-- Iranian Energy Economics------
Summer 2025, 55 (14), 171-198
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.84268.2133

Original Research
Received: 11/Feb/2025
Accepted: 19/May/2025
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Determining Factors Affecting Carbon Dioxide Emitted by the Non-Metallic Mineral Products Industry

Samaneh Talei Ardakani — Ph.D. Student in Economics, Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.

Seyed Nezamuddin Makiyan * — Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.

Zahra Nasrollahi — Professor of Economics, Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.

Abstract

The industrial sector, especially energy-intensive industries, is considered one of the most important polluting sectors. Given that the industrial sector itself includes several production sub-sectors and the pollution caused by them is different, first the amount of carbon dioxide emissions at the level of all two-digit ASIC codes during the years 2004-2022 has been estimated. Then, the industry that emitted the highest amount of carbon dioxide (the industry producing non-metallic mineral products) was considered as a polluting industry, and the factors affecting the carbon dioxide emissions of that industry were identified. The results of the present study, using Residual Bootstrap regression estimation during the period under study, show that the amount of carbon dioxide emissions emitted by the non-metallic mineral industry is a positive function of the amount of energy carrier consumed, physical capital intensity, and human capital intensity, and a negative function of the intensity of human resource skills, industry capital expenditures, and research & development expenditures..

Introduction

In recent decades, environmental pollution, especially air pollution, has become one of the most important concerns of international societies and has affected the health of living organisms and natural ecosystems.The industrial sector, especially the energy-intensive industries, has played a significant role in causing pollution, especially air pollution, due to the high use of fossil fuels. The energy sector, despite playing an essential role in the process of economic development, also causes the release of various environmental pollutants. Due to the importance and special

* Corresponding Author: nmakiyan@yazd.ac.ir
How to Cite: Talei Ardakani, S., Makiyan, S N., Nasrollahi, Z. (2025). Determining Factors Affecting Carbon Dioxide Emitted by the Non-Metallic Mineral Products Industry. Iranian Energy Economics, 55 (14), 171-198.

position of the industrial sector in developing countries including Iran, energy consumption in the industrial sector has increased.

Considering that the industry sector itself includes several production sub-sectors and the pollution caused by them is different, first, the amount of carbon dioxide emissions at the level of all the two-digit ISIC[1] codes during the years 2004-2022 was estimated. Then, the industry that emits the highest amount of carbon dioxide is considered as a polluting industry, and the factors affecting the air pollution of that industry will be identified.

Methods and Material

Considering that each of these 24 industries consumes six types of energy carriers in the studied 18-year period, the amount of carbon dioxide emissions of each of these six types of energy carriers should be calculated first. Calculation of the total carbon dioxide emissions is necessary to obtain the total amount of carbon dioxide emissions for each of these 24 industries in the studied time period. Due to the fact that the information about the carbon dioxide emission coefficient of each energy carrier by industry type is not available, it is necessary to estimate the carbon dioxide emission coefficient of each energy carrier in the industry sector on an annual basis, and then the obtained numbers are considered as carbon dioxide emission coefficients for all the industries of ISIC codes of two digits. To calculate the carbon dioxide emission coefficient in the entire industry sector for each type of energy carrier, the amount of carbon dioxide emission of that type of energy carrier in the entire industry sector should be divided by the amount of consumption of that type of energy carrier in the entire industry sector. Since the consumption amount of each energy carrier in the industry sector has different units, first of all, it is necessary to multiply the amount of each energy carrier consumed by the thermal value[2] coefficient of that energy carrier to obtain the same unit called BTU[3] for all Different energy carriers are obtained and by adding them, the total amount of energy consumed is obtained in terms of BTU units. To calculate the amount of carbon dioxide emissions released by each industry with a two-digit ISIC code each year, it is necessary to calculate the amount of energy consumed in terms of BTU units for each of the energy carriers in the amount of carbon dioxide emissions from the production of one million BTU of energy, multiplied by each of the energy carriers in the corresponding year and then calculating the total carbon dioxide emitted by each industry in each year. According to the calculations of the authors, the production industry of non-metallic mineral products has been found to be the most polluting industry during the study period. In order to estimate the relationship between industrial activities and pollution emission, Cole, Elliot and Shimamoto (2004) model has been used with some adjustments. Due

1. The International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) *is the international reference classification of productive activities*.
2. The thermal value of a fuel is the amount of heat released when a unit mass of fuel is completely burned.
3. A BTU is the amount of heat required to raise the temperature of one pound of water by one degree Fahrenheit.

to the limitation of statistical data in the industry sector in Iran, the time period of the current research is considered from 2004 to 2022[1]. Because the mentioned time period is short, the Residual Bootstrap method was used to estimate the regression.

Results and Discussion
The industry of producing non-metallic mineral products accounted for an average of 30.72% of the total pollution caused by the industry during the period under review. Carbon dioxide emissions have been calculated for all industries at the two-digit ISIC code level during the years 2004-2022. Since, based on the calculations of the research, the production industry of non-metallic mineral products has been found to be the most polluting industry. The present study has determined the factors affecting the air pollution caused by the production industry of non-metallic mineral products. The results of the this research using Residual Bootstrap regression estimation during the years 2004-2022 show that the amount of carbon dioxide emitted by the industry of producing non-metallic mineral products is a positive function of the amount of energy used, physical capital intensity and human capital intensity and is a negative function of human skill intensity, industry capital costs and research and development costs.

Conclusion
As the amount of carbon dioxide emitted by the industry of producing non-metallic mineral products is a positive function of the amount of energy used, physical capital intensity and human capital intensity and it is a negative function of human skill intensity, industry capital costs and research and development costs, it is beneficial to help reduce carbon dioxide emissions in the industry of producing non-metallic mineral products through the application of policies to optimize energy consumption, improving technology, upgrade the human skills and increase research and development expenses.

Keywords: Non-Metallic Mineral Products Industry, Carbon Dioxide Emissions, Energy Consumption, Residual Bootstrap

JEL Classification: Q30 , Q40 , Q53 , L61

1. The year 2022 is the last year of existence of data.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹

ISSN: ۵۹۵۴-۲۴۲۳

eISSN: ۶۴۳۷-۲۴۷۶

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------

دوره ۱٤، شماره ۵۵، تابستان ۱٤۰٤، ۱۹۸-۱۷۱

Jiee.atu.ac.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.84268.2133

تعیین عوامل مؤثر بر دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی[1]

سمانه طالعی اردکانی دانشجوی دکتری رشته علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

سید نظام‌الدین مکیان * استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

زهرا نصراللهی استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

چکیده

بخش صنعت و به‌خصوص صنایع انرژی‌بر یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولید آلودگی محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه بخش صنعت خود چندین زیربخش تولیدی را شامل می‌شود و آلودگی ایجادشده توسط آن‌ها متفاوت است ابتدا میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سطح تمام کدهای آیسیک دو رقمی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ برآورد شده است. سپس صنعتی که بیشترین میزان دی‌اکسیدکربن را منتشر کرده (صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی) به‌عنوان صنعت آلودگی‌زا در نظر گرفته شده و به شناخت عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن آن صنعت، پرداخته شده است. نتایج پژوهش حاضر با استفاده از تخمین رگرسیون از طریق بوت استرپ روی باقی‌مانده‌های مدل طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشره توسط صنعت کانی غیرفلزی تابعی مثبت از مقدار حامل انرژی مصرف‌شده، شدت سرمایه فیزیکی و شدت سرمایه انسانی و تابعی منفی از شدت مهارت نیروی انسانی، هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت و مخارج تحقیق و توسعه می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: صنعت کانی غیر فلزی، انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف انرژی، بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها

طبقه‌بندی JEL: L61 , Q53 , Q40 , Q30

---

۱. مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول است.

* نویسنده مسئول: nmakiyan@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

در چند دهه اخیر، آلودگی زیست‌محیطی به‌خصوص آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های مجامع بین‌المللی تبدیل شده و سلامتی موجودات زنده و اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار داده است. آلودگی زیست‌محیطی در ایران، طی سال‌های اخیر افزایش یافته به‌طوری‌که جمع میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده هوا، در بخش‌های مختلف (صنعت، خانگی، تجاری و عمومی، حمل‌ونقل، کشاورزی، پالایشگاهی و نیروگاهی) از ۳۸۱۹۳۸ هزار تن در سال ۱۳۸۴ به ۷۲۵۸۲۷ هزار تن در سال ۱۴۰۰ رسیده است (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۴۰۲).

سلامت محیط‌زیست یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های فعلی مردم و مسئولین در دنیاست و همه مدیران و تصمیم‌گیران معتقدند باید این ثروت ملی را نه‌تنها برای نسل حاضر بلکه برای نسل‌های آینده محافظت کرد. در چند دهۀ گذشته با افزایش تقاضا برای کالاهای صنعتی، بالا رفتن انگیزه سودخواهی در بین انسان‌ها و به وجود آمدن رقابت شدید بین تولیدکنندگان، محیط زیست آسیب جدی و شدیدی متحمل شده تا جایی که میزان آلودگی و خسارات ناشی از آن بزرگ‌ترین دغدغه مدیران و مسئولان در دنیا شده است. بخش صنعت و به‌خصوص صنایع انرژی‌بر به دلیل استفادۀ زیاد از سوخت‌های فسیلی[1] نقش به‌سزایی در ایجاد آلودگی به‌خصوص آلودگی هوا داشته است. بخش انرژی، علی‌رغم ایفای نقش اساسی در فرآیند توسعه اقتصادی، موجب نشر آلاینده‌های مختلف زیست‌محیطی نیز می‌شود. در کشورهای در حال توسعه، آلودگی هوا درنتیجه فعالیت‌های صنعتی ظاهر شده است (قرآنی و همکاران، ۲۰۱۶).

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه بخش صنعت در کشورهای در حال توسعه ازجمله ایران، مصرف انرژی در بخش صنعت افزایش یافته است. به‌طوری‌که کل مصرف انرژی در بخش صنعت از ۱۶۴/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۳ به ۴۴۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۰۰ رسیده است (ترازنامه انرژی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۴۰۰) و به تبع آن میزان مواد آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی نیز رشد کرده است. به‌عنوان مثال، میزان گاز دی‌اکسیدکربن منتشر شده در بخش صنعت که ناشی از مصرف سوخت‌های

---

۱. لازم به ذکر است که براساس آمارهای بین‌المللی، سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران در بخش صنعت ۱/۶ برابر متوسط جهانی است. (ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰).

فسیلی است، از ۵۸۸۳۸ هزار تن در سال ۱۳۸۴ به ۱۳۶۳۸۷ هزار تن در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است (دفتر برنامه‌ریزی و کلان برق و انرژی، ۱۴۰۲).

انتشار آلاینده‌ها به‌عنوان یک کالای عمومی منفی در دنیا علاوه بر ضرر و زیان اقتصادی منجر به اتلاف منابع انسانی، کاهش امید به زندگی و افزایش بیماری شده است. در سال ۱۴۰۰ سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن به میزان ۸/۶ تن در سال به ازای هر نفر به دست آمده است (ترازنامه انرژی، ۱۴۰۰). لذا، آثار و پیامدهای انواع آلودگی‌ها به ویژه آلودگی هوا و کاهش کیفیت محیط زیست باید مورد بررسی قرار گیرد. در جدول ۱ به سهم صنعت در انتشار دی‌اکسیدکربن از مصرف انرژی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ اشاره شده است.

جدول ۱. سهم صنعت در انتشار دی‌اکسیدکربن از مصرف حامل‌های انرژی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳

سال	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱
درصد	۱۴/۵	۱۵/۴	۱۴/۸	۱۶/۱۳	۱۶/۴	۱۵/۸	۱۶/۶	۱۶/۷	۱۶/۹۹
سال	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
درصد	۱۵/۹۱	۱۶/۶۷	۱۶/۱۷	۱۶/۸۵	۱۷/۱۸	۱۷/۹۵	۱۷/۲۷	۱۹/۱۴	۱۸/۸

منبع: ترازنامه انرژی، سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳

با توجه به اینکه بخش صنعت خود چندین زیربخش تولیدی را شامل می‌شود و آلودگی ایجادشده توسط آن‌ها متفاوت است، ابتدا میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سطح تمام کدهای آیسیک[1] دو رقمی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ برآورد شده است. سپس صنعتی که بیشترین میزان دی‌اکسیدکربن را منتشر کرده[2] به‌عنوان صنعت آلوده‌زا در نظر گرفته شده و به شناخت عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی هوای آن صنعت، پرداخته خواهد شد. شناسایی صنعت آلوده‌زا می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار مقامات کشوری از قبیل سازمان محیط زیست، وزارت نیرو، وزارت صنایع و معادن و سازمان امور مالیاتی قرار دهد. این اطلاعات شامل شناسایی صنعتی که بیشترین آلودگی هوا را ایجاد می‌کند، مهم‌ترین عامل اثرگذار بر آلودگی هوای ایجادشده و ... در صنعت مربوطه خواهد بود.

---

۱. ISIC نوعی طبقه‌بندی بین‌المللی استاندارد فعالیت‌های صنعتی است و مخفف International Standard Industrial Classification می‌باشد.

۲. در دوره مورد بررسی براساس محاسبات نویسندگان، در بخش صنعت، صنعت کانی غیر فلزی بیشترین سهم در انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است.

در مقاله حاضر ابتدا به نحوهٔ محاسبهٔ ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از حامل‌های انرژی مصرف‌شده در بخش صنعت در هر سال اشاره شده سپس نحوه محاسبه مقدار انرژی مصرفی هر حامل انرژی در صنایع کد آیسیک دو رقم پرداخته و در نهایت نحوه محاسبه دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط هر صنعت کد آیسیک دو رقم با توجه به مقدار حامل انرژی مصرفی توضیح داده شده است. پس از تعیین دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط تمام صنایع کد آیسیک دو رقم طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت تعیین شد. سپس به منظور برآورد رابطه میان انتشار آلودگی و فعالیت‌های صنعتی از مدل کول، الیوت و شیماموتو[1] (۲۰۰۴) با تعدیلاتی استفاده گردید. بعد از تخمین مدل رگرسیونی و برآورد پارامترهای مدل، بوت استرپ روی باقی‌مانده‌های مدل انجام شده است.

نوآوری مقاله حاضر در این است که در سایر مقالات داخلی کار شده در حوزه محیط زیست و صنعت، به‌طور تخصصی بر روی صنعت خاصی تمرکز نشده و موضوع به‌طورکلی در بخش صنعت و آلودگی ایجاد شده توسط بخش صنعت مورد بررسی قرار گرفته است اما در مقاله حاضر موضوع به‌طور خاص بر صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت تمرکز کرده است. همچنین در معدود مطالعات کار شده در حوزه آلودگی صنایع، از داده‌های دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط کل بخش صنعت که توسط ترازنامه انرژی به صورت سالیانه گزارش می‌شود به‌عنوان شاخص آلودگی هوا استفاده شده اما در مقاله حاضر ابتدا دی‌اکسیدکربن منتشر شده به تفکیک صنایع کد آیسیک دو رقم طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ توسط نویسندگان مقاله محاسبه شده و سپس به‌طور خاص تمرکز بر صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت شده است.

ساختار مقاله بدین‌صورت تنظیم شده است که در ادامه ابتدا مبانی نظری مقاله آورده شده سپس، پیشینه و روش‌شناسی پژوهش و در نهایت، به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته است.

۲. مبانی نظری

شهرنشینی و صنعتی شدن موجب شده جمعیت زیادی در مناطق کوچک کنار یکدیگر متمرکز شوند و اینجاست که توسعهٔ پایدار موضوعیت پیدا می‌کند. محیط زیست و منابع طبیعی تأمین‌کنندهٔ بسیاری از نهاده‌های تولید هستند، بنابراین حفاظت از آن‌ها لازمهٔ توسعه

1. Cole, Elliott & Shimamoto

پایدار است. توسعه پایدار بخش انرژی، در بهبود شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی نقش به‌سزایی دارد، به گونه‌ای که توجه به این امر موجب کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد (لیانگ و همکاران[1]، ۲۰۲۰). در طول سال‌های گذشته، صنعت در بهبود و توسعه استانداردهای زندگی بشر، نقش اساسی داشته است. تأمین مسکن، تغذیه، جابه‌جایی و حمل‌ونقل، آموزش و پرورش، تحقیق و خدمات پزشکی همگی به فرآورده‌های صنعتی وابسته‌اند.

در بررسی اقتصاد ایران، از یک طرف باید توجه داشت که ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه و برخوردار از منابع غنی انرژی یکی از مصادیق الگوی رشد مبتنی بر منابع طبیعی محسوب می‌شود و با توجه به آنکه سهم عمده‌ای از بخش انرژی را احتراق سوخت‌های فسیلی تشکیل داده، مصرف این سوخت‌ها با انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا همراه شده است. با وجود تلاش‌های انجام‌شده در زمینه کنترل انتشار دی‌اکسیدکربن، هنوز کشور ایران در این زمینه در وضعیت مطلوبی قرار ندارد (دهقان و نصراللهی، ۱۴۰۱). بنابراین در برنامه‌ریزی توسعه، دو عنصر توسعه صنعتی و پایداری زیست‌محیطی از عناصر اساسی بوده و به منظور برخورداری از توسعه‌ای بادوام، باید توسعه صنعتی بر مفهوم پایداری زیست‌محیطی استوار گردد. درواقع، در سطح ملی، این تنها رشد اقتصادی نیست که باید مورد نظر قرار بگیرد بلکه چگونگی این رشد نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. به تجربه ثابت شده است که می‌توان با حفظ قابلیت‌های محیط زیست به حرکت اقتصادی شتاب داد. به این الگوی خاص از توسعه، توسعه پایدار گفته می‌شود که پایه و اساس پیشرفت اجتماعی و مسیر توسعه صنعت در آینده است.

طی سال‌های اخیر، آگاهی بسیاری در مورد اهمیت جنبه‌های محیط زیست و توسعه پایدار در میان جوامع مختلف پدید آمده است. به‌طوری که اکثر کشورها اهداف کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدتی را در این زمینه برای خود تعیین نموده و خود را متعهد به دستیابی به این اهداف جدید کرده‌اند. رشد تولیدات جهانی به همراه آگاهی بیشتر از وسعت آثار فعالیت اقتصادی بر محیط زیست، این نگرانی را به وجود می‌آورد که سطوح فعلی تولید نمی‌تواند بدون آسیب رساندن به محیط زیست حفظ شود. بنابراین لازم است تا روش‌هایی برای حفاظت از محیط زیست، محدود کردن یا جبران خسارت زیست‌محیطی معرفی شود. اعمال

1. Liang et al.

یک سیاست جهانی محیط زیست هم باید مسئولیت‌پذیری کل جهان را دربر بگیرد و هم، همه کشورها و آحاد مردم احساس تکلیف و وظیفه کنند. بنابراین به لحاظ توسعه فعالیت‌های تولیدی و تکنولوژی، شناخت وضعیت کنونی ضروری است و لازم است تعیین شود که هریک از زیربخش‌های اقتصاد، به چه میزان آلودگی ایجاد می‌کنند تا سیاست‌گذاری‌های لازم برای کنترل وضعیت موجود صورت پذیرد. در این میان، بخش صنعت به‌عنوان یکی از زیربخش‌های اصلی اقتصاد، یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های انرژی کشور است که موجب انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در هوا می‌شود.

بخش صنعت خود از زیربخش‌هایی تشکیل شده که طبق طبقه‌بندی آیسیک آن‌ها را در ۲۴ طبقه جای می‌دهند. با توجه به مطالعات تجربی که انجام یافته، بخش صنعت ایران سهم به سزایی در انتشار آلاینده‌ها در میان بخش‌های مصرف انرژی کشور را دارد و منجر به آلوده شدن محیط زیست شده است. یکی از این آثار مخرب فعالیت‌های صنعتی بر محیط زیست، افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است که با توسعه افسار گسیخته بخش صنعت، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، منجر به مصرف بیشتر انرژی در این بخش شده است. طبق اطلاعات منتشره از دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی و محاسبه نویسندگان، سهم دی‌اکسیدکربن از میان گازهای آلاینده منتشر شده ناشی از مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت درسال ۱۴۰۰، برابر با ۹۹/۷ درصد بوده است. همین روال در سایر سال‌های دوره زمانی مورد مطالعه نیز تکرار شده است. لذا در پژوهش حاضر از گاز دی‌اکسیدکربن به‌عنوان شاخص آلودگی هوا در بخش صنعت استفاده شده است.

جدول ۲. میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای[1] ناشی از کل مصرف انرژی در بخش صنعت **در** سال ۱۴۰۰ بر حسب تن

N_2O	CH_4	CO_2	PMs	CO	SO_3	SO_2	NO_X
۳۳٤	۲۷۳٦	۱۳٦۳۸۷۰٦۸	۲۲٥٦۳	۲٤۱۹۰	۱۸٦۰	۱۳۱۲۲۰	۲۲۲۱۱۳

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱٤۰۰

صنعتی شدن شتابان، سبب افزایش روزافزون منابع و انرژی می‌شود (ون و هاو، ۲۰۲۰)[2]. افزایش مصرف انرژی در بخش صنعت، سبب افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در هوا

۱. اسم آلاینده‌ها از راست به چپ: اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسیدگوگرد، تری‌اکسیدگوگرد، مونوکسیدکربن، ذرات معلق، دی‌اکسیدکربن، متان و نیتروز اکسید می‌باشد.

2. Wen & Hao

می‌شود. لذا بررسی آثار زیست‌محیطی بخش صنعت به دلیل آنکه می‌تواند در بهبود استانداردهای زندگی نقش عمده‌ای داشته باشد، مهم است. صنایع تولیدی ایران براساس فعالیت‌های اقتصادی و برحسب طبقه‌بندی بین‌المللی فعالیت‌های صنعتی (آیسیک) به ۲۴ گروه صنعتی تقسیم‌بندی شده است[۱] که هر کدام از ۲۴ صنعت کد دو رقمی بسته به نوع ساختار تولیدی خود و نوع تجهیزات کارخانه‌ای تعدادی از آن‌ها را مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند. براساس اطلاعات منتشرشده از سوی مرکز آمار ایران، نهادهٔ انرژی فسیلی در کشور به هشت زیرشاخه تقسیم می‌شود که شامل: گاز طبیعی، نفت کوره، گازوییل، بنزین، نفت سفید، گاز مایع، زغال سنگ و زغال چوب است. مصرف حامل‌های انرژی زغال سنگ و زغال چوب از اهمیت کمتری برخوردار هستند و مقدار مصرف این دو در اکثر فعالیت‌ها صفر بوده[۲] و عمده مصرف حامل انرژی کشور در بخش صنعت، مربوط به شش نوع مذکور است. لذا، در پژوهش حاضر از گاز طبیعی، نفت کوره، گازوییل، بنزین، نفت سفید و گاز مایع به‌عنوان حامل انرژی در بخش صنعت استفاده شده است.

پژوهش حاضر به دنبال یافتن پاسخ سؤالات زیر است:

- کدام صنعت در سطح کدهای دو رقمی آیسیک، بیشترین میزان آلودگی هوا ایجاد می‌کند؟
- عوامل مؤثر بر آلودگی هوای ایجادشده توسط صنعت آلوده‌زا چیست؟

۳. پیشینه پژوهش

در این قسمت به مرور مطالعات خارجی و داخلی صورت گرفته در زمینه آلودگی صنعتی پرداخته شده است. کول و همکاران[۳] (۲۰۰۴)، در مطالعه‌ای رابطه میان فعالیت صنعتی، قوانین زیست‌محیطی و آلودگی هوا را در صنایع تولیدی انگلستان مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه رابطه میان فعالیت‌های صنعتی و آلودگی هوا در قالب مدل زیر مطرح شده است:

متغیر وابسته، انتشار آلودگی به ازای هر واحد ارزش افزوده است و متغیر مستقل شامل: مصرف حامل‌های انرژی به ازای هر واحد ارزش افزوده، شدت سرمایه فیزیکی، سهمی از

---

۱. براساس آخرین بازنگری توسط مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۳.

۲. در اکثر سال‌های دوره زمانی مورد بررسی مقاله، اطلاعات آماری مربوط به مقدار مصرف زغال سنگ و زغال چوب در بخش صنعت به تفکیک کدهای ISIC دو رقم، به دلیل ناچیز بودن منتشر نشده است.

3. Cole et al

ارزش افزوده که به کارگران ماهر پرداخت شده است، متغیر اندازه که با ارزش افزوده هر بنگاه در صنعت تعریف شده است، هزینه‌های سرمایه‌ای یک صنعت که به‌عنوان سهمی از ارزش افزوده بیان شده و تحت این فرض که هرچه این مخارج در صنعتی بزرگ‌تر باشد احتمالا تجهیزات و ماشین‌آلات صنعت جدیدتر خواهد بود عمل می‌کند، مخارج تحقیق و توسعه بر مبنای ارزش افزوده به‌عنوان معیاری برای نوآوری در یک صنعت در نظر گرفته شده است. نتایج این بررسی که به کمک داده‌های پانلی برای دوره ۱۹۹۸-۱۹۹۰ انجام گرفته، نشان می‌دهد که شدت آلودگی، تابعی مثبت از مصرف انرژی، شدت سرمایه فیزیکی و شدت سرمایه انسانی است. همچنین رابطه‌ای منفی بین حجم آلودگی و اندازه متوسط بنگاه در یک صنعت، بهره‌وری یک صنعت، هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های تحقیق و توسعه وجود دارد.

هامیت و هاگار[1] (۲۰۱۱)، به بررسی رابطه بلندمدت و همچنین رابطه علی میان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی و رشد اقتصادی برای بخش صنعت کانادا در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۰ پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که مصرف انرژی اثر مثبت و معنی‌داری روی انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. همچنین پژوهش آن‌ها فرضیه منحنی کوزنتس را برای بخش صنعت کانادا مورد تأیید قرار می‌دهد. نتایج آمون علیت حاکی از رابطه علی یک‌طرفه از مصرف انرژی به انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

رحمان و کاشم[2] (۲۰۱۷)، به بررسی رابطه میان انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف انرژی و رشد بخش صنعت در بنگلادش طی دوره زمانی ۲۰۱۱-۱۹۷۲ با استفاده از مدل ARDL و آزمون علیت گرنجر پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که مصرف انرژی و رشد بخش صنعت اثر مثبت و معنی‌داری روی انتشار دی‌اکسیدکربن هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت دارد.

آیدو و همکاران[3] (۲۰۲۳)، در مقاله‌ای تحت عنوان اینکه آیا صنعتی شدن باعث انتشار دی‌اکسیدکربن از طریق مصرف انرژی می‌شود؟ با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۵ برای کشورهای اپک به روش پانل به این نتیجه دست یافتند که صنعتی شدن و مصرف انرژی اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کوتاه‌مدت دارد.

1. Hamit & Haggar
2. Rahman & Kashem
3. Idowu et al

بهبودی و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از روش علیت گرنجر به بررسی وجود یا فقدان رابطهٔ علی بین دی‌اکسیدکربن، ارزش افزوده بخش صنعت و مصرف انرژی پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی با انتشار دی‌اکسیدکربن و ارزش افزوده بخش صنعت رابطه علی دارد به‌طوری‌که افزایش مصرف انرژی در سال‌های مورد بررسی سبب افزایش دی‌اکسیدکربن شده است. همچنین افزایش مصرف انرژی سبب افزایش ارزش افزوده بخش صنعت و اشتغال نیز شده است.

بنی‌اسدی و زارع مهرجردی (۱۳۹۴)، با استفاده از آزمون استاندارد علیّت گرنجر و آزمون علیّت گرنجر هیشائو[1]، رابطه علیّت بین انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به‌عنوان شاخص آلودگی هوا و ارزش افزوده بخش صنعت طی سال‌های ۱۳۴۶ الی ۱۳۸۹ را مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، وجود رابطه علیت دو طرفه بین این دو متغیر به اثبات رسیده است.

نصراللهی و غفاری (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی در صنایع تولیدی ایران به کمک داده‌های تابلویی برای دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۴پرداختند. نتایج بررسی نشان می‌دهد که آلودگی هوا تابعی مثبت از مصرف انرژی، حجم فعالیت‌های صنعتی و حجم سرمایه فیزیکی و نیز تابعی منفی از بهره‌وری نیروی کار، قیمت سوخت‌های فسیلی و شدت مهارت انسانی است.

لطفعلی‌پور و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی آثار رشد بخش صنعت، آزادسازی تجاری و مصرف انرژی بر میزان انتشار آلودگی در ایران پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های ۱۳۹۳-۱۳۶۵ و تکنیک مدل خود توضیحی با وقفه‌های گسترده به این نتیجه رسیدند که ارزش افزوده بخش صنعت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر آلودگی و مجذور آن تأثیر منفی بر آلودگی داشته است. بنابراین فرضیه کوزنتس[2] در مطالعه آن‌ها تأیید شد. مصرف انرژی و آزادسازی تجاری، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت دارای تأثیر مثبت و معناداری بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن دارد اما تأثیر متغیر مصرف انرژی بر میزان انتشار آلودگی قابل توجه‌تر است.

نجاتی و همکاران (۱۳۹۸)، به بررسی و ارزیابی تأثیر رشد تولیدات و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌های مختلف اقتصادی ایران از قبیل: بخش صنعت، کشاورزی، نفت، حمل و نقل و خدمات پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های دوره زمانی

1. Hisao's Granger Causality
2. Kuznets Haypothesis

۱۳۹۳-۱۳۷۵ و یک مدل رگرسیون به ظاهر نامرتبط به برآورد رگرسیون پرداختند. نتایج حاکی از آن است که مصرف انرژی رابطه مثبت و معناداری با انتشار دی‌اکسیدکربن دارد اما مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اثر یکسانی بر آلودگی ندارد. رابطه بین آلودگی و رشد اقتصادی در بخش صنعت U شکل به دست آمده است.

تهامی‌پور زرندی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارتباط بین رشد تولیدهای بخش صنعت و مقدار آلودگی‌های ناشی از آن، به‌ویژه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداختند. برای این منظور از رویکرد منحنی محیط زیستی کوزنتس و اطلاعات کارگاه‌های صنعتی با ده نفر کارکن و بیشتر، در دوره زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۶ بهره گرفته شده است. یافته‌های بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر ارزش افزوده بخش صنعت یک درصد افزایش پیدا کند، مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ۲/۳۸ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش یک درصد جمعیت، مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ۰/۶۷ درصد افزایش می‌یابد. افزون بر این، افزایش یک درصد تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت، موجب کاهش ۰/۷۹ درصد در مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود.

دهقان بنادکوکی و نصراللهی (۱۴۰۱)، برای محاسبه انتشار آلاینده دی‌اکسیدکربن در استان یزد، ابتدا با استفاده از روش سهم مکانی خاص صنعتی[1]، جدول داده ـ ستانده استان یزد برای سال ۱۳۹۵ استخراج کردند و سپس با استفاده از میزان مصرف انرژی و ضرایب انتشار، میزان انتشار مستقیم و غیر مستقیم آلاینده دی‌اکسیدکربن و اثر کل آلایندگی برای هر بخش اقتصادی محاسبه کردند. نتایج نشان می‌دهند در سال ۱۳۹۵ در استان یزد، بخش‌های «ساخت فرآورده‌های کانی غیرفلزی»، «ساخت فلزات اساسی» و «ساخت کک، فرآورده‌های حاصل از تصفیه نفت و سوخت‌های هسته‌ای و ساخت مواد و فرآورده‌های شیمیایی» با سهم ۸۹/۹۳ درصدی، بیشترین میزان انتشار آلایندگی را داشته‌اند. همچنین آلایندگی غیر مستقیم سهم بیشتری از کل آلایندگی منتشرشده در استان را به خود اختصاص داده است. در مجموع، نتایج بیان‌کننده افزایش روند آلایندگی ناشی از مصرف انرژی ناشی از تولید کالاها و خدمات استان یزد هستند.

همان‌طورکه در مطالعات پیشین مرور شد، در اغلب مطالعات صورت‌گرفته در زمینه آلودگی صنعتی، برای تعیین رابطه میان توسعه اقتصادی و تخریب محیط زیست از

1. SFLQ

اطلاعـات در سـطح کلان (کشورها) استفاده نموده‌اند. پژوهش حاضر تنها مطالعه‌ای است که در زمینه آلودگی صنعتی کار شده و صنایع کدهای آیسیک را مورد بررسی قرار داده است. نوآوری مقاله در این است که ضمن محاسبه میزان دی‌اکسیدکربن منتشرشده به تفکیک هریک از صنایع کد آیسیک، به شناسایی عوامل مؤثر بر دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت در ایران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ با تخمین رگرسیون به روش بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها[1]، پرداخته است. پژوهش حاضر با محدودیت‌های زیر مواجه بوده است:

۱. با توجه به اینکه آمار انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف انرژی در ایران تنها در سطح کلان منتشر می‌شود، لذا ضرایب انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از سوخت‌های مختلف، با استفاده از آمار میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش صنعت به تفکیک هر سوخت و نیز مقدار هریک از سوخت‌های فسیلی مصرف‌شده در این بخش به دست می‌آید که برای تمام زیربخش‌های صنعتی و فعالیت‌های آن‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۲. داده‌های مربوط به مقدار حامل انرژی مصرف‌شده توسط صنایع در سطح کد آیسیک دو رقم، از سال ۱۳۸۳ و بعد از آن، توسط مرکز آمار ایران منتشر می‌شود. لذا محدودیت در داده‌ها نیز یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق هست[2].

٤. روش‌شناسی

در این قسمت ابتدا نحوه محاسبه ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از حامل‌های انرژی مصرف شده بخش صنعت در هر سال، مقدار انرژی مصرفی هر حامل در صنایع تولیدی ایران، نحوهٔ محاسبه کل آلودگی ایجادشده توسط صنایع، شناسایی صنعت آلوده‌زا و در نهایت به تعیین عوامل مؤثر بر آلودگی ایجادشده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت پرداخته شده است.

---

1. Residual Bootstrap

۲. مرکزآمار ایران از سال ۱۳۸۱ به بعد، حجم نمونه آماری خود را در بخش صنایع کد آسیک، تقریباً دو برابر کرده است به‌طوری‌که براساس محاسبات نویسندگان مقاله، تعداد کارگاه‌هایی که مرکز آمار از طریق پرسش‌نامه به جمع‌آوری اطلاعات پرداخته بود از ۲۳۰۱ کارگاه در سال ۱۳۸۰ به ۴۲۶۹ در سال ۱۳۸۱ افزایش یافته بود. لذا اطلاعات آماری سال‌های قبل از سال ۱۳۸۱ اطلاعات ناقصی بود که امکان استفاده از آن‌ها در مقاله نبود. همچنین برای سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ نیز اطلاعات مقدار حامل‌های انرژی مصرف‌شده در سطح صنایع آیسیک نیز در دسترس نیست. بنابراین دوره زمانی مورد مطالعه از ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۰ در نظر گرفته شده است.

در این قسمت، ابتدا نحوه محاسبه میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط هریک از ۲۴ صنعت کد آیسیک طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۳ تشریح شده تا آلوده‌زاترین صنعت طی دوره زمانی مورد مطالعه شناسایی شود و در ادامه به شناسایی عوامل مؤثر بر این آلودگی ایجادشده پرداخته شده است. با توجه به اینکه هریک از این ۲۴ صنعت در دوره زمانی ۱۸ ساله مورد مطالعه شش نوع حامل انرژی را مورد مصرف قرار می‌دهند ابتدا باید مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از این شش نوع حامل انرژی را محاسبه کرده، سپس مجموع دی‌اکسیدکربن منتشره را محاسبه کرده تا کل میزان انتشار دی‌اکسیدکربن برای هریک از این ۲۴ صنعت در دوره زمانی مورد مطالعه به دست آید.

با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن هر حامل انرژی به تفکیک نوع صنعت موجود نیست به ناچار باید ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از حامل‌های انرژی در بخش صنعت به صورت سالیانه محاسبه کرده و سپس عددهای به دست آمده به‌عنوان ضرایب انتشار دی‌اکسیدکربن برای تمام صنایع کدهای آیسیک دو رقم یکسان در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن در کل بخش صنعت برای هر نوع حامل انرژی، باید مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن از آن نوع حامل انرژی در کل بخش صنعت را بر مقدار مصرف آن نوع حامل انرژی در کل بخش صنعت تقسیم کرد.

اطلاعات مربوط به مقدار دی‌اکسیدکربن منتشر شده از هر حامل انرژی مصرف شده در بخش صنعت و نیز اطلاعات مربوط به مقدار مصرف هر حامل انرژی در بخش صنعت توسط وزارت نیرو به صورت سالیانه منتشر می‌شود. از آنجایی که مقدار مصرف هر حامل انرژی در بخش صنعت دارای واحدهای متفاوتی است، ابتدا لازم است مقدار هریک از حامل انرژی مصرف‌شده را در ضریب ارزش حرارتی[۱] آن حامل انرژی ضرب کنیم تا برحسب واحد یکسان به نام BTU[۲] برای تمام حامل‌های انرژی مختلف به دست آید[۳] و با جمع آن‌ها، کل مقدار انرژی مصرفی برحسب واحد BTU به دست می‌آید. برای محاسبه میزان انتشار

---

۱. ارزش حرارتی حامل انرژی عبارت است از مقدار گرمایی که درموقع سوختن کامل واحد جرم حامل انرژی آزاد می‌شود.

۲. واحد انرژی BTU مقدار حرارتی است که لازم است تا دمای یک پوند آب را به میزان یک درجه فارنهایت بالا برد.

۳. به دلیل اینکه حامل‌های انرژی دارای واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند، ابتدا باید همگی به واحد یکسانی بر حسب BTU تبدیل شوند.

دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط هر صنعت با کد آیسیک دو رقم در هر سال، لازم است مقدار انرژی مصرفی برحسب واحد BTU برای هریک از حامل‌های انرژی را در میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از تولید یک میلیون BTU انرژی توسط هریک از حامل‌های انرژی در سال مربوطه ضرب کرده و سپس مجموع دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط هر صنعت در هر سال را محاسبه کرد. طبق روش ذکر شده میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشره برای تمام ۲۴ صنعت کد آیسیک دو رقم در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ توسط نویسندگان مقاله محاسبه شده است که در قسمت بعد به‌طور کامل‌تر تشریح شده است. طبق محاسبات نویسندگان صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی در دوره مورد مطالعه پژوهش، به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت به دست آمده است.

در ادامه به معرفی مدل پژوهش جهت شناسایی عوامل مؤثر بر آلودگی هوای ایجادشده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به‌عنوان آلوده‌زاترین صنعت پرداخته شده است.

در این قسمت به منظور برآورد رابطه میان فعالیت‌های صنعتی و انتشار آلودگی از مدل کول، الیوت و شیماموتو (۲۰۰۴) با تعدیلاتی به شرح ذیل استفاده می‌شود:

$$E_t = f(ENERGY_t, PCI_t, HCI_t, RD_t, SKILL_t, CAP_t)$$

که در آن متغیرهای مورد استفاده به شرح زیر است:

E_t: نسبت میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی به ارزش تولیدات و ضایعات[1] آن صنعت است که شدت انتشار آلودگی نامیده می‌شود.

$ENERGY_t$: نسبت کل مقدار حامل انرژی مصرف شده توسط صنعت تولید فرآورده‌های صنعت کانی غیرفلزی به ارزش تولیدات و ضایعات آن صنعت است. رابطه مثبت بین میزان آلودگی و میزان حامل انرژی مصرف شده، مورد انتظار است. هرچه میزان حامل انرژی مصرف شده در صنعتی بالاتر باشد، سطح بالاتری از آلودگی هوا در آن صنعت خواهیم داشت.

---

۱. ابتدا داده‌های ارزش تولیدات و ارزش ضایعات قابل فروش صنعت مذکور با یکدیگر جمع شده و بر شاخص قیمت تولیدکننده فرآورده‌های صنعتی صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی (بر پایه سال ۱۴۰۰) تقسیم شده‌اند تا ارزش تولیدات به قیمت ثابت به دست آید.

PCI_t: متغیر شدت سرمایه فیزیکی است. سطح آلودگی یک صنعت ممکن است از طریق شدت استفاده از عوامل تولید مورد تأثیر قرار بگیرد. یعنی با فرض ثبات سایر شرایط، به نظر می‌رسد صنایعی که بیشتر بر ماشین‌آلات و تجهیزات متکی هستند نسبت به صنایعی که بیشتر بر نیروی کار متکی هستند حجم آلودگی بیشتری ایجاد می‌کنند و این امر را می‌توان به دلیل ارتباط بین شدت سرمایه فیزیکی و شدت انرژی‌بری آن صنعت دانست (کول، الیوت و شیماموتو، ۲۰۰۴). در مطالعه حاضر برای محاسبه شدت سرمایه فیزیکی از رابطه زیر استفاده شده است:

شدت سرمایه فیزیکی: (جمع ارزش تولیدات و ضایعات- جبران خدمات نیروی کار[۱])/ کل شاغلان تولیدی.

HCI_t : شدت سرمایه انسانی مبتنی بر دستمزد است و به صورت نسبت جبران خدمات نیروی کار به جمع ارزش تولیدات و ضایعات محاسبه می‌شود. ارتباط مثبت بین معیار شدت سرمایه انسانی مبتنی بر دستمزد و شدت آلودگی نشان می‌دهد که کارگرانی که در فعالیت‌های آلوده‌زا فعالیت می‌کنند به دلیل خطرات بالاتر و نیاز به حمایت بیشتر از سلامت و ایمنی، مشمول حق بیمه بیشتری هستند و ممکن است بتوانند با کار کمتر نسبت به دیگران بازنشستگی زودتر یا مزایای بیشتری دریافت کنند. همچنین برخی از کارگران در صنایع آلوده‌زا ممکن است پاداش‌های ویژه‌ای برای خطرات کار و سختی کار دریافت کنند.

RD_t: نسبت مخارج تحقیق و توسعه به ارزش تولیدات و ضایعات است و به‌عنوان شاخص نوآوری در صنعت در نظر گرفته می‌شود. مخارج تحقیق و توسعه می‌تواند باعث توسعه فناوری‌های پاک، بهینه‌سازی فرآیند تولید و توسعه سیستم‌های کنترل آلودگی شود. لذا انتظار می‌رود رابطهٔ معکوسی میان این متغیر و انتشار دی‌اکسیدکربن وجود داشته باشد.

$SKILL_t$: شدت مهارت نیروی انسانی است. در این مطالعه برای محاسبه شدت مهارت نیروی انسانی از رابطه زیر استفاده شده است:

شدت مهارت نیروی انسانی: تعداد شاغلین ماهر[۲] /کل تعداد شاغلین

---

۱. مجموع کل مزد و حقوق پرداختی سالانه و سایر پرداختی‌ها به شاغلان تولیدی و غیرتولیدی

۲. بنابر تعریف سالنامه آماری، در این پژوهش مجموع کارگران ماهر، تکنیسین‌ها و مهندسین به‌عنوان شاغلان ماهر خطوط تولید در نظر گرفته می‌شوند.

کارگران ماهر معمولاً با فناوری‌های پیشرفته آشنا هستند و می‌توانند از تجهیزات و ماشین‌آلات به نحوی استفاده کنند که آلودگی کمتری تولید شود. آن‌ها می‌توانند فرآیندهای ناکارآمد را شناسایی و بهبود بخشند. همچنین کارگران ماهر می‌توانند به بهینه‌سازی فرآیندهای تولیدی بپردازند و از مواد و منابع طبیعی به نحو بهتری استفاده کنند که منجر به کاهش پساب‌ها و گازهای گلخانه‌ای شود. علاوه بر موارد ذکر شده، کارگران ماهر بهتر قادر به رعایت و اجرایی کردن استانداردهای ایمنی و محیط زیست هستند و می‌توانند نظارت بیشتری بر روی فرآیندها داشته باشند. به‌طورکلی کارگران ماهر می‌توانند با توجه به دانش و تجربهٔ بیشتری که دارند به کاهش آلودگی در صنایع کمک کنند. لذا، تصور می‌شود که احتمالاً هرچه سرمایه انسانی در صنعت بالاتر باشد، صنعت کاراتر بوده و بنابراین از شدت انرژی‌بری کمتری برخوردارند. ازاین‌رو، در مقایسه با بخش‌هایی با مهارت کمتر، نسبتاً پاک‌تر هستند.

CAP_t: بیانگر هزینه‌های سرمایه‌ای یک صنعت است. که به صورت نسبت مخارج سرمایه‌گذاری به جمع ارزش تولیدات و ضایعات تعریف شده است و تحت این فرض که هرچه این مخارج در صنعتی بزرگتر باشد تجهیزات و ماشین‌آلات صنعت جدیدتر خواهد بود عمل می‌کند و سطح پایین‌تری از آلودگی هوا در آن صنعت خواهیم داشت.

اندیس t به سال مورد نظر اشاره دارد. تمامی ارزش‌ها برحسب شاخص‌های قیمتی در سال پایه ۱۴۰۰ تعدیل شده است. همان‌طورکه قبلاً اشاره شد، به دلیل محدودیت در داده‌های آماری در بخش صنعت، دوره زمانی پژوهش حاضر از ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۰ در نظر گرفته شده است. چون دوره زمانی مذکور کوتاه است برای تخمین رگرسیون از روش بوت استرپ کردن روی باقی‌مانده‌ها استفاده شده است.

در حل بسیاری از مسائل اقتصادسنجی نیاز به حجم نمونه بزرگی وجود دارد. از سوی دیگر در بسیاری موارد دسترسی به چنین نمونه‌ای وجود ندارد. برای رفع این تعارض از روش‌های بازنمونه‌گیری استفاده می‌شود. یکی از روش‌های استفاده مجدد از نمونه به روش خودگردان‌سازی یا بوت‌استرپ موسوم است. روش بوت‌استرپ یک روش علمی و آماری ارائه می‌کند که با استفاده از آن می‌توان مسائلی که به داده‌های زیاد نیاز دارند را با داده‌های اندک حل کرد. دو روش بوت استرپ وجود دارد. یکی روش بوت استرپ تصادفی[1] و

1. Random Bootstrap

دیگری روش بوت استرپ بر روی باقی‌مانده‌هاست. تفاوت اصلی بین بوت استرپ تصادفی و بوت استرپ بر روی باقی‌مانده‌ها، در نحوه تولید نمونه‌های بوت استرپ است. در روش بوت استرپ تصادفی، نمونه‌های جدید با نمونه‌گیری جایگشتی[1] از داده‌های اصلی ایجاد می‌شوند. به این معنی که هر داده در نمونه اصلی ممکن است چندین بار در نمونه بوت استرپ ظاهر شود یا اصلاً ظاهر نشود. در روش بوت استرپ بر روی باقی‌مانده‌ها که در مدل‌های رگرسیونی استفاده می‌شود ابتدا یک مدل رگرسیونی بر روی داده‌های اصلی برازش داده می‌شود. سپس باقی‌مانده‌ها از این مدل محاسبه می‌شوند. نمونه‌های بوت استرپ با نمونه‌گیری جایگشتی از این باقی‌مانده‌ها و سپس افزودن آن‌ها به مقادیر برازش شده مدل اصلی، ایجاد می‌شوند.

۵. یافته‌ها

انرژی مصرفی در فعالیت‌های صنایع تولیدی کد آیسیک از طریق مصرف حامل‌های انرژی گاز طبیعی، نفت کوره، گازوییل، بنزین، نفت سفید و گاز مایع دست می‌آید. با عنایت به ایجاد انرژی با ضرایب متفاوت توسط هریک از حامل‌های انرژی مذکور، ابتدا باید با استفاده از ضرایب ارزش حرارتی حامل‌های انرژی[2] که در جدول ۳، مورد اشاره قرار گرفته است، هریک از حامل‌های انرژی برحسب واحد یکسان به نام BTU تبدیل شوند و با جمع آن‌ها، کل مقدار انرژی مصرفی برحسب واحد BTU به دست می‌آید.

جدول ۳. ارزش حرارتی حامل‌های انرژی مختلف

حامل انرژی	واحد	میلیون BTU
بنزین	هزار لیتر	۳۱/۸۸٦
نفت سفید	هزار لیتر	۳٤/۱۱
نفت گاز	هزار لیتر	۳۵/۸۲
نفت کوره	هزار لیتر	٤۰/۹۳
گاز مایع	تن	٤۲/٦۹
گاز طبیعی	هزار متر مکعب	۳۵/۷۱

منبع: ترازنامه هیدروکربوری

1. sampling with replacement

۲. ضرایب ارزش حرارتی حامل‌های انرژی از ترازنامه هیدروکربوری استخراج شده‌اند.

سوخت‌های فسیلی مختلف مقادیر متفاوتی از دی‌اکسیدکربن به ازای هر واحد انرژی حرارتی تولید می‌کنند. ضریب انتشار، شاخصی برای محاسبه مقدار دی‌اکسیدکربن انتشار یافته از حامل‌های انرژی است. این شاخص از نسبت میزان انتشار دی‌اکسیدکربن توسط هر حامل به میزان مصرف آن حامل انرژی به دست می‌آید. با توجه به اینکه آمار انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف انرژی در ایران تنها در سطح کلان منتشر می‌شود، لذا ضرایب انتشار هر یک از سوخت‌های مختلف با استفاده از آمار میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش صنعت به تفکیک هر سوخت و نیز مقدار هر یک از سوخت‌های فسیلی مصرف شده در این بخش به دست می‌آید که برای تمام زیربخش‌های صنعتی و فعالیت‌های آنها ثابت در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال در جدول ۴، ضرایب انتشار دی‌اکسیدکربن هریک از حامل‌های انرژی در کل بخش صنعت در سال ۱۳۸۹ محاسبه شده است.

جدول ٤. ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن حامل‌های انرژی مصرف‌شده بخش صنعت در سال ۱۳۸۹

سوخت	بنزین (هزار لیتر)	نفت سفید (هزار لیتر)	نفت گاز (هزار لیتر)	نفت کوره (هزار لیتر)	گاز مایع (تن)	گاز طبیعی (هزار متر مکعب)
ضریب انتشار (تن)	۲/۳۸	۲/٦	۲/۸۲	۳/۲۳	۳/۰۷	۲/۰۸

منبع: یافته‌های پژوهش

از آنجایی که حامل‌های انرژی مزبور دارای واحدهای متفاوتی از لحاظ میزان مصرف‌اند و نیز با توجه به اینکه ارزش حرارتی تولیدی به وسیله هریک از این حامل‌ها (موجود در جدول ۳) متفاوت است، لذا نمی‌توان برای مقایسه میزان آلاینده بودن این حامل‌ها از ضرایب فوق استفاده کرد. برای انجام این مقایسه می‌توان از شاخص مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن در تولید یک میلیون BTU انرژی توسط هریک از حامل‌های مزبور استفاده کرد، که برای به دست آوردن آن، ضرایب انتشار فوق بر ضرایب ارزش حرارتی هریک از حامل‌های انرژی تقسیم می‌شود. نتایج حاصله برای سال ۱۳۸۹ در جدول ۵، آمده است[1].

۱. همان‌گونه که از جدول ۵ مشاهده می‌شود نفت کوره دارای بیشترین نقش در انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشد. علت این امر را می‌توان با توجه به ضرایب ارزش حرارتی حامل‌های انرژی موجود در جدول ۳ توضیح داد. مطابق جدول ۳ برای تولید یک میلیون BTU انرژی، نفت کوره بیشتری نیز مصرف می‌شود که درنتیجه منجر به انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. در مقابل گاز طبیعی دارای کمترین میزان پتانسیل انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشد. از این روی، ترکیب‌های مختلف سوخت مصرفی، انتشار دی‌اکسیدکربن متفاوتی را در پی خواهند داشت.

جدول ۵. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از تولید یک میلیون BTU انرژی توسط هریک از حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۹

سوخت	بنزین	نف سفید	نفت گاز	نفت کوره	گاز مایع	گاز طبیعی
میزان انتشار (تن)	۰/۰۷٤٦	۰/۰۷٦۳	۰/۰۷۸۷	۰/۰۷۸۹	۰/۰۷۱۸	۰/۰۵۸۲

منبع: یافته‌های پژوهش

برای محاسبه میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط هر صنعت با کد آیسیک دو رقم در هر سال، لازم است مقدار انرژی مصرفی برحسب واحد BTU برای هریک از حامل‌های انرژی را در میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از تولید یک میلیون BTU انرژی توسط هریک از حامل‌های انرژی در سال مربوطه ضرب کرده و سپس مجموع دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط هر صنعت در هر سال را محاسبه کرد. طبق روش ذکرشده میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشره برای تمام ۲۴ صنعت کد آیسیک دو رقم در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ توسط نویسندگان مقاله محاسبه شده است. در جدول ۶، سهم صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی از انتشار دی‌اکسیدکربن از کل دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط بخش صنعت طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ محاسبه شده است.

جدول ٦. سهم صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی از انتشار دی‌اکسیدکربن از کل دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط بخش صنعت

سال	۱۳۸۳	۱۳۸٤	۱۳۸۵	۱۳۸٦	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱
درصد	۳۳/۳٤	۳۳/۳۰	۳٦/٦۳	۳۲/۲۷	۳۲/۲۹	۳۲/٤۹	۳۱/۱۵	۳۳/۵٦	۳۲/۱۲
سال	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵	۱۳۹٦	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱٤۰۰
درصد	۳۳/۱۳	۳۰/۸۱	۲۹/٤۵	۲۸/۵۳	۲٦/۲۳	۲۵/۸٦	۲۷/۵٤	۲٦/۱۲	۳۱/۱۲

منبع: یافته‌های پژوهش

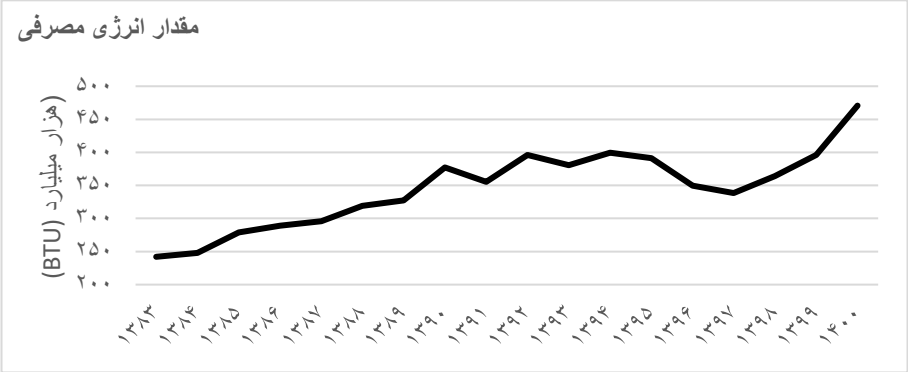
بر طبق جدول فوق، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی در طول دوره مورد بررسی به‌طور متوسط ۳۰/۷۲ درصد از کل آلودگی ایجادشده توسط بخش صنعت را به خود اختصاص داده است. برای تمام صنایع در سطح کد آیسیک دو رقم طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳، دی‌اکسیدکربن منتشره محاسبه شده است. از آنجایی که براساس محاسبات پژوهش، صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی آلوده‌زاترین صنعت به دست آمده است، پژوهش حاضر به تعیین عوامل مؤثر بر آلودگی هوای ایجادشده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی پرداخته است. در ادامه به معرفی زیربخش‌های صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی پرداخته شده است.

صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی براساس طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی ایران (بازنگری شده توسط مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۳) در دو گروه: تولید شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای و تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی و ده فعالیت: تولید شیشه جام، تولید کالا و فراورده‌های شیشه‌ای ـ به جز شیشه جام، تولید کالا و فرآورده‌های نسوز، تولید سایر کالاهای چینی و سرامیکی، تولید سیمان، آهک و گچ، تولید کالاهای بتونی و سیمانی و گچی، برش و شکل دادن و پرداخت سنگ، تولید انواع آجر، تولید مواد ساختمانی از خاک رس و خاک کانی ـ به جز آجر و تولید سایر فرآورده‌های کانی غیرفلزی طبقه‌بندی می‌شود.

همان‌طورکه قبلاً ذکر شد حامل‌های عمده انرژی در بخش صنعت، شامل بنزین، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره، گاز طبیعی و گاز مایع است. طبق محاسبات پژوهش در دوره زمانی مورد مطالعه، حامل انرژی گاز طبیعی در تأمین انرژی فعالیت‌های صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، سهمی به‌طور متوسط به میزان تقریباً ۷۰ درصد و پس از آن حامل انرژی نفت کوره با سهم به‌طور متوسط تقریباً ۲۵ درصد در جایگاه بعدی قرار دارد. سایر حامل‌های انرژی سهمی به‌طور متوسط به میزان تقریباً ۵ درصد داشته‌اند.

با ضرب مقدار مصرف هریک از حامل‌های انرژی مذکور در ضرایب ارزش حرارتی آن‌ها، می‌توان مقدار انرژی مصرفی هر حامل را برحسب واحد معادل انرژی BTU به دست آورد.

نمودار ۱. روند کل انرژی مصرفی صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی

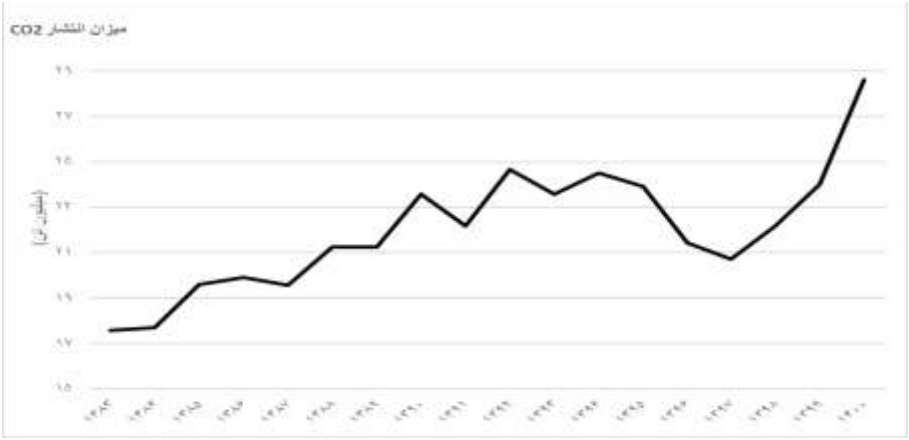


منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق نمودار فوق، کل انرژی مصرفی در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی دارای روند صعودیست و از ۲۴۲ هزار میلیارد BTU در سال ۱۳۸۳ به ۴۷۰ هزار میلیارد BTU

در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است. با عنایت به این مسئله که مصرف انرژی ایجاد آلودگی می‌کند، فلذا با توجه به افزایش مصرف انرژی در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، افزایش انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن این صنایع امری بدیهی خواهد بود. طبق محاسبات نویسندگان، تا سال ۱۳۸۶ نفت کوره بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسیدکربن صنعت مذکور داشته است. این در حالی است که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن توسط گاز طبیعی با نرخ صعودی همواره افزایشی بوده است، به نحوی که از سال ۱۳۸۶ به بعد بیشترین سهم از انتشار دی‌اکسیدکربن را به خود اختصاص داده است[1]. از جمع میزان انتشار دی‌اکسیدکربن توسط هریک از حامل‌های انرژی، کل میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی به دست می‌آید که روند آن در نمودار (۲) نشان داده شده است.

نمودار ۲. روند انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳



منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق نمودار فوق، انتشار دی‌اکسیدکربن در طی دوره مورد مطالعه به غیر از سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۴[2]روندی صعودی داشته است. بعد از شناسایی صنعت آلوده‌زا طی دوره زمانی مورد مطالعه، به منظور تعیین عوامل مؤثر بر دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط صنعت تولید

۱. علی‌رغم اینکه حامل انرژی گاز طبیعی نسبت به سایر حامل‌های انرژی پاک‌تر می‌باشد اما به دلیل اینکه این حامل انرژی در تأمین انرژی فعالیت‌های صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، سهمی به‌طور متوسط به میزان تقریباً ۷۰ درصد داشته است، از سال ۱۳۸۶ به بعد بیشترین سهم از انتشار دی‌اکسیدکربن را به خود اختصاص داده است.

۲. مهم‌ترین علت نزولی شدن نمودار در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۴، کاهش مصرف حامل‌های انرژی بوده است.

فرآورده‌های کانی غیرفلزی به دلیل محدودیت داده‌های آماری و کوتاه بودن دوره زمانی مورد مطالعه، به تخمین مدل از طریق رگرسیون و همچنین روش بوت استرپ روی باقی‌مانده‌ها پرداخته شده است که در ادامه جداول مربوط به تخمین نتایج از طریق رگرسیون و همچنین از طریق روش بوت استرپ باقی‌مانده‌ها آمده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود ضرایب تخمین‌زده‌شده در هر دو روش بسیار نزدیک به یکدیگر هستند لذا نتایج دارای اعتبار کافی است.

برای بررسی پایایی متغیرهای مورد استفاده در مقاله حاضر از آزمون دیکی ـ فولر تعمیم یافته استفاده شده است. همان‌طورکه در جدول شماره (۷) مشاهده می‌شود متغیرها در سطح مانا هستند.

جدول۷. نتایج آزمون مانایی

نام متغیر	سطح احتمال	آماره t	درجه مانایی
E	۰/۰۳	-۳/۹۳	I(0)
ENERGY	۰/۰۳	-٤/۰٥	I(0)
PCI	۰/۰٤	-۳/۷۸	I(0)
HCI	۰/۰٥	-۱/۹٦	I(0)
RD	۰/۰۲	-٤/۱۸	I(0)
SKILL	۰/۰۱	-٤/٥۸	I(0)
CAP	۰/۰۰	-٥/۰۸	I(0)

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۸. نتایج تخمین مدل از طریق رگرسیون

نام متغیر	ضریب	آماره t	سطح احتمال
عرض از مبدا	۰/۰۱	۱/۹٦	۰/۰۷
ENERGY	۰/۲۷	۱٤/۰۳	۰/۰۰
PCI	۳/۷۰E-۰۷	۱/٥۰	۰/۱٦
HCI	۰/۰۲	۲/۷٥	۰/۰۱
RD	-۱/۳۳E-۰۹	-۲/۲۷	۰/۰٤
SKILL	-۰/۰۲	-۱/٤۷	۰/۱٦
CAP	-۰/۰۱	-۲/۲٥	۰/۰٤
$Adj.R^2$ = ۰/۹٥	R^2= ۰/۹۷	D.W=۲/۰۲	

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۹. نتایج تخمین مدل از طریق بوت استرپ کردن باقی‌مانده‌ها

نام متغیر	ضریب	آماره t	سطح احتمال
عرض از مبدأ	۰/۰۱۲	۲/۵۰	۰/۰۲
ENERGY	۰/۲۷	۱۷/۷۰	۰/۰۰
PCI	۳/۷۱E-۰۷	۱/۹۱	۰/۰۸
HCI	۰/۰۲	۳/٤٦	۰/۰۰
RD	-۱/۳۲E-۰۹	-۲/۹۱	۰/۰۱
SKILL	-۰/۰۲	-۱/۸۸	۰/۰۸
CAP	-۰/۰۱	-۲/۸۷	۰/۰۱
Adj.R2 = ۰/۹۵	R2= ۰/۹۷	D.W=۲/۰۲	

منبع: یافته‌های پژوهش

٦. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر با استفاده از تخمین رگرسیون از طریق بوت‌استرپ کردن باقی‌مانده‌ها طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۸۳ نشان می‌دهد میزان انتشار دی‌اکسیدکربن منتشره توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیر فلزی تابعی مثبت از مقدار حامل انرژی مصرف‌شده، شدت سرمایه فیزیکی و شدت سرمایه انسانی و تابعی منفی از شدت مهارت نیروی انسانی، هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت و مخارج تحقیق و توسعه است. لذا می‌توان از طریق اعمال سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهبود تکنولوژی، افزایش مهارت نیروی انسانی و افزایش مخارج تحقیق و توسعه به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی کمک کرد.

طبق نتایج پژوهش، مصرف حامل‌های انرژی دارای بیشترین اثر بر روی انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. همچنین ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن منتشره از گاز طبیعی، کمتر از سایر حامل‌های انرژی است لذا بهترین راه‌حل پیشنهادی برای کاهش آلودگی انتشار دی‌اکسیدکربن استفاده از انرژی‌های پاک است که در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی مقدار کمتری آلودگی ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه ایران از نظر منابع گاز طبیعی غنی است و از طرفی گاز طبیعی آلودگی بسیار کمتری نسبت به سایر سوخت‌ها ایجاد می‌کند، ضروری است اقدامات بیشتری برای جایگزینی سوخت‌هایی با آلایندگی بالا با گاز طبیعی انجام شود و قیمت نسبی حامل‌های انرژی که ضریب انتشار بالایی دارند، افزایش یابد. همچنین با به‌روزرسانی تجهیزات و ماشین‌آلات، می‌توان تولید فرآورده‌های اکثر کارخانه‌های آجر (شامل آجر سنتی،

آجر ماشینی و بلوک) که با فناوری قدیمی تولید می‌شوند و علاوه بر انرژی‌بری بسیار بالا، از بسیاری از مزایای آجرهای جدید بی‌بهره هستند را به سمت تولید آجر با فناوری جدید سوق داد و به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن کمک کرد.

۷. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

۸. سپاسگزاری

نویسندگان پژوهش حاضر از داوران محترم و همچنین هیئت تحریریه مجله بابت ارائه نظرات و پیشنهادهای ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

ORCID
Samaneh Talei Ardakani http://orcid.org/0000-0003-2824-4608
Nezamuddin Makiyan http://orcid.org/0000-0002-8890-3890
Zahra Nasrollahi http://orcid.org/0000-0002-9537-136x

۹. منابع

بنی‌اسدی، مصطفی و زارع مهرجردی، محمدرضا. (۱۳۹۴). بررسی وجود رابطه علیت میان رشد بخش صنعت و آلودگی هوا در اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۴۶. *پژوهش‌های محیط زیست*، ۶(۱۳)، ۳۸-۲۵.

بهبودی، داود؛ کیانی، سیمین و ابراهیمی، سعید. (۱۳۹۰). رابطه علی انتشار دی‌اکسیدکربن، ارزش افزوده بخش صنعت و مصرف انرژی در ایران. *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی*، ۱(۱)، ۵۳-۳۳.

تهامی‌پور زرندی، مرتضی؛ عابدی، سمانه؛ سفاهن، افشین و فتح‌اللهی، سجاد. (۱۴۰۰). بررسی اثرگذاری ارزش افزوده بخش صنعت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ایران: رویکرد منحنی محیط زیستی کوزنتس. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۶(۱)، ۱۰۰-۸۵.

DOI:10.22047/SRJASNR.2021.128796

دهقان بنادکوکی، فرناز و نصرالله‌ی، زهرا. (۱۴۰۱). اثر فعالیت‌های اقتصادی بر آلودگی در استان یزد: رویکرد داده ـ ستانده منطقه‌ای. *فصلنامه اقتصاد شهری*، ۵(۲)، ۱۳۴-۱۲۳.

DOI:10.22108/UE.2022.133723.1215

کتابچهٔ نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر. (۱۴۰۰-۱۳۸۳).

لطفعلی‌پور، محمدرضا؛ هوشمند، محمود؛ اعلامی، الهام و بستان، یدالله. (۱۳۹۶). آثار رشد اقتصادی بخش صنعت بر کیفیت محیط زیست در ایران (کاربرد مدل مدل خودتوضیحی با وقفه گسترده). *نشریه پژوهش‌های محیط زیست*، ۸(۱۶)، ۱۱۴-۱۰۳.

مروری بر ۳۴ سال آمار انرژی کشور (۱۴۰۰-۱۳۶۷). معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، (۱۴۰۲).

نجاتی، مهدی؛ جلایی، سید عبدالمجید و باوقار زعیمی، پگاه. (۱۳۹۸). بررسی اثر رشد تولیدات و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر بخش‌های مختلف اقتصاد ایران. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۹)، ۲۸۰-۲۵۷.

نصراللهی، زهرا و غفاری، مرضیه. (۱۳۹۴). آلودگی هوا در صنایع تولیدی ایران. *دو فصلنامه مطالعات تجربی اقتصاد ایران*، ۱(۱)، ۴۲-۱۹.

References

Ayodele Idowu, Obaika Micheal Ohikhuare, Munem Ahmad Chowdhury. (2023). Does industrialization trigger Carbon emissions through energy consumption? Evidence from OPEC countries and high industrialized countries [J]. *Quantitative Finance and Economics*, 7(1): 165-186. doi: 10.3934/QFE.2023009

Bani Asadi, M and Zare Mehrjardi, M. (2015). Investigating the existence of a causal relationship between the growth of industry and air pollution in Iran's economy during the period of 2016-2018. *Environmental Research*, 6(13), 25-38. [In Persian]

Behboudi, D. Kiani, S. and Ebrahimi, S. (2011). Causal relationship between Carbon Dioxide emissions, industrial sector value added and energy consumption in Iran. *Quarterly Journal of Environmental and Energy Economics*, 1(1), 53-33. [In Persian]

Cole, M., Elliott, R. J. R., Shimamoto, K. (2004). Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector. *Research Paper*, No. 22.

Dehghan Benadkoki, F and Nasrollahi, Z. (2022). The effect of economic activities on pollution in Yazd province: A regional input-output approach. *Quarterly Journal of Urban Economics*, 5(2), 134-123.Doi: 10.22108/ue.2022.133723.1215. [In Persian]

Hamit-Haggar, M. (2011), Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: a Panel, Co-integration analysis from Canadian industrial sector perspective, *Energy Economics*, Vol. 33, 342-361.

Kashem, Mohammad & Rahman, Mohammad. (2020). Environmental Phillips curve: OECD and Asian NICs perspective. *Environmental Science and Pollution Research*. 27. Doi: 10.1007/s11356-020-08620-8.

Liang, Y., Niu, D., Zhou, W., & Fan, Y. (2020). Decomposition analysis of Carbon emissions from energy consumption in Beijing-Tianjin-Hebei, China: A Weighted-Combination Model Based on Logarithmic Mean Divisia Index and Shapley Value. *Sustainability*, 10(7), 2535. https://doi.org/10.3390/su10072535.

Lotfalipour, M, Houshmand, M, Aalami, E and Bostan, Y. (2017). The effects of economic growth of the industrial sector on environmental quality in Iran (application of a self-explanatory model with a large lag). *Journal of Environmental Research*, 8(16), 103-114. [In Persian]

Nasraolahi, Z and Ghaffari, M. (2015). Air pollution in Iranian manufacturing industries. *Bi-Quarterly Journal of Empirical Studies in Iranian Economics*, 1(1), 42-19. [In Persian]

Nejati, M, Jalaei, A and Bavaqar Zaimi, P. (2019). Investigating the effect of production growth and energy consumption on carbon dioxide emissions with emphasis on different sectors of the Iranian economy. *Journal of Geography and Planning*, 23(69), 257-280. [In Persian]

Tahamipour Zarandi, M, Abedi, S, Safahan, A and Fathollahi, S. (2021). Investigating the impact of value added of the industrial sector on carbon dioxide emissions in Iran: Environmental Kuznets Curve approach. *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(1), 100-85. Doi: 10.22047/SRJASNR.2021.128796. [In Persian]

Wen, L., & Hao, Y. (2020). Factor decomposition and clustering analysis of CO2 emissions from China's power industry based on Shapley Value. *Energy Sources*, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Published online 14 Jun 2020. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1776795.

استناد به این مقاله: طالعی اردکانی، سمانه؛ مکیان، سید نظام‌الدین؛ نصراللهی، زهرا. (۱۴۰۴). تعیین عوامل مؤثر بر دی‌اکسیدکربن منتشرشده توسط صنعت تولید فرآورده‌های کانی غیرفلزی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵۵ (۱۴)، ۱۹۸-۱۷۱.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.