econometric analysis of panel data. John Wiley & Sons.

12. Chen, D. H. C., & Dahlman, C. J. (2006). The knowledge economy, KAM methodology and World Bank operations. Paper No. 35867, World Bank, Washington, DC.
13. Dincă, G., Bărbuță, M., Negri, C., Dincă, D., & Model (Săndulescu) L.-S. (2022). The impact of governance quality and educational level on environmental performance. *Frontiers in Environmental Science*. 10, 950683. DOI: 10.3389/fenvs.2022.950683.
14. Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: a survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455.
15. Eghbal-zadeh, H., Henkel, F., & Widmer, G. (2021). Learning to infer unseen contexts in causal contextual reinforcement learning. Self-Supervision for Reinforcement Learning. ICLR 2021 SSL-RL Workshop, pp. 1-11. Self-Supervised Learning within Reinforcement Learning (SSL-RL), Causal Contextual Reinforcement Learning (ICLR). Available at <https://openreview.net/pdf?id=gPZP5ha9LpX>.
16. Gojarati, D. (2013). Basics of econometrics 2. Translated By H. Abrishami. The 9th Edition, Tehran University Publishing Institute. [In Persian]
17. Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement (No. w3914). National Bureau of Economic Research.
18. Jednak, S., & Kragulj, D. (2015). Achieving sustainable development and knowledge-based economy in Serbia. *Management Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 20(75), 01-12. DOI: 10.7595/management.fon.2015.0015.
19. Kalim, R., Ul-Durar, S., Iqbal, M., Arshed, N., & Shahbaz, M. (2024). Role of knowledge economy in managing demand-based environmental Kuznets Curve. *Geoscience Frontiers*, 15(4), 101594. DOI: 10.1016/j.gsf.2023.101594.
20. Keykhosravi, M., Dehyouri, S., & Mirdamadi, S. M. (2023). Modeling the environmental performance by focusing on environmental behavior [of] rural

- farmers. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100309. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100309>.
21. Mehreghan, N., & Teimouri, Y. (2020). Panel data (cross-sectional-time series data). *Encyclopedia of Economics*, 3(1), 1-3.
22. Mohamed, M. M. A., Liu, P., & Nie, G. (2022). Do knowledge economy indicators affect economic growth? Evidence from developing countries. *Sustainability*, 14(8), 4774. DOI: 10.3390/su14084774.
23. Naghavi, S. (2019). The role of knowledge-based economy in the agricultural growth of selected countries with an emphasis on Iran. *Agricultural Economics*, 13(2), 83-105. DOI: 10.22034/iaes.2019.105813.1686. [In Persian]
24. Raei, S. S., & Dahmardeh, N. (2021). The impact of the knowledge-based economy on Iran non-oil export. *Quarterly Journal of Quantitative Economics (JQE)*, 18(2), 43-55. DOI: 10.22055/jqe.2020.26777.1922. [In Persian]
25. Raihan, A., Voumik, L. C., Mohajan, B., Rahman, S., & Zaman, R. (2023). Economy-energy-environment nexus: the potential of agricultural value-added toward achieving China's dream of carbon neutrality. *Carbon Research*, 2, Article No. 43. DOI: 10.1007/s44246-023-00077-x.
26. Režný, L., Buchanan White, J., & Marešová, P. (2019). The knowledge economy: key to sustainable development? *Structural Change and Economic Dynamics*, Elsevier, 51, 291-300. DOI: 10.1016/j.strueco.2019.02.003.
27. Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2018). Empirical study of the Environmental Kuznets Curve and environmental sustainability curve hypothesis for Australia, China, Ghana and USA. *Journal of Cleaner Production*, 201, 98-110.
28. Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019a). A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 649, 128-145.

29. Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019b). Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *Science of the Total Environment*, 646, 862-871.
30. Shiri, H., & Okhrati, S. (2019). A study on the relationship between education and environmental performance (with an emphasis on Iran's status). *Environmental Researches*, 9(18), 263-274. DOR: 20.1001.1.20089597.1397.9.18.22.1. [In Persian]
31. Širá, E., Vavrek, R., Vozárová, I. K., & Kotulic, R. (2020). Knowledge economy indicators and their impact on the sustainable competitiveness of the EU countries. *Sustainability*, 12(10), 4172. DOI: 10.3390/su12104172.
32. Soleimani, A., & Cheraghi, M. (2021). Comparative analysis of the structure of Environmental Performance Index (EPI) in 2020 with emphasis on Iran's position. Islamic Council Research Center, Basic Studies, Environment Department, No 17622. [In Persian]
33. Sorroche-del-Rey, Y., Piedra-Muñoz, L., & Galdeano-Gómez, E. (2023). Interrelationship between international trade and environmental performance: theoretical approaches and indicators for sustainable development. MPRA Paper 119918, University Library of Munich, Germany.
34. Sukharev, O. (2021). Measuring the contribution of the knowledge economy to the economic growth rate: comparative analysis. *Journal of the Knowledge Economy*, 12, 1809-1829. DOI: 10.1007/s13132-020-00690-w.
35. Torres-Reyna, O. (2007). Linear regression using Stata. Available at <https://www.princeton.edu/~otorres/Regression101.pdf>.
36. Uralovich K. S., Toshmamatovich, T. U., Kubayevich, K. F., Sapaev, I. B., Saylaubaevna, S. S., Beknazarova, Z. F., & Khurramov, A. (2023). A primary factor in sustainable development and environmental sustainability is environmental education. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 965-975.
37. Vargas-Merino, J. A., Rios-Lama, C. A., & Panez-Bendezu, M. H. (2024). Critical implications of education for sustainable development in HEIs — A systematic review through the lens of the business science literature. *The*

- International Journal of Management Education*, 22, 100904. DOI: 10.1016/j.ijme.2023.100904.
38. Wolf, M. J., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., & Wendling, Z. A. (2022). 2022 Environmental Performance Index. Yale Center for Environmental Law & Policy, New Haven, CT, epi.yale.edu.
39. World Bank (2007). Building knowledge economies, advanced strategies for development. DOI: 10.1596/978-0-8213-6957-9.
40. YCELP-CIESIN (2022). 2022 Environmental Performance Index (EPI) (Version 2022.00) [Data set]. Yale Center for Environmental Law and Policy (YCELP), Yale University, and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Palisades, New York. DOI: 10.7927/dwt2-9k25.
41. Yuan, F., Tang, K., & Shi, Q. (2021). Does Internet use reduce chemical fertilizer use? Evidence from rural households in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6005-6017.

