

The Effect of Human Capital on Air Pollution in OPEC Oil Exporting Countries

Maryam Darbidi 

Phd Economic, Kermanshah University, Kermanshah, Iran.

Mahdi Kamali 

Assistant Professor, Department of Economics, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran.

Maryam Khodaverdi Samani 

Phd Economic, Lorestan University, Lorestan, Iran.

Reza Shamsollahi 

Master of Economics, Department of Economics, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran.

Abstract

Introduction

Many associations and groups supporting nature and the environment have undertaken numerous measures and activities aimed at increasing knowledge and awareness to promote proper use of natural resources and reduce pollutants. However, in developing countries particularly those where government revenues depend heavily on natural resources and despite the presence of rentier governments and the allocation of resources to unproductive sectors, environmental groups have often been unable to prevent increases in air pollution. Therefore, this study focuses on examining this issue in OPEC oil-exporting countries, whose economies rely on the extraction of natural resources, including fossil fuels, for domestic consumption and export. For higher economic growth and development, these countries often expand the industrial sector, frequently relying on polluting industries. Additionally, human activities associated with oil operations such as exploration and extraction of gas mines, drilling oil wells, refining crude oil, flaring natural gases, and transportation and storage of oil and gas-lead to environmental degradation and increased air pollution. These activities pose a serious threat not

* Corresponding Author: mahdi.kamali@iua.ac.ir

How to Cite: Darbidi, M., Kamali M., Khodaverdi Samani M., Shamollahi R. (2024). The Effect of Human Capital on Air Pollution in OPEC Oil Exporting Countries. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 10(4), pp. 29-58.

only to countries dependent on oil revenues but also have environmental consequences for other nations. The present study addresses the question: What effect does human capital have on air pollution in OPEC oil-exporting countries?

Research Method

Spatial panel models are applicable in studies that control for relationships across time, space, and between units. In the spatial panel method, fixed, random, and spillover effects are examined between variables. The most important application of the general spatial model is to examine spatial spillovers, or the transmission of effects from the variable under study to adjacent areas. When spatial dependence exists, spatial measurement methods are used; in the absence of spatial correlation, general measurement methods are applied. Spatial correlation implies that areas exhibit similar values of variables compared to neighboring areas. Spatial correlation can be classified as either positive or negative.

Results and Discussion

Based on the results obtained, human capital has a positive and significant effect on air pollution. Specifically, a one percent increase in human capital corresponds to a 0.14 percent increase in air pollution, holding other factors constant. The direct effect of human capital is positive, and its indirect effect is also positive and significant. This indicates that human capital contributes to increased air pollution both domestically and in neighboring countries.

The effect of the logarithm of GDP per capita on air pollution is positive and significant. A one percent increase in GDP per capita leads to a 2.25 percent increase in air pollution, other conditions remaining constant. Urbanization has a positive and significant effect on air pollution, with a one percent increase in urbanization resulting in a 985.4 percent rise in air pollution. This is largely due to urbanization-driven increases in energy consumption and fossil fuel use, leading to higher greenhouse gas emissions-particularly carbon dioxide-and consequent environmental degradation.

Oil revenues also have a positive and significant effect on air pollution. A one percent increase in oil revenues results in a 21.5 percent increase in air pollution. In oil-rich countries, activities such as oil exploration, extraction, and refining release greenhouse gases that negatively impact soil, air, surface and groundwater, organisms, plants, trees, and human life, thereby increasing air pollution.

Foreign direct investment (FDI) has a positive and significant effect on air pollution in OPEC member countries. A one percent increase in FDI leads to an 87.3 percent rise in air pollution. In developing countries, FDI contributes to increased air pollution due to its impact on economic growth, consistent with the Environmental Kuznets Curve. According to the pollution haven hypothesis, FDI inflows into developing countries often exacerbate environmental degradation.

Conclusion

Although human capital can drive economic growth, in OPEC countries, where governments rely heavily on oil revenues, increases in human capital often

strengthen oil-based industries. Consequently, this leads to higher fossil fuel consumption, which contributes significantly to air pollution.

Keywords: Human Capital, Air Pollution, OPEC, Spatial Panel

JEL Classification: Q53 , I25 , O13



اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک

دکتری اقتصاد، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

مریم دارییدی

گروه اقتصاد، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران.

مهدی کمالی*

دکتری اقتصاد، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

مریم خداوردی سامانی

کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه آیت ... بروجردی، بروجرد، ایران.

رضا شمس‌اللهی

چکیده

در کشورهای صادرکننده نفت فعالیت‌های نیروی انسانی در عملیات‌های نفتی مثل کشف و حفاری چاه‌های نفت تأثیر مخربی بر محیط زیست بر جای گذاشته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۰۰ با بهره‌گیری از الگوی پانل فضایی است. براساس نتایج به دست آمده، سرمایه انسانی بر آلودگی هوا تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد. به این معنا که با افزایش یک درصدی سرمایه انسانی آلودگی هوا به میزان ۲/۲۵ درصد با ثابت بودن سایر شرایط افزایش می‌یابد. اثر مستقیم سرمایه انسانی مثبت است و اثر غیرمستقیم آن نیز مثبت و معنی‌دار است. به این معنا که سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشور تأثیر مثبت دارد و بر آلودگی هوا سایر کشورها نیز تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد. دیگر نتایج پژوهش حاکی از آن است که متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، شهرنشینی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و درآمدهای نفتی منجر به افزایش آلودگی هوا شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: سرمایه انسانی، آلودگی هوا، اوپک، پانل فضایی

طبقه‌بندی JEL: O13 , I25 , Q53

۱. مقدمه

طی دهه‌های اخیر، یکی از پیش‌شرط‌های لازم کاهش آلودگی هوا تغییر رفتار افراد نسبت به بهره‌مندی صحیح از محیط زیست و منابع طبیعی است. در تحلیل‌های اقتصادی آموزش، بهداشت، مهارت و سایر عواملی که باعث افزایش بهره‌وری می‌شوند؛ از جمله مؤلفه‌های ویژه در افزایش تشکیل سرمایه انسانی می‌شوند که هر یک از این مؤلفه‌ها با افزایش کیفیت نیروی کار، انباشت سرمایه انسانی در پی خواهند داشت. بهبود کیفیت در سرمایه انسانی منجر می‌شود که نیروی کار ماهرتر و کارآزموده‌تر شود و توانایی استفاده از فناوری‌های نوین در فرآیند تولید با هدف افزایش تولید با رعایت مسائل زیست‌محیطی داشته باشند (فیشر و همکاران^۱، ۲۰۲۱). بسیاری از انجمن‌ها و گروه‌های حامی طبیعت و محیط زیست، اقدامات و فعالیت‌های بسیاری با هدف افزایش دانش و آگاهی در جهت به کارگیری صحیح از منابع طبیعی و کاهش آلاینده‌ها انجام داده‌اند؛ اما این اقدامات در کشورهای در حال توسعه و به خصوص کشورهای که درآمدهای دولت وابسته به منابع طبیعی بود و با وجود دولت رانتیر و تخصیص منابع به بخش‌های غیرمولد باعث شده که گروهای حامی محیط زیست نتوانند مانع از افزایش آلودگی هوا گردند. از این رو بررسی این موضوع در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. کشورهایی که اقتصاد آن‌ها وابسته به نفت است، منابع طبیعی از جمله منابع فسیلی و طبیعی در جهت استفاده مصارف داخلی و صادرات استخراج می‌کنند و از طرفی برای رشد و توسعه اقتصادی بالاتر، سعی در گسترش بخش صنعت دارند که برای این هدف به صنایعی که آلاینده هستند، روی می‌آورند (لانگال و همکاران^۲، ۲۰۲۱). همچنین در این کشورها فعالیت‌های نیروی انسانی در عملیات‌های نفتی مثل کشف و استخراج معادن گازی، حفاری چاه‌های نفت، پالایش نفت خام و شعله‌ور کردن گازهای طبیعی، انتقال و ذخیره‌سازی صنایع نفت و گاز منجر به تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا را در پی دارد و این مسئله تهدیدی جدی برای کشورهای وابسته به درآمدهای نفتی و البته پیامدهای زیست - محیطی آن برای سایر کشورها است (سان و همکاران^۳، ۲۰۲۱). پژوهش حاضر به بررسی این پرسش می‌پردازد که سرمایه انسانی چه تأثیری بر میزان آلودگی هوا در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک دارد؟

1. Fisher et al.
2. Langel et al.
3. San et al.

سازمان‌دهی مقاله این گونه است: بعد از ارائه مقدمه در بخش اول، مبانی نظری در ارتباط با تأثیر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در بخش دوم و مطالعات تجربی داخلی و خارجی در بخش سوم ارائه می‌شود. بخش چهارم به توصیف داده‌ها و روش‌شناسی اختصاص یافته است. در بخش پنجم برآورد الگوی تجربی و تجزیه تحلیل داده‌ها ارائه می‌گردد. بحث و نتیجه‌گیری در بخش پایانی اختصاص یافته است.

۲. مبانی نظری

الف) تأثیر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا

گرسمن^۱ (۲۰۰۰) با استدلال بر نظریه ریبزینسکی^۲ بیان می‌کند که انباشت سرمایه انسانی منجر به رشد صنایع پاک و کاهش آلودگی هوا می‌شود. در حالی که رشد سرمایه فیزیکی با رشد صنایع آلاینده افزایش آلودگی هوا را به همراه دارد. از سوی دیگر با افزایش درآمد سرانه و انتقال اقتصاد از بخش صنعت به خدمات و به کارگیری نیروی انسانی به جای سرمایه، منجر به کاهش آلودگی هوا می‌گردد. به این معنا که سرمایه انسانی بر آلودگی تأثیر آستانه‌ای دارد (فیشر و همکاران^۳، ۲۰۲۱) نیروی کار دانش‌آموخته می‌تواند در فرآیند تولید با ایجاد پویایی در فناوری‌های تولید منجر به افزایش ظرفیت واحدهای تولیدی با رعایت مسائل زیست‌محیطی به خصوص آلودگی هوا شود (وانگ و وو^۴، ۲۰۲۱).

لن و منرو^۵ (۲۰۱۳) شرکت‌های صنعتی با پیروی از قوانین زیست‌محیطی و ارتقا آموزش نیروی کار خود از آلودگی هوا جلوگیری و به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌کنند (رلند و کلاوزن^۶، ۲۰۱۹). افزایش سرمایه انسانی و امید به زندگی در کشورهای در حال توسعه از تخریب محیط زیست و آلودگی هوا جلوگیری می‌کند. سچی و همکاران^۷ (۲۰۱۸) آموزش نیروی کار و ارتقاء شاخص‌های سرمایه انسانی از آلودگی هوا جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر امروزه سرمایه انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی است؛ بنابراین با توجه به همبستگی میان سرمایه انسانی و رشد اقتصادی، با افزایش رشد اقتصادی

-
1. Gresman
 2. Rybzinsky Theory
 3. Fisher et al.
 4. Wang & Woo
 5. Len & Monroe
 6. Reland & Clause
 7. Sechi et al

و اثرات مثبت و معنادار آن بر آلودگی هوا رابطه مثبت میان شاخص‌های سرمایه انسانی و آلودگی هوا تعمیم داده می‌شود. در صورتی که شاخص‌های دیگر سرمایه انسانی مثل آموزش و سلامت در افزایش آلودگی هوا نقشی ندارند (اپرا و همکاران^۱، ۲۰۱۷). لیسپت^۲ (۱۹۵۹)، بوجیه^۳ (۱۹۹۸) و کلیک^۴ (۲۰۰۲)، پیش شرط افزایش حفاظت از محیط زیست و کاهش آلودگی هوا را افزایش سطح آموزش می‌دانند (جهانگر و همکاران^۵، ۲۰۲۳). در سطح کلان سرمایه انسانی از طریق عوامل درآمدی و فناوری می‌تواند بر آلودگی هوا تأثیرگذار باشد (یائو و همکاران^۶، ۲۰۲۰). سرمایه انسانی از طریق پیشرفت در فناوری‌ها و تأثیرگذاری بر سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه منجر به پیشرفت فناوری، بهره‌وری تولید و استفاده از منابع انرژی را بهبود می‌بخشد و انتقال به انرژی‌های پاک تر را آسان تر می‌کند و آلودگی هوا را کاهش می‌دهد (چن و همکاران^۷، ۲۰۲۲). در سطح خرد تأثیر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا قابل بررسی است. واحدهای تولیدی که از نیروی کار متخصص با تحصیلات آموزش عالی در فرآیند بهره‌مند هستند، منجر می‌شود که نیروی کار متخصص با گسترش فناوری‌های کاهش‌دهنده آلودگی هوا بر توسعه پایدار و رعایت قوانین و مقررات زیست محیطی توجه داشته و از افزایش آلودگی هوا جلوگیری کنند (سونگ و همکاران^۸، ۲۰۲۳). در سطح خانوار، گروه‌هایی که تحصیل کرده هستند به محیط زیست نسبت به درآمد خود ارزش بیشتری می‌دهند و رفتار خود را از طریق روش‌هایی مثل بازیافت و تفکیک زباله‌ها و جمع‌آوری زباله در طبیعت به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌کنند. همچنین این خانوارها ابزاری را انتخاب می‌کنند که از نظر انرژی کارا است و از این رو انرژی کمتری مصرف می‌کنند (روزارسو و همکاران^۹، ۲۰۲۱). گومز و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۶) مصرف‌کنندگان آموزش دیده دارای فشار بیشتری بر واحدهای تولیدی محلی جهت کاهش آلودگی هوا هستند؛ بنابراین انتظار است که در سطح خرد سرمایه انسانی منجر به کاهش

-
1. Opera et al
 2. Lispet
 3. Bujjeh
 4. Click
 5. Jahnger et al
 6. Yao et al
 7. Chen et al
 8. Song et al
 9. Rosarso et al
 10. Gomes et al

آلودگی هوا شود (دهقان شبانی و همکاران، ۱۴۰۰). سرمایه انسانی ضعیف در کشورهای در حال توسعه و استفاده از سوخت‌های فسیلی منجر به تشدید آلودگی هوا می‌شود (خان و همکاران^۱، ۲۰۲۱). استفاده نادرست، بی‌رویه و مدیریت ناکارآمد سرمایه انسانی از منابع طبیعی منجر به توسعه بی‌قاعده شهرنشینی و صنایع شده است که نتیجه آن تبدیل شدن جهان کنونی به فضای مملو از مخاطرات و افزایش آلودگی‌های محیط زیست به‌خصوص آلودگی هوا شده است (بانو و همکاران^۲، ۲۰۱۸). ایتمن و همکاران^۳ (۲۰۱۸) باورهای اجتماعی، هنجارها، مجازات‌های قانونی و رفتارهای فردی از آلودگی هوا جلوگیری می‌کند (عزتی و مظفری، ۱۳۹۸).

در مراحل اولیه رشد و توسعه اقتصادی، رشد اقتصادی که از طریق انباشت سرمایه فیزیکی حاصل می‌شود، در مراحل بعدی عامل رشد اقتصادی، افزایش سرمایه انسانی است؛ بنابراین در مراحل اولیه رشد و توسعه اقتصادی، تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا از طریق انباشت سرمایه انسانی افزایش می‌یابد. بر اساس تئوری ریژینسکی کشورهایایی که از سرمایه فیزیکی بالایی برخوردار هستند، بدون توجه به تفاوت‌های موجود در قوانین و سیاست‌های زیست‌محیطی، تمایل به صادر کردن کالاهای که با تولید آلاینده‌ها و افزایش آلودگی هوا همراه است را دارند (زوغباس و همکاران^۴، ۲۰۲۴). لن و منرو^۵ (۲۰۱۳) شرکت‌های صنعتی با پیروی از قوانین زیست‌محیطی و ارتقای آموزش نیروی کار خود از آلودگی هوا جلوگیری و به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌کنند (رلند و کلاوزن^۶، ۲۰۱۹، ویو^۷، ۲۰۱۷).

در ادامه این بخش به تأثیر سایر متغیرهای که بر آلودگی هوا تأثیرگذار است، اشاره می‌شود.

-
1. Khan et al
 2. Bao et al.
 3. Eatman et al.
 4. Zogbas et al.
 5. Len & Monroe
 6. Reland & Clause
 7. View

ب) رشد اقتصادی

اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا از طریق منحنی زیست‌محیطی کوزنتس^۱ قابل تفسیر است. بدین معنا که در نهادهای اولیه، رشد اقتصادی باعث افزایش تخریب محیط زیست و آلودگی هوا می‌شود، اما گذشت زمان و پس از رسیدن به سطح معینی از رشد اقتصادی، از تخریب محیط زیست و شدت آلودگی هوا کاسته می‌شود. در سازمان‌های اخیر دو رویکرد متفاوت در خصوص تأثیر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا مطرح شده است. رویکرد اول به ارتباط میان رشد اقتصادی و حفظ استانداردهای محیط زیست می‌پردازد. بدین معنا که رشد اقتصادی با از طریق افزایش ظرفیت‌های تولید و مصرف، باعث افزایش مواد اولیه و انرژی در فرآیند تولید شده که تشدید آلودگی هوا را در پی خواهد داشت. به معنای دیگر افزایش رشد اقتصادی، باعث افزایش آلودگی هوا می‌گردد، در مقابل استخراج از منابع طبیعی، افزایش تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا را در پی خواهد داشت؛ بنابراین در رویکرد اول، افزایش رشد اقتصادی نوعی خطر برای تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا است. در رویکرد دوم: استدلال بر این است که کاهش آلودگی هوا در موازات رشد اقتصادی است و با هدف بهبود استانداردهای محیط زیست باید در جریان رشد اقتصادی حرکت نمود؛ چرا که افزایش درآمد منجر به افزایش تقاضا برای کالاهایی می‌شود که از مواد اولیه کمتری استفاده می‌کنند و افزایش درآمد منجر به افزایش تقاضای کیفیت محیط زیست می‌شود؛ که به معنی پیش‌بینی معیارها و ضوابط محیط زیست است (لیانگ و یانگ^۲، ۲۰۱۹).

ج) درآمدهای نفتی

منابع نفتی و درآمدهای حاصل از آن در کشورهای صادرکننده نفت از جهات مختلف دارای اهمیت است. از یک سو منابع نفتی، منبع اصلی درآمدهای دولت است و بر تولید و صادرات بیشتر آن تأکید دارند. از طرف دیگر افزایش درآمدهای نفتی به دلیل استخراج و تخلیه منابع نفتی منجر به از بین رفتن و کاهش کیفیت زمین‌ها، آلودگی هوا، آلودگی آب‌های دریا و کاهش کیفیت خاک می‌شود. از طرف دیگر در راستای اهداف رشد اقتصادی، انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل تولید در بخش‌های اقتصادی است و مصرف بیشتر انرژی در کشورهای

1. Kuznets
2. Li & Yang

صادرکننده نفت را به همراه دارد؛ بنابراین در کشورهای صادرکننده نفت درآمدهای نفتی منجر به کاهش کیفیت محیط زیست و تشدید آلودگی هوا می‌شود (مداح و عبدی چرلو، ۱۳۹۹).

د) سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی

در کشورهای در حال توسعه، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر آلودگی هوا تأثیرات متفاوتی دارد. براساس استدلال استرن^۱ (۲۰۰۴) سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی از طریق تأثیرگذاری بر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا تأثیرگذار است. استرن (۲۰۰۴) با تأکید بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس استدلال می‌کند کشورهای در حال توسعه که هنوز در نیمه چپ این منحنی قرار دارند، افزایش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی باعث بهبود رشد می‌گردد، اما کیفیت محیط زیست کاهش و تشدید آلودگی هوا را در پی دارد. همچنین با تکیه بر فرضیه پناهگاه آلودگی، افزایش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در کشورهای در حال توسعه منجر به افزایش آلودگی هوا می‌شود.

ه) شهرنشینی

درخصوص تأثیر شهرنشینی بر آلودگی هوا دیدگاه‌های متفاوتی مطرح است. افزایش جمعیت شهرها باعث افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌شود. از سوی دیگر در شهرها مصرف سوخت‌های فسیلی در ارتباط با توسعه شهری عامل اساسی در افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن شناخته شده است. افزایش شیوه زندگی مدرن شهری از طریق افزایش مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی باعث افزایش آلودگی می‌شود (قادری و پرورش، ۱۴۰۲).

۳. پیشینه پژوهش

در این بخش خلاصه‌ای از مطالعات تجربی داخلی و خارجی در ارتباط با موضوع پژوهش ارائه می‌شود.

1. Eastern

جدول ۱. خلاصه مطالعات تجربی داخلی و خارجی

محقق یا محققان	نمونه و دوره	روش برآورد	نتیجه
سالاری و شهرکی (۱۴۰۳)	کشورهای منطقه منا ۲۰۲۰-۲۰۰۰	حداقل مربعات اصلاح شده	سرمایه انسانی باعث کاهش تخریب محیط زیست شده است.
دهقان شبانی و همکاران (۱۴۰۰)	کشورهای آسیایی ۲۰۱۹-۱۹۹۵	پانل آستانه‌ای	سرمایه انسانی در سطح ۲۷/۴۸ تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
عزتی و مظفری (۱۴۰۰)	ایران ۱۳۹۸-۱۳۶۰	GMM سری زمانی	تأثیر منفی و معنادار سرمایه انسانی بر آلودگی هوا
جعفری و همکاران (۱۳۹۹)	ایران، ۱۹۷۱-۲۰۱۴	GMM	سرمایه انسانی از طریق فناوری‌های کارا و کاهنده انرژی بر کاهش انتشار آلودگی هوا مؤثر است.
شریف‌کریمی و حسونند (۱۳۹۹)	استان‌های ایران، ۱۳۸۵-۱۳۹۴	پانل	مخارج آموزشی دولت در ابتدا تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته، سپس باعث افزایش آلودگی هوا شده است.
مظفری و متفکر آزاد (۱۳۹۸)	استان‌های ایران، ۱۳۹۴-۱۳۷۹	فازی	سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
سلمانیپور (۱۳۹۷)	ایران ۱۳۹۷-۱۳۵۳	خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی ^۱	در کوتاه‌مدت سرمایه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
جهانگر و همکاران ^۲ (۲۰۲۳)	کشورهای درحال توسعه ۲۰۱۶-۱۹۹۰	حداقل مربعات دومرحله‌ای	توسعه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
خان و همکاران ^۳ (۲۰۲۱)	کشورهای درحال توسعه، ۲۰۱۶-۱۹۹۰	خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی	در کوتاه‌مدت و بلندمدت سرمایه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
پاو و همکاران ^۴ (۲۰۲۱)	کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی ۲۰۱۸-۱۹۸۰	پانل	سرمایه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
یائو و همکاران ^۵ (۲۰۲۰)	کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی ۲۰۱۴-۱۸۷۰	پانل	افزایش میانگین مراکز تحصیلی در آموزش عالی باعث کاهش آلودگی هوا شده است.

1. Auto Regressive Distributed Lag
2. Jahangr et al.
3. Khan et al.
4. Pawo et al.
5. Yao et al.

محقق یا محققان	نمونه و دوره	روش برآورد	نتیجه
دانش و همکاران ^۱ (۲۰۲۰)	منتخبی از کشورها ۱۹۷۱-۲۰۱۷	پانل	سرمایه انسانی پایداری زیست محیطی را تضمین می کند.
لی و اویانگ ^۲ (۲۰۱۹)	چین ۱۹۸۷-۲۰۱۵	خودرگرسیون با وقفه های توزیعی	سرمایه انسانی در بلندمدت تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.
حسن و همکاران ^۳ (۲۰۱۹)	پاکستان ۱۹۷۱-۲۰۱۴	خودرگرسیون با وقفه های توزیعی	سرمایه انسانی باعث تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا شده است.
احمد و همکاران ^۴ (۲۰۱۸)	چین ۱۹۸۷-۲۰۱۸	خودرگرسیون با وقفه های توزیعی	سرمایه انسانی تأثیر منفی بر آلودگی هوا داشته است.

منبع: گردآوری نویسندگان

۴. روش شناسی

الگوهای پانل فضایی در پژوهش های که کنترل روابط در طول زمان، مکان و بین واحدها به کار گرفته می شوند، قابل کاربرد است. در روش پانل فضایی، اثرات ثابت، تصادفی و سرریز را بین متغیرها بررسی می شود. مهم ترین کاربرد الگوی فضایی عمومی، بررسی اثرات سرریزهای فضایی یا سرایت اثرات متغیر به کار رفته در الگو، به مناطق مجاور منطقه مورد بررسی است. داده های مکانی n منطقه را به صورت رابطه (۱) برقرار است

$$\{x_i, x_j\}_{i=1, j=1}^n \quad (1)$$

I و j به ترتیب منطقه i و j را نشان می دهند؛ و فاصله بین منطقه i و j را با ماتریس وزنی w_{ij} نشان می دهیم؛ که به صورت رابطه (۲) برقرار است.

$$\begin{pmatrix} w_{11} & \dots & w_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & \dots & w_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

زمانی که منطقه i و j مجاور هم هستند مقدار ۱ و زمانی که مناطق i و j غیر مجاور هستند مقدار صفر تعلق می گیرد. به این ترتیب ماتریس مجاورتی که از مقادیر صفر و یک تشکیل

1. Danesh et al.
2. Li & Ouyang
3. Hassan et al.
4. Ahamad et al.

شده است ساخته می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم زمانی که وابستگی مکانی وجود داشته باشد، می‌توان از روش اندازه‌گیری فضایی استفاده کرد. در صورت عدم همبستگی مکانی، از روش اندازه‌گیری عمومی استفاده می‌شود. همبستگی فضایی به این معنی است که مناطق دارای مقادیر متغیرهای مشابه در مناطق دیگر هستند. همبستگی فضایی مکانی را می‌توان به دو نوع همبستگی مثبت و منفی تقسیم کرد. بیشترین روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری همبستگی مکانی استفاده از شاخص موران^۱ است که به صورت رابطه (۳) قابل برآورد است:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

براساس رابطه (۳)

S^2 واریانس نمونه و $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ مجموع ماتریس وزنی است. مقدار اماره موران بین (۱) و (-۱) است. زمانی که بزرگ‌تر از صفر شود به این معنی است که خودهمبستگی مثبت بین مناطق وجود دارد و زمانی که کمتر از صفر باشد به این معنی است که خودهمبستگی منفی بین مناطق وجود دارد و هرگاه، این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده ضعیف بودن همبستگی فضایی بین مناطق است. شاخص موران را می‌توان به دو صورت شاخص کلی (جهانی) و شاخص محلی تجزیه کرد. شاخص جهانی نشان‌دهنده همبستگی کلی است درحالی‌که شاخص محلی شاخص موران هر منطقه را در یک سال خاص تجزیه می‌کند. شاخص موران را می‌توان ضریب همبستگی بین مقدار مشاهده‌شده آن و وقفه فضایی آن دانست (یانگ و تایوا، ۲۰۱۹). الگوی اصلی این پژوهش با استفاده از الگوی یانگ و تایوا ۲۰۱۹ استخراج و به شکل رابطه (۴) تصریح شده است.

$$y_{it} = \rho w'_i y_i + x'_{it} \beta + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

w'_i ، i امین ردیف از ماتریس وزنی w است؛ و $w'_i y_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} y_{it}$ و w_{ij} نشان‌دهنده i و j امین ردیف ماتریس وزنی w هستند و μ_i اثرات منحصر به فرد منطقه i است. اگر μ_i به x'_{it} مربوط باشد، الگوی اثرات ثابت است، در غیر این صورت، الگوی اثرات تصادفی است. در نهایت کلی به صورت زیر، رابطه (۵) برقرار است.

$$\begin{cases} y_{it} = \tau y_{it-1} + \rho w'_i y_t + x'_{it} \beta + d'_i x_t \delta + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} = \lambda m'_i \varepsilon_t + v_{it} \end{cases} \quad (5)$$

1. Moran Index
2. Yang & Taiwa

y_{it-1} وقفه فضایی متغیر وابسته است و $d_t'x_t\delta$ وقفه فضایی متغیر توضیحی است. d_t' امین ردیف از ماتریس وزنی فضایی D است و δ_t تأثیرات زمانی را نشان می‌دهد و m_t' امین ردیف از ماتریس وزنی M است که در ادامه انواع الگوهای فضایی را توضیح می‌دهیم اگر $\lambda = 0$ باشد، الگوی دورین فضایی است (SDM).

اگر $\lambda = 0$ و $\delta = 0$ الگوی خودرگرسیون فضایی است (SAR).

اگر $\delta = 0$ و الگوی $\tau = 0$ الگوی خودهمبسته فضایی است (SAC).

و اگر $\rho = \delta = \tau = 0$ الگوی خطای عمومی فضایی است (SEM).

برای به دست آوردن اثر مستقیم ابتدا باید تأثیر افزایش متغیر توضیحی در منطقه i بر متغیر وابسته در خود منطقه i محاسبه گردد؛ که از تمامی این تأثیرها در یک منطقه میانگین گرفته می‌شود. جهت محاسبه اثر تجمعی غیرمستقیم، ابتدا تأثیر افزایش متغیر توضیحی در منطقه i بر متغیر وابسته خود منطقه محاسبه می‌شود و میانگین این اثرها در کل منطقه بیانگر اثر سرریز ناشی از افزایش متغیر توضیحی در یک منطقه بر متغیر وابسته در تمامی مناطق موجود در منطقه است. اثر کل ناشی از افزایش متغیر توضیحی بر روی تمامی مناطق مورد بررسی، برابر است با مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم که سرریزهای بین منطقه‌ای را نشان می‌دهد. اثرات مستقیم و غیرمستقیم به صورت رابطه (۶) به دست می‌آیند:

$$Y = (I_n - Lw)^{-1}\alpha Ln + ((I_n - Lw)^{-1}(X_{t\beta} + W_{xt\theta}) \alpha Ln + (I_n - Lw)^{-1}\varepsilon \quad (6)$$

از آنجایی که آلودگی هوا پدیده گسترده‌ای است و به عوامل مختلفی وابسته است. از سوی دیگر آلودگی هوا در یک منطقه به دلیل جریان‌های گردش هوا بر مناطق مجاور تأثیرگذار است؛ بنابراین به لحاظ نظری بین آلودگی هوا مناطق مجاور همبستگی مکانی برقرار است (وانگ و تایو آ ۲۰۱۹)؛ بنابراین در این پژوهش برای بررسی تأثیر سرمایه انسانی بر آلودگی در کشورهای عضو اوپک براساس مطالعات نظری و تجربی به خصوص مقاله جهانگر و همکاران (۲۰۲۳) الگوی تجربی این پژوهش به شکل رابطه (۷) تصریح شده است.

$$(co2) = \alpha + \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \ln(hume) + DX_{it} + \varepsilon_{it} = \gamma \sum_{j=1}^N w_{ij} \varepsilon_{jt} + v_{it} \quad (7)$$

بر اساس رابطه (۷)

متغیر وابسته:

$LCO_2 =$ لگاریتم میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن (شاخص آلودگی هوا)

متغیر مستقل:

$Lhum$ = لگاریتم متوسط مراکز تحصیل (شاخص سرمایه انسانی)

X_{it} = متغیرهای کنترلی که شامل:

$LUrb$ = لگاریتم شهرنشینی (نسبت جمعیت شهری به کل جمعیت)

$LGdp_p$ = لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه

$LFdi$ = لگاریتم سرمایه گذاری مستقیم خارجی (برحسب درصدی از تولید ناخالص

داخلی)

$LOil$ = لگاریتم درآمدهای نفتی (برحسب درصدی از تولید ناخالص داخلی)

$\sum_{j=1}^N w_{ij} \varepsilon_{j,t}$ اثرات متقابل میان جملات اخلاص واحدهای مختلف

ρ = ضریب خودهمبستگی فضایی متغیر وابسته است که متغیر وابسته در یک منطقه به

چه میزان توسط متغیر وابسته مناطق همسایه تحت تأثیر قرار می گیرد.

γ = ضریب خودهمبستگی فضایی جملات اخلاص

ε_{it} = برداری از اثرات فضایی ثابت یا تصادفی

$v_{i,t}$ = جمله اخلاص الگوهای رگرسیونی

داده‌های این پژوهش به روش کتابخانه‌ای از وب گاه بانک جهانی جمع آوری شده است.

دوره زمانی پژوهش سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

۵. یافته‌های تجربی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

الف) آزمون مانایی

پیش از برآورد الگو، لازم است مانایی متغیرها مورد آزمون قرار گیرد. چنانچه متغیرها مانا باشند تخمین‌های حاصل مشکل رگرسیون ساختگی را نخواهند داشت، اما چنانچه مانا نباشند، می‌بایست رابطه هم‌انباشتگی بین متغیرها وابسته و متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گیرد. حال برای استفاده از آزمون مانایی مناسب می‌بایست استقلال مقطعی متغیرها مورد بررسی قرار گیرد تا بر مبنای اینکه داده‌ها وابستگی مقطعی دارند یا خیر آزمون مناسب انتخاب شود. در این پژوهش به دلیل اینکه تعداد مقطع‌ها بیشتر از تعداد سال‌های مورد بررسی است، از آزمون وابستگی مقطعی پسران^۱ (۲۰۰۴) استفاده شده است. فرضیه صفر این آزمون

1. Pesaran

استقلال مقطعی متغیرها است. نتایج آزمون وابستگی مقطعی متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آزمون مانایی

متغیر	آماره t	Prob
lHum	۱۲/۲۸	۰/۰۰۰
lgdp	۳/۳۶۳	۰/۰۰۱
lUrb	۶/۴۰۱	۰/۰۰۰
loil	۸/۱۱۹	۰/۰۰۰
lfdi	۱۰/۹۵۸	۰/۰۰۰

منبع: محاسبات پژوهش

نتایج حاصل از مانایی متغیرها نشان می‌دهد که همه متغیرها در سطح مانا هستند. از آنجایی که در این پژوهش از الگوی پنل فضایی جهت برآورد الگوی به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین لازم است آزمون‌های تشخیصی مورد نیاز انجام شود.

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون وابستگی مقطعی

متغیر	آماره t	Prob
lhum	۱۲/۲۸	۰/۰۰۰
lgdp	۳/۳۶۳	۰/۰۰۱
lurb	۶/۴۰۱	۰/۰۰۰
loil	۸/۱۱۹	۰/۰۰۰
Lfdi	۱۰/۹۵۸	۰/۰۰۰

منبع: محاسبات پژوهش

نتایج حاصل از آزمون وابستگی مقاطع نشان می‌دهد که تمامی متغیرها دارای وابستگی مقطعی هستند؛ بنابراین برای بررسی مانایی متغیرهای مورد استفاده نمی‌توان به آزمون‌هایی مثل لوین، لین و چو^۱ (۲۰۰۲)، برایتونگ^۲ (۲۰۰۰)، پسران و شین^۳ (IPS) (۲۰۰۳)، ADF- Fisher و PP-Fisher که وابستگی مقطعی متغیرها را مورد بررسی قرار نمی‌دهند استفاده کرد؛ زیرا با وجود مسئله وابستگی مقطعی متغیرها، احتمال تأیید فرضیه ریشه واحد افزایش

1. Loin, Lin & Cho
2. Baraintong
3. Pesaran & Shin

خواهد یافت. در این شرایط می‌بایست از آزمون‌هایی مثل آزمون ایم، پسران و شین^۱ با لحاظ وابستگی مقطعی و هادری و راثو^۲ (۲۰۰۸) استفاده کرد که وابستگی مقطعی را در نظر می‌گیرند. به همین منظور، نتایج آزمون‌های مذکور در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمون ریشه واحد

H-R		CIPS			آماره CIPS	متغیر
Prob	آماره HR	مقادیر بحرانی				
		%۱۰	%۵	%۱		
۱/۰۰۰	۱۱/۱۹۵	-۲/۱۴	-۲/۲۵	-۲/۴۵	-۳/۵۳۸	Hum
۱/۰۰۰	۱/۸۴۸	-۲/۱۴	-۲/۲۵	-۲/۴۵	-۲/۴۹۸	Gdp
۱/۰۰۰	۶/۰۴۱	-۲/۱۴	-۲/۲۵	-۲/۴۵	-۲/۵۳۵	Oil
۱/۰۰۰	۲/۹۲۵	-۲/۱۴	-۲/۲۵	-۲/۴۵	-۲/۷۷۱	Urb
۱/۰۰۰	۳/۵۳۷	-۲/۱۴	-۲/۲۵	-۲/۴۵	-۲/۶۵۹	Fdi

منبع: محاسبات پژوهش

نتایج حاصل از مانایی داده‌ها نشان می‌دهد که همه متغیرها در سطح مانا هستند. در واقع براساس آزمون ایم، پسران و شین با لحاظ وابستگی مقطعی، مانا هستند. همچنین نتایج آزمون هادری و راثو در جدول (۴) ارائه شده است. مزیت این آزمون در این است که علاوه بر در نظر گرفتن وابستگی مقطعی، شکست ساختاری را هم در نظر می‌گیرد. فرضیه صفر در این آزمون ایستایی متغیرهای مورد آزمون است. طبق نتایج جدول ۴، تمامی متغیرهای مورد بررسی در سطح مانا هستند.

ب) آزمون تشخیص همبستگی فضایی

برای بررسی و شناسایی همبستگی فضایی از آزمون‌های موران و والد^۳ استفاده شده است. در واقع قبل از تخمین الگو لازم است وابستگی فضایی و وجود خودهمبستگی بین جملات اخلاص مورد بررسی قرار گیرد.

1. Im, Pesaran & Shin
2. Hardi & Rao
3. Moran & Wald

جدول ۵. نتایج آزمون‌های موران و والد

Moran test	value-p	Wald test	. p-value
(۰/۰۰۰۲)	۱۷/۷۲	(۰/۰۰۰۱)	۱۷۷/۷۲

منبع: محاسبات پژوهش

ج) آزمون ضریب لاگرانژ

آزمون Lm error عدم همبستگی فضایی در اجزای اخلاص و فرضیه صفر آزمون Lm lag عدم همبستگی فضایی در مشاهدات متغیرهای وابسته است. علاوه بر انجام این دو آزمون، نیاز به اجرای آزمون‌های Lm error-robust و Lm lag robust است تا نتایج با کارایی بالاتری مورد بررسی قرار گیرند. در صورت رد فرضیه صفر مبنی بر عدم همبستگی فضایی در اجزای اخلاص از الگوی خطای فضایی و رد فرضیه صفر مبنی بر عدم همبستگی فضایی در متغیرهای وابسته از الگوی رگرسیون - خودرگرسیون فضایی استفاده می‌شود؛ در شرایطی که هر دو فرضیه رد شوند، می‌توان از الگوی خودرگرسیون فضایی استفاده نمود.

جدول ۶. نتایج آزمون LM

آزمون	مقدار	اماره احتمال
Lm error-panle	۱۳۷/۳۹	۰/۰۰۶۵
Lm error- robust	۲۱۲/۱۲	۰/۰۰۰
Lm lag panle	۳۱۳/۱۲۳	۰/۰۰۰۳
Lm lag robust	۳۱۲/۱۲	۰/۰۰۰۰
Lm- sac	۱۲۲/۱۲	۰/۰۰۰

منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به نتایج جدول (۶) و رد هر دو فرضیه صفر، از الگوی خودرگرسیون فضایی (sac) در این پژوهش استفاده می‌شود.

د) آزمون هاسمن

جدول ۷. نتایج آزمون هاسمن

(P-value\LR)	LR ² (p-value)	Hausman(p-value)
۲۶۵/۶۵	۱۳۲/۷۵۴	۳۲/۷۶۱
(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۱)

منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به نتایج جدول ۷ الگوی داده‌های تابلویی با اثرات ثابت انتخاب می‌شود.

۶. برآورد الگوی خودهمبسته فضایی

جدول ۸. نتایج برآورد الگوی خودهمبسته فضایی

اثرات غیرمستقیم	اثرات مستقیم	اثرات کل	متغیرهای توضیحی
۰/۱۹۷ (۲/۷۶) [۰/۰۲۵]	۰/۱۲۱ (۲/۲۶) [۰/۰۲۳]	۰/۱۴۰ (۲/۲۵) [۰/۰۲۴]	سرمایه انسانی (hum)
۰/۰۱۴۲ (۲/۸۹) ۰/۰۳۳	۰/۰۸۷۴ (۲/۷۸) ۰/۰۲۱	۰/۱۰۱۶ (۲/۷۰)	لگاریتم تولید ناخالص داخلی ^۱ سرانه (Gdp)
۲/۷۲۶۹ (۳/۴۹) ۰/۰۱۱	۴/۲۸۷ (۳/۸۷) ۰/۰۱۳	۴/۹۸۵ (۳/۸۷) ۰/۰۱۲	شهرنشینی (urb)
-۰/۰۱۴۳ (-۴/۶) ۰/۰۱	-۰/۰۸۷۷ (-۴/۸۷) ۰/۰۴	-۰/۱۰۱۹ (-۴/۹۸) ۰/۰۰۵	لگاریتم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (Fdi)
۰/۰۱۳۴ (۴/۹۸) ۰/۰۰	۰/۰۸۳۲ (۵/۴۳) ۰/۰۰	۰/۰۹۷۵ (۵/۲۱) ۰/۰۰	لگاریتم درآمدهای نفتی (oil)
	۳/۵۴	۰/۰۰۴۷	f-test
		۰/۷۶	R ²
		۰/۰۰۷۰ ۳/۹۹ ۰/۰۰	ضریب فضایی متغیر وابسته
		۰/۰۲۶ ۳/۸۷ ۰/۰۰	ضریب فضایی جمله اخلاص

منبع: محاسبات پژوهش

اعداد داخل پرانتز آماره احتمال و اعداد داخل [] آماره t هستند.

براساس نتایج جدول ۶، سرمایه انسانی بر آلودگی هوا تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد. به این معنا که با افزایش یک درصدی سرمایه انسانی آلودگی هوا به میزان ۰/۱۴ درصد با ثابت

۱. گفتنی است، برای جلوگیری از هم‌خطی از تولید ناخالص داخلی بدون احتساب درآمدهای نفتی استفاده شده است و برای بررسی تأثیر درآمدهای نفتی جداگانه وارد الگو شده است.

بودن سایر شرایط افزایش می‌یابد. اثر مستقیم سرمایه انسانی مثبت است و اثر غیرمستقیم آن نیز مثبت و معنی‌دار است. به این معنا که سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشور تأثیر مثبت دارد و بر آلودگی هوا سایر کشورها نیز تأثیر مثبت و معنادار است. ضریب وقفه فضایی متغیر وابسته بیانگر آن است که آلودگی هوا هر کشور می‌تواند تحت تأثیر آلودگی هوا مناطق مجاور (کشورهای دیگر) قرار گیرد. با توجه به نتایج برآورد الگوی خودهمبسته فضایی هر متغیر توضیحی، یک اثر مستقیم، یک اثر غیرمستقیم و یک اثر کل بر متغیر وابسته (آلودگی هوا) دارد. اثر مستقیم هر متغیر بر آلودگی هوا حاکی از آن است که اگر آن متغیر در کشور i تغییر کند، به‌طور متوسط چه تأثیری بر آلودگی هوا در همان کشور خواهد داشت. اثر غیرمستقیم (سرریز) هر متغیر بر آلودگی هوا نشان می‌دهد که اگر آن متغیر در کشور i تغییر کند، به‌طور متوسط چه تأثیری بر آلودگی هوا سایر کشورها خواهد داشت که به معنای سرریز فضایی آن متغیر بر آلودگی هوا سایر کشورها است. اثر کل هر متغیر بر آلودگی هوا نشان می‌دهد که اگر آن متغیر در کشور i تغییر کند، به‌طور متوسط چه تأثیری بر آلودگی هوا همه کشورها (شامل کشور i) خواهد داشت.

ضریب فضایی متغیر وابسته (λ)، مثبت و معنی‌دار بوده است؛ بنابراین تأثیر مجاورت کشورها بر آلودگی هوا مثبت است. وجود ضریب مثبت و معنی‌دار متغیر وابستگی فضایی، نشان از تأثیر مثبت آلودگی هوا کشورهای مجاور بر یکدیگر است؛ بنابراین فاصله کشور و نزدیک یا دور بودن کشورها از یکدیگر بر آلودگی هوا تأثیر دارد.

ضریب فضایی جمله اخلاص مثبت و معنی‌دار است. وجود اثرات فضایی در الگوی خطای فضایی مبین وجود وابستگی فضایی در اجزا اخلاص الگو است، به این معنی که شوک وارد بر یک مکان به تمامی مکان‌های دیگر نیز سرایت می‌کند.

تأثیر لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه بر آلودگی هوا مثبت و معنی‌دار است. به این معنا که با افزایش یک درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه آلودگی هوا به میزان ۲/۲۵ درصد با ثابت بودن سایر شرایط افزایش می‌یابد. منحنی زیست‌محیطی کوزنتس رابطه U معکوس بین تولید ناخالص داخلی سرانه و آلودگی را مطرح می‌کند. طبق فرضیه کوزنتس، در مراحل اولیه رشد اقتصادی که همراه با گسترش فعالیت‌های اقتصادی است، آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد و تا نقطه حداکثر ادامه دارد؛ پس از آن با بهبود کارایی فعالیت‌های اقتصادی، استفاده از فناوری استاندارد و وضع قوانین و مقررات بازدارنده،

آلودگی کاهش می‌یابد^۱. با توجه به نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر می‌توان به این نتیجه رسید که کشورهای عضو اوپک در مرحله اول رشد اقتصادی هستند و رشد اقتصادی تأثیر مثبت بر آلودگی هوا داشته است و این کشورها نتوانسته‌اند درخصوص قوانین و مقررات بازدارنده و استفاده از فناوری استاندارد هنوز ضعیف هستند.

شهرنشینی بر آلودگی هوا تأثیر مثبت و معنادار دارد. به طوری که با افزایش یک درصدی شهرنشینی آلودگی هوا ۴/۹۸۵ درصد افزایش یافته است. با افزایش شهرنشینی استفاده از زیرساخت‌ها، حمل‌ونقل و انرژی افزایش می‌یابد، همچنین انتقال از بخش کشاورزی به صنعت نیز باعث افزایش آلودگی هوا می‌شود.

سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر آلودگی هوا در کشورهای عضو اوپک دارد. به این معنا که با افزایش یک درصدی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی آلودگی هوا به میزان ۴/۹۸ درصد افزایش می‌یابد.

تأثیر درآمدهای نفتی بر آلودگی هوا مثبت و معنی‌دار است. به طوری که با افزایش یک درصدی درآمدهای نفتی، آلودگی هوا ۵/۲۱ درصد افزایش یافته است. افزایش درآمدهای نفتی از طریق تولید و مصرف منابع نفتی منجر به اتلاف منابع، تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا می‌شود.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از معضلاتی که در همه جوامع با آن روبه‌رو شده‌اند، پدیده آلودگی هوا و تخریب محیط زیست است که اثرات زیان‌آوری بر فعالیت‌های مختلف جامعه ایجاد می‌کند. از آنجایی که سرمایه‌ انسانی مهم‌ترین نقش فرآیند تولید را دارد، لذا رفتار انسان‌ها یکی از تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت محیط زیست و افزایش آلودگی هوا است. در کشورهای که اقتصاد آن‌ها وابسته به منابع نفت و گاز است، نقش سرمایه‌ انسانی در آلودگی هوا مؤثر است؛ چرا که نیروی انسانی در عملیات‌های نفتی مثل کشف و استخراج معادن گازی، حفاری چاه‌های نفت، پالایش نفت خام و شعله‌ور کردن گازهای طبیعی، انتقال و ذخیره‌سازی صنایع نفت و گاز منجر به تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا می‌گردد

۱. گفتنی است، تخمین‌ها با توان دوم لگاریتم تولید ناخالص داخلی نیز انجام شده است؛ ولی نتایج به دست آمده، فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس را تأیید نکردند؛ بنابراین نتایج تخمین‌های بدون توان دوم وارد جدول شد.

و این مسئله تهدیدی جدی برای کشورهای وابسته به درآمدهای نفتی و البته پیامدهای زیست محیطی آن برای سایر کشورها است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی نقش سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۰۰ با بهره گیری از الگوی اقتصادسنجی پانل فضایی است.

براساس نتایج به دست آمده سرمایه انسانی بر آلودگی هوا تأثیر مثبت و معنی دار دارد. به این معنا که با افزایش یک درصدی سرمایه انسانی آلودگی هوا به میزان ۰/۱۴ درصد با ثابت بودن سایر شرایط افزایش می یابد. اثر مستقیم سرمایه انسانی مثبت است و اثر غیرمستقیم آن نیز مثبت و معنی دار است. به این معنا که سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشور تأثیر مثبت دارد و بر آلودگی هوا سایر کشورها نیز تأثیر مثبت داشته و مطابق با نتایج حسن و همکاران (۲۰۱۹) است. در کشورهای اوپک به دلیل وابستگی دولت ها به درآمدهای نفتی، باعث تقویت دولت رانتیر، افزایش فساد اداری شده به طوری که افزایش در سرمایه انسانی به جای حمایت از محیط زیست اغلب موجب تقویت صنایع نفت محور و در نتیجه افزایش مصرف انرژی های فسیلی می شود که به آلودگی هوا دامن می زند.

بر اساس نظریه ریزینسکی گروسمن انباشت سرمایه انسانی، باعث رشد صنایع پاک و در نتیجه، کاهش آلودگی هوا می شود. در حالی که رشد سرمایه های فیزیکی، صنایع آلاینده را افزایش می دهد و آلودگی هوا و تخریب محیط زیست را تشدید می کند. کشورهای در حال توسعه در مراحل اولیه رشد اقتصادی از طریق تجمع سرمایه فیزیکی رشد می کنند و در مراحل بعدی توسعه، به وسیله نیروی انسانی کارآمد به رشد خود ادامه می دهند؛ بنابراین با تجمع سرمایه در مراحل اولیه رشد اقتصادی، آلودگی افزایش می یابد و با رشد درآمد سرانه و حرکت اقتصاد از بخش صنعتی به خدماتی و استفاده از نیروی انسانی به جای سرمایه آلودگی هوا کاهش می یابد. با توجه به این تئوری می توان این گونه استدلال کرد که کشورهای عضو اوپک نیز در مرحله اولیه رشد اقتصادی قرار دارند و نتوانسته اند از صنایع پاک استفاده کنند و به همین علت نیروی انسانی کارآمد و مهارت دیده تأثیر منفی بر آلودگی هوا در این کشورها نداشته است. از طرف دیگر در کشورهای توسعه یافته سرمایه گذاری بر کسب تخصص و مهارت است و آموزش های فنی و حرفه ای را در تحصیلات مقدماتی و دانشگاهی خود جای داده اند که یکی از فرآیندهای مؤثر در تبلور مهارت و تخصص نیروی کار است. نیروی کار دانش آموخته و مهارت دیده می تواند با توجه به ملاحظات محیط زیست، به بهبود کیفیت کالا کمک کند. آن دسته از نیروی کار که از سطح و آموزش بیشتری برخوردارند، قادرند در

چرخه تولید، پویایی و تحول فناورانه ایجاد کرده و سبب افزایش ظرفیت تولید با رعایت مسائل زیست محیطی گردند. خلأ آموزش مهارت در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه باعث شده که سرمایه انسانی آموزش دیده متکی بر دانش؛ اما بدون مهارت نتواند بر کاهش آلودگی هوا مؤثر باشد.

تأثیر لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه بر آلودگی هوا مثبت و معنی دار است. به این معنا که با افزایش یک درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه آلودگی هوا به میزان ۲/۲۵ درصد با ثابت بودن سایر شرایط افزایش می یابد؛ که با نتایج نونژاد و روزی طلب (۱۳۹۷) مطابقت دارد. منحنی زیست محیطی کوزنتس رابطه آلودگی و درآمد سرانه کشورها را در مراحل مختلف رشد و توسعه اقتصادی را نشان می دهد. مطابق با این نظریه هرچه در مراحل نخست ارتباط مثبت بین انتشار آلودگی و رشد وجود دارد، در سطح درآمد سرانه، سطح آلودگی شروع به کاهش می کند، زیرا کشور قادر به سرمایه گذاری در فناوری های کارآمدتر و روش های تولید جدید می شود. این منحنی با مراحل توسعه در ارتباط است. در مرحله کشاورزی سطح درآمد سرانه و آلودگی کشور پایین است، هنگامی که به مراحل صنعتی شدن نزدیک می شوند، آلودگی هوا افزایش می یابد. در سطوح پایین توسعه، کیفیت و شدت تخریب محیط زیست به آثار مداوم بر منابع طبیعی و به مقادیر محدود ضایعات تجدیدپذیر محدود می شود. زمانی که استخراج منابع طبیعی و فعالیت های کشاورزی افزایش می یابد و جهش صنعتی اتفاق می افتد، تهی سازی منابع طبیعی و تولید پسماندهای صنعتی افزایش می یابد. در سطوح بالاتر توسعه تغییرات ساختاری به سمت صنایع و خدمات وابسته به اطلاعات فناوری های برتر و تقاضای افزایشی برای کیفیت محیط زیست منجر به کاهش یکنواخت در تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی می شود. در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک منحنی زیست محیطی کوزنتس به شکل Ω معکوس نیست. این کشورها در قسمت صعودی منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارند، این کشورها به دلیل اینکه به درجه بالای رشد اقتصادی دست یافتند، مسیر آلودگی هوا به شکل صعودی است و به نقطه بازگشت منحنی دست نیافته اند (انوری و همکاران، ۱۳۹۶).

شهرنشینی بر آلودگی هوا تأثیر مثبت و معنادار دارد. به طوری که با افزایش یک درصدی شهرنشینی آلودگی هوا ۴/۹۸۵ درصد افزایش یافته است؛ که با نتایج زراءنژاد و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد. شهرنشینی از طریق افزایش مصرف انرژی و مصرف سوخت های فسیلی انتشار گازهای گلخانه ای بخصوص انتشار گاز دی اکسید کربن باعث تخریب و

کاهش کیفیت محیط زیست و افزایش آلودگی هوا می‌گردد. در جوامع شهری مصرف کالاهایی با انرژی بالا بیشتر است، بنابراین شیوه زندگی مدرن شهری منجر به افزایش مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی منجر به افزایش آلودگی می‌شود. همچنین شهرنشینی به‌عنوان یک عامل مهم برای بهبود کیفیت محیط زیست به دلیل بهره‌وری بالا در مصرف منابع می‌شود؛ بنابراین شهرنشینی تخریب محیط زیست و آلودگی هوا می‌شود. در کشورهای در حال توسعه دانش و آگاهی مردم از طریق آموزش‌های مرتبط با سبک زندگی صحیح در شهرها، استفاده از حمل‌ونقل عمومی، جلوگیری از قطع درختان، رها نکردن زباله‌ها در سطح معابر و طبیعت نامناسب و به‌اندازه کافی نبوده و در نتیجه زندگی شهرنشینی باعث افزایش آلودگی هوا می‌گردد.

تأثیر درآمدهای نفتی بر آلودگی هوا مثبت و معنی‌دار است. به‌طوری‌که با افزایش یک‌درصدی درآمدهای نفتی، آلودگی هوا ۵/۲۱ درصد افزایش یافته است؛ که با نتایج مداح و عبدی چرلو (۱۳۹۹) مطابقت دارد. در کشورهای نفت‌خیز در مراحل مختلف اکتشاف، استخراج و فرآوری نفت و فعالیت پالایشگاه‌ها به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای بر کیفیت خاک، هوا، آب‌های سطحی و زیرزمینی، موجودات، گیاهان و درختان و حتی زندگی انسان تأثیر منفی داشته و باعث افزایش آلودگی هوا می‌گردد. در کشورهای صادرکننده نفت، درآمدهای نفتی منبع درآمدهای ارزی در این کشورها است و برای تولید و صادرات بیشتر دارای اهمیت است. از سوی دیگر انرژی به‌عنوان یک نهاد مهم برای رشد اقتصادی است و در کشورهای عضو اوپک، مصرف انرژی بیشتر را به همراه دارد؛ بنابراین در کشورهای نفت‌خیز درآمدهای نفتی از یک‌سو منبعی برای تأمین درآمد دولت‌ها و از سوی دیگر عاملی در افزایش آلودگی هوا می‌شود.

سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر آلودگی هوا در کشورهای عضو اوپک دارد. به این معنا که با افزایش یک‌درصدی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی آلودگی هوا به میزان ۳/۸۷ درصد افزایش می‌یابد؛ که با نتایج میرزایی، حری و صادقی (۱۳۹۸) مطابقت دارد. در کشورهای در حال توسعه سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به علت اثرگذاری بر رشد اقتصادی و با تأکید بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، منجر به افزایش آلودگی هوا می‌شود. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر اساس فرضیه پناهگاه آلودگی، از طریق ورود سرمایه‌های خارجی به کشورهای در حال توسعه منجر به افزایش آلودگی هوا می‌شود.

اگرچه سرمایه انسانی می تواند به رشد اقتصادی منجر شود، اما در کشورهای اوپک به دلیل وابستگی دولت های به درآمدهای نفتی، افزایش در سرمایه انسانی اغلب موجب تقویت صنایع نفت محور و در نتیجه افزایش مصرف انرژی های فسیلی می شود که به آلودگی هوا دامن می زند؛ بنابراین، به طور کلی جهت اصلاح مسیر استفاده از سرمایه انسانی جهت کاهش آلودگی هوا می توان به توصیه های سیاستی زیر اشاره کرد:

۱) تخصیص بخش بزرگی از درآمدهای نفتی به تقویت سرمایه انسانی (۲) توسعه انرژی های تجدیدپذیر (۳) تنوع بخشی به اقتصاد (۴) الزام به سیاست های زیست محیطی (۵) تقویت سیاست های آموزشی و سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه (۶) تقویت ارتباط نظام آموزشی با نیازهای محیط زیستی کشور (۷) ایجاد الزامات قانونی برای استفاده از نیروهای متخصص در مدیریت انتشار آلاینده ها (۸) سرمایه گذاری در آموزش مهارت های سبز

۸. تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می دارند، هیچ گونه تعارض منافی وجود ندارد.

۹. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران که با ارائه نظرات علمی باعث بهبود کیفیت علمی مقاله شده اند، تشکر و قدردانی خود را اعلام می دارند.

ORCID

Maryam Darbidi

 <https://orcid.org/0009-0006-9538-487X>

Mahdi Kamali

 <https://orcid.org/0009-0002-2421-4428>

Maryam Khodaverdi Samani

 <https://orcid.org/0000-0003-1175-5073>

Reza Shamsollahi

 <https://orcid.org/0009-0006-5796-0880>

۱۰. منابع

انوری، ابراهیم؛ باقری، سمانه و صلاح منش، احمد. (۱۳۹۶). آزمون منحنی زیست محیطی کوزنتس در ایران و کشورهای عضو اوپک: کاربردی از گشتاورهای تعمیم یافته، محیط شناسی، (۲) ۴۲، ۳۱۷-۳۲۷.

- بهرامی نیا، ابراهیم؛ نورانی آزاد، سمانه؛ شمس‌اللهی، رضا و ایزدی، سیدحسین. (۱۴۰۲). تأثیر آستانه‌ای توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسید کربن: با تأکید بر نقش حکمرانی خوب، پژوهشنامه اقتصاد انرژی، (۱۳(۴۹)، ۴۲-۱۱.
- جعفری، سعید؛ اسفندیاری، مرضیه و پهلوانی، مصیب. (۱۳۹۹). نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، مطالعات اقتصاد کاربردی ایران، دوره نهم، شماره ۳۴، ۱۰۷-۷۷.
- دهقان شبانی، زهرا؛ جمشیدی، ندا و زهتاب، محمد. (۱۴۰۰). تأثیر سطوح مختلف توسعه بر اثرگذاری سرمایه انسانی در انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای منتخب آسیایی، اقتصاد کشاورزی، (۱۵(۴)، ۲۱-۱.
- زراء نژاد، منصور؛ عبدالهیان، حمیدرضا؛ امیرنیا، آرام و سعیدیان، سهیلا. (۱۴۰۱). تأثیر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای منتخب عضو اوپک: با رویکرد: اقتصادسنجی فضایی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی، (۱۱(۴۳)، ۸۲-۶۱.
- سالاری، زینب و شکری، مهدی. (۱۴۰۳). اثرات متقابل توسعه مالی با سرمایه انسانی و کیفیت نهادی بر تخریب محیط زیست، تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران، (۱(۱۰)، ۲۲۶-۲۰۷.
- سلمانپور، علی. (۱۳۹۷). اثر رشد جمعیت، سرمایه انسانی و فرآورده‌ای نفتی بر آلودگی محیط زیست در ایران، علوم و فناوری محیط زیست، (۴(۲۰)، ۲۵۵-۲۳۹.
- شریف کریمی، محمد و حسنونند، علی. (۱۳۹۹). اثر آموزش بر انتشار Co2 در ایران، محیط زیست طبیعی، (۱۸(۷۳)، ۷۸۹-۷۷۵.
- عبداللهی آرانی، مصعب؛ منصور، نسرین؛ جانی، سیاوش؛ آقایی، نوشین. (۱۴۰۱). انتشار دی‌اکسید کربن و رشد اقتصادی، تحلیلی فضایی در میان استان‌های ایران، پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، (۱۳(۴۹)، ۵۴-۳۳.
- عزتی، مرتضی و مظفری، زانا. (۱۴۰۰). اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در ایران، رهیافت GMM در سری‌های زمانی و منطق فازی، پژوهش‌های اقتصادی، (۱(۲۲)، ۱۴۶-۱۱۵.
- مداح، مجید و عبدی چرلو، منصور. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر نفت بر آلودگی محیط زیست در کشورهای عضو اوپک، سیاست‌های راهبردی و کلان، (۱(۲۵)، ۸-۱.
- مظفری، زانا و متفکر آزاد، محمدعلی. (۱۳۹۸). تأثیر سرمایه انسانی و اجتماعی بر آلودگی هوا در استان‌های ایران، نظریه‌های کاربردی اقتصاد، (۱(۶)، ۱۲۸-۹۷.
- میرزایی، مرجانه؛ حری، حمیدرضا و صادقی، زین‌العابدین. (۱۳۹۸). تأثیر سرمایه گذاری مستقیم خارجی بر آلودگی هوا در کشورهای عضو منا، اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، (۳(۴)، ۲۰-۱.

نونزاد، مسعود و روزی طلب، آناهیتا. (۱۳۹۷). اثر رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر آلودگی هوا: مطالعه موردی ایران، اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، (۲) ۱۲۴۳-۹۹.

References

- Abdollahi Arani, M., Mansouri, N., jani, S. and Aghyee, N. (2023). Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: A Spatial Analysis Among Iranian Provinces. *Economic Growth and Development Research*, 13(49), 54-33. [in persion]. doi: 10.30473/egdr.2022.60860.6310.
- Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological China. *ResourcesPolicy*, 67,10667,https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101677.
- Amak, K., Saswini, A. A. U., & Mustofa, M. (2020). Seeing the air quality of carbon monoxide in Makassar city: the CSR program of PT Pertamina IT. *Al-Sihah: The Public Health Science Journal*, 1-12.
- Anvari, E. and Bagheri, S. (2017). Environmental Kuznets Curve Test in The OPEC:. *Journal of Environmental Studies*, 43(2), 317-327..[in persion]. doi: 10.22059/jes.2017.63081
- Bahrami Nia, E., Norani Azad, S., Izadi, S. H. and Shamsolahi, R. (2024). Threshold Effect of Financial Development on Carbon Dioxide Emission: Emphasis on the Role of Good Governance. *Iranian Energy Economics*, 13(49), 11-42. [in persion]. doi: 10.22054/jiee.2024.75003.2026.
- Bano, S., Zhao, Y., Ahmad, A., Wang, S., & Liu, Y. (2018). Identifying the impacts of human capital on carbon emissions in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1082-1092. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.008.
- Chen, F., Wang, M., & Pu, Z. (2022). The impact of technological innovation on air pollution: firm-level evidence from China. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121521.
- Danesh,Ulucak, R., & Khan, S. U. D. (2020). Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101996. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996.
- Dehghan shabani, Z., Jamshidi, N., & zehtab, M. (2021). The effect of Development Levels on the Impact of Human Capital on CO2 Emissions in Selected Asian Countries. *Agricultural Economics*, 15(4), 1-21. doi: 10.22034/iaes.2021.538437.1861.[in persion]
- Destek, M. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*, 650, 2483-2489.

- Elhorst, J. P. (2014). Spatial panel data models. In *Spatial econometrics* (pp. 37-93). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ezzati M., & Mozaffari, Z., (2022). The Impact of Human Capital on Air Pollution in Iran: GMM and Fuzzy Logic Approach. *QJER* 22 (1), 5 <http://ecor.modares.ac.ir/article-18-52587>. [in persian]
- Fisher, S., Bellinger, D. C., Cropper, M. L., Kumar, P., Binagwaho, A., Koudoukpo, J. B., ... & Landrigan, P. J. (2021). Air pollution and development in Africa: impacts on health, the economy, and human capital. *The Lancet Planetary Health*, 5(10), 16-29.
- Ghaderi, S. and Parvesh, H. (2023). The Governance of Renewable, Non-Renewable Energy Development, Urbanization and Economic Growth on Carbon Dioxide Emissions in Iran. *Governance and Development*, 3(3), 79-94. doi: 10.22111/jipaa.2024.392792.1114.[in persian]
- Grossman, M. (2000). The human capital model. *Handbook of health economics*, 1: 347-408.
- Hassan, S. T., Xia, E., Khan, N. H., & Shah, S. M. A. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: evidence from Pakistan. *Environmental science and pollution research*, 26, 2929-2938. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105060>.
- Jafari, S., Esfandiari, M. and Pahlavani, M. (2020). The Role of Human Capital in Economic Growth, Energy Consumption and Environmental Pollution along with Sustainable Development in Iran. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 9(34), 77-107. doi: 10.22084/aes.2020.20099. 2940. [in persian]
- Jafari, S., Esfandiari, M., & Pahlavani, M. (2020). The Role of Human Capital in Economic Growth, Energy Consumption and Environmental Pollution along with Sustainable Development in Iran. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 9(34), 77-107. doi: 10.22084/aes.2020.20099. 2940. [in persian]
- Jahanger, A., Yang, B., Huang, W. C., Murshed, M., Usman, M., & Radulescu, M. (2023). Dynamic linkages between globalization, human capital, and carbon dioxide emissions: empirical evidence from developing economies. *Environment, development and sustainability*, 25(9), 9307-9335. doi: 10.1007/s10668
- karimi, M. S., & hasanvand, A. (2021). Investigating the effect of training on carbon dioxide emissions in Iran by examining the environmental Kuznets curve. *Journal of Natural Environment*, 73(4), 775-789. doi: 10.22059/jne.2021.304780.2016. [in persian]
- Khan, Z., Ali, S., Dong, K., & Li, R. Y. M. (2021). How does fiscal decentralization affect CO2 emissions? The roles of institutions and human capital. *Energy Economics*, 94, 105060.

- Lan, J., & Munro, A. (2013). Environmental compliance and human capital: Evidence from Chinese industrial firms. *Resource and Energy Economics*, 35(4), 534-557.
- Langnel, Z., Amegavi, G.B., Donkor, P., & Mensah, J. K. (2021). Income inequality, human capital, natural resource abundance and ecological footprint in ECOWAS member countries. *Resources Policy*, 74(5), 102255. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102255>.
- Liu, J., Pan, X., Qu, Y., Wang, C., & Wu, W. (2022). Air pollution, human capital and corporate social responsibility performance: evidence from China. *Applied Economics*, 54(4), 467-483.
- Maddah, M., & Abdicherlo, M. (2020). Evaluating the Effect of Oil on Environmental Pollution in OPEC Countries Based on the General Policies of Reforming Production. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 8(1), 24-37. doi: 10.30507/jmsp.2020.102270 [in persian]
- Mirzaei, M., Horry, H. R., & Sadeghi, Z. (2019). Investigating the Effect of Foreign Direct Investment on Environmental Pollution in MENA Countries. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 3(4), 113-130. doi: 10.22054/eenr.2019.12472
- Mozaffari, Z., & Motafakker azad, M. A. (2019). The Effect of Social Capital and Human Capital on Air Pollution in Iranian Provinces. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 6(1), 97-128. [in persian]
- Nonezhad, M., & Rozitalab, A., (2018). The Effects of Economic Growth and Energy Consumption on Environmental Pollution: A Case Study of Iran. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 2(3), 99-124. doi: 10.22054/eenr.2017.9069. [in persian]
- Oprea, M., Dunea, D., & Liu, H. Y. (2017). Development of a knowledge based system for analyzing particulate matter air pollution effects on human health. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 16(3).
- Rosario Filho, N. A., Urrutia-Pereira, M., d'Amato, G., Cecchi, L., Ansotegui, I. J., Galan, C., ... & Peden, D. B. (2021). Air pollution and indoor settings. *World Allergy Organization Journal*, 14(1), 100499.
- Salari, Z. and Shahraki, M. (2024). The Interaction Effects of Financial Development with Human Capital and Institutional Quality on Environmental Degradation: Panel Cointegration Approach. *Iranian Economic Development Analyses*, 10(1), 207-226. doi: 10.22051/ieda.2024.45430.1381. [in persian]
- Salmanpour, A., (2018). The effect of population growth, human capital and petroleum products on environmental pollution in Iran, *Environmental Science and Technology*, 20(4), 239-255.

- Sechi, G., Borri, D., De Lucia, C., & Celmins, V. (2018). Environmental learning in regions: a social capital based approach. The case of Latvia. *Environmental Education Research*, 24(3), 343-364.
- Song, J., Chen, Y., & Luan, F. (2023). Air pollution, water pollution, and robots: Is technology the panacea. *Journal of Environmental Management*, 330, 117170.
- Sun, Y., Li, Y., Yu, T., Zhang, X., Liu, L., & Zhang, P. (2021). Resource extraction, environmental pollution and economic development: Evidence from prefecture-level cities in China. *Resources Policy*, 74(5), 102330.
- Wang, J., & Wu, R., (2021). The drivers of declining CO2 emissions trends in developed nations using an extended STIRPAT model: A historical and prospective analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111328.
- Wang, P., Lin, C. K., Wang, Y., Liu, D., Song, D., & Wu, T. (2021). Location-specific co-benefits of carbon emissions reduction from coal-fired power plants in China. *Nature communications*, 12(1), 6948.
- Wen, J., Mughal, N., Zhao, J., Shabbir, M. S., Niedbała, G., Jain, V., & Anwar, A. (2021). Does globalization matter for environmental degradation? Nexus among energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission. *Energy policy*, 153, 112230.
- Wu, C. (2017). Human capital, life expectancy, and the environment. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 26(8): 885-906.
- Yao, Y., Ivanovski, K., Inekwe, J., & Smyth, R. (2020). Human capital and CO2 emissions in the long run. *Energy economics*, 91, 104907.
- Zarranejad, M., Abdollahian, H., Amirnia, A. and Saidian, S. (2022). The Impact of Economic Growth, Energy Consumption, and Urbanization on the CO2 Emission of a Selected Group of OPEC Countries: A Spatial Econometric Approach. *Iranian Energy Economics*, 11(43), 61-83. doi: 10.22054/jiee.2022.67935.1923. [in persian]
- Zhao, X., Huang, S., Wang, J., Kaiser, S., & Han, X. (2020). The impacts of air pollution on human and natural capital in China: A look from a provincial perspective. *Ecological Indicators*, 118, 106759.

استناد به این مقاله: داربیدی، مریم؛ کمالی، مهدی؛ خداوردی سامانی، مریم؛ شمس‌اللهی، رضا. (۱۴۰۳). اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در کشورهای صادرکننده نفت عضو اوپک، فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ۱۰ (۴)، صفحات ۲۹-۵۸.



Journal of Environmental and Natural Resource Economics licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.