

**Determinants of Carbon Dioxide Emissions in Iran with Emphasis on the
Agricultural Sector**

A. Sheikhzeinoddin¹ , H. Dehghanpur² 

Received: 22 February, 2025

Accepted: 10 May, 2025

Abstract

Introduction

Global warming has been a significant issue in recent decades, with greenhouse gas emissions, particularly carbon dioxide, being a major contributor to climate change. Understanding the factors influencing carbon dioxide emissions is crucial for developing effective strategies to mitigate greenhouse gases and address global warming. This study aims to identify the factors affecting carbon dioxide emissions, focusing on the agricultural sector.

Materials and Methods

Data from 1990 to 2022 were collected for analysis. Stationarity of the variables was assessed, and short-term and long-term patterns were estimated using the ARDL model.

Results and Discussion

The study found that crop, livestock, and forest production, as well as energy consumption and population growth, have a significant positive impact on carbon dioxide emissions in both the short and long term. While temperature does not affect emissions in the short term, an increase in temperature over the long term can lead to a reduction in emissions. Higher temperatures may stimulate environmental policies,

1. Associate Professor of Agricultural Economics, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Corresponding Author and Assistant Professor of Agricultural Economics, Darab College of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, Shiraz, Iran. (hdehghanpur@gmail.com)

technological advancements, and changes in consumer behavior, resulting in lower emissions. Additionally, increased rainfall is associated with reduced carbon dioxide emissions in both the short and long term.

Conclusions

The findings highlight the importance of climate and water resources in managing greenhouse gas emissions and promoting sustainable development in Iran. To reduce carbon dioxide emissions, enhancing production efficiency in crop, livestock, and forestry sectors through modern and low-carbon technologies is recommended. Optimizing energy consumption, promoting renewable energy sources, and implementing population planning strategies can also help mitigate emissions. Supporting environmental policies, raising public awareness about climate change, and conserving water resources are essential for reducing emissions. Sustainable agricultural practices and efficient use of atmospheric precipitation are key for agricultural development.

Keywords: Agricultural Sector, Carbon Dioxide Emissions, Climate Change Greenhouse Gases, Energy.

روستا و توسعه

سال ۲۷، شماره ۱۰۸، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

تعیین‌کننده‌های انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران با تأکید بر بخش کشاورزی

آذر شیخ زین‌الدین^۱، حامد دهقانپور^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۴

چکیده

گرم شدن کره زمین یک موضوع مهم در چند دهه اخیر بوده و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرات اقلیمی است. با توجه به نقش مهم دی‌اکسیدکربن در تغییرات اقلیمی، شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار آن می‌تواند به طراحی راهبردهای مؤثر برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با گرم شدن زمین کمک کند. در این راستا هدف از انجام این مطالعه تعیین عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر بخش کشاورزی است. برای این منظور اطلاعات مورد نیاز طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ جمع‌آوری شد. بعد از بررسی ایستایی متغیرها، با استفاده از مدل ARDL الگوی کوتاه‌مدت و بلندمدت برآورد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در کوتاه‌مدت، تولیدات زراعی، دامی و جنگل، به‌همراه مصرف انرژی و رشد جمعیت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. همچنین اگر چه دما در کوتاه‌مدت تأثیری بر انتشار دی‌اکسیدکربن ندارد؛ اما در بلندمدت افزایش آن می‌تواند منجر به کاهش انتشار شود. زیرا در بلندمدت، افزایش دما با تحریک سیاست‌های زیست‌محیطی، بهبود فناوری و تغییر رفتار مصرفی می‌تواند موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن شود، درحالی‌که در کوتاه‌مدت چنین تأثیری مشاهده نمی‌شود.

۱- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- نویسنده مسئول و استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

(hdeghanpur@gmail.com)

DOI: 10.30490/rvt.2025.367397.1652

همچنین افزایش بارندگی هم در کوتاه‌مدت و هم بلندمدت منجر به کاهش میزان انتشار دی‌اکسیدکربن خواهد شد. این یافته‌ها بیانگر نقش مهم اقلیم و منابع آب در مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای و توسعه پایدار در ایران است. با توجه به تأثیر مثبت تولیدات زراعی، دامی و جنگلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن، پیشنهاد می‌شود بهره‌وری تولید در این بخش‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین و کم‌کربن افزایش یابد و شیوه‌های کشاورزی پایدار ترویج شود. با توجه به تأثیر مثبت مصرف انرژی و رشد جمعیت بر انتشار CO₂، بهینه‌سازی مصرف انرژی، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت مصرف در کنار برنامه‌ریزی جمعیتی می‌تواند در کاهش انتشار مؤثر باشد. همچنین با توجه به نقش بلندمدت دما در کاهش انتشار، حمایت از سیاست‌های زیست-محیطی و ارتقای آگاهی عمومی برای انطباق با تغییرات اقلیمی توصیه می‌شود. در نهایت، با توجه به نقش کاهنده بارندگی بر انتشار، حفاظت از منابع آب و توسعه کشاورزی مبتنی بر بهره‌گیری بهینه از نزولات جوی باید مورد توجه قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: گازهای گلخانه‌ای، بخش کشاورزی، انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن، تغییرات اقلیم.

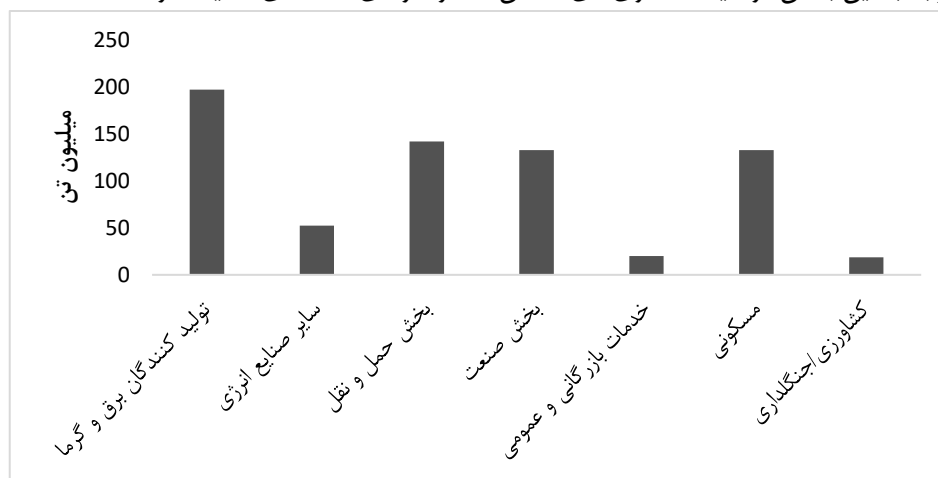
مقدمه

گازهای گلخانه‌ای (GHGs)^۱ برای حفظ دمای زمین، در سطوحی برای حفظ حیات مورد نیاز هستند؛ زیرا بدون گازهای گلخانه‌ای، میانگین دمای سطح زمین در حدود منفی ۱۸ درجه سانتیگراد خواهد بود. با این وجود، انتشار این گازها به دلیل فعالیت‌های انسان مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی بیش از اندازه افزایش یافته است. این مسئله منجر به گرم شدن کره زمین و تغییراتی در سیستم آب و هوایی شده است. تغییر اقلیم جهانی در حال حاضر یکی از دغدغه‌های اصلی برای همه دولت‌ها است؛ زیرا رفاه جوامع را تهدید می‌کند، روند توسعه اقتصادی را به چالش می‌کشد و محیط طبیعی را تغییر می‌دهد (IPCC, 2022). گاز دی‌اکسیدکربن در میان گازهای گلخانه‌ای، بیشترین نقش را در گرمایش جهانی دارد. به گونه‌ای که دی‌اکسیدکربن نزدیک به ۶۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تشکیل می‌دهد. بر اساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۲۲، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن حدود ۳۸/۵ میلیارد تن و سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن در جهان ۴/۷ تن بوده است. این در حالی است که میزان انتشار این گاز در ایران حدود ۶۸۶ میلیون تن و سرانه انتشار آن ۷/۷۶ تن بوده است (Worldbank, 2024). ایران پس از کشورهای چین، آمریکا، هند، روسیه و ژاپن در رتبه ششم انتشار دی‌اکسیدکربن در جهان (سهم ۱/۸ درصد) قرار دارد (Worldbank, 2024). این موضوع نشان دهنده سطح نامطلوب میزان انتشار و شرایط نامناسب محیط زیست به‌عنوان یکی از

1. Greenhouse Gases

تعیین‌کننده‌های انتشار دی‌اکسیدکربن در.....

مهمترین عوامل رسیدن به توسعه پایدار است. همچنین بخش کشاورزی نقش مهمی در انتشار جهانی CO₂ ایفا می‌کند. به گونه‌ای که مسئول انتشار حدود ۱۱٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان است. این انتشارات ناشی از فعالیت‌هایی مانند تولید محصولات زراعی، دامپروری و تغییرات کاربری زمین مانند جنگل‌زدایی است. بخش‌های مختلف اقتصادی در ایران نیز ازجمله بخش کشاورزی در انتشار CO₂ نقش دارد. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از بخش‌های اقتصادی ایران در سال ۲۰۲۲ در نمودار ۱ گزارش شده است. انتشار دی‌اکسیدکربن از این بخش تحت تأثیر عواملی مانند تولیدات زراعی و دامی، استفاده از انرژی و شیوه‌های کشاورزی است. همچنین افزایش عملکرد از طریق مکانیزاسیون کشاورزی و استفاده از نهاده‌هایی مانند سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی باعث فشارهای زیست‌محیطی در بخش کشاورزی شده است (Sabzevari et al., 2015; Soheili-Fard & Kouchaki-Penchah, 2015; Yousefi et al., 2014). به گونه‌ای که بخش کشاورزی ایران در سال ۲۰۲۲ تقریباً ۱۸/۵۳ میلیون تن دی‌اکسیدکربن (حدود ۲/۷ درصد کل میزان انتشار) منتشر کرده است (Worldbank, 2024). اگرچه سهم بخش کشاورزی در انتشار دی‌اکسیدکربن نسبت به سایر بخش‌ها کمتر است، اما به دلیل تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم آن بر محیط زیست، توجه به این بخش در سیاست‌گذاری‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت دارد.



نمودار ۱. میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از بخش‌های اقتصادی ایران در سال ۲۰۲۲

مأخذ: Worldbank, 2024

از این رو تعیین عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن از بخش‌های مختلف از اهمیت بسیاری برخوردار است. درک این عوامل می‌تواند به طراحی راهبردهای مؤثرتر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی کمک کند. در این راستا مطالعات متعددی به بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر انتشار دی‌اکسیدکربن پرداختند که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره شده است. ساریبایوویچ و همکاران (Saribayevich et al., 2024) به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در ازبکستان طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۰ با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که پوشش جنگلی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار CO_2 می‌شوند، درحالی‌که رشد جمعیت شهری، مصرف سرانه انرژی و فعالیت‌های صنعتی منجر به افزایش آن می‌شوند. همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی بسته به نوع آن تأثیرات متفاوتی دارد. یافته‌های این پژوهش بر لزوم توسعه سیاست‌های زیست‌محیطی، گسترش انرژی‌های پاک و صنعتی‌سازی پایدار برای کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید دارند. ایوانیوک و همکاران (Ivanyuk et al., 2024) با استفاده از تحلیل اقتصادسنجی و عصبی به شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بین کشورهای مختلف پرداختند. یافته‌ها نشان داد که در تحلیل خطی، تولید نفت خام تأثیر نسبتاً کمی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد. در مقابل، تجزیه و تحلیل عصبی تأثیر قابل توجهی بالاتری را نشان داد. این اختلاف بین دو رویکرد تحلیلی، پیچیدگی عوامل مؤثر بر انتشار کربن را نمایان می‌سازد و نشان می‌دهد که تحلیل عصبی ممکن است درک دقیق‌تری از این تأثیرات ارائه دهد. یانگ و لی (Yang & Li, 2024) با استفاده از تحلیل همبستگی خاکستری^۱ عوامل مؤثر بر انتشار کربن چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی، رشد اقتصادی، شهرنشینی و ساختار صنعتی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر سطح انتشار کربن هستند. در این میان، مصرف انرژی بالاترین همبستگی را با انتشار کربن داشت که نشان‌دهنده نقش کلیدی آن در تغییرات اقلیمی است. این مطالعه پیشنهاد می‌دهد که برای کاهش انتشار کربن باید به بهینه‌سازی مصرف انرژی، اصلاح ساختار صنعتی و برنامه‌ریزی شهری پایدار توجه ویژه‌ای شود. یانگ (Yang, 2024) به بررسی عوامل مختلفی پرداخته است که بر میزان انتشار کربن تأثیرگذار است. این تحقیق به تحلیل عوامل اقتصادی، اجتماعی، صنعتی و محیطی که منجر به افزایش یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، پرداخته است. برای این منظور با استفاده از داده‌های آماری و مدل‌های تحلیلی، ارتباطات پیچیده میان این عوامل مورد بررسی قرار گرفته و بر اهمیت مدیریت پایدار منابع انرژی، بهبود کارایی انرژی و سیاست‌های زیست‌محیطی تأکید کرده است. نتایج این

1. Gray correlation analysis

تحقیق نشان داد که اقدامات مؤثر در حوزه‌های مختلف می‌توانند به کاهش انتشار کربن کمک کرده و به سیاست‌گذاران در طراحی راهبردهای کاهش تغییرات اقلیمی یاری رسانند. رحمان و همکاران (Rehman et al., 2024) به بررسی تأثیرات متقابل بین استفاده از زمین، تولید محصولات زراعی و دامی، و کیفیت محیط زیست در اقتصادهای نوظهور آسیایی پرداختند. این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های پانلی و روش‌های اقتصادسنجی به تحلیل تجربی رابطه بین گسترش کشاورزی، افزایش تولید دام و محصولات زراعی، و پیامدهای زیست‌محیطی به‌ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته است. نتایج نشان داد که رشد سریع بخش کشاورزی بدون ملاحظات زیست‌محیطی، منجر به تشدید روند کربنی شدن^۱ و کاهش کیفیت محیط زیست در این کشورها شده است. بر اساس یافته‌ها، برای دستیابی به توسعه پایدار، تدوین سیاست‌های یکپارچه در زمینه مدیریت منابع طبیعی، کاهش فشارهای زیست‌محیطی و بکارگیری فناوری‌های سبز در کشاورزی ضروری است. فیلیمونوا و همکاران (Filimonova et al., 2023) در مطالعه خود به ارزیابی عواملی پرداختند که بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن تأثیر می‌گذارند. این تحقیق با استفاده از مدل‌های آماری و تحلیل‌های کمی، تأثیر متغیرهای مختلف مانند فعالیت‌های صنعتی، مصرف انرژی، و کشاورزی را بر سطح انتشار CO₂ مورد بررسی قرار داده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که صنعت و مصرف انرژی به‌ویژه در بخش‌های فسیلی، نقش عمده‌ای در افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. همچنین، روش‌های کشاورزی و تغییرات در استفاده از سوخت‌های فسیلی از دیگر عوامل مهم شناسایی شده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. این مطالعه بر اهمیت بهبود فرایندهای صنعتی و تغییر به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر برای کاهش سطح انتشار CO₂ تأکید دارد. لی و ژائو (Lee & Zhao, 2023) به بررسی ناهمگنی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تمرکز بر نقش سرمایه انسانی، شهرنشینی، و سرمایه‌گذاری خارجی مستقیم (FDI) در بین ۹۶ کشور پرداختند. این پژوهش با استفاده از داده‌های پانل و روش‌های اقتصادسنجی پیشرفته، نشان داد که تأثیر این عوامل در کشورهای مختلف به‌طور معناداری متفاوت است. یافته‌ها بیان می‌کنند که سرمایه انسانی بالا می‌تواند اثر منفی بر انتشار CO₂ داشته باشد؛ چراکه موجب افزایش بهره‌وری و استفاده مؤثرتر از منابع انرژی می‌شود. در مقابل، شهرنشینی و FDI بسته به سطح توسعه‌یافتگی کشورها، ممکن است اثرات مثبت یا منفی بر انتشار کربن داشته باشند. نتایج تحقیق بر لزوم تدوین سیاست‌های متناسب با ویژگی‌های هر کشور جهت کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید دارد. رحمان و همکاران (Rehman et al., 2021) در مطالعه خود به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در پاکستان پرداختند. برای این منظور به تحلیل

نقش رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، جنگل‌داری، تولید دام و محصولات زراعی در افزایش یا کاهش سطح انتشار CO_2 و تأثیر آن بر پایداری زیست‌محیطی کشور پرداختند. نتایج نشان داد که رشد سریع جمعیت و افزایش تولیدات کشاورزی و دامی به‌طور قابل توجهی باعث افزایش انتشار کربن شده‌اند، درحالی‌که توسعه پوشش جنگلی نقش مهمی در کاهش انتشار این گازها داشته است. همچنین تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک متغیر میانجی، شدت تأثیر دیگر عوامل را افزایش داده است.

آتا و همکاران (Ata et al., 2023) به بررسی عوامل محرک انتشار CO_2 مرتبط با انرژی در بخش مسکونی ایران با تمرکز بر تفاوت‌های منطقه‌ای و عوامل اقتصادی-اجتماعی خانوار پرداختند. داده‌های پانل خانگی ۲۸ استان ایران با استفاده از مدل‌های پانل ایستا و پویا برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد سیاست‌های منطقه‌ای برای کاهش انتشار CO_2 خانگی مورد نیاز است. همچنین حذف یارانه انرژی می‌تواند به کنترل مؤثر انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. مطالعه ماکوتنین و همکاران (Makuténienė et al., 2022) با هدف تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) در بخش کشاورزی کشورهای بالتیک انجام شد. در این مطالعه از روش تجزیه شاخص لگاریتمی میانگین دیوژیا مبتنی بر هویت کایا^۱ استفاده شده تا سهم عوامل مختلف مانند شدت انرژی، ساختار اقتصادی، جمعیت، و بهره‌وری کشاورزی در تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شود. نتایج نشان داد که کاهش شدت انرژی و بهبود کارایی کشاورزی نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا کرده‌اند، درحالی‌که رشد اقتصادی و افزایش تولید کشاورزی، به‌ویژه در برخی دوره‌ها، باعث افزایش انتشار شده‌اند. این مطالعه بر اهمیت سیاست‌گذاری در جهت بهبود بهره‌وری انرژی و استفاده از فناوری‌های کم‌کربن در کشاورزی کشورهای بالتیک تأکید دارد. کشاورزبان و طباطبایی‌نسب (Keshavarzian & Tabatabaieenasab, 2022) به بررسی اثرات تجربی مصرف برق بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران پرداختند. برای دستیابی به این هدف، از رویکرد خودرگرسیون با توزیع با وقفه (ARDL) استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف برق تأثیر مستقیم و معناداری بر انتشار CO_2 دارد، درحالی‌که توسعه مالی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نقش کاهنده‌ای در آن ایفا می‌کند. بر این اساس، کاهش یارانه انرژی و افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر پیشنهاد شد. آشنا و حسین‌آبادی (Ashena & Hosseinabadi, 2019) به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر دو عامل مهم تغییرات جمعیتی و شهرنشینی در ایران پرداختند. برای این منظور از داده‌هایی شامل انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف انرژی، جمعیت و نرخ شهرنشینی بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. برای تحلیل از

مدل محاسباتی تحلیل تجزیه استفاده شد. نتایج نشان داد که جمعیت و شهرنشینی بر افزایش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن هوا نقش مهمی دارند. ضیایی (Ziaei, 2019) تأثیر متغیرهای رشد اقتصادی، درجه باز بودن اقتصاد، میزان مصرف انرژی و جمعیت روستایی را در کشورهای منتخب OECD مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. در این پژوهش از مدل پانل با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که میزان مصرف انرژی تأثیر مثبت و معنی‌دار، و جمعیت روستایی تأثیر منفی و معنی‌داری بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در این کشورها دارد.

جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2) تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فناورانه قرار دارد. مصرف انرژی، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، رشد اقتصادی، شهرنشینی، جمعیت، ساختار صنعتی، تغییرات کاربری زمین و شیوه‌های کشاورزی از مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر انتشار این گاز گلخانه‌ای هستند. بر اساس گزارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، شدت مصرف انرژی در ایران تقریباً سه برابر میانگین جهانی است و این امر منجر به ناکارآمدی گسترده و افزایش انتشار شده است. همچنین افزایش جمعیت در ایران به بیش از ۹۰/۶ میلیون نفر و رشد تقاضای داخلی برای محصولات کشاورزی نیز فشار بیشتری بر منابع وارد کرده است. در مقابل، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، پوشش جنگلی، سرمایه انسانی و بهره‌وری انرژی می‌توانند نقشی کاهنده در انتشار CO_2 ایفا کنند. مطالعات مختلف در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته بر لزوم اتخاذ سیاست‌های متناسب با ویژگی‌های ملی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید داشته‌اند. همچنین با توجه به اهداف توسعه پایدار و ضرورت محدود کردن افزایش دمای جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد، کشورهای مختلف موظف به اجرای تعهدات ملی در چارچوب «مشارکت‌های تعیین‌شده ملی» (NDC) بر اساس توافق‌نامه پاریس (۲۰۱۵) شده‌اند. در این راستا، ایران نیز متعهد شده است تا سال ۲۰۳۰، سالانه ۴ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود بکاهد و در صورت رفع تحریم‌ها، این رقم به ۱۲ درصد افزایش یابد. بنابراین به دلیل اهمیت بخش کشاورزی در ایران و تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم این بخش بر محیط زیست، شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار CO_2 در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ازاین‌رو، هدف مطالعه حاضر، تحلیل عوامل اقتصادی، جمعیتی و زیست‌محیطی مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر بخش کشاورزی ایران است.

روش‌شناسی تحقیق

برای انجام این مطالعه اطلاعات مورد نیاز طی دوره زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۲ به صورت سالانه از بانک جهانی، مرکز آمار ایران، سالنامه آماری کشور و سالنامه انرژی استخراج شد. متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، تولیدات جنگل، تولیدات زراعی، تولیدات دامی، مصرف انرژی، رشد جمعیت، بارندگی، و دما (Rehman et al., 2021). توضیحات مربوط به متغیرها در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱. معرفی داده‌های مورد نیاز

متغیر	مخفف	واحد	منبع
دی‌اکسیدکربن	CO _{2t}	میلیون تن	WDI
تولیدات جنگل	FP _t	تن	WDI
تولیدات زراعی	CP _t	تن	WDI
تولیدات دامی	LP _t	تن	WDI
مصرف انرژی	EU _t	تن (معادل نفت)	WDI
رشد جمعیت	PG _t	درصد	WDI
بارندگی	RFA _t	میلی‌متر در سال	سالنامه آماری کشور
دما	TEM _t	درجه سانتی‌گراد	سالنامه آماری کشور

به منظور تعیین روش برآورد لازم است در گام نخست ایستایی متغیرها بررسی شود. برای این منظور از آماره دیکی فولر تعمیم یافته استفاده شد. از آنجاکه متغیرها ایستا از مرتبه صفر و یک بودند، از روش ARDL جهت برآورد مدل استفاده شد. بنابراین به منظور بررسی ارتباط بین انتشار دی‌اکسیدکربن با هریک از متغیرهای مدل از معادله (۱) استفاده شد. این مدل برای برآوردهای اقتصادی، منعطف و مناسب است.

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

t در معادله (۱)، بعد زمان است و Y_t متغیر وابسته (انتشار دی‌اکسیدکربن) و X_t متغیرهای مستقل هستند. همچنین p و q به ترتیب طول وقفه برای متغیرهای وابسته و مستقل (با استفاده از آزمون آکائیک) هستند.

در ادامه به منظور بررسی وجود یا عدم وجود رابطه بلندمدت از آزمون باند استفاده شد که در صورت رد فرضیه صفر رابطه بلندمدت وجود دارد. در نهایت مدل ARDL برای روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرها برآورد شد. همچنین در صورت وجود رابطه بلندمدت، مدل تصحیح خطا^۱ به منظور مدل‌سازی سرعت تعدیل پس از یک شوک به حالت تعادل، تخمین زده می‌شود:

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \gamma_j \Delta X_{t-j} + \lambda ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

که ECM_{t-1} عبارت تصحیح خطای تأخیری است که سرعت تعدیل را پس از یک شوک به حالت تعادل نشان می‌دهد.

همچنین ضروری است که فرض نرمال بودن توزیع جمله پسماند بررسی شود که برای این منظور از آماره جاکوبرا استفاده شد. به علاوه واریانس ناهمسانی با استفاده از آزمون بروچ-پاگان^۲ و خودهمبستگی با استفاده از آزمون LM^۳ بررسی شدند. در نهایت آزمون پایداری مدل با استفاده از CUSUM مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

برای آزمون ایستایی ابتدا فرض بر این است که سری زمانی مورد بحث دارای یک فرایند بدون روند مرتبه اول است. نتایج حاصل از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته در جدول ۲ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای انتشار دی‌اکسیدکربن، تولیدات دامی و زراعی، مصرف انرژی و تولیدات جنگل با یک‌بار تفاضل‌گیری و متغیرهای رشد جمعیت، میزان بارش و دما بدون تفاضل‌گیری ایستا هستند. بنابراین از آنجا که متغیرها ایستا از مرتبه صفر و یک هستند مدل ARDL جهت برآورد الگو مناسب می‌باشد.

1. Error Correction Model (ECM)

2. White test or Breusch-Pagan

3. Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test

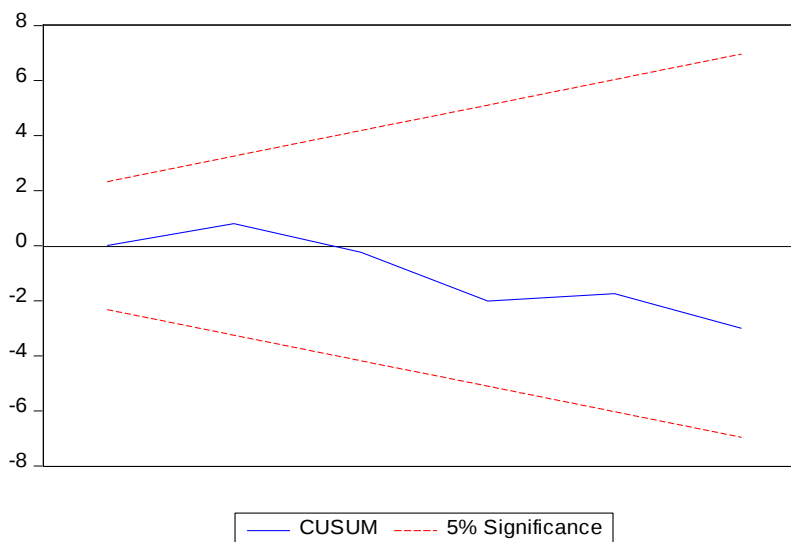
جدول ۲. آزمون ایستایی متغیرها

نتیجه آزمون ریشه واحد (احتمال)		متغیر
I(1)	I(0)	
۰/۰۰۳۶***	۰/۶۹۵	CO _{2t}
۰/۰۰۰۲***	۰/۸۴۱	FP _t
۰/۰۰۱۶***	۰/۴۷۰	CP _t
۰/۰۰۱۱***	۰/۸۸۹	LP _t
	۰/۰۰۰۹***	EU _t
	۰/۰۰۱۹***	PG _t
	۰/۰۱۲*	RFA _t
۰/۰۰۰۲***	۰/۸۴۱	TEM _t

مأخذ: یافته‌های پژوهش * سطح معنی‌داری ۱۰ درصد *** سطح معنی‌داری ۱ درصد

فرض بر این است که داده‌ها در روش‌های پارامتری دارای توزیع شناخته شده و معینی هستند. در بیشتر موارد در آمار کلاسیک این توزیع برای داده‌ها، توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه مقدار آماره آزمون جاکوبرا برابر با ۰/۳۷۹ با احتمال ۰/۸۲۸ به دست آمد، بنابراین فرضیه صفر را نمی‌توان رد کرد و توزیع داده‌ها نرمال است. همچنین نتایج آزمون LM نشان داد فرض صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی را نمی‌توان رد کرد. مقدار آماره F این آزمون ۰/۲۸۶ به دست آمد که می‌توان نتیجه گرفت مشکل خودهمبستگی در این رگرسیون وجود ندارد. همچنین نتایج آزمون واریانس ناهمسانی با احتمال ۰/۶۹۵ حاکی از عدم رد فرضیه صفر و عدم وجود واریانس ناهمسانی است.

برای انجام آزمون شکست ساختاری ابتدا تخمین حداقل مربعات برآورد شد و سپس آزمون شکست ساختاری انجام شد. نتایج حاکی از عدم وجود شکست ساختاری و پایداری مدل است (نمودار ۲).



نمودار ۲. نتایج شکست ساختاری

بعد از ارائه آزمون‌های مزبور، الگوی ARDL برآورد شد. نتایج برآورد الگوی کوتاه‌مدت در جدول ۳ گزارش شده است که بیانگر اثرات کوتاه‌مدت متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است. نتایج نشان می‌دهد که تولیدات زراعی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد که این امر می‌تواند به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی در ماشین‌آلات کشاورزی، مصرف انرژی در فرایندهای مختلف کشاورزی (مانند آبیاری و تولید کودهای شیمیایی)، استفاده از کودهای نیتروژنی در تولیدات زراعی (دی‌اکسیدکربن و نیتروز اکسید)، تبدیل زمین‌های جنگلی به زمین‌های کشاورزی (که منجر به کاهش ظرفیت زمین برای جذب دی‌اکسیدکربن می‌شود) و تخریب خاک در اثر فعالیت‌های کشاورزی باشد. نتایج مطالعه کریمی علویجه و همکاران (Karimi Alavijeh et al., 2023) نیز با یافته‌های این تحقیق همسو است.

همچنین نتایج نشان داد که مصرف انرژی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. از آنجاکه بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در ایران از طریق سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ تأمین می‌شود، احتراق این سوخت‌ها منجر به انتشار مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن می‌شود. به علاوه پرداخت یارانه انرژی در ایران نیز منجر به استفاده بی‌رویه از انرژی شده است. در گزارش IPCC در سال ۲۰۱۴، اثرات مختلف منابع انرژی فسیلی بر تغییرات اقلیمی بررسی شده

است. این گزارش نشان می‌دهد که مصرف انرژی فسیلی به‌طور مستقیم منجر به افزایش انتشار CO_2 و سایر گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

ضریب متغیر تولیدات جنگل اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. برداشت ناپایدار چوب و سوخت منجر به جنگل‌زدایی، آزادسازی کربن ذخیره شده و کاهش ظرفیت ترسیب کربن آینده جنگل می‌شود. همچنین جنگل‌ها اغلب برای توسعه کشاورزی تخریب می‌شوند، که به‌طور قابل توجهی در انتشار CO_2 نقش دارند. به‌علاوه چوب‌برداری، حمل‌ونقل و فراوری محصولات جنگلی اغلب به ماشین‌آلات قدیمی و وابسته به سوخت فسیلی انجام می‌شود که این امر باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین دسترسی محدود به فناوری‌های پایدار و امکانات پردازش مدرن، انتشار گازهای گلخانه‌ای را بیشتر می‌کند.

تولیدات دامی نیز تأثیرات مثبت و معنی‌داری روی انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. به این دلیل که برای تأمین خوراک دام یا ایجاد چراگاه، جنگل‌ها تخریب می‌شوند و با توجه به شیوه‌های تولید سنتی و مصرف زیاد منابع برای تولید خوراک و فراوری محصولات دامی، این مسئله در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران حائز اهمیت است.

بر اساس نتایج، دما تأثیر معنی‌داری روی میزان انتشار ندارد اما میزان بارش تأثیر منفی و معنی‌دار روی میزان انتشار دارد. بارش بیشتر موجب رشد سریع‌تر گیاهان و جنگل‌ها می‌شود، زیرا رطوبت کافی برای فتوسنتز و فرایندهای رشد را فراهم می‌کند. این امر باعث افزایش جذب CO_2 از جو توسط گیاهان و ذخیره آن در بخش‌های مختلف گیاه می‌شود. همچنین در شرایط مرطوب و با بارش مناسب، گیاهان به‌طور مؤثرتری از CO_2 جو استفاده کرده و آن را به کربن آلی تبدیل می‌کنند. این فرایند به کاهش میزان CO_2 در جو کمک می‌کند. در مطالعه سیاس و همکاران (Ciais et al., 2014) به تأثیرات بارندگی بر کاهش CO_2 از جو از طریق تأثیر مثبت بر رشد گیاهان اشاره شده است.

در نهایت متغیر رشد جمعیت نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. افزایش رشد جمعیت می‌تواند به‌طور غیرمستقیم و به دلایل مختلف باعث افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2) شود. این تأثیرات به دلیل فشار بیشتری است که رشد جمعیت بر منابع طبیعی، تولید انرژی، مصرف سوخت‌های فسیلی، و سایر فعالیت‌های انسانی وارد می‌آورد. نتایج این بخش با نتایج مطالعه راث و همکاران (Roth et al., 2018) همخوانی دارد.

تعیین‌کننده‌های انتشار دی‌اکسیدکربن در.....

جدول ۳. نتایج برآورد الگوی کوتاه‌مدت

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	احتمال
CO _{2t} (-1)	-۰/۴۸۷	۰/۲۲۶	-۲/۱۵۳	۰/۰۷۴۸
CP _t	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۴	۲/۴۵	۰/۰۵۴۷
EU _t	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۳	۴/۹۵۳	۰/۰۰۲۶
EU _t (-1)	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۵	۳/۴۲۵	۰/۰۱۴۱
FP _t	۰/۱۴۰	۰/۰۲۶۵	۵/۲۸۳	۰/۰۰۴
FP _t (-1)	۰/۰۶۵۹	۰/۰۲۲۸	۲/۸۸۵	۰/۰۲۷۹
LP _t	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۹۷	۲/۴۵۶	۰/۰۴۹۴
LP _t (-1)	-۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۹۷	-۱/۵۵۶	۰/۱۷۱
TEM _t	-۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۶۵	-۱/۵۱	۰/۱۸۱
TEM _t (-1)	-۰/۰۲۸۸	۰/۰۰۹۷	-۲/۹۸	۰/۰۲۵
RFA _t	-۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۱۲	-۲/۸۹	۰/۰۴۹
RFA _t (-1)	-۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۱	-۱/۹۳	۰/۰۱۲
PG _t	۰/۳۵	۰/۰۸۷	۴/۰۲۲	۰/۰۰۰۲
PG _t (-1)	-۰/۰۲۳۶	۰/۰۸۶۷	-۲/۷۲	۰/۰۳۵
C	۸/۹۵۱	۲/۶۹۳	۳/۳۲	۰/۰۱۶
ضریب تعدیل	۰/۹۹	ضریب تعیین تعدیل شده		۰/۹۹۶
انحراف معیار رگرسیون	۰/۰۶۹۲	معیار آکائیک		-۲/۳۳
مجموع مجذور مقادیر باقیمانده	۰/۰۲۸۷	معیار شوارتز		-۱/۵۸
آماره F	۴۰۲/۲۵	معیار خنان کوبین		-۲/۱۷
خطا آماره F	۰/۰۰۰	آماره دوربین واتسون		۲/۹۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

ضرایب بلندمدت رابطه تعادل بین متغیرهای وابسته و مستقل را نشان می‌دهد. این ضرایب نشان می‌دهند که متغیر وابسته در بلندمدت به واسطه تغییر معین در متغیر مستقل، چقدر تغییر می‌کند. از آنجاکه آماره آزمون باند برابر با ۵/۵۲ به دست آمد بنابراین فرض صفر رد و وجود رابطه بلندمدت تأیید می‌شود. نتایج حاصل از برآورد الگوی بلندمدت در جدول ۴ نشان داده شده است. بر مبنای ضرایب برآورد شده می‌توان نتیجه گرفت که تولیدات زراعی، مصرف انرژی، تولیدات جنگل و تولیدات دامی دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن هستند. در بین این متغیرها، مصرف انرژی تأثیر بیشتری بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران دارد. این امر به دلیل وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی و پرداخت یارانه انرژی در ایران است. همچنین تولیدات جنگلی نیز بعد از مصرف انرژی تأثیر زیادی بر انتشار CO₂ دارد؛ چراکه به دلیل برداشت ناپایدار چوب و چوب سوخت، جنگل‌ها

تخریب شده که این امر باعث کاهش ظرفیت ترسیب کربن جنگل می‌شود. با توجه به این نتایج کاهش جنگل‌زدایی، بهبود شیوه‌های تولید دامی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به کاهش انتشار CO_2 در ایران کمک کند.

متغیر جمعیت نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار CO_2 دارد؛ چرا که افزایش جمعیت همراه با افزایش تقاضا برای کالاها و انرژی خواهد بود. همچنین تغییرات دما و میزان بارش تأثیر منفی و معنی‌دار روی میزان انتشار CO_2 دارند. افزایش دما ممکن است منجر به تغییرات در مصرف انرژی، به ویژه در مناطق گرمسیری شود. این تغییرات می‌تواند باعث کاهش نیاز به مصرف انرژی برای گرم کردن ساختمان‌ها و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی در فصول سرد شود که می‌تواند به کاهش انتشار CO_2 کمک کند. همچنین بارندگی بیشتر معمولاً منجر به افزایش جذب کربن توسط گیاهان و کاهش انتشار CO_2 می‌شود.

جدول ۴. نتایج برآورد الگوی بلندمدت

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	احتمال
CP_t	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۲۷	۲/۴۸	۰/۰۴۷
EU_t	۰/۱۹۱	۰/۰۱۶	۱۱/۹۴	۰/۰۰۰
FP_t	۰/۰۳۶۳	۰/۰۱۱	۳/۳	۰/۰۰۹۵
LP_t	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۰۵	۱۱/۸۱	۰/۰۰۰
TEM_t	-۰/۲۵۹	۰/۰۶۸	-۳/۷۸	۰/۰۰۹۲
RFA_t	-۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۱۲	-۲/۶۱	۰/۰۴
PG_t	۰/۰۷۷	۰/۰۱۲	۶/۴۲	۰/۰۰۰
C	۶/۰۲	۱/۴۴۹	۴/۱۵	۰/۰۰۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در نهایت نتایج مدل تصحیح خطا (ECM) در جدول ۵ ارائه شده است. مقدار $\text{ECM}(-1)$ نشان دهنده سرعت بازگشت به تعادل بلندمدت است. به‌طور خاص، ضریب تصحیح خطا برابر با ۱۴/۸ درصد به این معنی است که اگر متغیرهای مدل در یک دوره خاص از مسیر بلندمدت خود منحرف شوند، تنها ۱۴/۸ درصد از این انحراف در دوره بعدی (سال بعد) اصلاح می‌شود و سیستم در مسیر بازگشت به تعادل قرار می‌گیرد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که سرعت بازگشت به تعادل بلندمدت در این مدل نسبتاً کند است و اثرات شوک‌ها یا نوسانات، برای مدت قابل توجهی در سیستم باقی می‌مانند.

جدول ۵. نتایج برآورد مدل تصحیح خطای برداری

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	احتمال
ECM (-1)	-۰/۱۴۸	۰/۰۱۳	-۱۱/۳۸	۰/۰۰۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه و از تولیدکنندگان بزرگ انرژی فسیلی، سهم چشمگیری در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. این مسئله به‌ویژه در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی به دلیل فشارهای فزاینده بر منابع زیست‌محیطی و تغییر کاربری زمین، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. متغیرهایی همچون تولیدات جنگل، تولیدات زراعی و دامداری به دلیل استفاده ناپایدار از منابع طبیعی و تغییرات در الگوهای کشت و دامپروری، می‌توانند نقش چشمگیری در افزایش انتشار CO₂ داشته باشند. در کنار این موارد، استفاده از انرژی‌های فسیلی در بخش‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین رشد جمعیت و افزایش تقاضای انرژی، فشارهای بیشتری بر محیط زیست وارد می‌کنند. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی و مؤلفه‌هایی همچون بارندگی و دما نیز نقش مهمی در انتشار CO₂ و تأثیرگذاری بر پتانسیل جذب کربن توسط جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی دارند. تغییرات در بارش و دما می‌توانند چرخه‌های زیستی و تولیدی کشاورزی را مختل کرده و کارایی سیستم‌های طبیعی برای جذب کربن را کاهش دهند. از این‌رو، در این مطالعه به بررسی تأثیر این عوامل بر انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در کوتاه‌مدت و بلندمدت، تولیدات زراعی، دامی و جنگل، به‌همراه مصرف انرژی و رشد جمعیت تأثیر منفی و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. تولیدات زراعی و دامی به دلیل استفاده ناپایدار از زمین‌های کشاورزی، تخریب پوشش گیاهی، و استفاده از کودهای شیمیایی، باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ازجمله CO₂ می‌شوند. به‌علاوه بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و کاهش سطح جنگل‌ها در ایران، توانایی جذب کربن توسط این اکوسیستم‌های طبیعی را به شدت کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، وابستگی به سوخت‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های ناکارآمد در بخش‌های مختلف اقتصادی، به‌ویژه در کشاورزی، یکی از مهمترین عوامل انتشار CO₂ در ایران است. در نهایت افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای منابع طبیعی، انرژی و تولیدات کشاورزی شده و در نهایت منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

مطالعات نگوین و همکاران (Nguyen et al., 2021) و هور و همکاران (Hur et al., 2023) نشان دادند که افزایش تولیدات زراعی و دامی در کشورهای در حال توسعه منجر به افزایش

انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. نتایج این تحقیقات نیز تأکید می‌کند که بهره‌وری پایین و مدیریت نامناسب منابع در این بخش‌ها، اثرات زیست‌محیطی شدیدی دارد. همچنین مطالعه محمد و همکاران (Muhammad et al., 2021) تأیید می‌کند که مصرف انرژی‌های فسیلی عامل اصلی افزایش انتشار CO₂ در کشورهای در حال توسعه است. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد. یافته‌های کیسی و گالور (Casey & Galor, 2016) نشان دادند که باروری کمتر می‌تواند به طور هم‌زمان درآمد سرانه را افزایش و انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد. همچنین ون در ورف و همکاران (Van der Werf et al., 2009) در مطالعه خود بیان داشتند که جنگل‌زدایی پس از احتراق سوخت‌های فسیلی، دومین منبع بزرگ انسانی انتشار دی‌اکسیدکربن در جو است. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که در ایران پس از مصرف انرژی، تولیدات جنگلی بیشترین نقش را در انتشار دی‌اکسیدکربن دارد.

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد اگر چه متغیر دما در کوتاه‌مدت تأثیری بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ندارد اما در بلندمدت افزایش آن می‌تواند منجر به کاهش انتشار شود؛ هرچند افزایش بارندگی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت منجر به کاهش میزان انتشار CO₂ خواهد شد. این یافته‌ها بیانگر نقش مهم اقلیم و منابع آب در مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای و توسعه پایدار در ایران است. هرچند مطالعه جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2024) نشان داد که یک رابطه U شکل نامتقارن بین میانگین دمای روزانه و شدت انتشار دی‌اکسیدکربن وجود دارد. این مطالعه نشان داد که هر روز اضافی با دمای بالاتر از ۳۳ درجه سانتیگراد در هر مکان منجر به افزایش ۰/۹٪ در میانگین شدت کربن سالانه می‌شود که ناشی از مصرف انرژی بیشتر برای خنک کردن است.

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، پیشنهادها زیر برای مدیریت انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) و دستیابی به توسعه پایدار در ایران ارائه می‌شود:

۱. ارتقای بهره‌وری و پایداری در کشاورزی و دامداری: از طریق کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی (توسعه کشاورزی ارگانیک و استفاده از کودهای زیستی) و بهره‌گیری از فناوری‌های مدرن در مدیریت آب و خاک، کاهش تخریب زمین‌های کشاورزی و بهینه‌سازی مصرف منابع. همچنین تشویق به استفاده از روش‌های پایدار در دامداری، شامل استفاده بهینه از علوفه و کاهش انتشار متان ضروری است.

۲. حفاظت از جنگل‌ها و منابع طبیعی: اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه برای جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی آن‌ها، به همراه برنامه‌ریزی برای احیای جنگل‌ها و توسعه فضای

سبز با هدف افزایش جذب کربن و همچنین آموزش عمومی در مورد اهمیت حفظ جنگل‌ها و کاهش بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی.

۳. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهینه‌سازی مصرف انرژی: کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی از طریق سرمایه‌گذاری در انرژی‌های خورشیدی، بادی و ترویج فناوری‌های کم‌مصرف و بهره‌ور در بخش‌های صنعتی و کشاورزی. به‌علاوه می‌توان از طریق ارائه تسهیلات و مشوق‌های مالی برای استفاده از منابع انرژی پاک، انگیزه لازم را جهت بکارگیری این نوع انرژی توسط واحدهای تولید فراهم نمود.

منابع

1. Ashena, M., & Hosseinabadi, H. (2019). Evaluating the factors affecting changes in carbon dioxide emissions in Iran with emphasis on the role of urbanization; decomposition analysis method. *Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 145-163. (In Persian)
2. Ata, B., Pakrooh, P. & Péntzes, J. (2023). Driving factors of energy related CO2 emissions at a regional level in the residential sector of Iran. *Scientific Reports*, 13(1), 17598. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44975-x>.
3. Casey, G. & Galor, O. (2016). Population growth and carbon emissions (No. w22885). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w22885>.
4. Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V. & House, J.I. (2014). Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 465-570). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.015>.
5. Filimonova, I.V., Provornaya, I.V. & Leont'eva, V.G. (2023). Assessment of factors affecting the level of carbon dioxide emissions. <https://doi.org/10.24891/ea.22.10.1888>.
6. Hur, S.J, Kim, J.M, Yim, D.G., Yoon, Y., Lee, S.S. & Jo, C. (2023). Impact of livestock industry on climate change: Case Study in South Korea—A review. *Animal bioscience*, 37(3), 405. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0256>
7. IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. contribution of working group ii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>.

8. Ivanyuk, V., Shuvalov, K., Mikhaylov, A., Akhobadze, G., Kachalov, D. & Martynova, A. (2024). Modelling of carbon dioxide emission influencing factors. In 2024 17th international conference on management of large-scale system development (MLSD) (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MLSD61779.2024.10739464>
9. Jiang, L., Yang, L., Wu, Q. & Zhang, X. (2024). How does extreme heat affect carbon emission intensity? Evidence from county-level data in China. *Economic Modelling*, 139, 106814. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106814>.
10. Karimi Alavijeh, N., Salehnia, N., Salehnia, N. & Koengkan, M. (2023). The effects of agricultural development on CO2 emissions: Empirical evidence from the most populous developing countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(10), 12011-12031. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02567-1>.
11. Keshavarzian, M., & Tabatabaieenasab, Z. (2022). The effects of electricity consumption on CO2 emissions in Iran. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s40866-022-00140-3>.
12. Lee, C.C., & Zhao, Y.N. (2023). Heterogeneity analysis of factors influencing CO2 emissions: the role of human capital, urbanization, and FDI. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185, 113644. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113644>.
13. Makutėnienė, D., Perkumienė, D. & Makutėnas, V. (2022). Logarithmic mean divisia index decomposition based on Kaya identity of GHG emissions from agricultural sector in Baltic states. *Energies*, 15(3), 1195. <https://doi.org/10.3390/en15031195>.
14. Muhammad, B., Khan, M.K., Khan, M.I. & Khan, S. (2021). Impact of foreign direct investment, natural resources, renewable energy consumption, and economic growth on environmental degradation: Evidence from BRICS, developing, developed and global countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21789-21798. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12084-1>
15. Nguyen, C.P., Le, T.H., Schinckus, C. & Su, T.D. (2021). Determinants of agricultural emissions: Panel data evidence from a global sample. *Environment and Development Economics*, 26(2), 109-130.
16. Rehman, A., Ma, H., Ahmad, M., Irfan, M., Traore, O. & Chandio, A.A. (2021). Towards environmental Sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan. *Ecological indicators*, 125, 107460.

17. Rehman, A., Ulucak, R., Ma, H., Ding, J. & Hua, J. (2024). The interconnectedness of land–crops–livestock and environmental quality in emerging Asian economies: Challenges of agriculturalization and carbonization. *Land*, 13(10), 1570. <https://doi.org/10.3390/land13101570>.
18. Roth, G.A., Abate, D., Abate, K.H., Abay, S.M., Abbafati, C., Abbasi, N. & Borschmann, R. (2018). Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980–(2017): A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The lancet*, 392(10159), 1736-1788. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32203-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32203-7).
19. Sabzevari, A., Kouchaki-Penchah, H. & Nabavi-Pelesaraei, A. (2015). Investigation of life cycle assessment of hazelnut production in Guilan province of IR Iran based on orchards size levels. In *Biological Forum* (Vol. 7, No. 1, p. 807). Research Trend.
20. Saribayevich, X.F., Sariyevich, X.X., Davlatov, S., Turobova, H. & Ruziyev, S. (2024). Analysis of factors affecting CO2 emissions: In the case of Uzbekistan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(4), 207-215. <https://doi.org/10.32479/ijeep.16193>.
21. Soheili-Fard, F., & Kouchaki-Penchah, H. (2015). Assessing environmental burdens of sugar beet production in East Azerbaijan province of IR Iran based on farms size levels. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 4(5), 489-495.
22. Van der Werf, G.R., Morton, D.C., DeFries, R.S., Olivier, J.G., Kasibhatla, P.S., Jackson, R.B. & Randerson, J.T. (2009). CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience*, 2(11), 737-738. <https://doi.org/10.1038/ngeo671>.
23. Worldbank. (2024). Available at: <https://data.worldbank.org/indicator>.
24. Yang, F. (2024). Research on factors affecting carbon emission. *International Journal of Natural Resources and Environmental Studies*, 2(2), 168-178. <https://doi.org/10.62051/ijnres.v2n2.19>.
25. Yang, Y., & Li, D. (2024). Analysis of factors affecting carbon emissions based on gray correlation analysis. *Frontiers in Sustainable Development*, 4(3), 76-81. <https://doi.org/10.54691/41rt3m41>.
26. Yousefi, M., Damghani, A.M. & Khoramivafa, M. (2014). Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Science of the Total Environment*, 493, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.004>.
27. Ziaei, S. (2019). Investigating the factors affecting carbon dioxide emissions in selected OECD countries using the panel data model. *Journal of Natural Environment*, 72(3), 339-352. (In Persian)

