



"Research Paper"

The Role of a Knowledge-Based Economy in Maintaining and Improving the Quality of the Environment

Maryam Asadpourkordi¹, Hamid Amirnejad² and Foad Eshghi³

1- Ph.D. in Natural Resources and Environmental Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: asadpoor77@gmail.com)

2- Professor, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 30 Nonember, 2022

Accepted: 3 April, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Achieving high economic growth is one of the development goals in countries that have a direct relationship with the quality of the environment, because the increase in economic growth has led to an increase in agricultural and industrial activities and has caused an increase in environmental pollutants and more use of scarce natural resources, both of which will mean reducing the quality of the environment. But the path of a knowledge-based economy is a path that pursues both economic development and does not have the plagues of ordinary industrial development. Therefore, paying attention to the knowledge-based economy can be important in the path of sustainable development.

Material and methods: Considering the importance of the knowledge-based economy on the level of pollution, the present research examines the four knowledge-based economic indicators introduced by the World Bank, including economics; innovation; technology and education deals with the emission of three important pollutants, CO₂, CH₄ and N₂O. To achieve this goal, 8 Islamic developing countries (D8) were used for the period 2000 to 2019, which were estimated with the help of Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) to investigate the effect of sub-indices on the amount of pollution, artificial neural networks were used. It has been used to Iran.

Results: The results of the DOLS model showed that in all three pollution diffusion models, the information technology and the innovation indexes had a negative and significant effect on pollution diffusion and the education index had a significant positive effect. The results of the neural networks for Iran indicated that there had been a negative effect on the amount of pollution in all three sub-indicators of economic and innovation pollution.

Conclusion: The results showed that among the four indicators, the innovation index had a greater elasticity on the spread of pollution than other indicators. Therefore, it is suggested to invest more in the use of innovations in Iran and other D8 member countries. Also, according to the results of neural networks in Iran, it is suggested to move with more attention and more correct management in controlling corruption and the quality of regulations, as well as increasethe country's economic growth in the direction of reducing pollution.

Keywords: Air pollution, DOLS, D8, Environmental, Neural networks.



مقاله پژوهشی

نقش اقتصاد دانش بنیان بر حفظ و ارتقای کیفیت محیط زیست

مریم اسدپور کردی^۱، حمید امیرنژاد^۲ و فواد عشقی^۳^۱- دکتری اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسؤل: asadpoor77@gmail.com)^۲- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران^۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۴ صفحه: ۳۰ تا ۴۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: دستیابی به رشد اقتصادی بالا یکی از اهداف توسعه‌ای در کشورها می‌باشد که ارتباط مستقیمی با کیفیت محیط زیست دارد، چرا که افزایش رشد اقتصادی منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، آلاینده‌های محیطی و استفاده بیشتر از منابع طبیعی کمیاب شده است که هر دو به معنای کاهش کیفیت محیط زیست خواهد بود. اما مسیر اقتصاد دانش بنیان مسیری است که هم توسعه اقتصادی را به دنبال دارد و هم آفت‌های توسعه صنعتی متداول را ندارد. لذا توجه به اقتصاد دانش بنیان می‌تواند در مسیر توسعه پایدار حائز اهمیت باشد.

مواد و روش‌ها: با توجه به اهمیت اقتصاد آگاهی از میزان انتشار آلودگی، تحقیق حاضر به بررسی چهار شاخص اقتصاد دانش بنیان معرفی شده توسط بانک جهانی شامل اقتصادی، نوآوری، فناوری و آموزش بر انتشار سه آلاینده مهم CO₂، CH₄ و N₂O می‌پردازد. برای رسیدن به این هدف از داده‌های ۸ کشور در حال توسعه اسلامی (دی ۸) برای دوره زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ استفاده شده است. در این مطالعه روش حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) جهت برآوردها و برای بررسی تأثیر زیرشاخص‌ها بر میزان انتشار آلودگی کشور ایران از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج مدل DOLS نشان داد که در هر سه مدل انتشار آلودگی، شاخص فناوری اطلاعات و شاخص نوآوری اثر منفی و معنی‌داری و شاخص آموزش اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار آلودگی داشته است، اما شاخص اقتصادی اثر معنی‌داری بر انتشار آن نداشته است. نتایج شبکه‌های عصبی برای ایران نشان داد که در هر سه انتشار آلودگی زیر شاخص‌های اقتصادی و نوآوری اثر منفی بر میزان انتشار داشته است که در بین آن‌ها زیرشاخص کنترل فساد اثر بزرگتری بر انتشار آلودگی داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد در بین چهار شاخص ذکر شده، شاخص نوآوری کشش بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها بر انتشار آلودگی دارد. لذا پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری بیشتری در جهت استفاده از نوآوری‌ها در ایران و سایر کشورهای عضو دی ۸ انجام پذیرد. همچنین با توجه به نتایج شبکه‌های عصبی برای ایران، پیشنهاد می‌شود توجه بیشتر و مدیریت صحیح‌تر در کنترل فساد، کیفیت مقررات و همچنین بالا بردن رشد اقتصادی کشور در جهت کاهش انتشار آلودگی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، شبکه‌های عصبی، دی ۸، محیط زیست، DOLS

مقدمه

دانش بنیان، آن را اقتصادی می‌داند که در آن تولید، توزیع و کاربرد دانش، عامل و محرک اصلی رشد اقتصادی، تولید ثروت و اشتغال در تمامی صنایع است. طبق این تعریف، تمامی فعالیت‌های اقتصادی به نوعی به دانش متکی هستند (Lotfalipour et al., 2017). با توجه مطالعات انجام شده در خصوص اقتصاد دانش بنیان تاکنون حداقل هفت چارچوب جامع برای مطالعه و اندازه‌گیری و تحلیل اقتصاد دانش بنیان ارائه شده است که به طور خلاصه در جدول (۱) بیان شده است (Azizi & Moradi, 2018).

در دنیای پرتلاطم امروزی که تحت تأثیر جهانی شدن می‌باشد، دانش در حال تبدیل شدن به یک عامل کلیدی در بازار است. هر اقتصادی اگر بخواهد موفق و رقابتی باشد باید به ایجاد دانش، انتقال و حفظ آن توجه بیشتری داشته باشد از این نظر، دانش یک عنصر کلیدی در تضمین موقعیت پایدار یک کشور در یک محیط رقابتی است (Mahmoodi et al., 2020; Širá et al., 2021).

سازمان همیاری اقتصادی آسیا و اقیانوس آرام (APEC)، با گسترش ایده مطرح شده توسط OECD در خصوص اقتصاد

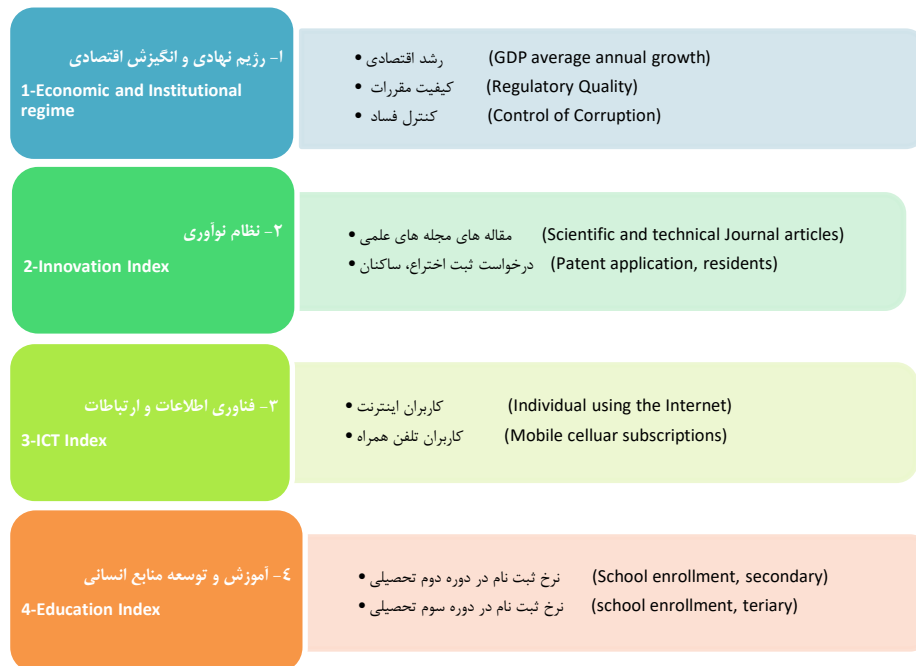
جدول ۱- چارچوب‌های جامع اندازه‌گیری اقتصاد دانش بنیان (عزیزی و مرادی، ۲۰۱۸)

Table 1. Comprehensive frameworks for measuring the knowledge-based economy (Azizi & Moradi, 2018)

چارچوب‌ها Frameworks	مؤلفه‌ی اول First component	مؤلفه‌ی دوم Second component	مؤلفه‌ی سوم Third component	مؤلفه‌ی چهارم Fourth component
OECD	سرمایه انسانی	نوآوری و کارآفرینی	فناوری اطلاعات	شرایط اقتصادی
NEW ECONOMY	مشاغل دانشی	ظرفیت نوآوری فناورانه	جامعه دیجیتال	جهانی شدن و پویایی اقتصاد
HARVARD	یادگیری شبکه‌ای	اقتصاد شبکه‌ای	دسترسی شبکه‌ای	جامعه شبکه‌ای
APEC	توسعه منابع انسانی	سیستم نوآوری	زیرساخت اطلاعاتی	محیط کسب و کار
ABS	سرمایه انسانی	نوآوری و کارآفرینی	فناوری اطلاعات	اثرات اقتصادی و اجتماعی
WORLD BANK	آموزش و نیروی انسانی	سیستم نوآوری	زیرساخت اطلاعاتی	نظام اقتصادی و نهادی
UNECE	سرمایه انسانی	سیستم نوآوری	سیستم اطلاعات	رژیم نهادی
	Human Capital	Innovation system	Information system	Institutional regime

زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی تعریف می‌کند (World Bank, 2008; World Bank, 2019). شاخص‌های عمده این مؤلفه‌ها که در این بررسی به استناد به گزارش بانک جهانی در نظر گرفته شده‌اند در شکل (۱) بیان شده است (Širá et al., 2020):

همانطور که در جدول (۱) بیان شد روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری اقتصاد دانش‌بنیان وجود دارد که در بین آنها، روش بانک جهانی جامع‌تر و متداول‌تر می‌باشد، از این‌رو در این تحقیق از روش مذکور استفاده گردید. بانک جهانی (۲۰۱۵)، چهار رکن اساسی برای اقتصاد دانش‌بنیان را رژیم نهادی و انگیزش اقتصادی، آموزش و منابع انسانی، نظام نوآوری و



شکل ۱- شاخص‌های اصلی و فرعی در اقتصاد دانش‌بنیان بانک جهانی (بانک جهانی، ۲۰۱۹)
Figure 1. The main and secondary indicators in the knowledge-based economy of the World Bank (World Bank, 2019)

آثار خارجی منفی مانند آلودگی را در پی دارد (Bölük & Mert, 2014; Darbidi et al., 2020).

طرفداران دیدگاه دوم (نوآوری موجب افزایش انتشار آلودگی می‌شود؛ بر این عقیده‌اند که نوآوری‌ها ممکن است منجر به ایجاد موانعی در جهت رشد سبز گردند. زیرا آنها معتقدند که نوآوری‌ها ممکن است باعث به‌وجود آمدن اثرات بازگشتی و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و انتشار آلودگی گردند (Brännlund et al., 2007).

در ادبیات اقتصاد محیط‌زیستی دو رویکرد متفاوت در زمینه تأثیر آموزش بر محیط زیست وجود دارد (Atrkar Roshan & Fathi, 2017).

رویکرد اول: فرزین و باند (۲۰۰۶) ارتباط مثبت بین سطح آموزش و بهبود کیفیت محیط‌زیست را از سه طریق تبیین کردند: ۱- افراد تحصیل کرده از مسایل محیط‌زیست آگاه‌ترند و بنابراین رفتارها و شیوه زندگی آنها در حمایت از محیط‌زیست و بهبود آن خواهد بود و نگرش و جهت‌گیری آنها به سمت حمایت از محیط‌زیست است (Bimonte, 2002; Cheah & Phau, 2011). ۲- افراد تحصیل کرده، ظرفیت با توانایی بالاتری را برای استفاده از ابزار موجود به‌منظور بیان ترجیحات محیط‌زیستی خود دارند. آنها همچنین می‌توانند گروه‌های

اولین محور اقتصاد دانش‌بنیان که به رژیم نهادی و محرکه‌های اقتصادی مربوط می‌شود شامل یک دولت معتمد و دارای عملکردی با کارایی بسیار زیاد همراه با سیاست‌های باثبات و سطوح حداقل فساد است (Behbodi et al., 2015). رونالد کوز^۱ بیان می‌کند که آلودگی محیط‌زیست یک پیامد جانبی منفی حاصل از ناتوانی بازارها در تخصیص منابع و انعکاس ارزش‌های محیط‌زیستی در حساب‌های سود و زیان است که با توجه به وجود هزینه مبادله در زمان چانه‌زنی دولت می‌تواند با طراحی و اجرای ابزارهای مانند تعریف حقوق مالکیت برای طرفین چانه‌زنی درگیر فعالیت‌های اقتصادی آلوده‌کننده محیط‌زیست، در جهت حداقل‌سازی هزینه‌های مبادله مؤثر واقع شود (Madah & Abdollahi, 2012).

در خصوص اثر نوآوری بر انتشار آلودگی دو دیدگاه وجود دارد. در دیدگاه اول (نوآوری موجب کاهش انتشار آلودگی می‌شود (Zhang et al., 2018)، طبق نظریه واندرو پورتر^۲ (۱۹۹۵)، موفقیت در کنترل میزان آلودگی باید مبتنی بر نوآوری باشد. مطابق با این دیدگاه بنگاه‌ها به‌منظور کسب سود و موفقیت‌های مالی با یکدیگر به رقابت می‌پردازند، نتیجه این رقابت به نوآوری و خلاقیت منجر می‌شود و در نهایت کاهش

در خصوص اثر اقتصاد دانش‌بنیان بر کیفیت محیط زیست به جز مطالعه‌ی لطفی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ی دیگری در کشور یافت نشد (Lotfalipour et al., 2017). اما در خصوص اثرات شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان (به‌صورت جداگانه) بر انتشار آلودگی در داخل و خارج از کشور مطالعاتی صورت گرفته که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

لطفی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر اقتصاد دانش‌بنیان بر کیفیت محیط‌زیست در ایران پرداختند. نتایج این تحقیق که به روش الگوی خود بازگشت برداری با وقفه‌های توضیحی (ARDL) طی بازه‌ی زمانی ۱۳۵۵ الی ۱۳۹۱ بوده است، نشان داد که؛ در بین محورهای مختلف اقتصاد دانش‌بنیان، شاخص فناوری اطلاعات و همچنین آموزش اثر مثبت، و دو عامل رژیم نهادی و نوآوری اثر منفی بر انتشار آلودگی داشته است (Lotfalipour et al., 2017).

جعفری‌پرویزخانلو و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و رشد اقتصادی بر آلودگی محیط زیست به بررسی اثر فناوری بر انتشار CO₂ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که فناوری اطلاعات و ارتباطات تأثیر مستقیم و مجذور آن تأثیر منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد (Jafariparvizkhanlou et al., 2021).

عطرکار روشن و فتحی (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر آموزش بر انتشار آلودگی هوا در کشورهای منتخب منا پرداختند. نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار متغیر آموزش بر بهبود کیفیت محیط‌زیست و کاهش رشد آلودگی هوا می‌باشد (Atrkar Roshan & Fathi, 2017).

داربیدی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی استان‌های ایران به بررسی اثر نوآوری بر میزان انتشار SO₂ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نوآوری تأثیر منفی بر میزان انتشار آلودگی دارد (Darbidi et al., 2020).

ژو و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه نوآوری در بخش انرژی تجدیدپذیر و آلودگی هوا طی سال‌های ۲۰۱۱ الی ۲۰۱۷ برای ۳۱ استان چین پرداختند. نتایج این تحقیق که به‌کمک پنل دیتا صورت گرفت نشان داد که نوآوری منجر به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن گردیده است (Zhu et al., 2020). پارک و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود نشان دادند که ضریب نفوذ اینترنت به‌عنوان پروکسی فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود (Park et al., 2018).

دانیس و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای نشان دادند که فناوری اطلاعات، ارتباطات، رشد اقتصادی و مصرف انرژی در کشورهای با سطح درآمد بالا و متوسط تأثیر منفی بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد ولی در کشورهای با درآمد پایین باعث افزایش انتشار آلودگی می‌شود (Danish et al., 2019).

گانی (۲۰۱۳) در پژوهش خود آثار تجارت و کیفیت مقررات بر آلودگی در کشورهای عربی را مورد بررسی قرار داده است. نتایج وی بیانگر این است که تجارت، فعالیت‌های صنعتی و درآمد سرانه اثر مثبت بر آلودگی دارد و کیفیت مقررات بر آلودگی اثر منفی دارد (Gani, 2013).

فشاری را برای اجرای سیاست‌های عمومی محیط‌زیستی سازماندهی کنند (Atrkar Roshan & Fathi, 2017; Hettige et al., 1996). ۳- از سویی دیگر، فرزین و باند (۲۰۰۶) عنوان کردند که افراد تحصیل‌کرده تقاضای آرایه بیشتر خدمات شهری پیشرفته و سازگار با محیط‌زیست را دارند (Farzin & Bond, 2006).

رویکرد دوم: با وجود توافق نسبی روی اثر مثبت آموزش، عده‌ای بر این باورند که آموزش عاملی است که آلودگی را افزایش می‌دهد. جورگنسن (۲۰۰۳) دریافت که آموزش یک اثر مثبت روی اثرات مخرب محیط‌زیستی دارد افراد تحصیل‌کرده درآمد و قدرت خرید بیشتری دارند و به مصرف بیش از حد کالاهای مادی تشویق می‌شوند (Jorgenson, 2003; Princen, 2001).

اما رابطه فناوری اطلاعات، ارتباطات و کیفیت محیط‌زیست یکی از موضوعات پیچیده و چندبعدی است (Danish et al., 2019) و از سه کانال بر محیط‌زیست تأثیرگذار است:

کانال اول: این کانال به اثر مصرف معروف است و اشاره به این موضوع دارد که در فرآیند تولید و توزیع تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات، ضایعات ناشی از آن به‌طور معنی‌داری انتشار دی‌اکسید کربن را افزایش می‌دهد (Lennerfors et al., 2015).

کانال دوم: دومین کانالی که فناوری اطلاعات و ارتباطات بر محیط‌زیست تأثیرگذار می‌باشد، تحت عنوان اثر جانشینی شناخته شده است که در آن به‌اصلاح فرآیند تولید دارد و شامل کاهش مصرف مواد و منابع فیزیکی، فرآیند تولید کربن‌زدایی اشاره شده است که در کل منجر به افزایش کارایی مصرف انرژی و به‌دنبال آن کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود (Jafariparvizkhanlou et al., 2021).

کانال سوم: این کانال به کانال هزینه معروف است که در واقع اشاره به این دارد که فناوری اطلاعات و ارتباطات تقاضا برای برخی کالاها و خدمات را به‌خاطر کاهش قیمت آن‌ها افزایش می‌دهد که تأثیر مستقیم بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد (Danish et al., 2018; Shabani & Shahnazi, 2019). بنابراین فناوری اطلاعات و ارتباطات هم می‌تواند به کاهش آلودگی محیط‌زیستی و انتشار دی‌اکسیدکربن و هم اینکه می‌تواند به افزایش آلودگی و انتشار دی‌اکسیدکربن منجر شود (Jafariparvizkhanlou et al., 2021).

با توجه به آنچه تاکنون بیان شد دستیابی به رشد اقتصادی بالا یکی از اهداف توسعه‌ای در کشورهاست که ارتباط مستقیمی با کیفیت محیط‌زیست دارد، چرا که افزایش رشد اقتصادی منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی شده و باعث افزایش آلاینده‌های محیطی و استفاده بیشتر از منابع طبیعی کمیاب شده است، که هر دو به معنای کاهش کیفیت محیط‌زیست خواهد بود. اما مسیر اقتصاد دانش‌بنیان مسیری است که هم توسعه اقتصادی را به‌دنبال دارد و هم آفت‌های توسعه صنعتی متداول را ندارد. لذا توجه به اقتصاد دانش‌بنیان می‌تواند در مسیر توسعه‌ی پایدار حائز اهمیت می‌باشد.

رابطه (۲) خواهد بود (Lotfalipour et al, 2017)، که به صورت پانل برای کشورهای در حال توسعه D8 در نظر گرفته شده است.

$$LPollution_{it} = F(LEIR_{it}, LICT_{it}, LEHR_{it}, LINN_{it}) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $LPollution_{it}$ ، لگاریتم طبیعی شاخص آلودگی هوا (که شامل انتشار سالانه CH_4 و CO_2 ، N_2O می باشد)، $LEIR_{it}$ ، لگاریتم طبیعی رژیم نهادی و اقتصادی، $LICT_{it}$ ، لگاریتم طبیعی زیرساخت های اطلاعات و ارتباطات، $LEHR_{it}$ ، لگاریتم طبیعی آموزش و منابع انسانی و $LINN_{it}$ ، لگاریتم شاخص نوآوری می باشد که برای ۸ کشور در حال توسعه ی عضو D8 از جمله ایران طی سال های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است. لذا جهت رسیدن به این هدف از روش حداقل مربعات معمولی پویا ($DOLS$)^۲ استفاده گردید. این روش یک روش برای بررسی روابط بلندمدت^۳ بین متغیر وابسته و توضیحی مدل می باشد (Zaied, 2013). روش $DOLS$ یکی از روش های برآورد مدل داده های ترکیبی پویا است که توسط استوک و واستون (۱۹۹۳) مطرح شده است و با اعمال تعدیل هایی در روش کمینه مربعات معمولی، واکنش یک متغیر وابسته نسبت به تغییرپذیری متغیرهای مستقل را بررسی می کند (Fotros et al., 2012; Stock & Watson, 1993). در این روش ضریب های بلندمدت با استفاده از رابطه (۳) برآورد می شود (Fegheh Majidi & Ebrahimi, 2014):

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta X_{i,t+j} + u_{it} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، فاکتور P نشان دهنده ی روندهای گذشته و آینده (تقدم یا تاخر^۴)؛ $\Delta X_{i,t-j}$ ؛ تفاضل متغیر توضیحی با وقفه؛ $\Delta X_{i,t+j}$ تفاضل متغیر توضیحی با روندهای آینده؛ γ_j ضریب های وقفه ها یا روندهای گذشته؛ δ_j ضریب های روندهای آینده؛ u_{it} خطای برآورد رابطه بلندمدت پویا؛ Y_{it} متغیر وابسته است.

پیش از تحلیل روابط میان متغیرها بایستی مانایی سری های مورد بررسی را به کمک آزمون های ریشه واحد بررسی کرد (Baltagi, 2005). از این رو، در این مطالعه از دو آزمون معروف ریشه واحد در الگوهای ترکیبی شامل آزمون Levin, Lin & Cho (1993) و آزمون Im, Pesaran & Shin (2003) استفاده شده است (Baltagi, 2005). فرضیه صفر در این آزمون ها مبتنی بر وجود یک ریشه واحد است. همچنین در این مطالعه برای بررسی آزمون هم انباشتگی در مدل، از روش ارائه شده توسط کائو (۱۹۹۹) استفاده شده است (Kao, 1999). فرضیه صفر در این آزمون، نبود هم انباشتگی یا رابطه بلندمدت است (Kao, 1999; Kao, 2005; Baltagi, 2005; & Chiang, 2001).

اما در این تحقیق علاوه بر بررسی اثر شاخص های اقتصاد دانش بنیان بر انتشار آلودگی، به بررسی اثر شاخص های اصلی و فرعی اقتصاد دانش بنیان بر انتشار آلودگی برای ایران به کمک

با توجه با مطالب بیان شده و مطالعات انجام گرفته در خصوص اثر اقتصاد دانش بنیان بر انتشار آلودگی به غیر از مطالعه ی لطفی پور و همکاران مطالعه ی جامعی که همه ارکان اقتصاد دانش بنیان را بر انتشار آلودگی بررسی کند دیده نشده است لذا تحقیق حاضر به بررسی تمامی ارکان اقتصاد دانش بنیان بر انتشار آلودگی می پردازد (Lotfalipour et al., 2017).

اما در بین گازهای گلخانه ای، دی اکسید کربن پس از بخار آب مهم ترین گاز گلخانه ای در اتمسفر در جذب اشعه مادون قرمز می باشد و مسوول ۶۲ درصد از مجموع کل نیروی و تابشی زمین که توسط گازهای گلخانه ای در دهه گذشته تولید شده، می باشد. دومین گاز مهم که حدود ۲۰ درصد اثر گلخانه ای (واداشت تابشی) را شامل می شود، گاز متان است که غلظت اتمسفری آن حدود ۲۰۰ برابر کمتر از مقداری اکسید کربن می باشد. اکسید نیتروژن مسوول حدود شش درصد اثر گلخانه ای می باشد و توانائی آن در جذب اشعه مادون قرمز، ۳۰۰ برابر بیشتر از دی اکسید کربن می باشد. بنابراین سه گاز مهم که بخش مهمی از آلودگی را شامل می شوند گازهای CO_2 ، CH_4 و N_2O می باشد (Zhang et al., 2022). بنابراین این مطالعه به بررسی چهار شاخص اقتصاد دانش بنیان بر سه شاخص مهم انتشار آلودگی در کشورهای عضو دی ۸ می پردازد. همچنین تحقیق حاضر علاوه بر بررسی اقتصاد دانش بنیان بر انتشار آلودگی، با استفاده از روش شبکه های عصبی به بررسی شاخص های مزبور بر انتشار آلودگی ایران نیز می پردازد.

مواد و روش ها

در این مطالعه، برای محاسبه شاخص اقتصاد دانش بنیان، از روش شناسی ارزیابی بانک جهانی استفاده شد. روش شناسی ارزیابی اقتصاد دانش (KAM)^۱ به وسیله پایگاه آماری KAM برای ۱۴۶ کشور از جمله ایران از سال ۱۹۹۸ به بعد توسط بانک جهانی تهیه شده است و در پایگاه اطلاعاتی بانک جهانی ارایه شده است (World Bank, 2008; World Bank, 2012). متدولوژی ارزیابی دانش و فرایند نرمال کردن متغیرها به این صورت است که در آغاز هریک از کشورها بر مبنای مقدار خام نماگر مرتب شده و سپس رتبه هر کشور مشخص می شود. مقدار نرمال شده نماگر $N(u)$ برای هر کشور بر مبنای رابطه (۱) به دست می آید:

$$(u) = 10(1 - N(w)/N(c)) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، u معیار سنجش به دست آمده برای هر متغیر، $N(w)$ شمار کشورهای است که در شاخص مورد نظر پایین تر و یا برابر کشور مورد نظر قرار دارند (دارای عملکرد ضعیف تری در آن شاخص هستند) و $N(c)$ کل کشورهای مورد بررسی (کشورهای نمونه) می باشد (Azizi & Moradi, 2018).

در این تحقیق برای شاخص انتشار آلودگی از سه شاخص انتشار سالانه دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن استفاده شده است. بنابراین، مدل استفاده شده در این مطالعه به صورت

3- Long-term
4- Lag and Lead

1- Knowledge Assessment Methodology
2- Dynamic ordinary least squares

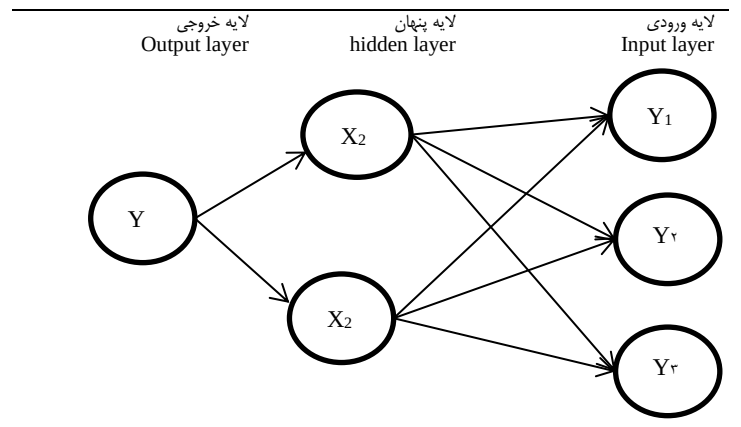
می‌کند، استفاده نمود (Schalkoff, 1997; Sharma et al., 2001). مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی به شکل مدل‌های سازمان‌یافته لایه‌ای و با توجه به پردازش موازی یک تصویر در مغز انسان انجام می‌گیرد (Demuth et al., 1992). شکل (۲) مدل ساده‌ای از شبکه عصبی مصنوعی را نمایش می‌دهد (Harvey, 1994).

شبکه‌های عصبی نیز پرداخته شده است که در ادامه روش شبکه عصبی تشریح شده است.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یا به عبارتی شبکه‌ی عصبی، نوعی ابزار محاسباتی است که با الهام گرفتن از مغز انسان طراحی شده است (Mirfakhreddiny et al., 2021).

برای مدل‌سازی یک شبکه عصبی مصنوعی، می‌توان از یک مدل ریاضی که خصوصیات یک سیستم بیولوژیکی را توصیف



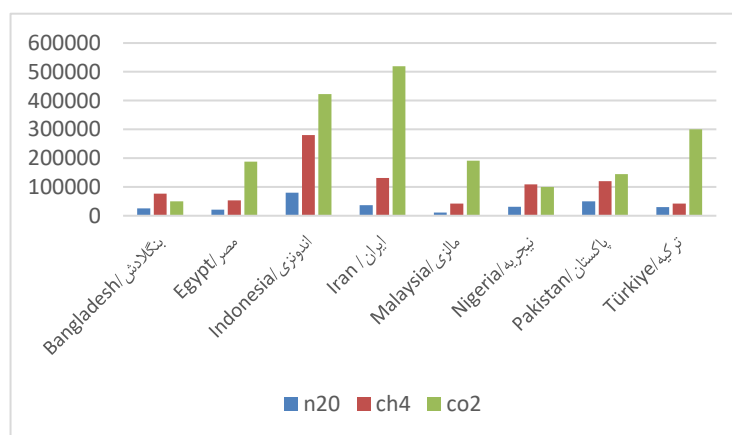
شکل ۲- مدل ساختاری شبکه عصبی مصنوعی
Figure 2. Structural model of artificial neural network

دوم تحصیلی و نرخ ثبت‌نام در دوره سوم راهنمایی برای آموزش و توسعه منابع انسانی از سایت بانک جهانی تهیه شده است.

نتایج و بحث

قبل از محاسبه شاخص اقتصاد دانش‌بنیان و اثر آن بر انتشار آلودگی ابتدا به بررسی میزان انتشار سه شاخص آلودگی در بین کشورها و ایران پرداخته شد. شکل (۳) وضعیت متوسط انتشار آلودگی را به تفکیک سه شاخص CO_2 ، CH_4 و N_2O را در بین کشورها نشان می‌دهد.

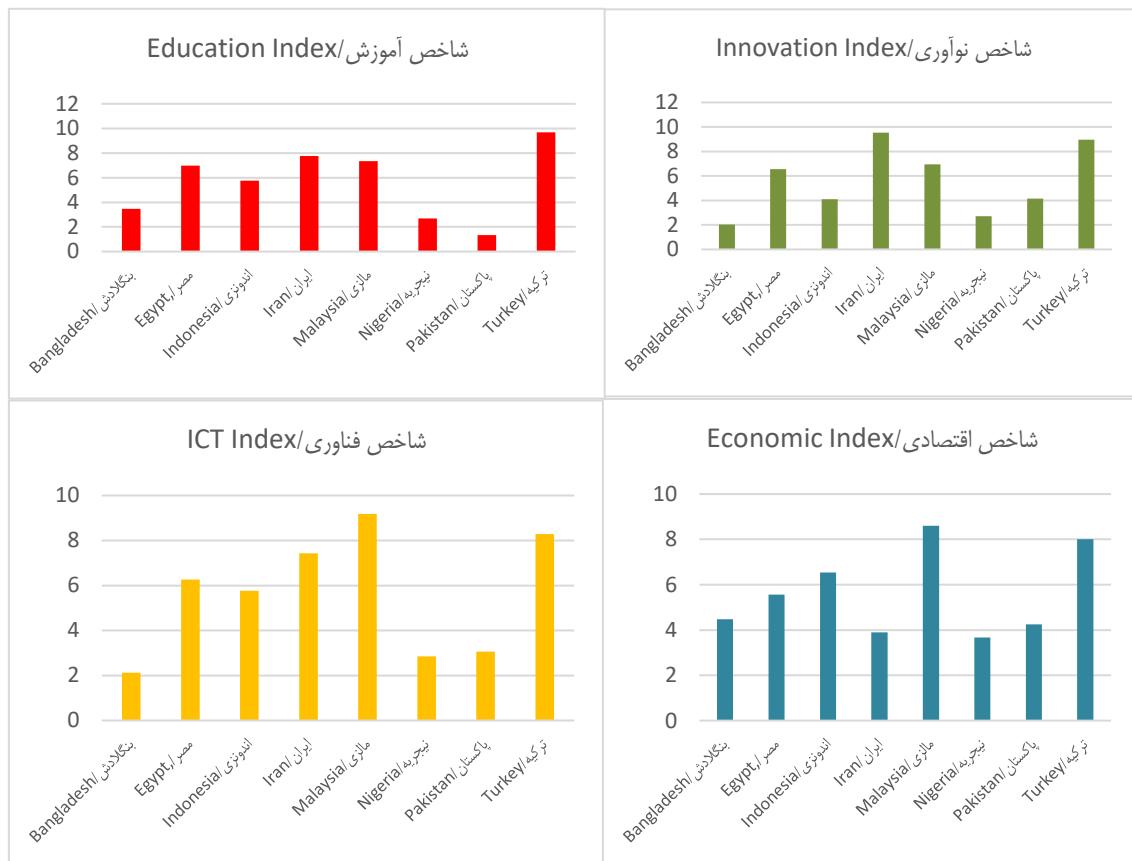
تحقیق حاضر از نوع کمی بوده و با استفاده از الگوی معرفی‌شده توسط بانک جهانی، شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان برای ۸ کشور عضو دی ۸ شامل کشورهای ایران، بنگلادش، ترکیه، مالزی، مصر، اندونزی، پاکستان و نیجریه طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۰ تهیه گردید. تمامی داده‌های مطالعه که شامل رشد اقتصادی، کیفیت مقررات، کنترل فساد برای رژیم نهادی، انگیزش اقتصادی، مقاله‌های مجله‌های علمی و درخواست‌های ثبت اختراع برای نظام نوآوری، کاربران اینترنت و کاربران تلفن همراه برای فناوری اطلاعات و ارتباطات، نرخ ثبت‌نام در دوره



شکل ۳- متوسط انتشار CO_2 ، CH_4 و N_2O طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۰ در بین کشورهای دی ۸ (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 3. Average emissions of CO_2 ، CH_4 and N_2O during the years 2000-2019 among D8 countries (Source: Research findings)

همان‌طور که بیان شد، این تحقیق به بررسی ۴ شاخص اقتصادی، نوآوری، آموزش و فناوری اطلاعات در کشورهای در حال توسعه اسلامی دی ۸ طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ می‌پردازد. در نهایت با توجه به اطلاعات این کشورها ۴ شاخص مذکور محاسبه شده است. نتایج متوسط شاخص‌ها در شکل‌های (۴) و (۵) بیان شده است.

با توجه به شکل (۳) ایران در انتشار CO_2 به‌طور متوسط طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ بیشترین متوسط انتشار را داشته و کمترین متوسط انتشار مربوط به بنگلادش بوده است. همچنین، در انتشار CH_4 و N_2O بیشترین متوسط انتشار مربوط به کشور اندونزی و کمترین مربوط کشور مالزی بوده است. با توجه به شکل (۳) ایران در متوسط انتشار CO_2 رتبه‌ی نخست را در بین کشورهای دی ۸ داشته و در متوسط انتشار CH_4 و N_2O رتبه‌ی دوم را داشته است.

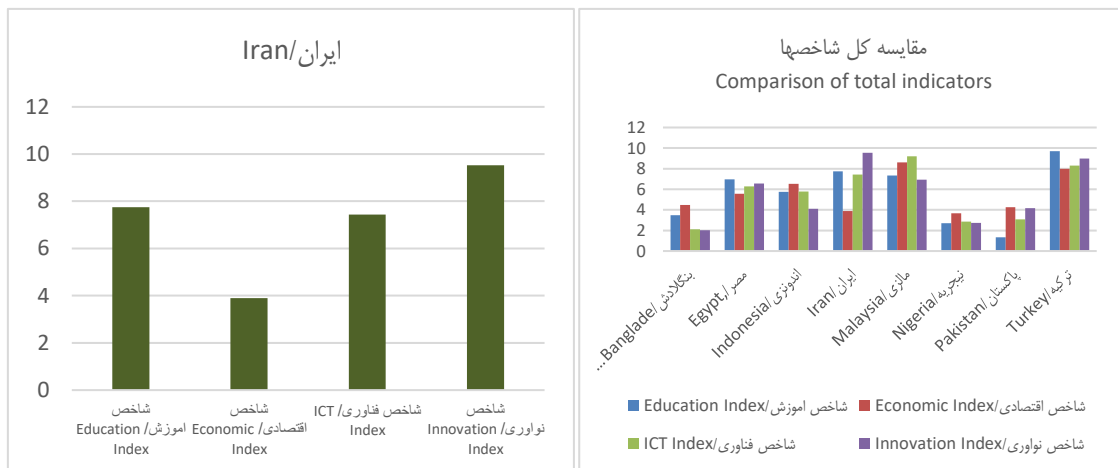


شکل ۴- متوسط شاخص‌های اقتصاد دانش بنیان طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ برای کشورهای دی ۸ به تفکیک ۴ شاخص (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 4. average indicators of the knowledge-based economy during the years 2000 to 2019 for D8 countries, separated by 4 indicators (Source: Research findings)

اما از نظر شاخص نوآوری، کشور ایران رتبه‌ی اول و آخرین رتبه مربوط به کشور بنگلادش بوده است. در نهایت کشور ترکیه رتبه‌ی اول و کشور پاکستان آخرین رتبه مربوط را از نظر شاخص آموزش کسب نموده است. ایران از لحاظ شاخص آموزش بعد از کشور ترکیه در رتبه‌ی دوم قرار گرفت. بنابراین، با توجه به نتایج شکل (۴)، ایران به‌غیر از شاخص اقتصادی، در بین سایر شاخص رتبه‌ی خوبی کسب نموده است.

با توجه به شکل (۴)، در شاخص اقتصادی، کشور مالزی رتبه اول را در بین ۸ کشور و کشور نیجریه آخرین رتبه را به خود اختصاص داده است و از لحاظ این شاخص، کشور ایران رتبه ۷ را کسب نموده است. این نتیجه نشان می‌دهد کشور ایران در طی دوره مورد بررسی در بین کشورهای عضو دی ۸ رتبه‌ی مطلوبی نداشته است. از لحاظ شاخص فناوری اطلاعات، مجدداً کشور مالزی رتبه اول و کشور بنگلادش رتبه ۸ را به‌خود اختصاص داده است. کشور ایران از نظر این شاخص در بین ۸ کشور رتبه‌ی ۳ را کسب نموده است.



شکل ۵- مقایسه متوسط شاخص‌ها طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ برای کشورهای دی ۸ و ایران (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 5. average comparison of indicators during the years 2000 to 2019 for D8 countries and Iran
(Source: Research findings)

در این مطالعه از دو آزمون پرکاربرد ریشه واحد در الگوهای پانلی شامل آزمون‌های Im, Levin, Lin and Cho و Pesaran and Shin جهت بررسی مانایی سری‌های مورد بررسی استفاده شده است. خلاصه نتایج این دو آزمون در سطح و تفاضل مرتبه اول در جدول (۲) نشان داده شده است.

شکل (۵) مقایسه‌ی متوسط ۴ شاخص اقتصاد دانش‌بنیان را در بین کشورهای عضو دی ۸ طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ نشان داده است. وضعیت کشور ایران در این ۴ شاخص، در سمت چپ شکل (۵) به‌صورت جداگانه نشان داده است. با توجه به مقایسه ۴ شاخص در ایران، بالاترین شاخص مربوط به شاخص نوآوری بوده و پایین‌ترین آن مربوط به شاخص اقتصادی بوده است.

جدول ۲- نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها در سطح و تفاضل مرتبه اول
Table 2. Results of the unit root test of the variables at the level and the first order difference

تفاضل مرتبه اول				در سطح				متغیر Variable
First order difference				In level of				
Im-Pesaran-Shin tes		Levin-Lin-Chu test		Im-Pesaran-Shin test		Levin-Lin-Chu test		
احتمال	آماره t	احتمال	آماره t	احتمال	آماره t	احتمال	آماره t	
Prob	t- statistic	Prob	t- statistic	Prob	t- statistic	Prob	t- statistic	
0.00	***-3.84	0.00	-3.54***	0.71	0.56	0.04	-2.35	LCO2
0.00	***-3.06	0.00	***-4.88	0.38	-0.29	0.05	2.24**	LCH4
0.00	***-5.25	0.00	4.42**	0.19	-0.28	0.04	-2.21**	LN2O
0.00	-6.97***	0.00	-2.64***	0.70	0.52	0.85	1.03	LICT
0.00	-1.89***	0.00	-2.07***	0.078	-1.56	0.068	-1.78	LEIR
0.00	**-.436*	0.00	3.20***	0.64	0.37	0.94	1.63	LEHR
0.00	***-4.72	0.00	2.37***	0.58	0.22	0.12	0.13	LINN

منبع: یافته‌های تحقیق (** و *** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد)
Source: research findings (** and *** are significant at 5 and 1 percent level)

در این مطالعه برای بررسی آزمون هم‌انباشتگی در مدل از روش ارائه شده توسط Kao استفاده گردید. فرضیه صفر در این آزمون، عدم وجود هم‌انباشتگی یا رابطه بلندمدت است. نتایج آماره t در آزمون Kao در جدول (۳) به تفکیک هر سه شاخص آلودگی نشان داده شده است.

نتایج جدول (۲) نشان داد که تمامی متغیرهای مدل در سطح یک درصد نامانا بوده و تفاضل مرتبه اول آن در سطح یک درصد مانا است. نتایج مطالعات گذشته نشان داد تخمین مدل در حالت نامانا بودن متغیرها منجر به ایجاد رگرسیون کاذب در مدل می‌شود که جهت جلوگیری از اتکا به رگرسیون کاذب، روش‌های تفاضل‌گیری و آزمون هم‌انباشتگی استفاده می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمون Kao به تفکیک برای سه مدل CO₂، N₂O و CH₄
Table 3. Results of Kao test separately for three models CO₂, N₂O and CH₄

احتمال Prob	مقدار آماره t- statistic	آماره Statistic	انشار الودگی Emissions
0.04	1.69**	ADF	CO ₂
0.04	1.70**	ADF	N ₂ O
0.049	-1.62**	ADF	CH ₄

منبع: یافته‌های تحقیق (** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد)
Source: research findings (** is significant at 5 percent level)

صفر مبنی بر عدم وجود هم‌انباشتگی یا رابطه بلندمدت رد شده است. پس از اثبات وجود هم‌انباشتگی در مدل با استفاده از آزمون هم‌انباشتگی Kao به تخمین رابطه به‌روش DOLS پرداخته شد که نتایج برآورد آنها در جدول (۴) به تفکیک سه شاخص آلودگی ذکر شده است.

با توجه به نتایج آزمون Kao در جدول (۳) مقدار آماره ADF برای هر سه شاخص آلودگی در سطح اطمینان ۵ درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج آزمون کائو وجود رابطه بلندمدت میان سه شاخص CO_2 ، N_2O و CH_4 و سایر متغیرهای مدل مورد تأیید قرار گرفته است. به بیان دیگر، فرضیه

جدول ۴- نتایج به‌دست آمده از برآورد مدل به‌روش حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) به تفکیک هر سه شاخص آلودگی
Table 4. Results obtained from the estimation of the model using the Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) method, separately for all three pollution indicators

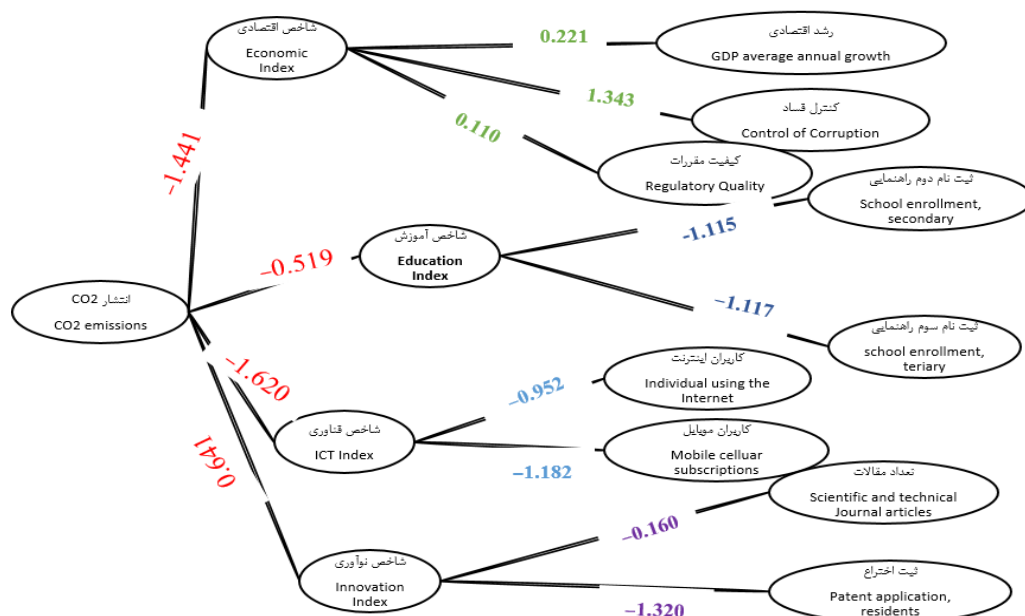
CH_4		N_2O		CO_2		متغیر	Variable
آماره t t statistic	مقدار ضریب Coefficient	آماره t t statistic	مقدار ضریب Coefficient	آماره t t statistic	مقدار ضریب Coefficient		
-2.33	-2.28**	-3.74	-0.43***	-2.11	-0.52**	لگاریتم طبیعی زیرساخت‌های اطلاعات و ارتباطات	$LICT_{it}$
-2.47	-0.25**	-0.47	-0.04	-0.92	-0.18	لگاریتم طبیعی رژیم نهادی و اقتصادی	$LEIR_{it}$
1.50	0.22*	1.79	0.24*	2.09	0.60**	لگاریتم طبیعی آموزش و منابع انسانی	$LEHR_{it}$
-3.34	-1.54***	-4.45	-0.65***	-5.40	-1.69***	لگاریتم طبیعی نوآوری	$LINN_{it}$
$R^2=98$		$R^2=99$		$R^2=99$			

منبع: یافته‌های تحقیق (*، ** و *** معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشد)

Source: research findings (*, ** and *** are significant at 10, 5 and 1 percent level)

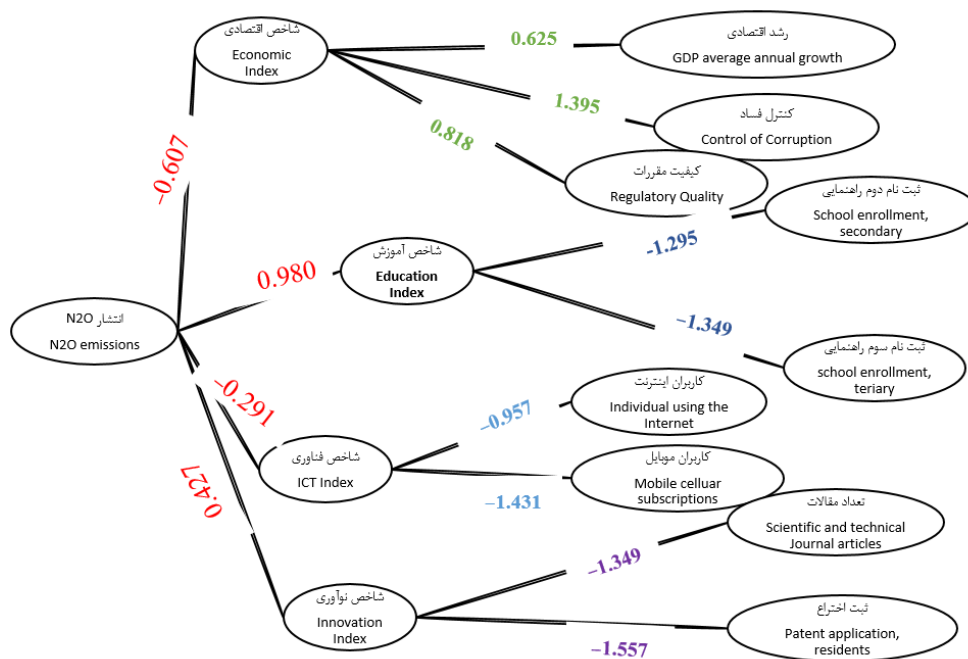
اما همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد در این تحقیق علاوه بر بررسی اثر شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر انتشار آلودگی به کمک مدل‌سنجی برای کشورهای مورد بررسی، به بررسی اثرات شاخص‌های مذکور به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی برای کشور ایران نیز انجام گرفته است. شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) نتایج شبکه‌های عصبی را به تفکیک سه شاخص آلودگی و جدول (۷) نتایج وزنی زیر شاخص‌ها به کمک شبکه‌های عصبی را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج جدول (۴)، در هر سه مدل انتشار آلودگی، شاخص‌های فناوری اطلاعات و نوآوری اثر منفی و معنی‌داری بر انتشار آلودگی داشته است. همچنین، شاخص آموزش برای هر سه شاخص آلودگی اثر مثبت معنی‌داری داشته است. و شاخص رژیم نهادی و اقتصادی تنها بر انتشار آلودگی CH_4 اثر معنی‌دار منفی داشته است. با توجه به این‌که متغیرها به‌صورت لگاریتمی برآورد شده‌اند، ضرایب نشان‌دهنده‌ی کشش بوده و در هر سه مدل برآورد شده بیشترین کشش مربوط به شاخص نوآوری بوده است.

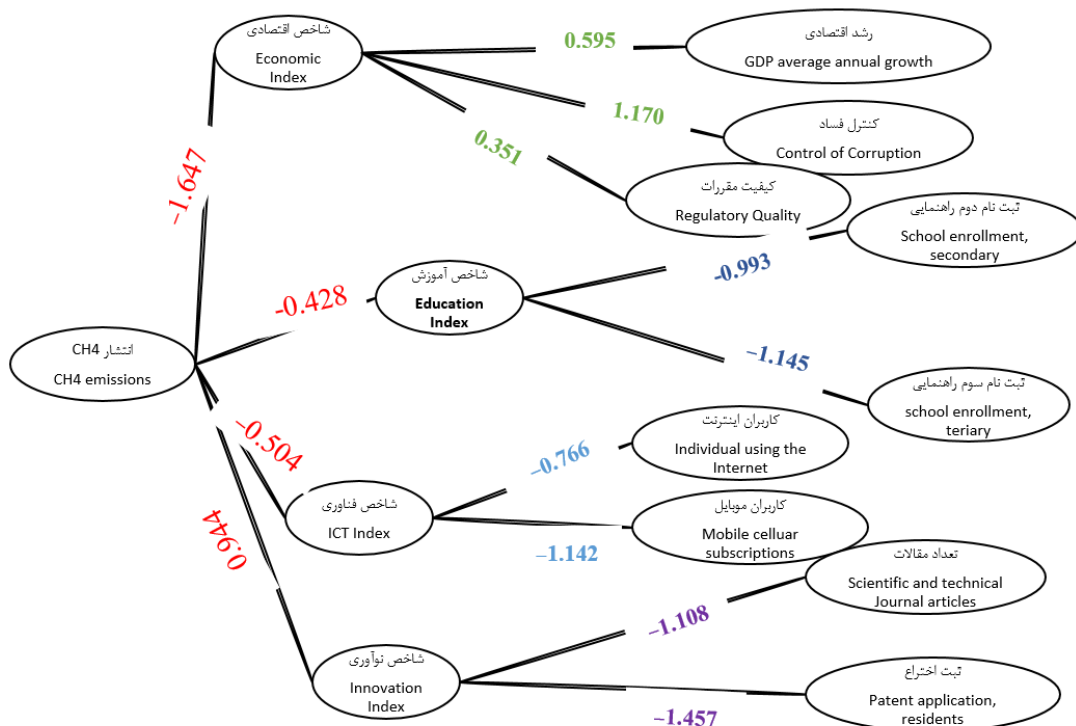


شکل ۶- اثر شاخص‌های کلی به‌همراه زیر شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر انتشار CO_2 (منبع: یافته‌های تحقیق)

Figure 6. The effect of general indicators along with sub-indices of knowledge-based economy on CO_2 emissions (Source: Research findings)



شکل ۷- اثر شاخص‌های کلی به همراه زیر شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر انتشار N₂O (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 7. The effect of general indicators along with sub-indices of knowledge-based economy on N₂O emissions (Source: Research findings)



شکل ۸- اثر شاخص‌های کلی به همراه زیر شاخص‌های اقتصاد دانش‌بنیان بر انتشار CH₄ (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 8. The effect of general indicators along with sub-indices of knowledge-based economy on CH₄ emissions (Source: Research findings)

جدول ۵- نتایج وزنی از برآورد مدل با استفاده از شبکه عصبی به تفکیک انتشار آلودگی برای کشور ایران
Table 5. The weighted results from the model estimation using the neural network by the distribution of pollution for the country of Iran

شاخص اصلی The main indicator	زیر شاخص‌ها Sub-indexes	انتشار CO ₂ CO ₂ emissions	انتشار CH ₄ CH ₄ emissions	انتشار N ₂ O N ₂ O emissions
رشد اقتصادی (GDP average annual growth)		-0.318	-0.980	-0.379
شاخص اقتصادی Economic Index	کنترل فساد کیفیت مقررات (Control of Corruption) (Regulatory Quality)	-1.935 -0.158	-1.927 -0.578	-0.846 -0.496
شاخص آموزشی Education Index	ثبت نام دوم راهنمایی (School enrollment, secondary) ثبت نام سوم راهنمایی (School enrollment, tertiary)	0.578 0.579	0.425 0.490	-1.629 -1.322
شاخص فناوری ICT Index	کاربران اینترنت (Individual using the Internet) کاربران موبایل (Mobile cellular subscriptions)	1.542 1.914	-0.386 -0.575	0.278 0.416
شاخص نوآوری Innovation Index	تعداد مقالات (Scientific and technical Journal articles) ثبت اختراع (Patent application, residents)	-0.743 -0.846	-1.045 -1.375	-0.576 -0.664

مآخذ: یافته‌های تحقیق

Source: research findings

بررسی اثر سه شاخص کیفیت محیط زیست (شامل انتشار CO₂، CH₄ و N₂O) در بین ۸ کشور در حال توسعه‌ی اسلامی دی ۸ (D8) پرداخته شد. اطلاعات این کشورها طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۹ جمع‌آوری گردید و سپس به کمک داده‌های پانل و مدل حداقل مربعات معمولی پویا نتایج برآورد شد.

نتایج این تحقیق نشان داد که در هر سه مدل انتشار آلودگی، شاخص فناوری اطلاعات و نوآوری اثر منفی معنی‌داری بر انتشار آلودگی داشته است. به عبارت دیگر استفاده بیشتر از فناوری اطلاعات و نوآوری منجر به کاهش انتشار آلودگی می‌شود. البته لازم به توضیح است که اثر فن‌آوری اطلاعات بر انتشار آلودگی هم می‌تواند اثر مثبت و هم اثر منفی بر انتشار آلودگی داشته باشد که به‌طور کامل در قسمت مبانی نظری تحقیق بیان شده است. بنابراین، با توجه به اثر منفی شاخص فن‌آوری بر انتشار آلودگی می‌توان بیان داشت که فناوری اطلاعات و ارتباطات باعث تسهیل در ارتباطات و تسریع در امور انسانی می‌شود و لذا در نهایت نیاز جوامع را به مواد طبیعی موجود در محیط‌زیست کاهش می‌دهد و این اثر منفی شاخص فناوری بر انتشار آلودگی در مطالعه‌ی (Asongu et al., 2017; Danish et al., 2019; Park et al., 2018; Zhang & Liu, 2015) نیز دیده شده است.

با توجه به نتایج، اثر شاخص نوآوری بر انتشار آلودگی منفی بوده است که نشان‌دهنده‌ی اثر مثبت نوآوری‌ها به‌ویژه نوآوری‌های سبز بر کاهش انتشار آلاینده‌ها و زیاده‌های تولید شده می‌باشد که این ارتباط منفی نوآوری و انتشار آلودگی در مطالعات (Darbidi et al., 2020; Fernández et al., 2018; Hashmi & Alam, 2019; Zhang et al., 2018; Lotfalipour et al., 2017; Zhu et al., 2020) نیز مشاهده شده است.

همچنین نتایج نشان داد که در هر سه شاخص آلودگی اثر آموزش بر انتشار آلودگی مثبت بوده است. از آنجایی که شاخص آموزش نیز دارای رویکردی دو جانبه بر انتشار آلودگی است یعنی هم می‌تواند اثر مثبت بر انتشار آلودگی داشته باشد و هم اثر منفی داشته باشد. این موضوع به‌طور کامل در مبانی نظری تحقیق بیان شده است، لذا اثر مثبت این شاخص بر آلودگی می‌تواند ناشی از آن باشد که با افزایش نرخ باسوادی و آموزش، افراد تحت تأثیر تبلیغات رسانه‌ای تقاضا برای کالاهای مادی افزایش یافته که پیامد آن گسترش فرهنگ پدیده مصرف‌گرایی و انتشار بیشتر آلاینده‌های محیط‌زیستی می‌باشد.

با توجه به جدول (۵) شاخص‌های اقتصادی و نوآوری اثر منفی بر میزان انتشار گاز CO₂ داشته است و در بین این شاخص‌ها، زیر شاخص کنترل فساد اثر منفی بیشتر و زیرشاخص کیفیت مقررات اثر منفی کوچکتری بر میزان انتشار آن داشته است. شاخص‌های آموزش و فناوری اثر مثبت بر میزان انتشار گاز CO₂ داشته است که در بین آنها زیر شاخص کاربران موبایل اثر مثبت بزرگتر و زیر شاخص ثبت‌نام کنندگان دوم راهنمایی کوچکترین اثر را داشته است.

در انتشار آلودگی CH₄ شاخص‌های اقتصادی، فناوری و نوآوری اثر منفی بر انتشار آلودگی داشته و شاخص آموزش اثر مثبت بر میزان انتشار CH₄ داشته است. همچنین زیر شاخص کنترل فساد در بین این شاخص‌ها، اثر منفی بزرگتری بر میزان انتشار داشته است.

همچنین نتیجه روش شبکه‌های عصبی برای انتشار N₂O نشان داد که شاخص‌های اقتصادی، آموزشی و نوآوری اثر منفی و شاخص فناوری اثر مثبت بر میزان انتشار N₂O داشته است که در بین آنها نیز زیر شاخص ثبت‌نام سوم راهنمایی اثر منفی بزرگتری بر میزان انتشار N₂O داشته است و کمترین اثر مربوط به زیرشاخص رشد اقتصادی بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

در عصر امروز رشد اقتصادی مهم‌ترین معیار موفقیت نظام‌های اقتصادی برای دستیابی به رفاه و توسعه‌ی اقتصادی تلقی می‌شود. ارتقا و پیشبرد پایداری رشد اقتصادی مستلزم افزایش در سه عامل اصلی تولید یعنی سرمایه فیزیکی، سرمایه انسانی و سرمایه طبیعی است. سرمایه طبیعی و به‌طور خاص کیفیت محیط‌زیست، بنیانی برای رشد و رفاه یک جامعه است. پیامدهای چنین رشد و توسعه‌ای استفاده از منابع و طبیعت با چنان سرعتی است که توانایی بازسازی منابع تجدیدپذیر را کاهش داده و سبب انتشار حجم بیشتری از آلاینده‌ها شود. حال اقتصاد دانش‌بنیان یکی از مباحث مهمی است که اخیراً در کشورهای جهان مطرح شده است که با بهره‌گیری و استفاده از قابلیت‌های آن اثری مثبتی در راهکارها زمینه حفاظت از محیط زیست چه در کشورهای توسعه یافته و چه در کشورهای درحال توسعه را شاهد خواهیم بود. با توجه به این مسئله مهم، تحقیق حاضر به بررسی اثر ۴ شاخص اقتصادی، نوآوری، آموزش و فناوری معرفی شده توسط بانک جهانی که یکی از متداول‌ترین شاخص‌های معرفی شده در اقتصاد دانش‌بنیان می‌باشد، به

آلایندگی دارد بیشتر استفاده شود و در این گونه نوآوری سرمایه‌گذاری لازم اتخاذ شود.

- با توجه به اثر مثبت شاخص آموزش بر انتشار آلودگی پیشنهاد می‌شود سطح آموزش‌های عمومی محیط‌زیستی با تأکید بر آموزش‌های مدرسه‌ای در ایران و سایر کشورهای عضو دی ۸ ارتقا یافته و مطالب مربوط به اهمیت محیط‌زیست و حفظ کیفیت آن، در کتب درسی کلیه مقاطع تحصیلی اعم از مدرسه و دانشگاه‌ها گنجانده شود.

- نتایج نشان داد شاخص رژیم نهادی و اقتصادی در هر سه شاخص انتشار آلودگی اثر منفی بر انتشار دارد اما علی‌رغم ارتباط منفی با انتشار آلودگی، تنها در انتشار آلودگی CH_4 اثر منفی معنی‌دار داشته است و در دو شاخص دیگر معنی‌دار نشده است. اما با توجه به اینکه این شاخص از زیرشاخص‌های کیفیت مقررات، کنترل فساد و رشد اقتصادی به‌دست آمده، و نتایج شبکه‌های عصبی برای ایران نیز این ارتباط منفی را تأیید کرده است. لذا پیشنهاد می‌شود کشورها بخصوص کشور ایران، توجه بیشتر و مدیریت صحیح‌تر در کنترل فساد و کیفیت مقررات و بالا بردن رشد اقتصادی کشور خود را جهت کاهش انتشار آلودگی مدنظر قرار دهد.

Atrkar Roshan & Fathi, و Lotfalipour et al., (2017) نیز در مطالعات خود به ارتباط مثبت بین شاخص آموزش و انتشار آلودگی اشاره نمودند.

علاوه بر نتایج مدل‌سنجی نتایج شبکه‌های عصبی که برای کشور ایران انجام شده است نشان داد که در هر سه انتشار آلودگی، شاخص‌های اقتصادی و نوآوری اثر منفی بر میزان انتشار داشته است که در بین آن‌ها زیرشاخص کنترل فساد بزرگتری داشته است که نشان دهنده اهمیت کنترل فساد برای کاهش میزان انتشار آلودگی در ایران می‌باشد. لذا با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سنجی و شبکه‌های عصبی پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- با توجه به اثر منفی شاخص فناوری بر انتشار آلودگی پیشنهاد می‌شود با افزایش سرمایه‌گذاری در صنعت فناوری اطلاعات و ارتباطات زمینه‌های کاهش هزینه‌های نسبی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری و کاهش شدت انرژی فراهم شود.

- در خصوص اثر منفی شاخص نوآوری بر انتشار آلودگی نیز پیشنهاد می‌شود از نوآوری‌هایی سبز که اثر منفی بر انتشار

منابع

- Asongu, S. A., Le Roux, S., & Biekpe, N. (2017). Environmental degradation, ICT and inclusive development in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, 111, 353-361.
- Atrkar Roshan, S., & Fathi, Z. (2017). The study of education effects and their comparison on the environment pollution at the different educational levels in selected MENA countries. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(1), 169-180 (In Persian).
- Azizi, F., & Moradi, F. (2018). 08 Calculating the index and sub-indices of knowledge-based economy for Iran. *Journal of Economic Research and Policies*, 26(85), 243-270 (In Persian).
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*, John Wiley and Sons Ltd. West Sussex, England.
- Behbodi, D., Mirani, N., & Moharam Judi, N. (2015). Investigation the effect of dimension of the knowledge-based economy (KBE) on output growth in Iran by using gravitational search algorithm and firefly algorithm. *Iranian Economic Development Analyses*, 3(3), 65-93 (In Persian).
- Bimonte, S. (2002). Information access, income distribution, and the environmental kuznets curve. *Ecological economics*, 41(1), 145-156.
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil and renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 74, 439-446.
- Brännlund, R., Ghalwash, T., & Nordström, J. (2007). Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions. *Energy economics*, 29(1), 1-17.
- Cheah, I., & Phau, I. (2011). Attitudes towards environmentally friendly products: The influence of ecoliteracy, interpersonal influence and value orientation. *Marketing Intelligence & Planning*, 29(5), 452-472.
- Danish Khan, N., Baloch, M. A., Saud, S., & Fatima, T. (2018). The effect of ICT on CO2 emissions in emerging economies: Does the level of income matters? *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 22850-22860.
- Danish Zhang, J., Wang, B., & Latif, Z. (2019). Towards cross-regional sustainable development: The nexus between information and communication technology, energy consumption, and CO2 emissions. *Sustainable Development*, 27(5), 990-1000.
- Darbidi, M., Delangizan, S., Fatahi, S., & Karimi, M. S. (2020). Impact of innovation on pollution emission of Iranian provinces in the framework of environmental kuznets curve (spatial econometric approach). *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 7(3), 71-98 (In Persian).
- Demuth, H., Beale, M., & Hagan, M. (1992). Neural network toolbox. *For Use with MATLAB. The Math Works Inc*, 2000.
- Farzin, Y. H., & Bond, C. A. (2006). Democracy and environmental quality. *Journal of Development Economics*, 81(1), 213-235 (In Persian).
- Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467.
- Fegheh Majidi, A. & Ebrahimi, S. (2014). Applied panel data econometrics (using reviews), *Noor Alam Publications*. First Edition. 175 p. (In Persian).
- Fotros, M. H., Aghazadeh, A., & Jabraili, S. (2012). Impact of economic growth on the consumption of renewable energy: A comparative study of selected OECD and Non-OECD (Including Iran) countries. *Journal of Economic Research and Policies*, 19(60), 81-98.

- Gani, A. (2013). The effect of trade and institutions on pollution in the Arab countries. *Journal of International Trade Law and Policy*, 12(2), 154-168.
- Harvey, R. L. (1994). Neural network principles. Prentice-Hall, Inc.
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO2 emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.
- Hettige, H., Huq, M., Pargal, S., & Wheeler, D. (1996). Determinants of pollution abatement in developing countries: Evidence from south and southeast Asia. *World development*, 24(12), 1891-1904.
- Jafari parvizkhanlou, K., Paytkhati Oskoei, S. A., & Azali, R. (2021). Investigating the impact of ICT and economic growth on environmental pollution: Case study of Persian Gulf countries. *The Journal of Economic Studies and Policies*, 8(1), 111-138 (In Persian).
- Jorgenson, A. K. (2003). Consumption and environmental degradation: A cross-national analysis of the ecological footprint. *Social Problems*, 50(3), 374-394.
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of Econometrics*, 90(1), 1-44.
- Kao, C., & Chiang, M.-H. (2001). On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. In *Nonstationary panels, panel cointegration, and dynamic panels* (179-222). Emerald Group Publishing Limited.
- Lotfalipour, M.R., Bagherpour, A., & Asadimanesh, R. (2017). The effect of knowledge-based economy on environmental quality in Iran. The first national conference on modern management studies in Iran, September 2016 (In Persian).
- Lennerfors, T. T., Fors, P., & van Rooijen, J. (2015). ICT and environmental sustainability in a changing society: The view of ecological world systems theory. *Information Technology & People*, 28(4), 758-774.
- Madah, M., & Abdollahi, M. (2012). Effect of institutions quality on environment pollution based on kuznets curve using static and dynamic panel data (Case study: Members of organization of the Islamic conference). *Iranian Energy Economics*, 2(5), 171-186 (In Persian).
- Mahmoodi, M., Damankeshide, M., & Nessabian, S. (2021). The effects of knowledge-based economy index on the economic growth of Islamic countries (Martin barrow test model).
- Mirfakhreddini, S. H., Babaei Meybodi, H., & Morovati Sharifabadi, A. (2021). Forecast consumption energy of Iran using hybrid model of artificial neural networks and genetic algorithms and compared with traditional methods. *Management Research in Iran*, 17(2), 196-222 (In Persian).
- Park, Y., Meng, F., & Baloch, M. A. (2018). The effect of ICT, financial development, growth, and trade openness on CO2 emissions: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 30708-30719.
- Princen, T. (2001). Consumption and its externalities: Where economy meets ecology. *Global Environmental Politics*, 1(3), 11-30.
- Schalkoff, R. J. (1997). Artificial neural networks. McGraw-Hill Higher Education.
- Shabani, Z. D., & Shahnazi, R. (2019). Energy consumption, carbon dioxide emissions, information and communications technology, and gross domestic product in Iranian economic sectors: A panel causality analysis. *Energy*, 169, 1064-1078.
- Sharma, S., Lingras, P., Xu, F., & Kilburn, P. (2001). Application of neural networks to estimate AADT on low-volume roads. *Journal of Transportation Engineering*, 127(5), 426-432.
- Širá, E., Vavrek, R., Kravčáková Vozárová, I., & Kotulič, R. (2020). Knowledge economy indicators and their impact on the sustainable competitiveness of the EU countries. *Sustainability*, 12(10), 4172.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 783-820.
- World Bank. (2008). Measuring knowledge in the worlds economies, knowledge for development, World bank institute. The World Bank's Knowledge Assessment Methodology. available at: www.worldbank.org/kam.
- World Bank. (2012). Knowledge Assessment Methodology (KAM), World bank institute. available at: www.worldbank.org/kam.
- World Bank. (2019). Knowledge Assessment Methodology (KAM), World bank institute. available at: www.worldbank.org/kam.
- Zaied, Y. B. (2013). Long run versus short run analysis of climate change impacts on agriculture. Economic Research Forum Working Papers.
- Zhang, C., & Liu, C. (2015). The impact of ICT industry on CO2 emissions: A regional analysis in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 12-19.
- Zhang, J., Chang, Y., Zhang, L., & Li, D. (2018). Do technological innovations promote urban green development?—A spatial econometric analysis of 105 cities in China. *Journal of Cleaner Production*, 182, 395-403.
- Zhang, L., Wang, Z., Zhou, W., Yang, X., Zhao, S., & Li, Q. (2022). GOSAT mapping of global greenhouse gas in 2020 and 2021. *Atmosphere*, 13(11), 1814.
- Zhu, Y., Wang, Z., Yang, J., & Zhu, L. (2020). Does renewable energy technological innovation control China's air pollution? A spatial analysis. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119515.