

ORIGINAL ARTICLE

Environmental Productivity Analysis of Iranian Provinces: Application of Malmquist Productivity Index and Spatial Analysis¹

Somayeh Azami² (ORCID: 0000-0002-7576-5820), Hawzhin Azhand³ (ORCID: 0009-0000-3445-9256)

2. Associate Professor,
Department of Economics, Razi
University, Kermanshah, Iran.
3. Master of Energy Economics,
Department of Economics, Razi
University, Kermanshah, Iran.

Correspondence:
Somayeh Azami
Email: s.azami@razi.ac.ir

Received: 29/Aug/2023
Accepted: 26/May/2024

How to cite:
Azami, S. (2025). Environmental
Productivity Analysis of Iranian
Provinces: Application of Malmquist
Productivity Index and Spatial
Analysis, Industrial Economics
Researches, 13 (1), 1-20.
(DOI: [10.30473/clk.2024.69028.3191](https://doi.org/10.30473/clk.2024.69028.3191))

ABSTRACT

Improving environmental efficiency is an important solution to achieve a balance between the goals of economic development and environmental protection. This study examines changes in environmental productivity in Iranian provinces between 2006 and 2018 and analyzes the role of energy intensity and urbanization in these changes. This research is conducted in three stages. First, the carbon dioxide emissions (non-desirable output) of the provinces are calculated according to IPCC guidelines. Then, environmental productivity is calculated using data envelopment analysis and the Meta-Frontier Non-Radial Malmquist CO₂ Emission Performance Index (MNMCPi). In the end, using spatial analysis, the role of energy intensity and urbanization in the environmental productivity in the provinces is examined. According to the DEA method, the greatest and least impact on environmental productivity is the effect of innovation and the effect of efficiency, respectively. Also, GDP has a positive effect on environmental productivity in the provinces. According to spatial analysis, environmental productivity in one province has a positive spillover effect on that of neighboring provinces. Energy intensity has a negative and significant effect on environmental productivity. The growth of urbanization, due to the unfavorable structure of cities, leads to a decrease in environmental productivity. Reforming energy policies, adopting new production technologies, promoting clean energy, and reforming the structure of cities, providing welfare facilities to villagers, and developing and improving the public transport fleet can help improve environmental efficiency.

KEYWORDS

Non-Radial Directional Distance function, MNCPI, Spatial Econometrics, Sustainable Development.

Jel: L₁₀, C₆₁, D₂₄, Q₄₃, Q₅₄.

¹. This article is taken from the master's thesis of Hawzhin Azhand under the supervision of Dr. Somayeh Azami.

Copyright © 2024 The Authors. Published by Payame Noor University.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

تحلیل بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران: کاربردی از شاخص بهره‌وری مالم کوئست و تحلیل فضایی^۱

سمیه اعظمی^۲ (ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۷۵۷۶-۵۸۲۰)، هاوژین اژند^۳ (ارکید: ۰۰۰۹-۰۰۰۰-۳۴۴۵-۹۲۵۶)

چکیده

بهبود کارایی زیست‌محیطی یکی از راهکارهای مهم برای حصول توازن میان اهداف توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست است. این مطالعه تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران را بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ بررسی می‌کند و نقش شدت انرژی و شهرنشینی را در این تغییرات تحلیل می‌کند. این پژوهش در سه مرحله انجام می‌شود. ابتدا، انتشار دی اکسید کربن (تولید نامطلوب) استان‌ها مطابق با IPCC محاسبه می‌شود. سپس، بهره‌وری زیست‌محیطی مطابق با تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی مالم کوئست غیرشعاعی فرامرزی (MNMCI) محاسبه می‌شود. در پایان، با استفاده از تحلیل فضایی نقش شدت انرژی و شهرنشینی در تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌ها بررسی می‌شود. مطابق با روش DEA، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر پذیری بهره‌وری زیست‌محیطی از اثر ابداعات و اثر کارایی است. همچنین، تولید ناخالص داخلی تأثیر مثبتی بر بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌ها دارد. مطابق با تحلیل فضایی، بهره‌وری زیست‌محیطی در یک استان اثر سرریز مثبتی بر بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های همجوار دارد. شدت انرژی تأثیر منفی و معنی‌دار بر بهره‌وری زیست‌محیطی دارد. رشد شهرنشینی به دلیل ساختار نامطلوب شهرها منجر به کاهش بهره‌وری زیست‌محیطی می‌شود. اصلاح سیاست‌های انرژی، استفاده از تکنولوژی جدید تولیدی، ترویج انرژی پاک و همچنین اصلاح ساختار شهرها، آرایه تسهیلات رفاهی به روستائینان و توسعه و بهبود ناوگان حمل و نقل عمومی می‌تواند به بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی کمک نماید.

واژه‌های کلیدی

تابع فاصله جهت‌دار غیرشعاعی، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی مالم کوئست غیر شعاعی فرامرزی، اقتصاد سنتی فضایی، توسعه پایدار.

۲. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، گروه اقتصاد، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

نویسنده مسئول:

سمیه اعظمی

رایانامه: s.azami@razi.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷

استناد به این مقاله:

اعظمی، سمیه (۱۴۰۴). تحلیل بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران: کاربردی از شاخص بهره‌وری مالم کوئست و تحلیل فضایی، پژوهش‌های اقتصاد صنعتی، ۱۳ (۱)، ۱-۲۰.
(DOI: [10.30473/clk.2024.69028.3191](https://doi.org/10.30473/clk.2024.69028.3191))

^۱. این مقاله مأخوذ از پایان‌نامه کارشناسی ارشد هاوژین اژند با راهنمایی دکتر سمیه اعظمی است.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. © ۱۴۰۳. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



استان‌های ایران سنجش شود. شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی مالم کوئیسست غیرشعاعی فرا مرزی امکان تجزیه تغییرات بهره‌وری را فراهم می‌کند و می‌تواند محرک‌ها و بازدارنده‌های تغییرات بهره‌وری را شناسایی کند. همچنین در مطالعه حاضر، با تحلیل فضایی به بررسی نقش شدت انرژی و شهرنشینی در تغییرات بهره‌وری استان‌های ایران پرداخته می‌شود. تحلیل فضایی این امکان را فراهم می‌کند که اثرات سرریز فضایی بهره‌وری استان‌ها لحاظ شود.

سازمان‌دهی مقاله به این صورت است که در ادامه مبانی نظری مطرح می‌شود. پیشینه پژوهش موضوع بخش سوم است. روش‌شناسی پژوهش و یافته‌های تجربی به ترتیب به بخش چهارم و پنجم اختصاص دارد. نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی موضوع بخش ششم است.

۲. مبانی نظری

۱-۲- بهره‌وری زیست‌محیطی

امروزه، جنبه دیگری از کارایی با عنوان "کارایی زیست‌محیطی" با توجه به اهمیت توسعه پایدار مطرح می‌شود. کارایی اکولوژیکی به مفهوم تولید کالا و خدمات بیشتر به ازای نهاده‌های معین همراه با CO_2 کمتر است؛ استفاده کارا از منابع و ایجاد آلودگی کمتر. الگوسازی ستانده نامطلوب مهمترین موضوع در سنجش کارایی زیست‌محیطی است. همانطور که اشاره شد در میان تکنیک‌های متفاوت و گسترده مدل‌سازی "انرژی و محیط زیست"، روش تابع فاصله بسیار پرکاربرد است. دو نوع تابع فاصله؛ تابع فاصله‌ای شفارد^۴ و تابع فاصله‌ای جهت‌دار (DDF)^۵ به طور گسترده‌ای در تحقیقات استفاده می‌شود. تابع فاصله‌ای شفارد تولید مطلوب و نامطلوب را به طور متناسبی افزایش می‌دهد و بنابراین امکان کاهش تولید نامطلوب (همراه با افزایش تولید مطلوب) در این روش وجود ندارد. ویژگی برجسته روش تابع فاصله جهت‌دار آن است که می‌تواند تولید مطلوب را افزایش و به طور همزمان

۱. مقدمه

امروزه، دستیابی به توازن میان اهداف توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست به یکی از اولویت‌های اصلی سیاست‌گذاران تبدیل شده است (راسخی و همکاران ۱۴۰۲). انتشار CO_2 تقریباً ۷۶٪ از کل گازهای گلخانه‌ای انسانی (GHG) را تشکیل می‌دهد. لذا، اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی غالباً توسط انتشار CO_2 سنجش می‌شود. یکی از راهکارهای کاهش انتشار آلاینده‌ها بهبود کارایی زیست‌محیطی است. کارایی زیست‌محیطی تلفیقی از کارایی اقتصادی و اکولوژیکی است. امروزه بر خلاف گذشته، کارایی نه "تولید کالاها و خدمات بیشتر به ازای منابع معین و مشخص" بلکه "تولید کالاها و خدمات بیشتر همراه با انتشار آلاینده کمتر به ازای منابع معین و مشخص" تعریف می‌شود.

در میان تکنیک‌های متفاوت و گسترده مدل‌سازی "انرژی و محیط زیست"، روش تابع فاصله بسیار پرکاربرد است (ژانگ و چوی، ۲۰۱۴). این روش می‌تواند همزمان تولید مطلوب و نامطلوب را در مدل‌سازی در نظر بگیرد. در این مطالعه بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران و اجزای این تغییرات با استفاده از روش شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی مالم کوئیسست غیرشعاعی فرا مرزی (MNMCPPI)^۳ محاسبه می‌شود. بدین منظور، این پژوهش در سه مرحله انجام می‌شود. ابتدا، انتشار دی‌اکسید کربن استان‌ها به عنوان تولید نامطلوب محاسبه می‌شود. سپس، بهره‌وری زیست‌محیطی مطابق با تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص MNMCPPI محاسبه می‌شود. در پایان، با استفاده از تحلیل فضایی به بررسی نقش شدت انرژی و شهرنشینی در بهره‌وری زیست‌محیطی پرداخته می‌شود.

در حالی که ادبیات تجربی تمرکزی بیشتری بر بهره‌وری استان‌ها و صنایع چین دارد، این مطالعه تحلیل جامعی از بهره‌وری استان‌های ایران ارائه می‌دهد. سعی بر آن است با شاخص‌های جدید، بهره‌وری زیست‌محیطی

⁴ Shephard Distance Function

⁵ Directional Distance Function

¹ Distance Function

² Zhang and Choi

³ Meta-Frontier Non-Radial Malmquist CO_2 Emission Performance Index

۲-۲- شدت انرژی و شهرنشینی

شدت انرژی نسبت اندازه مصرف نهایی انرژی به تولید ناخالص داخلی بوده و به این مفهوم اشاره دارد که برای تولید هر واحد پولی کالا و خدمات چه اندازه انرژی صرف شده است. این نسبت یکی از شاخص‌های پولی برای اندازه‌گیری کارایی انرژی است (انگ، ۲۰۰۶).

تغییرات شدت انرژی ناشی از دو منبع، تغییر در کارایی مصرف انرژی و همچنین تغییر در ترکیب تولید ناشی می‌شود. کاهش شدت انرژی به معنای حفاظت بیشتر از منابع، حفظ محیط زیست، واردات انرژی کمتر و کاهش هزینه‌های تولید است. تحولات شدت انرژی از جنبه سیاست‌گذاری بسیار مهم بوده و سیاست‌گذاران را توانمند می‌سازد که نحوه دگرگونی‌های تقاضای انرژی را در قبال دگرگونی‌های سیستم و ساختار اقتصادی بشناسند. مهم‌تر از آن درک صحیحی از ابزارهای مناسب سیاست‌گذاری‌های حوزه انرژی به دست می‌دهد، زیرا نمایانگر ترکیبی از اثرات دگرگونی‌های ساختاری اقتصاد (نمایان در GDP) و دگرگونی در ترکیب منابع انرژی و کارایی انرژی (نمایان در مصرف انرژی) است. دگرگونی‌های معیار شدت انرژی در طول زمان نشان می‌دهد که فعالیت‌های اقتصادی به سمت انرژی‌بری بیشتر یا انرژی‌اندوزی حرکت می‌کنند.

شهرنشینی انتقال جمعیت از مناطق روستایی به مناطق شهری و افزایش نسبت افراد ساکن شهرها، گفته می‌شود. شهرنشینی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های عصر حاضر است و به دلیل آثار اقتصادی، اجتماعی مهمی که بر جامعه می‌گذارد، در دهه‌های اخیر مورد توجه سیاست‌گذاران و محققان قرار گرفته است. در فرایند شهرنشینی، جمعیت و نیروی کار از مناطق روستایی و حرفه‌های کشاورزی برای اشتغال در صنایع و حرفه‌های وابسته به شهرها انتقال می‌یابند (اله وردی و همکاران، ۱۳۹۴). شهرها موتورهای رشد اقتصادی هستند اما افزایش شهر

نهاد انرژی و تولید نامطلوب را کاهش دهد. می‌توان با دو روش پارامتری و ناپارامتری (DEA) تابع فاصله جهت‌دار را تخمین زد.

بعد از مدل‌سازی ستانده نامطلوب موضوع بعدی روشی است که با آن شاخص بهره‌وری سنجش می‌شود. شاخص بهره‌وری مالم کوئیست (MPI)^۱ توسط استن مالم کوئیست (۱۹۵۳) با عنوان شاخص استاندارد زندگی معرفی و سپس توسط کیوز^۲ و همکاران (۱۹۸۲) برای اولین بار در نظریه تولید به کار گرفته شد. فار^۳ و همکاران (۱۹۸۹) برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست از روش DEA استفاده کردند و در سال ۱۹۹۴ این شاخص را به دو عامل تغییر در کارایی و تکنولوژی تجزیه کردند. شاخص MPI تولید نامطلوب را در نظر نمی‌گیرد و از این روی چانگ^۴ و همکاران (۱۹۹۷) شاخص بهره‌وری مالم کوئیست - لیوئنبرگر (MLPI)^۵ را پیشنهاد دادند که در آن تولیدات نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. آنها برای اولین بار روش DDF را که توسط چمبرز و همکاران (۱۹۹۶) معرفی شده بود برای بررسی کارایی زیست محیطی به کار بردند. برخلاف چانگ و همکاران (۱۹۹۷)، ژو^۶ و همکاران (۲۰۱۰) بر اساس تابع فاصله‌ای شفارد کربن، شاخص MCPI^۸ و مفهوم عملکرد زیست‌محیطی کل عوامل (TFCP) را معرفی کردند. دو اشکال جدی به شاخص MCPI وارد است: یکی برآورد بیش از حد کارایی و دیگری یکسان فرض کردن تکنولوژی تولید همه واحدهای تصمیم‌گیری (DMU). به منظور غلبه بر این دو اشکال، ژانگ و چوی (الف ۲۰۱۳) تابع فاصله جهت‌دار غیرشعاعی (NDDF) را جایگزین تابع فاصله‌ای شفارد کردند و شاخص MNMCPPI را ساختند که شرایط را برای در نظر گرفتن ناهمگنی‌های گروهی فراهم می‌کند (اعظمی و همکاران، ۱۳۹۷).

⁷ Zhou.

⁸ Malmquist CO₂ Emission Performance Index

⁹ Decision Maker Unit

¹ Non-radial Directional Distance Function

¹ Ang

¹ Malmquist Productivity Index

² Caves

³ Fare

⁴ Chung

⁵ Malmquist Luenberger Productivity Index

⁶ Chambers

انتشار دی اکسید کربن بیشتر به محیط زیست، موضوع نگرانی سیاست در جهت کنترل آن در آینده شده است.

۳. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر محققین بر بهره‌وری زیست‌محیطی تمرکز کرده‌اند و به سنجش و تعیین عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند. در ادامه در جدول ۱ به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود.

نشینی منجر به تخریب و نابودی محیط زیست می‌گردد. چرا که با افزایش شهرنشینی روند نابودی جنگل‌ها و بیابان‌ها موجب از دست رفتن تنوع زیستی و نابودی محیط زیست می‌شود. علاوه بر این یکی از مهم‌ترین مسائل جهان، گرمایش جهانی است که شهرنشینی را می‌توان از عوامل گرمایش توسط انتشار گازهای گلخانه‌ای دانست. در طول سالهای اخیر، انتشار دی اکسید کربن به طور چشم‌گیری افزایش یافته که از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال سنگ و گاز و ... منتشر شده است. شهرنشینی و به دنبال آن افزایش تقاضا برای مصرف انرژی و میزان

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در زمینه بهره‌وری زیست‌محیطی

نویسندگان	جامعه آماری	دوره زمانی	مدل	نتیجه
مطالعات انجام شده در خارج از ایران				
یوآ و همکاران (۲۰۱۷)	صنعت حمل و نقل منطقه‌ای چین	۲۰۱۲-۲۰۰۰	شاخص مالم کوئیست لیون برگر فرامزی همزمان (CMML) ^۱	منطقه شرقی چین به دلیل تغییر کارایی بالاترین نرخ رشد بهره‌وری زیست محیطی را دارد. عمده دلیل بهبود بهره‌وری زیست محیطی در منطقه مرکزی چین در اثر نوآوری در تکنولوژی کم کربن بوده است. در منطقه غرب چین نیاز به مداخله دولت برای افزایش رشد سبز است چرا که در هیچکدام از شاخص‌های تجزیه شده شاخص بهره‌وری زیست محیطی کل عوامل، بهبود قابل توجهی نداشته است.
یانگ و فانگ (۲۰۲۰)	چین	سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸	SBM-DEA و روش توبیت	مدل توبیت نشان داد که شاخص انطباق با سیاست ^۲ شاخص تعهد مسئولیت زیست محیطی ^۳ ، شاخص قابلیت نوآوری سبز یا زیست محیطی ^۴ و شاخص افشای اطلاعات توسعه سبز ^۵ تأثیر مثبتی بر بهره‌وری سبز کل عوامل دارند.
لی و اوینگ (۲۰۲۰)	۲۸۴ شهر چین	۲۰۰۴-۲۰۱۵	MML ^۶ و روش PSTR ^۷	تغییرات فنی به طور کلی بهره‌وری سبز را در کشور چین کاهش داده و این تأثیر منفی در شهرهای وابسته به منابع طبیعی برجسته تر است. سهم انتقال فناوری از سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، ممکن است رشد بهره‌وری سبز را در شرایط خاص اقتصادی بهبود بخشد در حالی که سهم ظرفیت جذب، تأثیر مثبت اما کوچکی بر روی بهره‌وری سبز دارد.

⁶ Green Development Information Disclosure Indicator

⁷ Yang & Fang

⁸ Meta productivity Index Frontier Malmquist-Luenberger

⁹ Panel Smooth Transition Regression

¹ Li & Ouyang

¹ Contemporaneous Metafrontier Malmquist-Luenberger Carbon Emission Performance Index

² Yu

³ Policy Compliance Indicator

⁴ Environmental Responsibility Commitment Indicator

⁵ Green Innovation Capability Indicator

ژانگ (۲۰۲۱)	صنایع تولیدی کشور چین	۲۰۱۲-۲۰۰۰	MML و روش DID ^۱	مقررات اعتبار یا وام‌های زیست محیطی به طور چشمگیری رشد بهره‌وری سبز کل عوامل را در مقایسه با مفهوم سنتی، بهبود بخشیده است. علاوه بر این مقررات اعتبار یا وام‌های زیست محیطی به رشد پایدار، کاهش آلودگی زیست محیطی و ذخیره انرژی کمک خواهد کرد. بررسی زیست محیطی نیز نشان داد که R&D زیست محیطی، محرک بهره‌وری سبز کل عوامل است در حالی که R&D تولیدی، به‌صورت چشمگیری بهره‌وری کل عوامل را بهبود می‌بخشد.
کیو و همکاران (۲۰۲۱)	۳۰ استان کشور چین	طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۷	روش ^۲ DDF ، GMM، MML و روش ^۴ FGLS	رابطه بین مقررات زیست محیطی و بهره‌وری سبز کل عوامل خطی نبوده و U شکل است. پیشرفت فنی یا تکنولوژیکی منبع اصلی برای بهبود رشد بهره‌وری سبز کل عوامل بوده و تقویت مقررات زیست محیطی، تأثیر منفی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر روی بهره‌وری سبز کل عوامل را کاهش خواهد داد.
یو (۲۰۲۲)	کشور چین	۲۰۱۸-۲۰۰۶	Super_SBM و DSDM ^۶	توسعه اینترنت نه تنها تأثیر قابل توجهی بر بهبود بهره‌وری سبز کل عوامل دارد بلکه تأثیرات بلندمدت آن بزرگتر از تأثیرات کوتاه‌مدت آن بر بهره‌وری سبز کل عوامل است. همچنین توسعه اینترنت می‌تواند از طریق ساختار صنعتی و نوآوری تکنولوژیکی منجر به بهبود بهره‌وری سبز کل عوامل شود.
لی و لی (۲۰۲۲)	۳۰ استان چین	۲۰۱۸-۲۰۰۶	SUPER-SBM و PANEL DATA REGRESSIONS	سرمایه‌گذاری‌های زیست محیطی به طور مؤثری بهره‌وری سبز را بهبود می‌بخشد. اثر سرمایه‌گذاری‌های زیست محیطی در استان‌هایی با وضعیت اقتصادی و اجتماعی بهتر، درصد مشارکت کمتر مردم در حفاظت از محیط زیست و سطوح بالای آلودگی بیشتر است.
دنگ و همکاران (۲۰۲۲)	کشور چین	۲۰۱۹-۲۰۱۲	شاخص ^۸ LHM و تکنولوژی BP ^۹ و مدل SDM	بهره‌وری سبز کل عوامل در کشور چین به طور پیوسته در حال رشد بوده است و بهره‌وری سبز کل عوامل صنایع تولیدی چین به طور چشمگیری با دیجیتالی شدن اقتصاد افزایش یافته است. همچنین

¹ Difference-in-Difference

² Zhang

³ Directional Distance function

⁴ Feasible generalized least square

⁵ Qiu

⁶ Dynamic Spatial Durbin Model

⁷ Yu

⁸ Lee & Lee

⁹ Luenberger-Hicks-Moorsteen

¹ By-Production 0

¹ Deng 1

اثر دیجیتالی شدن بر روی بهره‌وری سبز کل عوامل صنایع تولیدی در مناطق غربی چین مشهود تر بوده است.				
بیمه‌های زیست محیطی، بهره‌وری سبز کل عوامل شرکت‌های چینی را به طور چشمگیری از طریق کاهش محدودیت‌های مالی و افزایش نوآوری سبز یا زیست محیطی افزایش داده‌اند.	SBM-GML ^۱ و PSM-DID ^۲ روش	۲۰۱۹-۲۰۱۰	شرکت‌های چینی	ون ^۳ و همکاران (۲۰۲۴)
مالیات‌های زیست محیطی سخت، بهره‌وری زیست محیطی را بهتر نخواهد کرد و یک رابطه منفی بین مالیات‌های حفاظت از محیط زیست و بهره‌وری سبز کل عوامل وجود دارد. اقتصاد دیجیتالی و سرمایه‌گذاری سبز یا زیست محیطی می‌توانند نقش تعدیل‌کننده‌ای در تأثیر مالیات‌های حفاظت از محیط زیست بر بهره‌وری سبز کل عوامل داشته باشند.	DSBM ^۴ و روش DID	۲۰۲۰-۲۰۱۶	در صنایع تولیدی گروهی از شرکت‌های چینی	یان ^۵ و همکاران (۲۰۲۴)
نتایج نشان داد که افزایش توجه دولت به مسایل زیست محیطی می‌تواند به طور موثری منجر به بهبود بهره‌وری سبز کل عوامل گردد. همچنین تراکم صنعتی و ارتقا صنعتی مسیرهای مهمی هستند که از طریق آن‌ها توجه دولت به مسایل زیست محیطی به طور مثبتی بر روی بهره‌وری سبز کل عوامل اثر می‌گذارد.	SBM_MALM QUIST	۲۰۱۱-۲۰۱۹	۳۰ استان کشور چین	یو ^۶ و همکاران (۲۰۲۴)
یافته‌ها نشان داد که سرمایه‌گذاری زیست محیطی می‌تواند به طور چشمگیری بهره‌وری سبز کل عوامل صنعتی را بهبود بخشد. تأثیر مثبت سرمایه‌گذاری زیست محیطی بر روی بهره‌وری سبز کل عوامل صنعتی در شهرهای مختلف چین متفاوت و متاثر از گسترش اندازه شهر هاست. علاوه بر این نوآوری تکنولوژی سبز یا زیست محیطی تأثیری مثبت در روند اثرگذاری سرمایه‌گذاری زیست محیطی بر روی بهره‌وری سبز کل عوامل دارد.	متد آنتروپی و مدل SBM با شاخص مالِم کوئیست لیونبرگر	۲۰۰۸-۲۰۲۱	شهرهای چین	دو ^۷ و همکاران (۲۰۲۴)
تجارت دیجیتال به طور قابل توجهی بهره‌وری سبز کل عوامل را افزایش داده و عدم محدودیت در تجارت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به طور مثبتی این رابطه را تعدیل خواهد کرد.	روش SBM_GML و FIXED_EFFECT	۲۰۰۵-۲۰۲۱	استان‌های چین	دای ^۸ و همکاران (۲۰۲۵)
مطالعات انجام شده در ایران				

¹ Slack-Based Measurement Model & Global Malmquist-Luenberger approach

² Propensity-Score Matching Method & Difference-in-Difference

³ Wen

⁴ Dynamic Slacks-Based Measure

⁵ Yan

⁶ Yu

⁷ Du

⁸ Dai

پارسا و همکاران (۱۳۹۴)	استان‌های ایران	۱۳۸۵-۱۳۹۰	تابع فاصله	به دلیل کاهش در کارایی فنی زیست محیطی، بهره‌وری زیست محیطی عوامل تولید کاهش یافته است. کارایی فنی زیست محیطی بیشترین تأثیر را در تغییرات زیست محیطی عوامل تولید دارد.
ممی پور و نجف‌زاده (۱۳۹۵)	۱۶ شرکت برق منطقه‌ای ایران	۱۳۸۹-۱۳۹۳	مدل‌های تحلیل پوششی شعاعی و غیر شعاعی	شرکت‌های برق منطقه‌ای کرمان و خوزستان بهترین عملکرد و شرکت‌های برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان و فارس بدترین عملکرد را در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای دارند.
اعظمی و همکاران (۱۳۹۷)	صنایع کارخانه ای ایران	۱۳۸۵-۱۳۹۵	شاخص مالم کوئست	شدت انرژی تأثیر منفی و معنی‌دار و مخارج تحقیق و توسعه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری زیست محیطی دارند.
عابدی و همکاران (۱۳۹۸)	ایران	۱۳۵۳-۱۳۹۳	شاخص مالم کوئست و مالم کوئست-لیونبرگر	بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری سبز نشان داد که عواملی همچون شهرنشینی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و سهم سوخت‌های فسیلی از کل مصرف انرژی دارای رابطه منفی با بهره‌وری سبز بوده در حالی که نتایج گویای تأثیر مثبت و معنادار تکنولوژی بر بهره‌وری سبز می‌باشد.
بهاء الدینی و همکاران (۱۴۰۲)	۳۱ استان ایران	۱۳۹۵-۱۴۰۰	تابع فاصله جهت دار غیر شعاعی	مقررات زیست محیطی منجر به ارتقاء بهره‌وری سبز خواهد شد و نسبت به کنترل خروجی‌های نامطلوب فعالیت‌های اقتصادی موفقیت کمی داشته‌اند. همچنین اثر تولید ناخالص داخلی بر بهره‌وری سبز ناچیز و اثر نسبت ارزش افزوده بخش صنعت به GDP منفی و معنی‌دار بوده است.
تنهایی و همکاران (۱۴۰۳)	کارخانه تولید کاغذ و مقوای کرمان		مطالعه توصیفی	از نظر کارکنان، استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند گاز طبیعی فشرده، گاز مایع و انرژی الکتریکی مهمترین گزینه برای بهره‌وری سبز است.
مسیبی اطاقسرا و همکاران (۱۴۰۳)	صنعت و حمل و نقل ایران	۱۳۸۰-۱۳۹۰	روش حسابداری رشد با بهره‌گیری از روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب	کمتر بودن متوسط رشد بهره‌وری متعارف از بهره‌وری سبز در بخش صنعت نشانگر نادیده گرفتن اثرات زیست محیطی تولید در فرایند برآورد شاخص‌های بهره‌وری است. بالاتر بون رشد بهره‌وری متعارف نسبت به سبز برای بخش حمل و نقل نشانگر آن است که ارزیابی درستی از عملکرد بخش مذکور صورت نگرفته است.

همانطور که جدول ۱ مشخص است عمده مطالعات ادبیات در حوزه بهره‌وری زیست‌محیطی در کشور چین است. نتیجه مطالعات گزارش شده قابل توجه است. کارایی در صنایع و یا استان‌های چین نقش مهمی در بهره‌وری

زیست‌محیطی دارد. از عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی می‌توان به مخارج تحقیق و توسعه، اقتصاد دیجیتال، توسعه اینترنت و نوآوری اشاره نمود. نکته جالب در نتایج مطالعات خارجی تأثیر مقررات زیست‌محیطی

فراهم می آورد. برای آنکه مدل سازی مجموعه امکانات تولیدی منطقی باشد لازم است فرض های زیر رعایت شود:

$$\begin{aligned} (i) & \text{ If } (K, L, E, Y, C) \in T \text{ and } 0 \leq \theta \leq 1, \\ & \text{ then } (K, L, E, \theta Y, \theta C) \in T, \\ (ii) & \text{ If } (K, L, E, Y, C) \in T \text{ and } C = 0, \\ & \text{ then } E = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

فرض آ بیان می کند هزینه فرصت کاهش خروجی نامطلوب معادل کاهش خروجی مطلوب است. مطابق با فرض ii خروجی نامطلوب همراه با خروجی مطلوب تولید می شود. بنابراین، اگر تولید نامطلوب به صفر کاهش یابد تولید مطلوب نیز به صفر کاهش می یابد. در ادامه با استفاده از تکنیک DEA به تصریح مرز تولید پرداخته می شود. تکنولوژی تولید زیست محیطی را برای N واحد تصمیم گیری با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس را می توان به صورت زیر فرموله کرد (ژو و همکاران، ۲۰۱۲):

$$T = \left\{ (K, L, E, Y, C) : \begin{aligned} & \sum_{n=1}^N z_n K_n \leq K, \sum_{n=1}^N z_n L_n \leq L, \\ & \sum_{n=1}^N z_n E_n \leq E, \sum_{n=1}^N z_n Y_n \geq Y, \\ & \sum_{n=1}^N z_n C_n = C, z_n \geq 0, n = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Z_n شدت تأثیر گذاری DMU n ام در تعیین تصویر کارا برای DMU تحت ارزیابی است. برای ارزیابی یک DMU باید فاصله آن تا مرز مجموعه T در رابطه (۳) محاسبه شود. اگر این DMU روی مرز مجموعه کارا باشد، کارا است و در غیر این صورت ناکارا است. برای محاسبه DMU تحت ارزیابی تا مرز کارا از NDDF استفاده می شود. برخلاف روش شعاعی که در آن همه ورودی ها یا افزایش همه خروجی ها به نسبت یکسان صورت می گیرد، در روش غیرشعاعی مبتنی بر NDDF هر ورودی و یا خروجی به نسبت خاصی کاهش و یا افزایش می یابد. با این فرض که DMU تحت ارزیابی به صورت (K, L, E, Y, C) است، مدل مربوطه به شکل زیر است:

است. قاطعیتی در مورد تأثیر مقررات زیست محیطی بر بهره‌وری وجود ندارد. در برخی مطالعات رابطه مقررات زیست محیطی و بهره‌وری زیست محیطی U شکل و غیر خطی است و در برخی مطالعات هم نشان داده می شود که مالیات های زیست محیطی سخت، بهره وری زیست محیطی را بهتر نخواهد کرد. مطالعات ایران به نقش شهرنشینی، سرمایه گذاری خارجی، شدت انرژی، مخارج تحقیق و توسعه، ساختار صنعتی و تکنولوژی اشاره می کند.

در حالی که ادبیات تجربی تمرکزی بیشتری بر بهره‌وری استان ها و صنایع چین دارد، این مطالعه تحلیل جامعی از بهره‌وری استان های ایران ارائه می دهد. سعی بر آن است با شاخص های جدید، بهره‌وری زیست محیطی استان های ایران سنجش شود. شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالیم کوئیسست غیرشعاعی فرا مرزی امکان تجزیه تغییرات بهره‌وری را فراهم می کند و می تواند محرک ها و بازدارنده های تغییرات بهره‌وری را شناسایی کند. همچنین در مطالعه حاضر، با تحلیل فضایی به بررسی نقش شدت انرژی و شهرنشینی در تغییرات بهره‌وری استان های ایران پرداخته می شود.

۴. روش شناسی پژوهش

۴-۱- روش تحلیل پوششی داده ها: شاخص عملکرد زیست

محیطی غیر شعاعی فرامرزی (MNMCPPI)

فرض می شود هر واحد تولیدی انرژی (E)، سرمایه (K) و نیروی کار (L) را به عنوان نهاده برای تولید ستانده مطلوب (Y) و ستانده نامطلوب (C) به کار می گیرد. تکنولوژی تولید در حالت کلی به صورت زیر بیان می شود:

$$(1) \quad \{K, L, E\} \text{ می تواند } Y \text{ و } C \text{ را تولید کند} \\ T = \{(K, L, E, Y, C)\}$$

مطابق با فار^۱ و گراسکوپ (۲۰۰۰) فرض می شود تکنولوژی تولید اصول موضوعه استاندارد نظریه تولید را تأمین می کند. T یک مجموعه بسته است و با ورودی های محدود تنها می توان خروجی های محدود را تولید کرد. علاوه بر این، بکارگیری نهاده ها (ورودی)، تولیدات (خروجی) مطلوب را همراه با تولیدات نامطلوب

¹ Fare & Grosskopf

که در آن β_C^* و β_Y^* از جواب بهینه مدل (۴) بدست می‌آیند. TCPI در معادله (۵) بیشترین شدت کاهش ممکن کربن را اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند کارایی واحد تصمیم‌گیری را در طول یک دوره زمانی اندازه‌گیری کند. ژانگ و چوی (الف ۲۰۱۳) و ژانگ و چوی (ب ۲۰۱۳) یک شاخص عملکرد زیست محیطی مالم کوئیسیت غیرشعاعی فرامرزی را برای اندازه‌گیری پویای عملکرد زیست محیطی کل عوامل پیشنهاد دادند. تجزیه MNMCPI اطلاعات مفیدی در مورد فاکتورهایی که تغییرات TCPI را فراهم می‌کنند، در اختیار سیاست‌گذار قرار می‌دهد. سه تعریف از تکنولوژی تولید زیست محیطی برای تعریف و تجزیه شاخص عملکرد زیست محیطی غیرشعاعی فرامرزی مورد نیاز است؛ تکنولوژی تولید همزمانی^۶، تکنولوژی تولید بین دوره‌ای^۷ و تکنولوژی تولید کلی^۸. MNMCPI تغییر TCPI را بین دو دوره t و $t+1$ بر روی مرز کلی اندازه‌گیری می‌کند. شاخص بهره‌وری مالم کوئیسیت غیر شعاعی فرامرزی (MNMCPI) بر اساس تکنولوژی زیست محیطی کلی تعریف می‌شود.

$$MNMCPI(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s) = \frac{TCPI^G(K^{t+1}, L^{t+1}, E^{t+1}, Y^{t+1}, C^{t+1})}{TCPI^G(K^t, L^t, E^t, Y^t, C^t)} \quad (6)$$

مطابق با رابطه (۷) MNMCPI به سه قسمت تجزیه می‌شود: شاخص تغییر کارایی فنی (EC) انتشار CO_2 ^۹ شاخص تغییر بهترین شکاف عملی (BPC) تکنولوژی کاهش انتشار CO_2 ^{۱۰} و شاخص تغییر شکاف تکنولوژی کاهش انتشار CO_2 ^{۱۱}.

$$\begin{aligned} \bar{D}(K, L, E, Y, C : g) = & \max w_K \beta_K \\ & + w_L \beta_L + w_E \beta_E + w_Y \beta_Y + w_C \beta_C \quad (4) \\ s.t. & \sum_{n=1}^N z_n K_n \leq K_{n'} - \beta_K g_K \\ & \sum_{n=1}^N z_n L_n \leq L_{n'} - \beta_L g_L \\ & \sum_{n=1}^N z_n E_n \leq E_{n'} - \beta_E g_E \\ & \sum_{n=1}^N z_n Y_n \geq Y_{n'} - \beta_Y g_Y \\ & \sum_{n=1}^N z_n C_n = C_{n'} - \beta_C g_C \\ & z_n \geq 0, n = 1, 2, \dots, N \\ & \beta_K, \beta_L, \beta_E, \beta_Y, \beta_C \geq 0 \end{aligned}$$

که در آن $W = (w_K, w_L, w_E, w_Y, w_C)^T$ یک بردار وزنی نرمال شده است که در مقادیر ورودی و خروجی ضرب می‌شود. این وزن‌ها میزان اهمیت ورودی و خروجی را در رسیدن به مرز کارا نشان می‌دهد. جهت رسیدن به مرز کارا را نشان می‌دهد. علامت منفی در این بردار به کاهش در نهاده‌ها یا محصولات نامطلوب اشاره دارد. $\beta = (-\beta_K, -\beta_L, -\beta_E, \beta_Y, -\beta_C)^T \geq 0$ بردار مقیاسی است و بیانگر آن است که در جهت مؤلفه به چه میزان حرکت می‌کنیم (ژانگ و چوی، الف ۲۰۱۳). اگر $\bar{D}(K, L, E, Y, C : g) = 0$ باشد بدان مفهوم است که واحد تحت ارزیابی کارا است. بر اساس معادله (۵) می‌توان شاخص بهره‌وری را تعریف نمود. نسبت شدت انتشار بالقوه کربن به شدت انتشار واقعی کربن به عنوان شاخص عملکرد زیست محیطی کل عوامل (TCPI)^{۱۲} تعریف و به صورت زیر فرموله می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۱۲).

$$TCPI = \frac{(C - \beta_C^* C) / (Y + \beta_Y^* Y)}{C / Y} = \frac{1 - \beta_C^*}{1 + \beta_Y^*} \quad (5)$$

⁶ Best-Practice Gap Change (BPC) Index of CO₂ Emission Reduction Technologies

⁷ Technology Gap Change (TGC) Index of CO₂ Emission Reductions

¹ Total Factor CO₂ Emission Performance Index

² Contemporaneous Production Technology

³ Intertemporal Production Technology

⁴ Global Production Technology

⁵ Technical Efficiency Change (EC) Index of CO₂ Emissions

جمله اختلال است. این سوال مهم در برآورد رابطه (۸) قابل طرح است که آیا باید از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده شود؟ برای پاسخ به این سؤال ابتدا باید وابستگی فضایی بررسی شود. اگر وابستگی فضایی وجود داشته باشد، می‌توان از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده کرد. لذا، در ادامه به بررسی تحلیل وابستگی فضایی و چگونگی آزمون آن پرداخته می‌شود.

تحلیل وابستگی فضایی^۱

از شاخص جهانی موران^۲ برای آزمون همبستگی فضایی انتشار کربن استفاده می‌شود. به عبارتی دیگر بررسی می‌شود که آیا انتشار کربن وابستگی فضایی دارد یا خیر. شاخص موران به صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (9)$$

I شاخص موران و N تعداد واحدهای فضایی (در مطالعه حاضر تعداد استان‌ها) نمایه شده بر اساس مکان (استانهای این مطالعه) i و j است. W ماتریس وزنی فضایی است که درایه‌های آن با W_{ij} نشان داده می‌شود. درایه‌های واقع بر قطر ماتریس مقدار ۰ را اتخاذ می‌کند. اگر i و j دارای مرز مشترک باشند، درایه مربوط به آنها ۱ و در غیر این صورت ۰ است. X متغیری است که آزمون فضایی بر روی آن انجام می‌شود (در مطالعه حاضر متغیر انتشار دی اکسید کربن) و $\bar{X}$ متوسط X برای همه مقاطع (استان‌ها) است. شاخص موران بین ۱- و ۱ در تغییر است. معنی داری این شاخص با مرتبه Z آزمون می‌شود.

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (10)$$

که $E(I)$ متوسط شاخص موران و $Var(I)$ واریانس آن است.

اقتصادسنجی فضایی: مدل اتو رگرسیون فضایی (SAR)

با وجود همبستگی فضایی و اثر سرریز فضایی انتشار کربن، روش‌های اقتصادسنجی سنتی ممکن است منجر به

$$\begin{aligned} MNMCPI(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s) \\ &= \frac{TCPI^G(.^{t+1})}{TCPI^G(.^t)} \\ &= \left[\frac{TE^{t+1}}{TE^t} \right] * \left[\frac{BPR^{t+1}}{BPR^t} \right] * \left[\frac{TCR^{t+1}}{TGR^t} \right] \\ &= EC * BPC * TGC \end{aligned} \quad (7)$$

عبارت EC در رابطه (۷) تغییر کارایی تکنیکی در انتشار CO_2 برای یک گروه ویژه (در فاصله دو دوره زمانی) است. EC توضیح می‌دهد که چقدر یک DMU به تکنولوژی تولید همزمانی نزدیک است. $EC > 1$ (یا < 1) به مفهوم منافع (هزینه‌های) کارایی است. عبارت BPC شاخص تغییر در بهترین شکاف عملی است و تغییر در نسبت بهترین شکاف عملی میان تکنولوژی زیست محیطی هم زمانی و بین دوره‌های میان دو دوره را اندازه گیری می‌کند. $BPC > 1$ (یا < 1) به مفهوم آن است که مرز تکنولوژی همزمانی به تکنولوژی بین دوره ای نزدیک می‌شود (و یا دور می‌شود). چون BPC جابجایی مرز را در یک تکنولوژی همزمانی اندازه‌گیری می‌کند، می‌تواند به عنوان اثر "ابداعات" در نظر گرفته شود. TGC معیار تغییرات در نسبت شکاف تکنولوژی برای کاهش انتشار CO_2 میان تکنولوژی تولید زیست محیطی بین دوره‌ای و کلی است. $TGC > 1$ (یا < 1) به کاهش (افزایش) شکاف تکنولوژی میان تکنولوژی بین دوره‌ای برای یک گروه ویژه و تکنولوژی کلی اشاره دارد و بنابراین TGC بیانگر "رهبری تکنولوژی" برای یک گروه ویژه است (اعظمی و همکاران، ۱۳۹۷).

۴-۲- تحلیل فضایی

مدل پایه تحقیق به صورت رابطه (۸) تصریح می‌شود.

$$\begin{aligned} \log MNCPi_{it} &= \alpha_0 + \alpha_1 \log EI_{it} \\ &+ \alpha_2 \log UR_{it} + \alpha_3 + \gamma_t + V_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

$MNCPi$ بهره‌وری زیست محیطی و متغیر وابسته است. EI شدت انرژی و UR شهرنشینی است. i و t به ترتیب بیانگر مقطع (استان) و زمان است. α_i و γ_t به ترتیب اثرات ثابت مقطعی (استانی) و زمانی (سال) و V_{it}

³ Spatial Autoregressive Model

¹ Spatial Correlation Analysis

² Moran Index

برآوردهای تورش‌دار شوند. بنابراین مدل‌های اقتصادسنجی فضایی باید اتخاذ شود.

$$Y_{it} = \tau Y_{it-1} + \phi WY_{it-1} + \rho WY_{it} + \beta X_{it} + a_i + Y_t + V_{it} \quad (11)$$

Y متغیر وابسته و X بردار متغیرهای توضیحی مدل (شامل متغیرهای توضیحی Core و متغیرهای کنترلی) است. W ماتریس وزنی فضایی متغیر وابسته هست. β بردار ضرایب رگرسیونی متغیرهای توضیحی، ρ ضریب رگرسیون فضایی متغیر وابسته، θ بردار ضریب رگرسیون فضایی متغیرهای مستقل است. Y_t اثرات زمانی و a_i اثرات فردی است. رابطه (۱۲) برای بررسی تاثیر فضایی شدت انرژی و شهرنشینی بر بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران برآورد می‌شود.

$$\begin{aligned} \log MNCPI_{it} = & \tau \log MNCPI_{it-1} \\ & + \phi w \log MNCPI_{it-1} \\ & + \rho w \log MNCPI_{it} \\ & + \beta_1 \log EI_{it} + \beta_2 \log UR_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

۴-۳-۱۵

در این مطالعه از داده استان‌های ایران در فاصله زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۷ استفاده می‌شود. جدول ۲ گزارشی از منبع

گردآوری و توصیف آماری متغیرهای پژوهش ارائه می‌دهد. متغیرهای مورد نیاز که داده آنها در این پژوهش جمع‌آوری شده‌اند عبارتند از: تولید (ستاده مطلوب)، سرمایه، نیروی کار، مصرف انرژی کل، حامل‌های انرژی، شهرنشینی. در برآورد مدل فضایی سه متغیر وجود دارد؛ شدت انرژی، شهرنشینی، بهره‌وری زیست‌محیطی. شدت انرژی از تقسیم مصرف انرژی استانی بر تولید ناخالص استانی و شهرنشینی از مرکز آمار بدست آمده است. بهره‌وری زیست‌محیطی بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود. متغیر تولید، نیروی کار، سرمایه، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن برای محاسبه بهره‌وری زیست‌محیطی مورد نیاز است. دسترسی به داده انتشار دی‌اکسید کربن به تفکیک استانی وجود ندارد، لذا ابتدا باید مصرف حامل‌های انرژی برای هر استان استخراج شود و سپس با استفاده از ضرایب انتشار هر حامل، انتشار دی‌اکسید کربن مربوط به آن حامل محاسبه شود. استخراج داده مصرف حامل‌های انرژی به دلیل وجود ۳۰ استان و تعداد چند حامل فرایند زمان‌بری است. حامل‌های انرژی گاز طبیعی، گاز مایع، نفت سفید، بنزین، نفت گاز و نفت کوره است.

جدول ۲. منبع و توصیف آماری متغیرهای پژوهش

متغیر	واحد	منبع	مشاهده	انحراف معیار	میانگین	کمترین	بیشترین
نیروی کار	نفر	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۲۳۸۰۳۶۶۴۰.۹	۱۳۶۰۸۱۶۸۳.۳	۴۸۸۶۰.۸	۱۶۹۴۸۱۶۸۳۲
سرمایه	ریال میلیون	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۵۱۴۸۱۸۸	۳۷۷۳۰۸۲	- ۱۴۱۵۴۳۴۷	۲۵۶۸۰۰۹۹
تولید	ریال میلیون	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۷۴۹۹۲.۷۱	۵۰۷۵۳.۵۴	۱۵۴۹	۴۳۲۱۱۶
مصرف انرژی	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۱۱۳۵۷۵۹۴	۷۷۴۲۹۷۹	۷۲۰۰۰	۶۳۲۸۶۴۲۰
نفت سفید	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۱۳۳۳۷.۳۴۶۰۳	۶۸۸۷.۵۳۵۸۹۷	۲۷	۱۳۹۸۱۶
بنزین	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۴۲۲۳۸.۰۰۴۵۸	۲۶۷۷۹.۳۶۴۱	۳۹۴	۳۸۲۶۵۷
نفت کوره	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۹۴۹۱۲۳.۶۳۴۲	۶۲۳۱۹۱.۲۱۲۸	۶۵۰	۸۳۲۶۰۸۵

نفت گاز	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۶۹۹۲۹.۵۴	۲۷۵۹۳.۷۳۰۷۷	۱۱۲	۷۲۳۴۹۷
گاز مایع	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۲۱۲۸۷۲۳۷	۶۵۳۳۱۴۴	۱۳۳۶	۳۸۶۸۵۱۵۹۰
گاز طبیعی	بشکه نفت خام	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۳۰۴۴۰۵.۵۴۵۸	۲۴۰۰۰۲.۲۱۵۴	۶۳۹۹	۲۴۲۶۵۷۰
شهرنشینی	درصدی از جمعیت	مرکز آمار ایران	۳۹۰	۰/۱۱۹۰	۰/۶۷۹۲	۰/۴۷۰۴	۰/۹۸۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. یافته‌های تجربی و بحث

در ادامه، ابتدا انتشار دی‌اکسید کربن استان‌ها به عنوان تولید نامطلوب محاسبه می‌شود. سپس، بهره‌وری زیست‌محیطی مطابق با تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص MNMCPI محاسبه می‌شود. در پایان، با استفاده از تحلیل فضایی به بررسی نقش شدت انرژی و شهرنشینی در بهره‌وری زیست‌محیطی پرداخته می‌شود.

۵-۱- محاسبه انتشار دی‌اکسید کربن

انتشار دی‌اکسید کربن برای هر حامل انرژی بر اساس ضرایب انتشار مربوط به آن حامل محاسبه شده است. مطابق با IPCC، انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و فرایندهای صنعتی بیشترین سهم را در انتشار گاز گلخانه‌ای تشکیل می‌دهد.

$$\text{میزان انتشار آلاینده} = \text{سطح فعالیت} \times \text{ضریب انتشار} \quad (۹)$$

$$(\text{Emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor})$$

Emission میزان انتشار گاز گلخانه‌ای بر حسب واحد گرمی (به طور مثال تن)، Activity Data سطح فعالیت فرایند یا شاخه ایجاد کننده انتشار (برحسب به طور مثال لیتر و یا ژول) و Emission Factor ضریب انتشار و برحسب تن بر لیتر و یا گرم بر ژول است. در محاسبه انتشار دی‌اکسید کربن، واحد حامل انرژی با توجه به واحد ضریب انتشار انتخاب و به تناسب آن واحد انرژی تبدیل می‌شود. مطابق با جدول ۴ ضرایب انتشار ارایه شده است که ضرایب بر حسب کیلو تن به پتا ژول است. در پایان، متغیر انتشار

دی‌اکسید کربن کل حامل‌ها بر جمعیت تقسیم شده است که به صورت سرانه در مدل استفاده شود.

جدول ۴. ضرایب انتشار دی‌اکسید کربن حامل‌های انرژی

حامل‌ها	ضریب انتشار (Kton CO ₂ /PJ)
نفت سفید	۷۱/۱۴۸
بنزین	۶۸/۶۰۷
نفت کوره	۷۶/۵۹۳
نفت گاز	۷۳/۳۲۶
گاز طبیعی	۵۵/۸۲۰
گاز مایع	۶۲/۴۳۶

منبع: یافته‌های پژوهش

۵-۲- اندازه‌گیری بهره‌وری با مدل تحلیل پوششی داده‌ها

مطابق با روش شناسی پژوهش، برای سنجش بهره‌وری استان‌ها و تجزیه تغییرات آن، استان‌های ایران به سه گروه ۱، ۲ و ۳ تقسیم می‌شوند. این تقسیم بندی بر اساس سهم تولید ناخالص داخلی استانی در سال ۱۳۹۹ بر پایه مرکز آمار ایران انجام شده است. گروه ۱ بیشترین و گروه ۳ کمترین سهم را دارند. استان‌های تهران، اصفهان، خراسان رضوی، بوشهر و خوزستان گروه ۱، استان‌های کردستان، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، سمنان و چهارمحال و بختیاری استان‌های گروه ۳ هستند. بقیه استان‌ها به گروه ۲ تعلق دارند. مقدار بهره‌وری زیست محیطی برای ۳۰ استان کشور با سه ورودی و دو خروجی برای دوره زمانی

۱/۳۱۳۷	۱/۳۳۱۳	۱/۱۵۵۱	۱/۴۱۰۷
گروه سوم			
۱/۱۶۶۷	۱/۵۹۸۳	۱/۲۷۴۰	۱/۳۷۹۹

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با جدول ۵ در همه گروه‌ها مقدار متوسط شاخص MNMCPI بزرگتر از یک است که بیانگر آن است که این شاخص به طور متوسط در این سالها رشد داشته است. بیشترین رشد بهره‌وری مربوط به گروه ۱ و کمترین رشد بهره‌وری مربوط به گروه ۳ است. لذا، می‌توان استدلال نمود تولید ناخالص داخلی تأثیر گذاری مثبتی بر بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌ها دارد. در مقایسه با ادبیات، بهاء‌الدینی و همکاران (۱۴۰۲) نشان می‌دهند اثر تولید ناخالص داخلی بر بهره‌وری سبز استان‌های ایران ناچیز است. اما مطالعه حاضر به نقش مثبت تولید بر بهره‌وری سبز اشاره دارد. همچنین، در هر سه گروه اثر ابداعات بیشترین مقدار را در تجزیه تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی دارد.

در ادامه با استفاده از جداول پیوست، نمودارهای ۱ و ۲ به منظور درک بهتر از وضعیت استان‌ها ترسیم می‌شود. مطابق با نمودار ۱، بیشترین و کمترین تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی به ترتیب مربوط به استان اردبیل و فارس است. نمودار ۲ اجزای تغییرات بهره‌وری استان‌های ایران که در نمودار ۱ ترسیم شده است نشان می‌دهد.

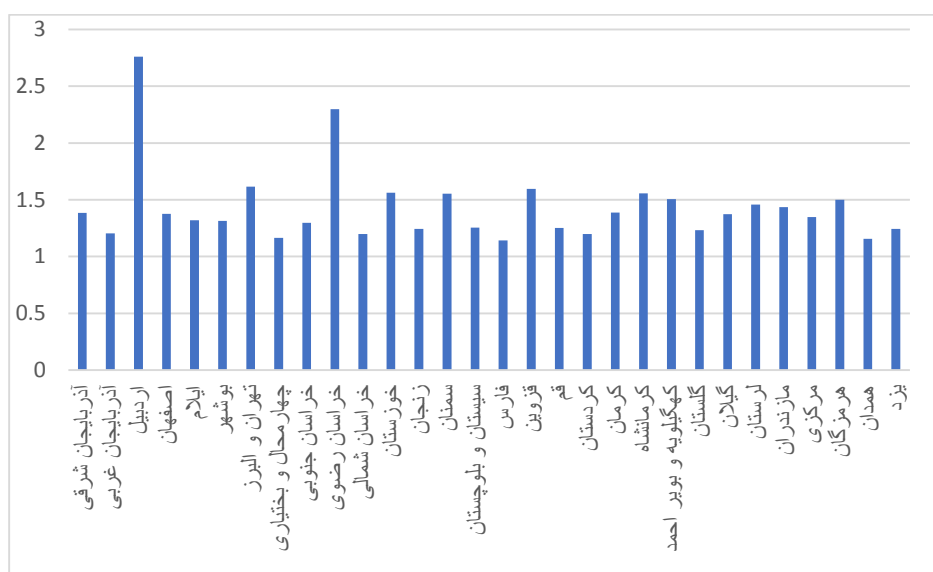
مطابق با نمودار ۲، کمترین اثر در هر دو استان اردبیل و فارس مربوط به اثر کارایی است. بیشترین اثر در استان اردبیل شکاف تکنولوژی و در استان فارس اثر ابداعات است. مطابق با نمودار ۲ اثر کارایی تقریباً در همه استان‌ها کمترین اثر در تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی است.

سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ به صورت جدول ۱ پیوست می‌باشد. مقادیر متوسط MNMCPI و اجزای آن برای استان‌های ایران در جدول ۲ پیوست گزارش شده است.

مطابق با جدول ۵ مقدار متوسط شاخص MNMCPI در کل استان‌های ایران در طی سالهای مطالعه ۱/۴۲۶۱ است که با توجه به بزرگتر از یک بودن آن، این شاخص به طور متوسط در این سالها رشد داشته است. بیشترین تأثیر پذیری این رشد از شاخص BPC به مقدار ۱/۳۹۶۵ است (اثر ابداعات). دومین شاخص تأثیرگذار بر شاخص MNMCPI، شاخص تغییر شکاف تکنولوژی (TGC) به میزان ۱/۲۸۴۷ است که به طور متوسط رشد این شاخص را نشان می‌دهد. آخرین عامل تأثیرگذار بر شاخص MNMCPI در سطح کلی، شاخص تغییر کارایی (EC) به مقدار ۱/۲۰۳۵ است. در مطالعات لاتینی که در جدول ۱ ارائه شده است بیشتر مطالعات بر نقش کارایی در تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی تأکید دارند ولی در مطالعه حاضر تأکید بر نقش ابداعات است. اعظمی و همکاران (۱۳۹۷) نشان می‌دهند ابداعات بیشترین تأثیر و کارایی کمترین تأثیر را در تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران دارد. پارسا و همکاران (۱۳۹۴) نشان می‌دهند کارایی فنی زیست‌محیطی بیشترین تأثیر را در تغییرات زیست‌محیطی عوامل تولید دارد.

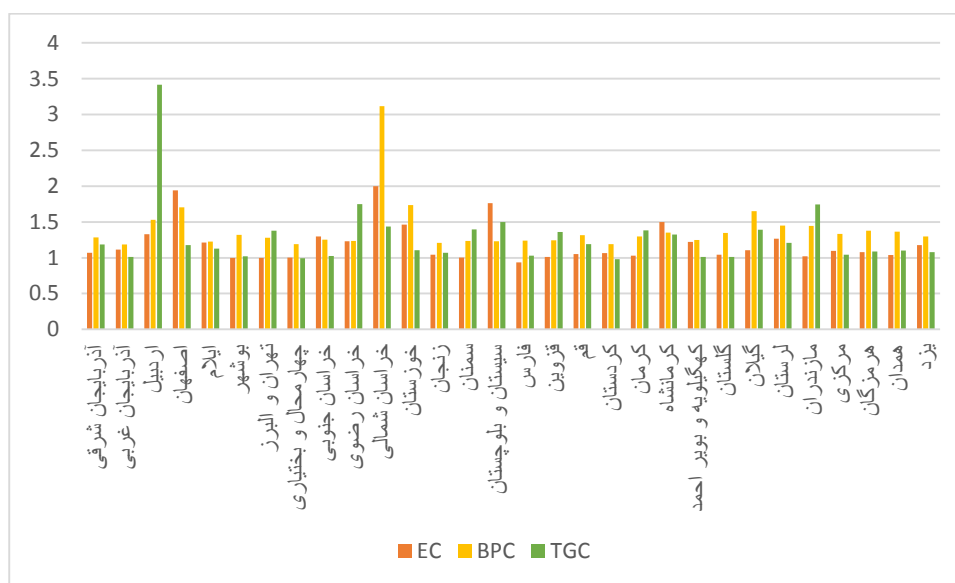
جدول ۵. تجزیه MNMCPI استان‌های ایران در سطح متوسط به صورت کلی و گروهی

TGC	BPC	EC	MNMCPI
کل			
۱/۲۸۴۷	۱/۳۹۶۵	۱/۲۰۳۵	۱/۴۲۶۱
گروه اول			
۱/۲۸۶۵	۱/۴۵۵۳	۱/۳۲۶۸	۱/۶۳۲۴
گروه دوم			



نمودار ۱: مقایسه متوسط بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران.

منبع: یافته‌های پژوهش.



نمودار ۲: تجزیه تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران.

منبع: یافته‌های پژوهش.

نیست، اثر شکاف تکنولوژی بیشترین اثر است (اردبیل، تهران و البرز، خراسان رضوی، سمنان، قزوین، کرمان و مازندران) و یا در استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و کرمانشاه اثر کارایی بیشترین اثر است.

در مقایسه با نتایج کلی که در مورد استان‌های ایران گزارش شده است برخی نتایج استانی این نمودار قابل توجه است. در استان‌هایی که برخلاف نتایج کلی اثر کارایی برای آنها کمترین اثر نیست، اثر شکاف تکنولوژی کمترین اثر است به استثنای استان سیستان و بلوچستان که اثر ابداعات کمترین اثر است. همچنین، در استان‌هایی که برخلاف نتایج کلی اثر ابداعات برای آنها بیشترین اثر

۳-۵- بررسی تأثیر شدت انرژی و شهرنشینی بر

بهره‌وری سبز استان‌های ایران

بررسی ارتباط بلندمدت متغیرهای مدل

به منظور بررسی وجود ارتباط بلندمدت میان متغیرهای الگو ابتدا بایستی وابستگی مقطعی و سپس پایایی متغیرهای الگو بررسی شود. در این مطالعه، آزمون وابستگی مقاطع بر اساس آزمون CD پسران انجام می‌شود (پسران^۲، ۲۰۰۴). آماره CD بر اساس معادله (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right)} \quad (11)$$

T فاصله زمانی، N تعداد مقاطع و $\hat{\rho}_{ij}$ همبستگی pair-wise میان مقاطع است. نتایج آزمون وابستگی مقطعی فریدمن در جدول ۶ گزارش می‌شود

جدول ۶. آزمون وابستگی مقطعی

نتیجه	مقدار احتمال	آماره	آزمون
وابستگی مقطعی	۰/۰۵۹۵	۱/۸۸۴	پسران

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با مقدار احتمال، فرضیه مقابل دال بر وجود وابستگی مقطعی تأیید می‌شود. بنابراین بین مقاطع (استان‌ها) وابستگی وجود دارد. این بدان مفهوم است که در استان‌های مورد مطالعه یک شوک که یک استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد استان دیگر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین برای انجام آزمون ریشه واحد از آزمون‌های نسل دوم مانند پسران (۲۰۰۷) که این وابستگی را در نظر می‌گیرند استفاده می‌شود. پسران (۲۰۰۷) آزمون ریشه واحد IPS را با در نظر گرفته وابستگی مقطعی (CIPS) پیشنهاد دادند. برای بررسی ریشه واحد متغیرها از آزمون ایم، پسران و شین استفاده شده است. جدول ۹ نتایج این آزمون را گزارش می‌دهد.

$$CIPS = N^{-1} \sum_{i=1}^N t_i(N, T) \quad (11)$$

که $t_i(N, T)$ آماره دیکی فولر تعمیم یافته مقطعی برای واحد i ام است.

جدول ۷. آزمون ریشه واحد: بررسی پایایی متغیرهای مدل

متغیر	نتیجه	۱۰٪	۵٪	۱٪	آماره CIPS
$\log MNCPI_{it}$	I (0)	۲/۱۴	۲/۲۵	۲/۴۵	۴/۳۵۳
$\log EI_{it}$	I (0)	۲/۱۴	۲/۲۵	۲/۴۵	۲/۳۶۰
$\log Urban_{it}$	I (1)	۲/۱۴	۲/۲۵	۲/۴۵	۱/۴۴۷

منبع: یافته‌های پژوهش

لازم به ذکر است که $\log EI_{it}$ و $\log MNCPI_{it}$ در سطح معنی داری ۱۰٪ ریشه واحد ندارند و پایا هستند و $\log Urban_{it}$ در سطح معنی داری کمتر از ۱۰٪ ریشه واحد دارد و پایا نیست (I (1)). با توجه به نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها، می‌بایست آزمون هم‌انباشتگی با وجود وابستگی مقطعی به منظور بررسی وجود ارتباط بلندمدت میان متغیرهای مدل انجام شود. بنابراین، فرآیند هم‌انباشتگی پانل جدید که توسط وسترلاند^۳ (۲۰۰۷) معرفی شده است به کار می‌رود. وسترلاند (۲۰۰۷) چهار آزمون پانل جدید با یک گزینه بوت استرپینگ که وجود روابط بلندمدت میان متغیرهای هم‌انباشته را با وجود همبستگی مقاطع آزمون می‌کند را توسعه داد. هدف بررسی وجود و عدم وجود ارتباط بلندمدت است که از طریق مدل تصحیح خطا تعیین می‌شود. جدول ۸ نتایج آزمون هم‌انباشتگی وسترلاند را گزارش می‌دهد.

جدول ۸. آزمون هم‌انباشتگی: بررسی ارتباط بلندمدت میان

متغیرهای مدل

نتیجه	مقدار احتمال	آماره

3. Westerland

1 Cross-Dependency Test

2. Pesaran

خود همبستگی فضایی را رد می‌کند، بنابراین وجود خود همبستگی فضایی در استان‌های ایران تایید می‌شود.

جدول ۹. آزمون موران: تحلیل همبستگی فضایی

I	E(I)	Sd(I)	Z	P-value
۰/۸۸۸۶	-۰/۰۰۲۵۷	۰/۰۲۰۱	۴۴/۱۸۴۵	۰/۰۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

۵-۴- برآورد مدل خودرگرسیون فضایی

نتایج برآورد مدل (۱۲) که یک مدل SAR است در جدول ۱۰ گزارش شده است. حضور متغیر $w \log MNCPI_{it}$ در سمت راست مدل به عنوان متغیرهای توضیحی ویژگی فضایی به مدل می‌دهد.

جدول ۱۰. برآورد مدل SAR

متغیرها	ضرایب	مقدار ضریب	مقدار احتمال
$\log MNCPI_{it-1}$	τ	-۰/۴۴۲۸	۰/۰۰۰۰
$w \log MNCPI_{it-1}$	ϕ	۰/۰۲۸۲	۰/۲۰۵
Spatial: $w \log MNCPI_{it}$	ρ	۰/۰۲۷۸	۰/۰۹۵
$\log EI_{it}$	β_1	-۰/۱۹۰۲	۰/۰۰۰۰
$\log UR_{it}$	β_2	-۰/۵۱۲۵	۰/۱۰۰
Variance sigma2_e		۰/۰۴۳۸	۰/۰۰۰۰
R-sq = ۰/۲۸۳۲			
Number of obs = ۳۳۰			
Log-likelihood = ۶۰/۴۹۹۳			
AIC=-۱۱۰/۹۷۸۲			
BIC=-۸۸/۱۸۳۶			

منبع: یافته‌های پژوهش

اثر سرریز مثبت بر بهره‌وری سبز در استان‌های همجوار دارد. متغیر بهره‌وری با وقفه در سمت راست ($\log MNCPI_{it-1}$ و $w \log MNCPI_{it-1}$) بیانگر پویایی مدل است. ضرایب متغیرهای $\log EI_{it}$ و $\log UR_{it}$ منفی و به لحاظ آماری معنی‌دار هستند. شدت انرژی و شهرنشینی منجر به کاهش معنی‌دار بهره‌وری زیست‌محیطی استان‌های ایران می‌شوند.

Variance ratio	-۴/۰۱۹۳	۰/۰۰۰۰	تایید ارتباط بلندمدت میان متغیرهای مدل
----------------	---------	--------	--

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با جدول ۸، وجود ارتباط بلندمدت میان متغیرهای مدل تأیید می‌گردد.

تحلیل خود همبستگی فضایی

قبل از اینکه از مدل اقتصادسنجی فضایی برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی استان‌های ایران استفاده شود وجود اثرات فضایی متغیرها برای انتخاب مدل فضایی مناسب تأیید می‌شود. در این مطالعه، تحلیل خود همبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران انجام شده است، سپس تخمین‌های اقتصادسنجی فضایی انجام شده است. آزمون موران در جدول ۹ فرضیه صفر مبنی بر نبود

مطابق با جدول ۱۵، پارامتر وابستگی فضایی یا ضریب خودرگرسیون فضایی (ρ) مثبت و در سطح بالایی معنی دار است که نشان می‌دهد اثرات سرریز فضایی قوی بر بهره‌وری زیست محیطی ایران وجود دارد. این بدان مفهوم است که هر چه بهره‌وری سبز در استان‌های نزدیک کمتر (بیشتر) باشد، بهره‌وری سبز یک استان خاص کمتر (بیشتر) است. به عبارت دیگر، بهره‌وری سبز در یک استان

مقدار متوسط شاخص MNMCPI در کل استان‌های ایران بزرگتر از یک است که بیانگر آن است این شاخص به طور متوسط در این سالها رشد داشته است. به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر پذیری این رشد از اثر ابداعات و اثر کارایی است. با توجه سهم پایین کارایی در رشد بهره‌وری زیست‌محیطی، راه‌حلی برای افزایش کارایی پیشنهاد می‌شود. بیشترین رشد بهره‌وری مربوط به استان‌های با تولید ناخالص داخلی سرانه بالا و کمترین رشد بهره‌وری مربوط به استان‌های با تولید ناخالص داخلی سرانه پایین است. لذا، می‌توان استدلال نمود تولید ناخالص داخلی تأثیر گذاری مثبتی بر بهره‌وری زیست محیطی استان‌ها دارد.

بیشترین و کمترین تغییرات بهره‌وری زیست‌محیطی به ترتیب مربوط به استان اردبیل و فارس است. کمترین اثر در هر دو استان مربوط به اثر کارایی است. بیشترین اثر در استان اردبیل شکاف تکنولوژی و در استان فارس اثر ابداعات است. در استان‌هایی که برخلاف نتایج کلی اثر کارایی برای آنها کمترین اثر نیست، اثر شکاف تکنولوژی کمترین اثر است به استثنای استان سیستان و بلوچستان که اثر ابداعات کمترین اثر است. همچنین، در استان‌هایی که برخلاف نتایج کلی اثر ابداعات برای آنها بیشترین اثر نیست، اثر شکاف تکنولوژی بیشترین اثر است (اردبیل، تهران و البرز، خراسان رضوی، سمنان، قزوین، کرمان و مازندران) و یا در استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و کرمانشاه اثر کارایی بیشترین اثر است. لذا، سیاستهای ارتقاء بهره‌وری متناسب با شرایط هر استان توصیه می‌شود.

مطابق با تحلیل‌های فضایی، بهره‌وری در یک استان اثر سرریز مثبتی بر بهره‌وری در استان‌های همجوار دارد. لذا، همکاری استان‌ها برای ارتقاء بهره‌وری استان‌ها می‌تواند مفید واقع شود. شدت انرژی و شهرنشینی تأثیر منفی و معنی‌دار بر بهره‌وری سبز استان‌های ایران دارند. با توجه به نقش شدت انرژی در کاهش بهره‌وری زیست محیطی راه‌حلهایی برای کاهش شدت انرژی توصیه می‌شود. برای این منظور سیاست گذاران باید سیاست های زیست

شدت انرژی به دلیل افزایش مصرف انرژی منجر به کاهش کیفیت محیط زیست می‌گردد. تغییر شدت انرژی به دلایلی مانند تغییر تقاضا ناشی از قیمت، تغییر تقاضا ناشی از درآمد و تغییر کارایی انرژی رخ می‌دهد. تغییر کارایی انرژی ناشی از تغییرات ساختاری و فنی است. ساختار اقتصادی، کیفیت انرژی، فناوری، باز بودن تجارت و حکمرانی خوب و کیفیت نهادی دیگر عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی هستند. اعظمی و همکاران (۱۳۹۷) بر تأثیر منفی شدت انرژی در بهره‌وری زیست‌محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران تأکید دارند.

گسترش شهرنشینی منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. شهرنشینی به دلیل ساختارهای شهری نقش به سزایی در کارایی انرژی دارد. هرچه ساختار شهری در وضعیت مطلوبی باشد کارایی انرژی با توسعه شهرنشینی بهبود می‌یابد. گسترش شهرنشینی در استان‌های ایران به دلیل ساختار نامطلوب شهرها منجر به کاهش کیفیت محیط زیست می‌شود. این نتیجه با یافته سبری^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، فرانکو^۲ و همکاران (۲۰۱۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۶) و عابدی و همکاران (۱۳۹۸) سازگار است.

۶. نتیجه‌گیری و توصیه سیاستی

بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی بهترین راه برای دستیابی به رشد اقتصادی پایدار، کاهش مصرف و شدت انرژی و حفاظت از محیط‌زیست کشور می‌باشد. هدف این مطالعه سنجش تغییرات بهره‌وری زیست محیطی کل عوامل استان‌های ایران در فاصله زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۷ است. این پژوهش در سه مرحله انجام می‌شود. ابتدا، انتشار دی‌اکسید کربن (تولید نامطلوب) استان‌ها مطابق با IPCC محاسبه می‌شود. سپس، بهره‌وری زیست محیطی مطابق با تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالم کوئیسست غیرشعاعی فرامرزی (MNMCIPI) محاسبه می‌شود. در پایان، با استفاده از تحلیل فضایی نقش شدت انرژی بر بهره‌وری زیست محیطی استان‌ها بررسی می‌شود.

² Franco

¹ Sebri

Abedi, S., Daneshmand, A., & Noorian, S. (2019). Investigating the factors affecting green productivity growth in the Iranian economy. *Journal of Economic Research*, 54(3), 633–658. <https://doi.org/10.22059/jte.2019.72777> (In Persian)

Azami, S., Poor-Karimi, L., & Sadri, S. (2018). Total Factor CO2 Emission Performance in Iranian Manufacturing Industries: Meta-Frontier Non-Radial Malmquist Index Approach [Applicable]. *Journal of Economic Modeling Research*, 9(31), 131–163. <https://doi.org/10.29252/jemr.8.31.131> (In Persian).

Bahaeedini, M. M., Sadeghi, Z., & Karimi Takloo, S. (2023). Investigating the impact of environmental regulations on the green productivity of Iranian provinces. *Journal of Industrial Economics Research*, 7(26), 33–48. <https://doi.org/10.30473/jier.2024.70278.1437> (In Persian)

Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1393–1414. <https://doi.org/10.2307/1913388>

Chambers, R. G., Chung, Y., & Färe, R. (1996). Benefit and distance functions. *Journal of economic theory*, 70(2), 407–419. <https://doi.org/10.1006/jeth.1996.0096>

Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229–240. <https://doi.org/10.1006/jema.1997.0146>

Dai, S., Tang, D., Li, Y., & Lu, H. (2025). Digital trade, trade openness, FDI, and green total factor productivity. *International Review of Financial Analysis*, 97, 103777. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103777>

Deng, H., Bai, G., Shen, Z., & Xia, L. (2022). Digital economy and its spatial effect on green productivity gains in manufacturing: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134539>

محیطی سخت گیرانه تری را اعمال کنند و یا اینکه سیاست هایی را تدوین کنند که بر منابع انرژی پاک و ترویج سوخت های پاک تمرکز دارد. اصلاح سیاست های انرژی و جایگزینی تجهیزات جدید با تجهیزات فرسوده و قدیمی و استفاده از تکنولوژی جدید تولیدی می تواند به کاهش مصرف انرژی در ازای هر واحد تولید (کاهش شدت انرژی) کمک نماید. برای بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی در استان‌های با شدت انرژی بالا، پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد و یارانه‌های انرژی فسیلی کاهش یابد.

رشد شهرنشینی به دلیل ساختار نامطلوب شهرها منجر به کاهش کیفیت محیط زیست می‌گردد. سیاست گذاران می‌توانند با افزایش امکانات در روستاها و آرایه تسهیلات رفاهی به روستائینان از مهاجرت بی‌رویه آن‌ها جلوگیری کنند و زمینه را برای کاهش آلودگی محیط‌زیست برقرار کنند. همچنین، میتوان برای کاهش مصرف انرژی در بخش شهری از راه هایی همچون توسعه و بهبود ناوگان حمل و نقل عمومی استفاده کرد.

اظهارات و شفاف‌سازی نویسندگان

– **تعارض منافع:** نویسندگان این مقاله، سهمیه اعظمی و هاوژین اژند، هیچ‌گونه تعارض منافع در ارتباط با پژوهش انجام‌شده و انتشار مقاله ندارند.

– **در دسترس بودن داده‌ها:** داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در صورت درخواست نشریه، در اسرع وقت در اختیار نشریه قرار خواهد گرفت.

– **تعامل نویسنده:** سهمیه اعظمی مسئول طراحی پژوهش، مسئول نظارت، تحلیل داده‌ها و ویرایش نهایی، و هاوژین اژند، جمع‌آوری داده‌ها، کدنویسی در متلب و نگارش اولیه بود.

– **منبع مقاله:** این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد هاوژین اژند در دانشگاه رازی استخراج شده است.

– **شفاف‌سازی:** در تدوین این مقاله، از هوش مصنوعی یا هرگونه تکنولوژی خاص برای تولید یا تحلیل داده‌ها استفاده نشده است.

منابع

- Environmental Economics and Natural Resources, 2(2), 81–103. <https://doi.org/10.22054/eenr.2016.8408> (In Persian)
- Qiu, S., Wang, Z., & Geng, S. (2021). How do environmental regulation and foreign investment behavior affect green productivity growth in the industrial sector? An empirical test based on Chinese provincial panel data. *Journal of Environmental Management*, 287, 112282. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112282>
- Rasekhi, S., & Khodamalhoseini, S. H. (2023). The effect of green technology and innovation on electronic waste production in selected OECD countries. *Journal of Industrial Economics Research*, 7(24), 69–82. <https://doi.org/10.30473/jier.2024.70065.1431> (In Persian)
- Sebri, M., & Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.033>
- Tanhaei, F., Arabpour, H., & Ahmadi Motlagh, S. D. (2024). Green productivity and its impact on industry (Case study: Kerman paper factory). In *Proceedings of the 10th International Conference on Industrial and Systems Engineering*. Civilica. <https://civilica.com/doc/2119533> (In Persian)
- Wen, H.-x., Cui, T., Wu, X.-q., & Nie, P.-y. (2024). Environmental insurance and green productivity: A firm-level evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140482. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140482>
- Yan, Z., Jia, Y., & Zhang, B. (2024). Environmental protection taxes and green productivity: Evidence from listed companies in China. *Economic Systems*, 48(4), 101213. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2024.101213>
- Yang, Z., & Fang, H. (2020). Research on green productivity of chinese real estate companies—Based on SBM-DEA and TOBIT models. *Sustainability*, 12(8), 3122. <https://doi.org/10.3390/su12083122>
- Du, J., Zhong, Z., Shi, Q., Wang, L., Liu, Y., & Ying, N. (2024). Does government environmental attention drive green total factor productivity? Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 366, 121766. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121766>
- Färe, R., & Grosskopf, S. (2006). *New directions: efficiency and productivity* (Vol. 3). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/0-387-27594-0>
- Färe, R., Grosskopf, S., & Kokkelenberg, E. C. (1989). Measuring plant capacity, utilization and technical change: a nonparametric approach. *International economic review*, 655–666. <https://doi.org/10.2307/2526781>
- Fathi, B., & Mahdavi Adeli, M. H. (2015). Measuring industrial energy efficiency with CO2 emissions in developing countries using static and dynamic nonparametric models. *Quarterly Energy Economics Review*, 11(46), 61–87.
- Lee, C.-C., & Lee, C.-C. (2022). How does green finance affect green total factor productivity? Evidence from China. *Energy economics*, 107, 105863. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105863>
- Li, P., & Ouyang, Y. (2020). Technical change and green productivity. *Environmental and resource economics*, 76(2), 271–298. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00424-1>
- Mamipour, S., & Najafzadeh, B. (2018). Three-sector evaluation of environmental efficiency in Iran's electricity industry: A network data envelopment analysis approach. *Journal of Economic Research*, 53(2), 437–463. <https://sid.ir/paper/12040/fa> (In Persian)
- Meseibi Ataghsara, N., Elmi, Z., & Rasekhi, S. (2024). Green productivity growth in Iran's industry and transportation sectors: An application of growth accounting using seemingly unrelated regressions. *Journal of Economic Growth and Development Research*, 14(54), 13–34. <https://doi.org/10.30473/egdr.2023.68523.675> 0 (In Persian)
- Parsa, P., Jalaei Esfandabadi, S. A., & Sadeghi, Z. (2016). Calculation of environmental technical efficiency in Iranian provinces. *Journal of*

and Korea. *Energy Policy*, 62, 324–332.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.060>

Zhang, N., & Choi, Y. (2013b). Total-factor carbon emission performance of fossil fuel power plants in China: A metafrontier non-radial Malmquist index analysis. *Energy economics*, 40, 549–559.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.08.012>

Zhang, N., & Choi, Y. (2014). A note on the evolution of directional distance function and its development in energy and environmental studies 1997–2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 50–59.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.064>

Zhou, P., Ang, B., & Han, J. (2010). Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis. *Energy economics*, 32(1), 194–201.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.10.003>

Zhou, P., Ang, B., & Wang, H. (2012). Energy and CO2 emission performance in electricity generation: a non-radial directional distance function approach. *European journal of operational research*, 221(3), 625–635.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.022>

Yu, B. (2022). The impact of the internet on industrial green productivity: evidence from China. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121527.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121527>

Yu, Y., Choi, Y., Wei, X., & Chen, Z. (2017). Did China's regional transport industry enjoy better carbon productivity under regulations? *Journal of Cleaner Production*, 165, 777–787.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.105>

Yue, H., Zhou, Z., & Liu, H. (2024). How does green finance influence industrial green total factor productivity? Empirical research from China. *Energy Reports*, 11, 914–924.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.12.056>

Zhang, D. (2021). Green credit regulation, induced R&D and green productivity: Revisiting the Porter Hypothesis. *International Review of Financial Analysis*, 75, 101723.
<https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101723>

Zhang, N., & Choi, Y. (2013a). A comparative study of dynamic changes in CO2 emission performance of fossil fuel power plants in China

پیوست:

جدول ۱. مقادیر بهره‌وری زیست محیطی (MNCPI) استان‌های ایران

۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	
۰/۵۲۷	۴/۸۷۷	۰/۷۰۱	۰/۹۶۷	۱/۳۶۱	۰/۷۷۵	۱/۳۶۵	۱/۱۴۴	۱/۰۶۹	۱/۷۵۳	۱/۰۹۱	۰/۹۹۶	آذربایجان شرقی
۱/۲۵۸	۱/۳۷۶	۱/۲۵۳	۱/۴۸۵	۰/۸۶۳	۱/۱۰۹	۱/۲۶۵	۱/۱۵۶	۰/۸۴۰	۱/۲۰۸	۱/۳۵۲	۱/۲۷۷	آذربایجان غربی
۰/۲۹۳	۳/۵۸۲	۱/۳۰۳	۰/۹۰۸	۱/۱۳۱	۱/۴۹۷	۱/۲۳۹	۱/۲۹۳	۱/۰۸۲	۱/۱۰۲	۰/۰۷۵	۱۹/۶۲۰	اردبیل
۲/۰۴۲	۲/۱۹۹	۰/۹۵۲	۰/۸۸۵	۰/۹۷۶	۱/۵۹۹	۰/۹۸۲	۱/۹۹۹	۰/۷۹۶	۱/۶۴۷	۰/۹۹۶	۱/۴۲۰	اصفهان
۱/۲۱۰	۰/۸۸۹	۱/۳۹۱	۱/۹۲۲	۱/۰۴۵	۰/۹۸۷	۱/۱۹۲	۲/۳۶۸	۰/۸۶۰	۱/۲۴۰	۱/۳۴۴	۱/۳۷۲	ایلام
۱/۴۵۵	۱/۳۶۶	۰/۲۱۹	۲/۴۴۲	۰/۸۸۰	۰/۷۴۷	۱/۵۹۲	۲/۳۲۱	۱/۵۳۲	۰/۷۳۱	۱/۰۷۰	۱/۴۰۴	بوشهر
۱/۰۴۳	۰/۹۷۶	۱/۱۱۷	۰/۹۱۹	۰/۹۹۷	۰/۹۷۰	۱/۰۳۲	۱/۰۱۹	۳/۹۹۹	۰/۲۶۳	۶/۴۱۵	۰/۶۲۳	تهران و البرز

۱/۴۰۰	۱/۲۲۲	۱/۰۶۰	۰/۸۸۴	۱/۵۰۴	۱/۲۰۰	۱/۶۰۴	۱/۰۱۰	۱/۵۱۷	۱/۰۸۰	۰/۵۹۰	۰/۹۰۰	چهارمحال و بختیاری
۰/۵۳۳	۳/۰۲۴	۰/۷۸۴	۱/۰۹۲	۱/۳۹۲	۱/۵۳۵	۰/۶۶۲	۱/۹۲۴	۱/۲۰۱	۱/۱۶۳	۱/۱۳۳	۱/۱۰۴	خراسان جنوبی
۱/۰۷۹	۱/۲۵۷	۰/۸۹۳	۱/۳۹۲	۱/۰۳۲	۰/۱۹۰	۳/۵۴۸	۲/۲۲۵	۰/۸۲۷	۱/۰۳۳	۰/۱۴۵	۱۳/۹۵۹	خراسان رضوی
۱/۲۱۰	۱/۱۶۸	۰/۹۵۴	۰/۹۴۰	۰/۹۵۷	۲/۰۳۳	۱/۲۱۵	۱/۳۸۲	۱/۴۱۶	۰/۸۶۵	۱/۰۷۷	۱/۱۵۰	خراسان شمالی
۳/۵۵۸	۱/۳۶۰	۰/۸۳۲	۰/۸۰۷	۰/۹۱۲	۱/۷۸۸	۱/۰۷۸	۱/۰۰۳	۱/۳۷۰	۰/۴۰۸	۴/۲۹۵	۱/۳۳۱	خوزستان
۰/۶۱۱	۰/۹۹۸	۱/۰۱۸	۳/۵۴۶	۱/۰۳۷	۱/۰۷۸	۱/۵۶۵	۱/۲۲۳	۰/۸۳۶	۱/۰۸۹	۱/۲۱۹	۰/۷۰۳	زنجان
۰/۴۲۳	۲/۹۷۵	۱/۲۰۶	۰/۹۷۹	۰/۸۷۱	۱/۲۶۵	۰/۲۶۸	۶/۱۶۶	۱/۲۱۲	۱/۵۰۴	۰/۹۱۵	۰/۸۴۷	سمنان
۱/۵۴۰	۰/۷۰۰	۰/۹۷۶	۱/۳۵۴	۰/۷۳۸	۲/۰۲۸	۱/۰۶۰	۲/۴۴۳	۰/۶۷۲	۱/۲۷۷	۱/۴۹۸	۰/۷۶۱	سیستان و بلوچستان
۱/۲۷۴	۰/۹۸۲	۱/۱۱۶	۰/۸۳۱	۰/۹۷۱	۱/۲۹۱	۱/۴۵۳	۰/۶۶۷	۱/۷۰۰	۱/۱۸۷	۱/۱۲۶	۱/۰۸۷	فارس
۱/۴۵۰	۱/۰۷۳	۱/۲۲۶	۱/۰۸۹	۱/۱۲۹	۱/۰۳۹	۱/۲۴۲	۰/۱۹۷	۷/۷۲۳	۰/۷۸۳	۰/۹۸۲	۱/۲۲۹	قزوین
۱/۸۰۹	۱/۲۲۳	۰/۶۶۵	۱/۷۴۸	۰/۹۹۶	۱/۳۷۴	۱/۲۰۷	۰/۵۱۳	۱/۱۷۹	۰/۹۸۵	۲/۸۴۴	۰/۴۹۰	قم
۱/۰۴۶	۰/۷۸۷	۱/۰۹۹	۰/۹۳۷	۰/۹۲۹	۱/۳۴۸	۲/۸۲۷	۰/۶۸۸	۱/۵۷۹	۰/۷۲۳	۱/۶۳۷	۰/۷۶۴	کردستان
۲/۱۸۰	۱/۳۰۲	۰/۲۵۶	۳/۱۰۶	۰/۸۱۳	۱/۲۴۲	۱/۷۹۳	۱/۳۰۳	۰/۸۰۲	۱/۷۳۲	۰/۷۸۳	۱/۳۴۶	کرمان
۱/۶۱۷	۰/۲۷۶	۵/۱۹۲	۱/۰۰۷	۰/۹۰۶	۲/۳۲۶	۰/۵۷۵	۱/۹۰۲	۰/۸۵۲	۱/۹۲۲	۰/۷۵۴	۱/۳۴۰	کرمانشاه
۱/۸۳۸	۱/۱۷۳	۰/۵۱۹	۰/۳۳۵	۲/۵۷۸	۱/۴۹۲	۱/۲۶۸	۱/۰۲۳	۲/۲۲۰	۱/۳۱۸	۰/۴۷۸	۳/۸۳۸	کهگیلویه و بویراحمد
۱/۴۷۳	۱/۳۹۳	۱/۰۲۳	۱/۳۰۵	۱/۰۵۴	۲/۰۷۸	۰/۸۵۶	۱/۱۲۱	۱/۲۴۷	۰/۹۰۲	۱/۱۱۳	۱/۲۰۳	گلستان
۰/۵۹۲	۴/۵۰۵	۰/۹۱۷	۰/۸۵۷	۰/۸۹۰	۱/۰۰۹	۱/۸۰۳	۱/۱۱۵	۰/۶۵۶	۱/۶۱۰	۱/۳۲۲	۱/۲۱۳	گیلان
۲/۷۳۰	۱/۱۰۵	۱/۴۷۹	۱/۰۸۰	۰/۹۷۱	۱/۱۱۸	۱/۸۵۴	۰/۹۳۰	۱/۳۲۱	۱/۱۴۴	۱/۰۱۲	۱/۱۲۹	لرستان
۰/۴۲۸	۳/۵۱۲	۱/۳۱۴	۰/۲۱۶	۳/۵۱۹	۱/۰۳۵	۱/۷۶۷	۰/۸۱۷	۱/۱۱۳	۱/۱۴۳	۰/۸۱۱	۱/۵۳۷	مازندران
۳/۱۱۸	۱/۱۳۱	۱/۲۷۵	۰/۸۲۴	۰/۸۱۰	۱/۰۱۳	۰/۹۴۵	۱/۹۱۵	۱/۱۳۶	۱/۴۶۸	۱/۳۴۵	۱/۱۹۷	مرکزی
۲/۶۰۷	۱/۱۴۹	۱/۵۹۵	۰/۴۶۶	۰/۶۴۳	۱/۵۳۸	۱/۱۵۷	۱/۲۵۱	۱/۱۵۳	۳/۶۵۳	۱/۳۵۴	۱/۴۴۷	هرمزگان
۱/۰۹۲	۱/۵۶۳	۱/۲۱۷	۱/۱۰۴	۰/۹۲۳	۱/۵۹۱	۰/۸۶۷	۱/۱۸۱	۱/۰۷۶	۱/۰۴۶	۰/۹۰۹	۱/۲۹۸	همدان
۲/۹۳۵	۰/۹۷۵	۰/۹۱۲	۰/۸۹۲	۰/۹۵۷	۱/۴۵۷	۰/۹۶۸	۰/۹۸۴	۱/۳۰۰	۰/۹۹۷	۱/۳۹۶	۱/۱۳۰	یزد

جدول ۲. تجزیه تغییرات بهره‌وری زیست محیطی استان‌های ایران

متوسط بهره‌وری زیست محیطی	متوسط اثر کارایی	متوسط اثر ابداعات	متوسط اثر شکاف تکنولوژی	
۱/۳۸۵	۱/۰۶۸۴	۱/۲۸۲۵	۱/۱۸۶۷	آذربایجان شرقی
۱/۲۰۴	۱/۱۱۳۵	۱/۱۸۵۹	۱/۰۱۲۹	آذربایجان غربی
۲/۷۶۱	۱/۳۲۸۰	۱/۵۳۱۴	۳/۴۱۵۶	اردبیل
۱/۳۷۵	۱/۹۳۹۵	۱/۷۰۵۶	۱/۱۷۸۹	اصفهان
۱/۳۱۸	۱/۲۱۳۷	۱/۲۲۴۲	۱/۱۲۸۲	ایلام
۱/۳۱۳	۱/۰۰۰۰	۱/۳۲۱۹	۱/۰۲۲۸	بوشهر
۱/۶۱۴	۱/۰۰۰۰	۱/۲۸۱۳	۱/۳۷۷۱	تهران و البرز
۱/۱۶۴	۱/۰۰۴۰	۱/۱۹۰۵	۰/۹۹۳۹	چهارمحال و بختیاری
۱/۲۹۶	۱/۲۹۷۴	۱/۲۵۴۹	۱/۰۲۴۷	خراسان جنوبی
۲/۲۹۸	۱/۲۳۰۶	۱/۲۳۳۷	۱/۷۴۷۷	خراسان رضوی
۱/۱۹۷	۲/۰۰۰۲	۳/۱۱۸۶	۱/۴۳۷۹	خراسان شمالی
۱/۵۶۲	۱/۴۶۴۲	۱/۷۳۴۰	۱/۱۰۶۳	خوزستان
۱/۲۴۴	۱/۰۴۱۵	۱/۲۱۰۳	۱/۰۷۰۶	زنجان
۱/۵۵۳	۱/۰۰۱۷	۱/۲۳۶۳	۱/۳۹۷۸	سمنان
۱/۲۵۴	۱/۷۶۱۲	۱/۲۳۰۰	۱/۴۹۶۶	سیستان و بلوچستان
۱/۱۴۱	۰/۹۳۴۹	۱/۲۳۹۰	۱/۰۲۸۹	فارس
۱/۵۹۷	۱/۰۱۱۹	۱/۲۴۶۱	۱/۳۶۰۹	قزوین
۱/۲۵۳	۱/۰۵۱۲	۱/۳۱۶۳	۱/۱۸۹۹	قم

۰/۹۷۹۳	۱/۱۹۱۷	۱/۰۶۷۰	۱/۱۹۷	کردستان
۱/۳۸۰۴	۱/۲۹۷۸	۱/۰۳۰۳	۱/۳۸۸	کرمان
۱/۳۲۵۹	۱/۳۵۱۳	۱/۴۹۹۸	۱/۵۵۶	کرمانشاه
۱/۰۱۰۵	۱/۲۴۸۸	۱/۲۲۲۹	۱/۵۰۷	کهگیلویه وبویراحمد
۱/۰۱۲۵	۱/۳۴۵۰	۱/۰۴۲۲	۱/۲۳۱	گلستان
۱/۳۹۳۰	۱/۶۵۲۱	۱/۱۰۶۵	۱/۳۷۴	گیلان
۱/۲۰۶۴	۱/۴۴۷۶	۱/۲۶۶۵	۱/۳۲۳	لرستان
۱/۷۴۵۴	۱/۴۴۴۲	۱/۰۲۱۱	۱/۴۳۴	مازندران
۱/۰۴۳۳	۱/۳۳۳۰	۱/۰۹۵۵	۱/۳۴۸	مرکزی
۱/۰۸۷۹	۱/۳۷۸۰	۱/۰۸۰۲	۱/۵۰۱	هرمزگان
۱/۰۹۹۴	۱/۳۶۵۷	۱/۰۳۶۳	۱/۱۵۶	همدان
۱/۰۷۹۵	۱/۲۹۸۱	۱/۱۷۷۸	۱/۲۴۲	یزد

منبع: یافته‌های پژوهش