Albahit Journal of Applied Sciences
"open-access, peer-reviewed biannual journal"
eISSN: 2708-8936, pISSN: 2708-244X
Volume 4, Issue 2, 2025
Page No: 49-65
***Website**: https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/en/index*

Sectoral and Regional Greenhouse Gas Emissions from Libya (1990–2020)

Abdulsalam M. Agwaidar [1 *], Sana A. Alsanussi [2], Adrees A. Adrees [3], Abdulmutalib H. Ali [4]
[1] Department of Natural Resources, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University, Al Bayda', Libya.
[2] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University, Al Bayda', Libya.
[3] Department of Agricultural Economics, Agricultural and Animal Research Center, Al Bayda', Libya.
[4] Department of Wildlife, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University, Al Bayda', Libya.

[*] *Corresponding author:* abdulsalamagwidar@gmail.com

Received: 29-07-2025	**Accepted:** 27-09-2025	**Published:** 10-10-2025

Copyright: © 2025 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
Greenhouse gas emissions from human activities are the primary drivers of global warming, which in turn accelerates climate change. This study aims to analyze the evolution of greenhouse gas emissions in Libya from 1990 to 2020, focusing on sectoral distribution (energy, industry, waste, agriculture) and the contribution of major gases (CO_2, CH_4, N_2O). The results reveal that the energy sector is the dominant source of emissions, accounting for over 90% of the total, with carbon dioxide (97.63%) being the most prevalent gas. Annual growth rates of emissions in Libya were found to be lower than the regional and global averages, with a stabilization or slight decline in emissions during the last period (2011–2020) due to economic and political challenges. The study recommends adopting sustainable policies, including transitioning to renewable energy, improving fossil fuel efficiency, enhancing waste management, promoting sustainable agricultural practices, and establishing a national emissions monitoring system. Furthermore, it emphasizes the importance of regional and international cooperation to leverage global climate finance and initiatives.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Libya, Carbon dioxide, Climate change, Renewable energy, Sustainable agriculture, Waste management.

انبعاثات الغازات الدفيئة من ليبيا القطاعية والإقليمية (1990–2020)

عبدالسلام محمد اقويدر[1]*، سناء عبدالهادي السنوسي [2] ، أدريس عبدالرحيم أدريس [3] ، عبدالمطلب حماد علي [4]
[1] قسم الموارد الطبيعية، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.
[2] قسم علوم البيئة، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.
[3] قسم الاقتصاد الزراعي، مركز البحوث الزراعية والحيوانية، البيضاء، ليبيا.
[4] قسم الحياة البرية، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.

الملخص
تُعد انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية المسبب الرئيسي لظاهرة الاحتباس الحراري، التي تؤدي إلى تغير المناخ العالمي. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، مع التركيز على التوزيع القطاعي (الطاقة، الصناعة، النفايات، الزراعة) ومساهمة الغازات الرئيسية (CO_2، CH_4، N_2O).

أظهرت النتائج أن قطاع الطاقة يُعد المصدر الأكبر للانبعاثات بنسبة تفوق 90%، مع هيمنة واضحة لثاني أكسيد الكربون (97.63%) على إجمالي الانبعاثات. كما تبين أن معدلات النمو السنوية للانبعاثات في ليبيا أقل من المتوسط الإقليمي والعالمي، مع استقرار أو تراجع طفيف في الانبعاثات خلال الفترة الأخيرة (2011–2020) نتيجة للظروف الاقتصادية والسياسية. توصي الدراسة بتطوير سياسات مستدامة تشمل التحول إلى الطاقة المتجددة، تحسين كفاءة استخدام الوقود الأحفوري، تعزيز إدارة النفايات، تبني ممارسات زراعية مستدامة، وإنشاء نظام وطني لرصد الانبعاثات. كما تدعو إلى تعزيز التعاون الإقليمي والدولي للاستفادة من التمويلات والمبادرات المناخية العالمية.

الكلمات المفتاحية: انبعاثات الغازات الدفيئة، ليبيا، ثاني أكسيد الكربون، تغير المناخ، الطاقة المتجددة، الزراعة المستدامة، إدارة النفايات.

المقدمة:

تُعد الغازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة المسبب الرئيس لظاهرة الاحتباس الحراري، التي تُعد بدورها المحرك الأساسي لتغير المناخ العالمي. ويُعتبر تغير المناخ من أهم وأخطر التحديات البيئية التي تواجه الإنسان وبيئته في الوقت الراهن، إذ يؤدي إلى تفاقم ظواهر الجفاف والفيضانات، وازدياد التطرفات المناخية، وتراجع إنتاجية المحاصيل، وارتفاع منسوب مياه البحار، مما يهدد التنوع البيولوجي وبقاء العديد من الكائنات الحية (سليم، أبوسنينة، & عمر، 2024).

على مدى القرون الماضية أسهمت الأنشطة البشرية الصناعية والزراعية في زيادة تركيزات الغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O) في الغلاف الجوي. وقد كانت تركيزات هذه الغازات في عام 1999 أعلى بنحو 30% و145% مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعية، نتيجة مباشرة لتزايد الأنشطة البشرية. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن هذه الغازات تمثل القوة المحركة الأساسية لتغير المناخ، إذ تسهم الأنشطة البشرية بما يزيد على ثلاثة أرباع إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة، إضافة إلى تأثيرها على قدرة النظم البيئية على امتصاصها (Nunes, 2023; Jackson et al., 2020; Mehmood et al., 2022; Capron et al., 2020; Nisbet et al., 2021).

تلعب الغازات الدفيئة دورا أساسيا في الحفاظ على التوازن الحراري لكوكب الأرض، من خلال امتصاص الأشعة تحت الحمراء وإعادة إصدارها. إلا أن الارتفاع المتزايد في تراكيز هذه الغازات بفعل النشاط البشري أدى إلى اختلال التوازن المناخي العالمي. وقد بينت العديد من الدراسات أن انبعاثات الغازات الدفيئة ترتبط ارتباطا وثيقا بمعدلات استهلاك الطاقة والنمو الاقتصادي، خصوصا في الدول المنتجة للنفط مثل دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، حيث تُعد قطاعات الطاقة والصناعة من أبرز مصادر هذه الانبعاثات (Yusuf et al., 2020; Lin & Abudu, 2020; Mikhaylov et al., 2020; Ntiamoah et al., 2024; Mignamissi & Djeufack, 2022).

وتشمل الغازات الدفيئة الرئيسة ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، أكسيد النيتروز (N_2O)، الأوزون (O_3)، بخار الماء (H_2O)، إضافة إلى الغازات الصناعية مثل الهيدروفلوروكربونات (HFCs)، البيرفلوروكربونات (PFCs)، وسداسي فلوريد الكبريت (SF_6). وتختلف تراكيز هذه الغازات في الغلاف الجوي باختلاف العمليات الطبيعية والأنشطة البشرية المؤثرة فيها (Nakazawa, 2020; Rehman et al., 2020; Jones et al., 2023).

يُعد ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أبرز هذه الغازات وأكثرها تأثيرا، إذ يمثل ما يزيد على ثلاثة أرباع الانبعاثات العالمية. وقد ارتفعت تركيزاته نتيجة احتراق الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة، وعمليات إزالة الغابات، والممارسات الزراعية المكثفة (Lashof & Ahuja, 1990; West & Marland, 2002). ومع انطلاق الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر، ارتفعت مستويات CO_2 في الغلاف الجوي بشكل مطرد نتيجة الاستخدام الواسع للفحم والنفط، وتوسع النشاط الصناعي والنقل، مما أدى إلى تغيرات مناخية طويلة الأمد (Hansen et al., 1998; Quadrelli & Peterson, 2007; Fearnside, 2005; Solomon et al., 2009; Höök & Tang, 2013).

إن قضية انبعاث الغازات الدفيئة تحتل مكانة محورية في الدراسات البيئية والاجتماعية والاقتصادية، لما لها من آثار عميقة على النظم الإيكولوجية والموارد الطبيعية والتنمية المستدامة. وعلى الرغم من أن مساهمة ليبيا في إجمالي الانبعاثات العالمية تبقى محدودة نسبيا، إلا أن اعتمادها الكبير على قطاع الطاقة (النفط والغاز) يجعل من دراسة ديناميات هذه الانبعاثات ضرورة لفهم الاتجاهات المستقبلية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، من خلال تحديد التوزيع القطاعي للانبعاثات (الطاقة، الصناعة، النفايات، الزراعة)، وتقييم مساهمة كل نوع من الغازات (CO_2، CH_4، N_2O)، بالإضافة إلى مقارنة موقع ليبيا إقليميا وعالميا لتقدير موقعها النسبي من حيث حجم الانبعاثات واتجاهاتها الزمنية.

أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من كونها توفر قاعدة بيانات حول اتجاهات انبعاثات الغازات الدفيئة في دولة نفطية ذات موقع متوسط مثل ليبيا، مما يسهم في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بالبلدان النامية في مجال التغير المناخي. كما تكتسب الدراسة أهميتها التطبيقية من قدرتها على مساعدة صانعي القرار في توجيه الاستثمارات نحو القطاعات الأكثر فعالية في خفض الانبعاثات وتحسين كفاءة استخدام الموارد، إلى جانب دورها في تعزيز الوعي البيئي لدى المؤسسات الحكومية والخاصة بأهمية التحول

نحو مصادر الطاقة النظيفة وأنظمة الإنتاج المستدامة. كذلك توفر الدراسة إطارا مقارنا إقليمي يمكن الاستفادة منه في تطوير استراتيجيات تعاون إقليمي مشتركة لمواجهة التحديات المناخية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

منهجية البحث

اعتمدت هذه الدراسة على بيانات رسمية من قاعدة FAOSTAT التابعة لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO, 2024)، والمتعلقة بانبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا. تغطي البيانات الفترة الزمنية من 1990 إلى 2020، وتم تقسيمها إلى ثلاث مراحل تحليلية رئيسية: الفترة الأولى (1990–2000)، والفترة الثانية (2001–2010)، والفترة الثالثة (2011–2020)، وذلك بهدف تتبع التطور الزمني للانبعاثات وتحديد الاتجاهات عبر العقود.

تضمنت الدراسة تحليل مجموعة من المتغيرات الرئيسة، شملت كمية الانبعاثات المقاسة بوحدة كيلوطن مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO_2-eq)، ومعدل النمو السنوي لانبعاثات الغازات، بالإضافة إلى توزيع الانبعاثات حسب القطاعات الاقتصادية الرئيسة (الطاقة، الصناعة، الزراعة، والنفايات)، وحسب أنواع الغازات الثلاثة الرئيسة وهي: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O).

تم استخدام التحليل الوصفي والإحصائي كمنهج لتفسير البيانات، حيث تم حساب المتوسطات ومعدلات النمو السنوي لكل فترة زمنية ولكل قطاع، مع الرسوم البيانية والجداول الإحصائية لتوضيح الاتجاهات الزمنية وتباينات الانبعاثات بين الغازات والقطاعات المختلفة. وقد تم تنفيذ جميع عمليات جمع البيانات وتحليلها الإحصائي وإعداد الرسوم البيانية باستخدام برنامج Microsoft Excel 2024 لما يوفره من أدوات في تحليل البيانات لتحقيق أهداف الدراسة.

كما تم تحليل نسب مساهمة كل غاز دفيء ضمن الانبعاثات الإجمالية لكل قطاع، لتحديد الغازات الأكثر تأثيرا في هيكل الانبعاثات الوطنية. كما تم إجراء مقارنة إقليمية وعالمية لانبعاثات ليبيا مع منطقة شمال إفريقيا، والقارة الإفريقية، والعالم، وذلك لتقييم موقع ليبيا النسبي من حيث حجم الانبعاثات واتجاهاتها خلال العقود الثلاثة الماضية.

خطوات الدراسة شملت جمع البيانات من (FAOSTAT)، ثم حساب المتوسطات ومعدلات النمو، وتحليل التوزيع النسبي للانبعاثات حسب الغازات والقطاعات، ومقارنة النتائج إقليميا وعالميا بهدف استخلاص الاتجاهات العامة وتحديد الخصائص لانبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا.

الفرضيات

الفرض الأول : يمثل قطاع الطاقة القطاع الاكبر من إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020).

الفرض الثاني : ثاني أكسيد الكربون (CO_2) يهيمن على انبعاثات جميع القطاعات.

الفرض الثالث : معدلات النمو السنوية للانبعاثات في ليبيا أقل من متوسط شمال إفريقيا وإفريقيا عبر العقود الثلاثة.

الفرض الرابع : الفترة الأخيرة (2011–2020) تظهر استقرارا أو تراجعا طفيفا في الانبعاثات السنوية.

النتائج (Results)

هذا القسم يهدف إلى عرض النتائج المستخلصة من البيانات الإحصائية المتعلقة بانبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020).

1. تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)

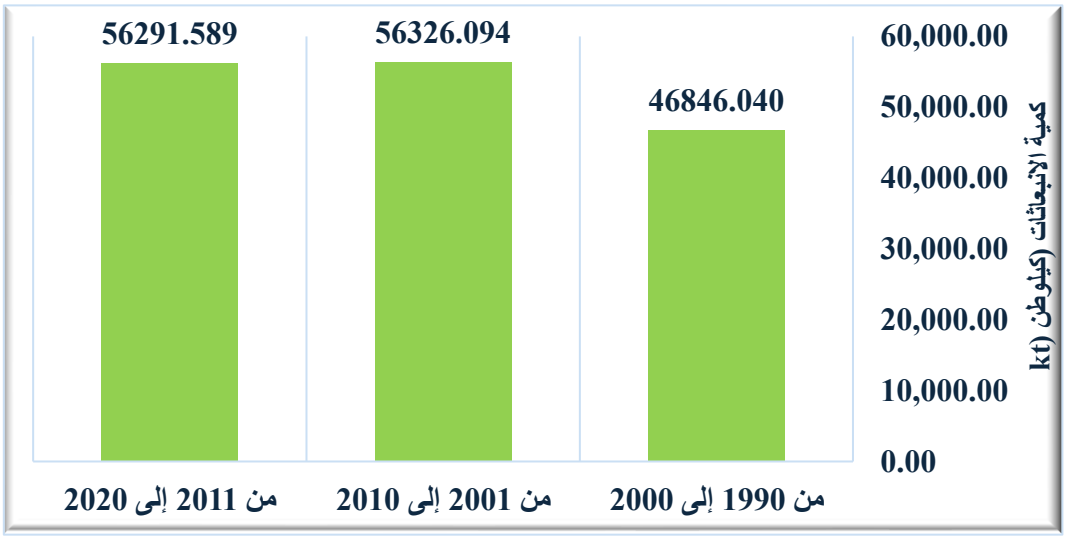
يوضح الجدول تطور متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا ومعدلات نموها على مدى ثلاث فترات زمنية تمتد من عام 1990 إلى عام 2020.

الجدول 1 : متوسطات ومعدلات نمو إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا (1990–2020).

المؤشر	كمية الانبعاثات (بالكيلو طن)
المتوسط العام	52951.073
المتوسط من 1990 إلى 2000	46846.040
المتوسط من 2001 إلى 2010	56326.094
المتوسط من 2011 إلى 2020	56291.589
معدل نمو عام	0.66%
المعدل من 1990 إلى 2000	2.34%
المعدل من 2001 إلى 2010	2.14%
المعدل من 2011 إلى 2020	-0.53%

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يُوضح الجدول (1) متوسطات ومعدلات نمو إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، حيث يظهر وجود اتجاه عام نحو الارتفاع في مستويات الانبعاثات عبر العقود الثلاثة الماضية، على الرغم من التباينات بين الفترات الزمنية المختلفة. فقد سجّلت الانبعاثات زيادة واضحة خلال الفترتين الأولى (1990–2000) والثانية (2001–2010)، وهو ما تعكسه أيضا معدلات النمو السنوية الموجبة خلال هاتين المرحلتين، مما يشير إلى توسع النشاط الاقتصادي والاعتماد المتزايد على الوقود الأحفوري. أما في الفترة الثالثة (2011–2020)، فيلاحظ استقرار نسبي في متوسط الانبعاثات مصحوب بتراجع طفيف في معدل النمو السنوي، وهو ما قد يُعزى إلى الظروف الاقتصادية والسياسية التي شهدتها البلاد خلال هذا العقد، والتي أدت إلى تقلبات في الإنتاج الصناعي وقطاع الطاقة. ويُظهر الشكل ارتفاع تدريجي في الانبعاثات حتى بداية العقد الأخير، يعقبه تباطؤ واضح في النمو، بما يؤكد التحولات الهيكلية في مصادر الانبعاثات خلال الفترة المدروسة.



الشكل 1 : متوسطات انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا خلال الفترات (1990–2020).

2. التوزيع القطاعي لانبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا

يوضح الجدول (2) تطور متوسطات انبعاثات الغازات الدفيئة ومعدلات نموها في ليبيا خلال الفترة 1990–2020 بحسب القطاعات المختلفة، وهي قطاع الطاقة، العمليات الصناعية (IPPU)، النفايات، الزراعة.

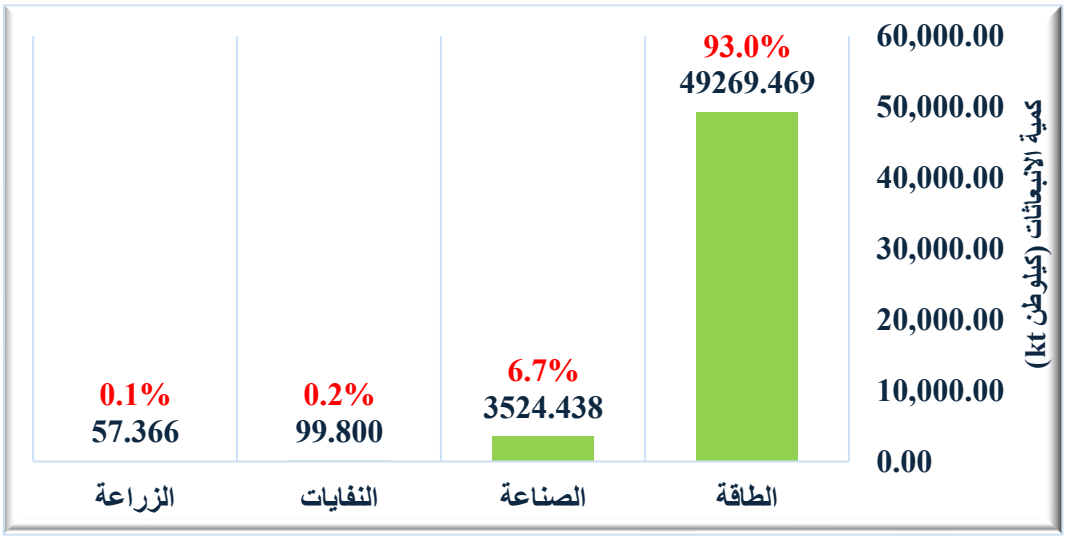
الجدول 2 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة حسب القطاعات الرئيسية في ليبيا (1990–2020).

المؤشر	الطاقة	الصناعة	النفايات	الزراعة
المتوسط العام	49269.469	3524.438	99.800	57.366
المتوسط من 1990 إلى 2000	43429.796	3280.584	87.097	48.562
المتوسط من 2001 إلى 2010	51737.648	4426.359	106.436	55.652
المتوسط من 2011 إلى 2020	53224.931	2890.758	107.136	68.764
معدل نمو عام	0.73%	-0.56%	1.21%	0.87%
المعدل من 1990 إلى 2000	2.24%	3.82%	2.02%	-2.60%
المعدل من 2001 إلى 2010	2.03%	3.44%	1.81%	4.75%
المعدل من 2011 إلى 2020	-0.35%	-3.97%	0.73%	0.30%
نسبة القطاع من إجمالي الانبعاثات	**93.0%**	**6.7%**	**0.2%**	**0.1%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يوضح الجدول (2) الخصائص الأساسية لتوزيع وانماط نمو انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا حسب القطاعات الرئيسية خلال الفترة (1990–2020)، حيث يتبين أن قطاع الطاقة يُعد المصدر الأكبر للانبعاثات في البلاد، إذ يستحوذ على النسبة الأكبر من إجمالي الانبعاثات مقارنة ببقية القطاعات، وهو ما يعكس اعتماد الاقتصاد الليبي على الأنشطة المرتبطة بالوقود الأحفوري. كما يظهر أن هذا القطاع قد شهد نموا إيجابيا في الانبعاثات خلال الفترتين (1990–2000) و(2001–2010)، قبل أن يبدأ بالتراجع الطفيف في المرحلة الأخيرة (2011–2020)، ما يشير إلى تأثره بالمتغيرات الاقتصادية والاضطرابات

التي شهدتها البلاد. أما القطاع الصناعي فرغم محدودية مساهمته مقارنة بالطاقة، إلا أنه سجل نموا ملحوظا في الانبعاثات خلال الفترتين الأولى والثانية، ثم شهد انخفاضا في الفترة الأخيرة، وهو اتجاه يرتبط بانكماش النشاط الصناعي خلال العقد الأخير. وبالنسبة لقطاع النفايات فتُظهر البيانات اتجاها تصاعديا معتدلا في الانبعاثات عبر الفترات الثلاث، مما يعكس ضعف نظم إدارة النفايات وغياب المعالجة البيئية المتقدمة. بينما يُعد قطاع الزراعة الأقل إسهاما في الانبعاثات، إلا أنه تناقص في الفترة الأخيرة مقارنة بالفترتين السابقتين، وهو ما قد يرتبط بتراجع الإنتاج الزراعي أو تطور ممارسات تسجيل الانبعاثات. وتؤكد هذه النتائج مجتمعة أن انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا تتسم بعدم التوازن القطاعي، حيث يهيمن قطاع الطاقة بنسبة تفوق 90% من الإجمالي، فيما تبقى القطاعات الأخرى مساهمة بنسب محدودة لكنها ذات أهمية عند صياغة السياسات المناخية المستقبلية.



الشكل 2 : متوسطات انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا حسب القطاعات خلال الفترات (1990–2020).

3. تطور انبعاثات الغازات الدفيئة حسب نوع الغاز في قطاع الطاقة

يوضح الجدول (3) تطور انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الصناعة في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، حسب نوع الغاز، وهي ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O).

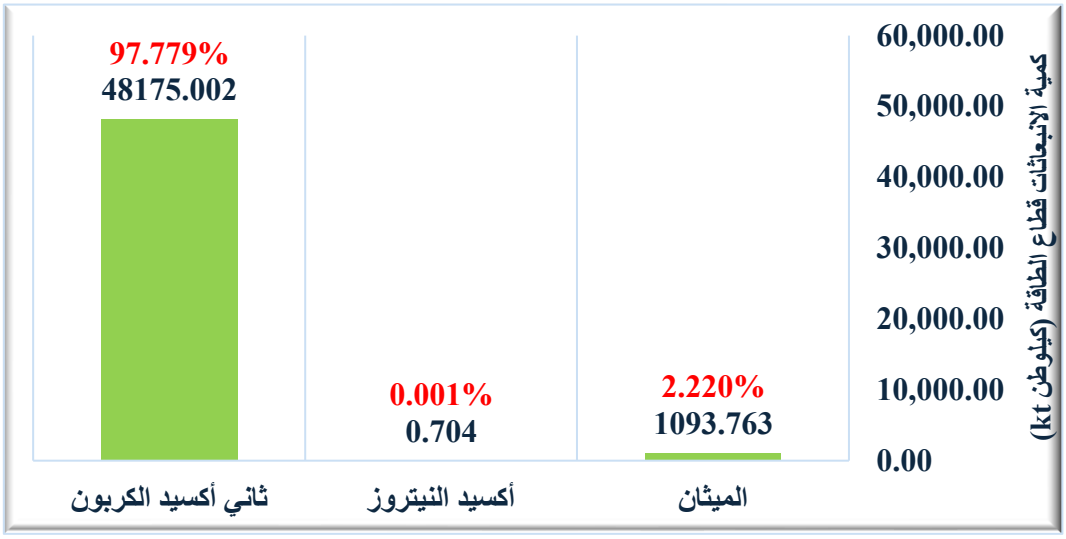
الجدول 3 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الطاقة في ليبيا حسب نوع الغاز (1990–2020) (كيلو طن)

المؤشر	الميثان	أكسيد النيتروز	ثاني أكسيد الكربون
المتوسط العام	1093.763	0.704	48175.002
المتوسط من 1990 إلى 2000	1395.913	0.581	42033.303
المتوسط من 2001 إلى 2010	1210.418	0.707	50526.523
المتوسط من 2011 إلى 2020	644.743	0.837	52579.351
معدل نمو عام	-4.45%	1.78%	0.85%
المعدل من 1990 إلى 2000	-2.65%	3.48%	2.41%
المعدل من 2001 إلى 2010	0.88%	3.42%	2.05%
المعدل من 2011 إلى 2020	0.24%	1.99%	-0.36%
نسبة الغاز من إجمالي انبعاثات الطاقة	**2.220%**	**0.001%**	**97.779%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يُظهر الجدول (3) التطور الزمني لانبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الطاقة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، وتبين النتائج انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تهيمن على تركيبة الغازات في هذا القطاع، إذ بلغ متوسطه العام نحو 48175 ألف طن، وبنسبة مساهمة تقارب 97.8% من إجمالي انبعاثات الطاقة، بينما مساهمة محدودة لكل من الميثان (2.22%) وأكسيد النيتروز (0.001%). ويتضح من البيانات أن الميثان شهد توجها تنازليا، حيث تراجع متوسطه من 1395.9 ألف طن في

الفترة الأولى إلى 644.7 ألف طن في الفترة الأخيرة، وبمعدل نمو عام سلبي بلغ –4.45%، وهو ما يعكس انخفاض الانبعاثات المرتبطة بأنشطة استخراج النفط والغاز أو تحسن التقنيات المستخدمة. أما أكسيد النيتروز حافظ على مستويات منخفضة للغاية لكنه اتجه للارتفاع التدريجي مسجلا معدل نمو عام 1.78%. في حين ثاني أكسيد الكربون وهو الغاز الرئيس في القطاع، فقد ارتفع من متوسط قدره 42033 ألف طن خلال الفترة (1990–2000) إلى أكثر من 52579 ألف طن في الفترة (2011–2020)، قبل أن يسجل معدل نمو طفيفا سلبيا في العقد الأخير (–0.36%)، وتعكس هذه النتائج الطبيعة الهيكلية لانبعاثات قطاع الطاقة في ليبيا، والتي ترتبط أساسا بحرق الوقود الأحفوري، مع تغيرات طفيفة في الغازات الأخرى مقارنة بالارتفاع الكبير والمتتابع لثاني أكسيد الكربون على مدى العقود الثلاثة الماضية.



الشكل 3 : متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الطاقة في ليبيا (1990–2020) حسب نوع الغاز (كيلو طن).

4. تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع الصناعة حسب نوع الغاز

يوضح الجدول (4) تطور انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الصناعة في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، حسب نوع الغاز، وهي ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O).

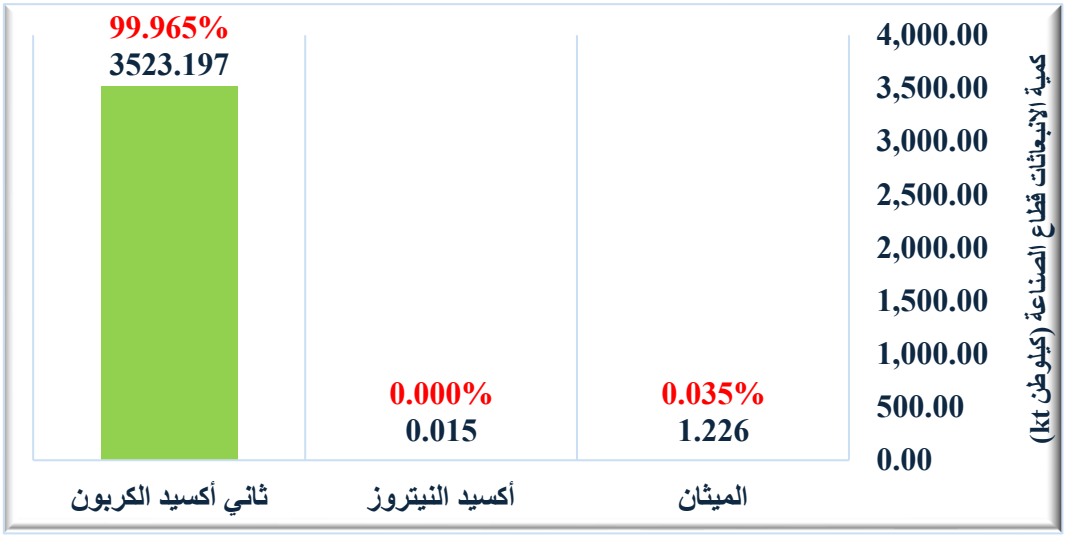
الجدول 4 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الصناعة في ليبيا حسب نوع الغاز (1990–2020) (كيلو طن)

المؤشر	الميثان	أكسيد النيتروز	ثاني أكسيد الكربون
المتوسط العام	1.226	0.015	3523.197
المتوسط من 1990 إلى 2000	1.375	0.015	3279.193
المتوسط من 2001 إلى 2010	1.549	0.015	4424.794
المتوسط من 2011 إلى 2020	0.739	0.015	2890.004
معدل نمو عام	-7.95%	0.15%	-0.56%
المعدل من 1990 إلى 2000	0.24%	0.43%	3.82%
المعدل من 2001 إلى 2010	1.17%	0.00%	3.44%
المعدل من 2011 إلى 2020	-32.78%	0.00%	-3.96%
نسبة الغاز من إجمالي انبعاثات الصناعة	**0.0348%**	**0.0004%**	**99.9648%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

اظهر الجدول (4) اتجاهات ومتوسطات انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الصناعة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، ويبيّن بوضوح هيمنة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) على هيكل الانبعاثات الصناعية، إذ بلغ متوسطه العام 3523.197 كيلو طن، وبنسبة بلغت 99.96% من إجمالي انبعاثات القطاع، مقابل مساهمات هامشية للغاية لكل من الميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) التي لم تتجاوز معا 0.04%. كما يوضح الجدول ارتفاع متوسط CO_2 خلال الفترة (2001–2010) ليصل إلى 4424.794 كيلو طن نتيجة التوسع الصناعي وارتفاع النشاط الاقتصادي، قبل أن ينخفض بشكل ملحوظ خلال الفترة (2011–2020) إلى 2890.004 كيلو طن وهو ما ينسجم مع الظروف الاقتصادية والسياسية التي أثّرت على

الإنتاج الصناعي في ليبيا بعد عام 2011. ويُظهر معدل النمو العام لغاز CO_2 قيمة سالبة بلغت –0.56%، مما يعكس الاتجاه التراجعي العام للقطاع في العقود الأخيرة، بينما سجّل الميثان أكبر معدل تراجع بنمو سنوي –7.95%، في حين بقي أكسيد النيتروز عند مستويات شبه ثابتة بمعدل نمو يقارب 0.15% فقط. يعكس هذا الجدول الطبيعة الكربونية الثقيلة للصناعة الليبية واعتمادها المباشر على الوقود الأحفوري، مع محدودية الأنشطة التي تصدر عنها غازات غير CO_2.



الشكل 4 : متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الصناعة في ليبيا (1990–2020) حسب نوع الغاز (كيلو طن).

5. تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع النفايات حسب نوع الغاز

يوضح الجدول (5) تطور انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع النفايات في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، حسب نوع الغاز، وهي: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O).

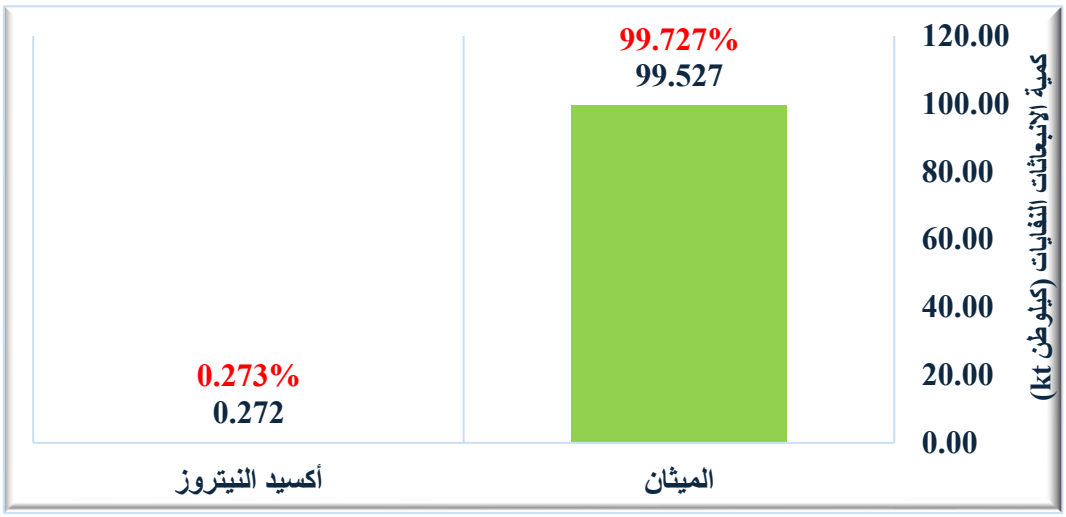
الجدول 5 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع النفايات في ليبيا حسب نوع الغاز (1990–2020) (كيلو طن)

المؤشر	الميثان	أكسيد النيتروز
المتوسط العام	99.527	0.272
المتوسط من 1990 إلى 2000	86.905	0.192
المتوسط من 2001 إلى 2010	106.165	0.270
المتوسط من 2011 إلى 2020	106.774	0.362
معدل نمو عام	1.21%	2.51%
المعدل من 1990 إلى 2000	2.02%	2.80%
المعدل من 2001 إلى 2010	1.81%	2.12%
المعدل من 2011 إلى 2020	0.73%	1.69%
نسبة الغاز من إجمالي انبعاثات النفايات	**99.73%**	**0.27%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يبيّن الجدول (5) متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع النفايات في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، ويظهر من النتائج أن غاز الميثان هو المكوّن الرئيس لانبعاثات هذا القطاع، إذ بلغ متوسطه العام نحو 99.527 كيلو طن مقابل 0.272 كيلو طن فقط لأكسيد النيتروز، وهو ما يجعل الميثان يشكّل نسبة 99.73% من إجمالي انبعاثات القطاع. كما تعكس متوسطات الفترات الثلاث زيادة تدريجية في انبعاثات الميثان من 86.905 كيلو طن (1990–2000) إلى 106.774 كيلو طن (2011–2020)، بينما ارتفعت انبعاثات أكسيد النيتروز من 0.192 إلى 0.362 كيلو طن خلال نفس الفترات. وتُظهر معدلات النمو السنوية اتجاها موجبا لكلا الغازين على المدى الطويل، حيث بلغ معدل النمو العام للميثان 1.21% ولأكسيد النيتروز 2.51%، وهو ما يشير إلى توسع متواصل في الانبعاثات المرتبطة بإدارة النفايات الصلبة والمياه صرف الصحي. كما تكشف المعدلات حسب الفترات الزمنية عن استمرار الزيادة ولكن بوتيرة متفاوتة، إذ بلغ معدل نمو الميثان

أعلى قيمة له خلال الفترة الأولى (2.02%) وانخفض تدريجيا إلى 0.73% في الفترة الأخيرة، في حين حافظ أكسيد النيتروز على نمو متصاعد وإن كان محدودا. وتوضح هذه النتائج أن قطاع النفايات، رغم مساهمته الصغيرة نسبيا في الانبعاثات الوطنية، يشهد اتجاها تصاعديا يستدعي تحسين تقنيات معالجة النفايات والحدّ من الانبعاثات العضوية.



الشكل 5 : متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع النفايات في ليبيا (1990–2020) حسب نوع الغاز (كيلو طن).

6. تطور انبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع الزراعة حسب نوع الغاز

يوضح الجدول (6) تطور انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الزراعة في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، حسب نوع الغاز، وهي: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروز (N_2O).

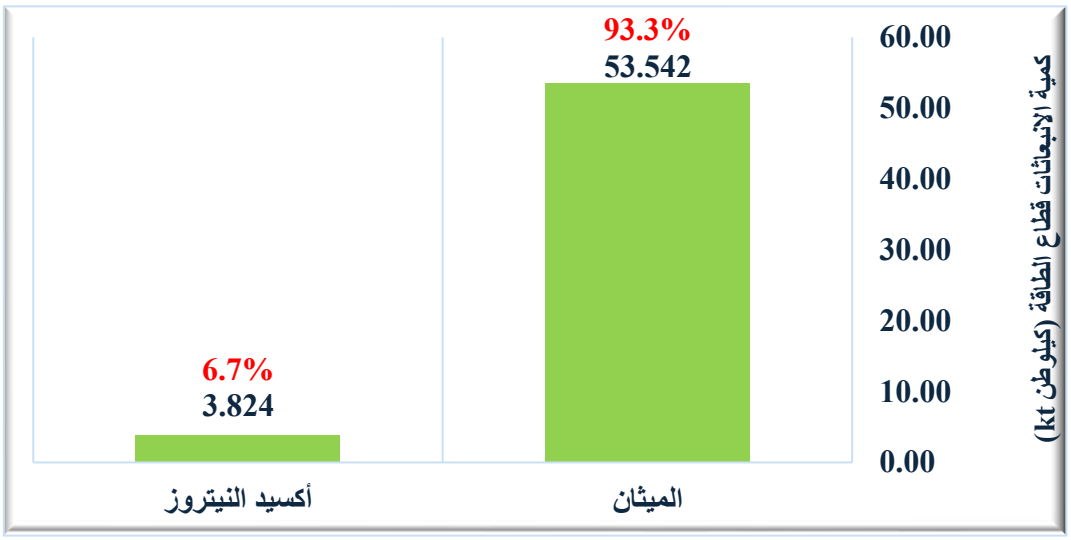
الجدول 6 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الزراعة في ليبيا حسب نوع الغاز (1990–2020) (كيلو طن)

المؤشر	الميثان	أكسيد النيتروز
المتوسط العام	53.542	3.824
المتوسط من 1990 إلى 2000	45.316	3.246
المتوسط من 2001 إلى 2010	51.808	3.844
المتوسط من 2011 إلى 2020	64.323	4.440
معدل نمو عام	0.88%	0.73%
المعدل من 1990 إلى 2000	-2.70%	-1.26%
المعدل من 2001 إلى 2010	4.76%	4.55%
المعدل من 2011 إلى 2020	0.36%	-0.55%
نسبة الغاز من إجمالي انبعاثات الزراعة	93.33%	6.67%

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يقدّم يبيّن الجدول (6) متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الزراعة في ليبيا خلال الفترة 1990–2020، وتظهر النتائج أن غاز الميثان هو المكوّن الرئيس لانبعاثات هذا القطاع، إذ بلغ متوسطه العام نحو 53.542 كيلو طن مقابل 3.824 كيلو طن فقط لأكسيد النيتروز، وهو ما يجعل الميثان يشكّل 93.33% من إجمالي انبعاثات الزراعة. وتعكس متوسطات الفترات الثلاث مسارا تصاعديا لانبعاثات الميثان، حيث ارتفعت من 45.316 كيلو طن خلال الفترة (1990–2000) إلى 64.323 كيلو طن في الفترة (2011–2020)، بينما شهدت انبعاثات أكسيد النيتروز زيادة من 3.246 إلى 4.440 كيلو طن خلال نفس الفترات. وتُظهر معدلات النمو السنوية اتجاها عاما موجبا لكلا الغازين على المدى الطويل، إذ بلغ معدل النمو العام للميثان 0.88% ولأكسيد النيتروز 0.73%، مما يشير إلى توسع مستمر في الانبعاثات المرتبطة بالأنشطة الزراعية والعمليات الحيوانية. كما توضح معدلات النمو حسب الفترات الزمنية اختلافا ملحوظا بين المراحل، حيث سجل الميثان معدلات نمو سالبة في الفترة الأولى (-2.70%) قبل أن يتحول إلى نمو مرتفع في الفترة الثانية (4.76%) ثم يتراجع إلى 0.36% في الفترة الأخيرة، بينما شهد أكسيد النيتروز نمطا مشابها من التذبذب بين تراجع في الفترة الأولى

(-1.26%) ونمو قوي في الفترة الثانية (4.55%) ثم انخفاض طفيف في الفترة الأخيرة (-0.55%). وتشير هذه النتائج إلى أن قطاع الزراعة، رغم مساهمته المحدودة في إجمالي الانبعاثات الوطنية، إلا أنه يُظهر اتجاها تصاعديا يستدعي تطوير ممارسات زراعية مستدامة وتقنيات أكثر كفاءة للحد من الانبعاثات الناتجة عن النشاط الحيواني وإدارة التربة.



الشكل 6 : متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الزراعة في ليبيا (1990–2020) حسب نوع الغاز (كيلو طن)

7. موقع ليبيا ضمن السياق الإقليمي والعالمي لانبعاثات الغازات الدفيئة

يوضح الجدول (7) تطور اجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا ضمن السياق الإقليمي والعالمي خلال الفترة 1990–2020.

الجدول 7 : مقارنة متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا ضمن السياق الإقليمي والعالمي (1990–2020)

المؤشر	ليبيا	شمال افريقيا	افريقيا	العالم
المتوسط العام	52951.073	430589.444	1193882.114	29360329.985
المتوسط من 1990 إلى 2000	46846.040	300250.829	933435.451	23549753.246
المتوسط من 2001 إلى 2010	56326.094	427050.957	1203286.394	29449005.807
المتوسط من 2011 إلى 2020	56291.589	577500.407	1470969.164	35663288.576
معدل نمو عام	0.66%	2.80%	1.91%	1.51%
المعدل من 1990 إلى 2000	2.34%	3.24%	2.20%	1.11%
المعدل من 2001 إلى 2010	2.14%	3.86%	2.81%	2.68%
المعدل من 2011 إلى 2020	-0.53%	1.53%	0.83%	0.40%
متوسط نسبة انبعاثات ليبيا		**12.30%**	**4.44%**	**0.18%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يوضح الجدول (7) مقارنة شاملة من خلال متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا ضمن السياقين الإقليمي والعالمي خلال الفترة 1990–2020، مما يسمح بتحديد موقع ليبيا النسبي وملاحظة الفروق في الانبعاثات عبر المستويات المختلفة. ويُظهر الجدول أن متوسط الانبعاثات في ليبيا بلغ نحو 52951.07 كيلو طن خلال فترة الدراسة، وهو مستوى منخفض مقارنة بمتوسطات شمال إفريقيا (430589.44 كيلو طن) وإفريقيا (1.19 مليون كيلو طن) والعالم (29.36 مليون كيلو طن). كما تعكس المتوسطات حسب الفترات الثلاث اتجاها تصاعديا على المستوى الإقليمي والعالمي، في حين تسجل ليبيا نمطا مختلفا حيث ارتفع المتوسط من 46846.04 في الفترة الأولى إلى 56326.09 في الفترة الثانية، ثم بقي ثابتا تقريبا في الفترة الثالثة (56291.59) نتيجة لتأثرها بعوامل سياسية واقتصادية خلال العقد الأخير. أما معدلات النمو فتُظهر أن ليبيا سجلت معدل نمو عام منخفض نسبيا بلغ 0.66%، وهو أقل بكثير من شمال إفريقيا (2.80%) وإفريقيا (1.91%) والعالم (1.51%). كما تكشف تفاصيل الفترات الزمنية أن ليبيا حققت نموا إيجابيا في الفترتين الأولى والثانية (2.34% و2.14%

على التوالي)، بينما سجّلت انكماشا في الفترة الأخيرة (-0.53%) على عكس الاتجاه الإقليمي والعالمي الذي ظل متزايد وإن كان بوتيرة أبطأ. وتشير النتائج إلى أن انبعاثات ليبيا تمثل في المتوسط 12.30% من إجمالي انبعاثات شمال إفريقيا، و4.44% من انبعاثات إفريقيا، و0.18% فقط من الانبعاثات العالمية، وهو ما يعكس الوزن البيئي المحدود لليبيا على المستوى العالمي، رغم أهميتها الإقليمية النسبية.

الشكل 7 : مقارنة متوسط انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا ضمن السياق الإقليمي والعالمي (1990–2020) (كيلو طن)

8. نسب مساهمة الغازات الدفيئة في إجمالي الانبعاثات حسب القطاعات

نسب الغازات الدفيئة الرئيسية (الميثان CH_4، أكسيد النيتروز N_2O، وثاني أكسيد الكربون CO_2) في إجمالي الانبعاثات الناتجة عن القطاعات المختلفة في ليبيا خلال الفترة (1990–2020).

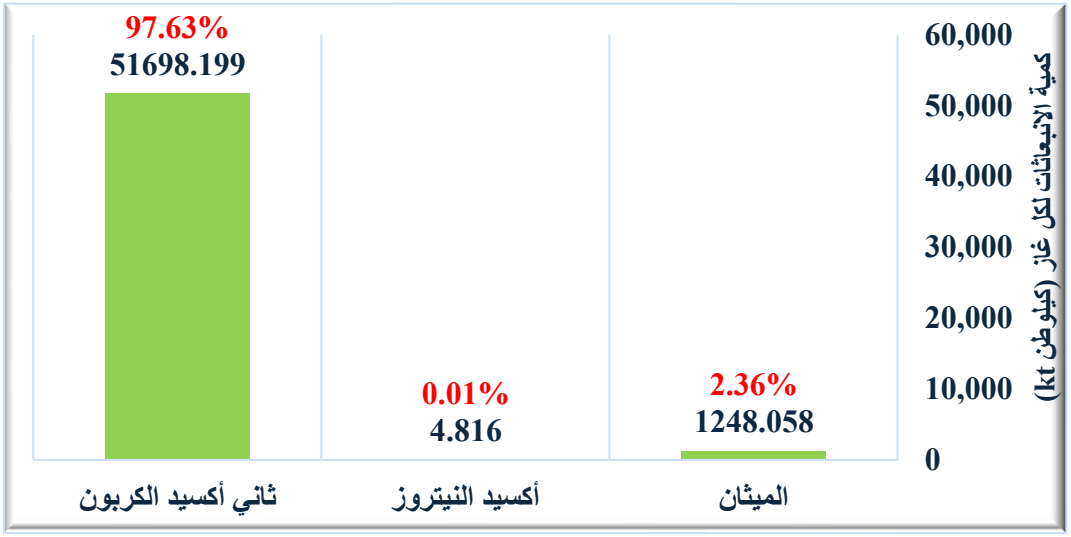
الجدول 8 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة الإجمالية في ليبيا حسب نوع الغاز (1990–2020) (كيلو طن)

المؤشر	الميثان	أكسيد النيتروز	ثاني أكسيد الكربون
المتوسط العام	1248.058	4.816	51698.199
المتوسط من 1990 إلى 2000	1529.509	4.035	45312.496
المتوسط من 2001 إلى 2010	1369.940	4.836	54951.318
المتوسط من 2011 إلى 2020	816.580	5.654	55469.355
معدل نمو عام	-3.54%	0.96%	0.77%
المعدل من 1990 إلى 2000	-2.39%	-0.40%	2.51%
المعدل من 2001 إلى 2010	1.10%	4.21%	2.16%
المعدل من 2011 إلى 2020	0.29%	-0.09%	-0.54%
نسبة الغاز من إجمالي الانبعاثات	**2.36%**	**0.01%**	**97.63%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

الجدول (8) يوضح متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الغازات الدفيئة الإجمالية في ليبيا خلال الفترة 1990–2020 حسب نوع الغاز، ويوضح أن ثاني أكسيد الكربون يشكّل المكوّن الغالب لهذه الانبعاثات، إذ بلغ متوسطه العام 51698.199 كيلو طن، وهو ما يمثل نحو 97.63% من إجمالي الانبعاثات في ليبيا، مقابل 1248.058 كيلو طن للميثان (2.36%) و4.816 كيلو طن فقط لأكسيد النيتروز (0.01%). وتُظهر بيانات الفترات الثلاث تراجعا واضحا في متوسط انبعاثات الميثان من 1529.509 كيلو طن خلال الفترة 1990–2000 إلى 816.580 كيلو طن خلال 2011–2020، في حين ارتفعت انبعاثات أكسيد النيتروز من 4.035 إلى 5.654 كيلو طن، فيما سجّل ثاني أكسيد الكربون زيادة ملحوظة من 45312.496 إلى 55469.355 كيلو طن عبر الفترات الثلاث. أما معدلات النمو السنوية فتشير إلى اتّجاه عام متناقض بين الغازات؛ حيث سجّل الميثان معدل نمو سالبا قدره -3.54%، مقابل نمو طفيف موجب لأكسيد النيتروز (0.96%) وثاني أكسيد الكربون

(0.77%). ويعكس تحليل الفترات الزمنية تباينا إضافيا إذ سجّل الميثان معدلات نمو سالبة خلال الفترة الأولى (-2.39%) قبل أن يتحول إلى نمو موجب محدود في الفترة الثانية (1.10%)، ثم يعود إلى انخفاض طفيف (-0.29%) في الفترة الأخيرة. كما حقق أكسيد النيتروز أعلى معدل نمو له في الفترة 2001–2010 (4.21%) قبل أن يتراجع قليلا، بينما حافظ ثاني أكسيد الكربون على نمو إيجابي في الفترتين الأولى والثانية قبل أن ينخفض إلى -0.54% خلال 2011–2020. وتوضح هذه النتائج أن هيكل الانبعاثات في ليبيا يعتمد بصورة شبه كاملة على ثاني أكسيد الكربون، مع اتجاهات متباينة للغازات الأخرى تعكس مستويات التطور في القطاعات الاقتصادية المختلفة.



الشكل 8 : مقارنة نسب مساهمة الغازات الدفيئة في إجمالي الانبعاثات.

9. انبعاثات الميثان (CH_4) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020)

تطور انبعاثات غاز الميثان (CH_4) في ليبيا خلال الفترة 1990-2020، موزعة على القطاعات الأربعة: الطاقة، الصناعة، النفايات، والزراعة. يستعرض الجدول التالي متوسطات الانبعاثات ومعدلات النمو لكل قطاع، بالإضافة إلى نسبة مساهمة كل قطاع من إجمالي انبعاثات الميثان.

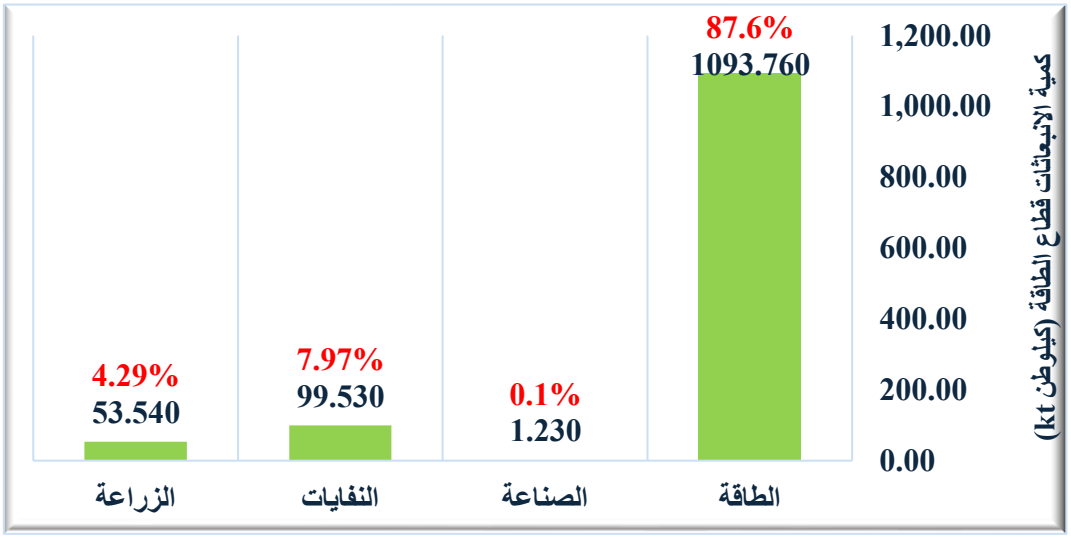
الجدول 9 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات الميثان (CH_4) في ليبيا حسب القطاعات (1990–2020).

المؤشر	الطاقة	الصناعة	النفايات	الزراعة
المتوسط العام	1093.76	1.23	99.53	53.54
المتوسط من 1990 إلى 2000	1395.91	1.38	86.90	45.32
المتوسط من 2001 إلى 2010	1210.42	1.55	106.17	51.81
المتوسط من 2011 إلى 2020	644.74	0.74	106.77	64.32
معدل نمو عام	-4.4%	-8.0%	1.2%	0.9%
المعدل من 1990 إلى 2000	-2.6%	0.2%	2.0%	-2.7%
المعدل من 2001 إلى 2010	0.9%	1.2%	1.8%	4.8%
المعدل من 2011 إلى 2020	0.2%	-32.8%	0.7%	0.4%
نسبة القطاع من إجمالي انبعاثات (CH_4)	**87.64%**	**0.10%**	**7.97%**	**4.29%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يبيّن الجدول (9) متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات غاز الميثان (CH_4) في ليبيا حسب القطاعات الرئيسة خلال الفترة 1990–2020، ويظهر بوضوح أن قطاع الطاقة هو المصدر الغالب لانبعاثات الميثان، إذ بلغ متوسطه العام نحو 1093.76 كيلو طن، وهو ما يمثل 87.64% من إجمالي انبعاثات الميثان على المستوى الوطني، يليه قطاع النفايات بنسبة 7.97%، ثم قطاع الزراعة بنسبة 4.29%، بينما تسجل الصناعة مساهمة ضئيلة جدا لا تتجاوز 0.10%. وتكشف متوسطات الفترات الثلاث عن تراجع ملحوظ في انبعاثات الطاقة من 1395.91 كيلو طن (1990–2000) إلى 644.74 كيلو طن (2011–2020)، مقابل ارتفاع مستمر في انبعاثات الزراعة والنفايات خاصة في الفترة الأخيرة، ما يعكس تغيرا في التركيبة النسبية

للقطاعات المصدّرة للميثان. وتُبرز معدلات النمو السنوية الاتجاهات المختلفة بين القطاعات، إذ يسجل قطاع الطاقة معدل نمو عام سالب (-4.4%) نتيجة الانخفاض المستمر في الانبعاثات، بينما يحقق قطاع النفايات نموا موجبا (1.2%) والزراعة (0.9%)، في حين تنخفض انبعاثات الصناعة بشكل كبير (-8.0%) على المدى الطويل. كما توضح المعدلات حسب الفترات الزمنية تذبذب هذه الاتجاهات؛ فبينما شهدت الفترة 1990–2000 انخفاضا في انبعاثات الطاقة والزراعة، عرفت الفترة 2001–2010 نموا موجبا في معظم القطاعات، قبل أن تتراجع انبعاثات الطاقة والصناعة خلال الفترة الأخيرة مقابل نمو محدود في الزراعة والنفايات. وتشير هذه النتائج إلى أن هيكل انبعاثات الميثان في ليبيا يتركز بشكل أساسي في قطاع الطاقة، مع بروز دور أكبر تدريجيا لقطاعي الزراعة والنفايات.



الشكل 9 : متوسط ونسبة انبعاثات الميثان (CH_4) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020).

10. انبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020)

انبعاثات غاز أكسيد النيتروز (N_2O) في ليبيا خلال الفترة الزمنية (1990–2020)، مع مساهمة كل من قطاعات الطاقة، الصناعة، النفايات، والزراعة. يوضح الجدول التالي المتوسطات ومعدلات النمو لانبعاثات هذا الغاز في كل قطاع، بالإضافة إلى نسب مساهمتها من الإجمالي.

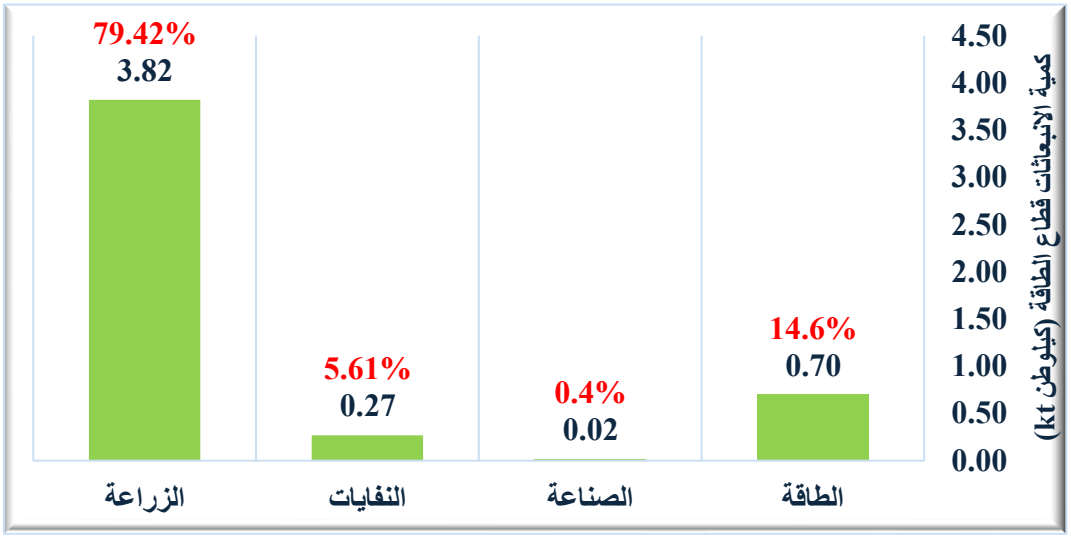
الجدول 10 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O) في ليبيا حسب القطاعات (1990–2020).

المؤشر	الطاقة	الصناعة	النفايات	الزراعة
المتوسط العام	0.70	0.02	0.27	3.82
المتوسط من 1990 إلى 2000	0.58	0.02	0.19	3.25
المتوسط من 2001 إلى 2010	0.71	0.02	0.27	3.84
المتوسط من 2011 إلى 2020	0.84	0.02	0.36	4.44
معدل نمو عام	1.8%	0.2%	2.5%	0.7%
المعدل من 1990 إلى 2000	3.5%	0.4%	2.8%	-1.3%
المعدل من 2001 إلى 2010	3.4%	0.0%	2.1%	4.6%
المعدل من 2011 إلى 2020	2.0%	0.0%	1.7%	-0.6%
نسبة القطاع من إجمالي انبعاثات (N_2O)	**14.55%**	**0.42%**	**5.61%**	**79.42%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يبيّن الجدول (10) اتجاهات متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات غاز أكسيد النيتروز (N_2O) في ليبيا خلال الفترة 1990–2020 موزعة على القطاعات الرئيسة، ويظهر أن قطاع الزراعة يُعد المصدر الأكبر لهذا الغاز، إذ بلغ متوسط انبعاثاته نحو 3.82 كيلو طن، وهو ما يمثل حوالي 79.42% من إجمالي انبعاثات (N_2O)، يليه قطاع الطاقة بنسبة 14.55%، فيما تسهم النفايات بنسبة 5.61% فقط، ويكاد دور الصناعة يكون محدودا للغاية بنسبة 0.42%. كما تعكس متوسطات الفترات الزمنية الثلاث اتجاها تصاعديا واضحا في انبعاثات هذا الغاز من قطاع الزراعة، حيث ارتفعت من 3.25 كيلو طن خلال

الفترة (1990–2000) إلى 4.44 كيلو طن في الفترة (2011–2020)، بينما شهد قطاع الطاقة أيضا زيادة تدريجية من 0.58 إلى 0.84 كيلو طن خلال نفس المدة. وتوضح معدلات النمو السنوية أن جميع القطاعات—باستثناء الزراعة في الفترتين الأولى والأخيرة سجلت معدلات نمو موجبة، حيث بلغ معدل النمو العام 1.8% لقطاع الطاقة و2.5% لقطاع النفايات و0.2% لقطاع الصناعة، في حين سجّل قطاع الزراعة نموا عاما بلغ 0.7%. وتكشف الاتجاهات الزمنية أن أعلى معدلات النمو تحققت خلال الفترة (2001–2010)، خصوصا في الزراعة (4.6%) والنفايات (2.1%). ويتضح من هذه النتائج أن انبعاثات أكسيد النيتروز في ليبيا ترتبط بشكل رئيس بالأنشطة الزراعية، ولا سيما استخدام الأسمدة النيتروجينية وإدارة التربة، مما يشير إلى ضرورة تبني ممارسات زراعية مستدامة للحد من هذا النوع من الانبعاثات.



الشكل 10 : متوسط ونسبة انبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020).

11. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020)

تحليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في ليبيا خلال الفترة الممتدة من 1990 إلى 2020، مع تسليط الضوء على القطاعات الرئيسية المساهمة فيه: الطاقة والصناعة. يعرض الجدول التالي متوسطات ومعدلات النمو لانبعاثات CO_2 في كل من هذين القطاعين، بالإضافة إلى نسبتهما من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

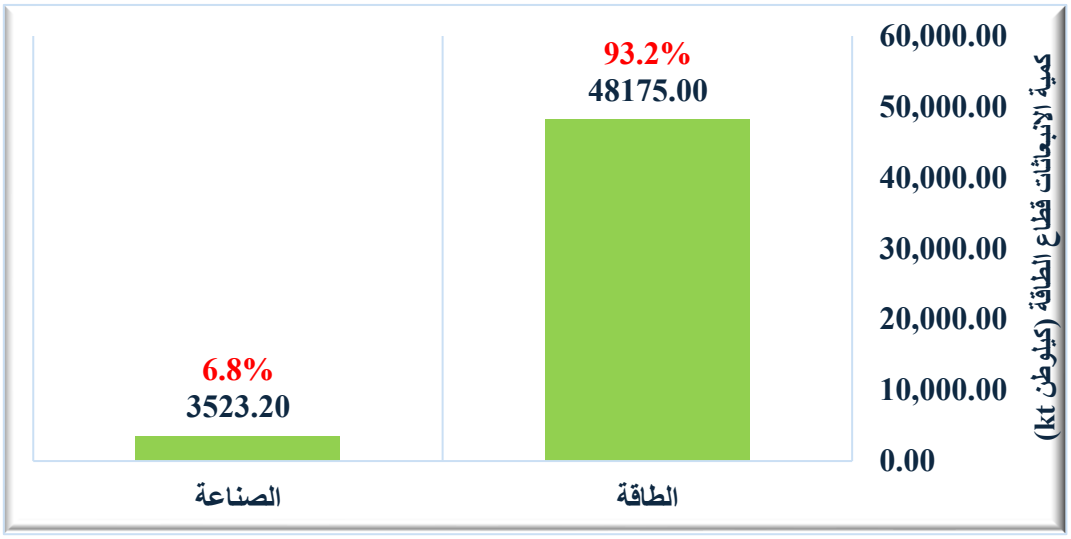
الجدول 11 : متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في ليبيا حسب القطاعات (1990–2020).

المؤشر	الطاقة	الصناعة
المتوسط العام	48175.00	3523.20
المتوسط من 1990 إلى 2000	42033.30	3279.19
المتوسط من 2001 إلى 2010	50526.52	4424.79
المتوسط من 2011 إلى 2020	52579.35	2890.00
معدل نمو عام	0.8%	-0.6%
المعدل من 1990 إلى 2000	2.4%	3.8%
المعدل من 2001 إلى 2010	2.1%	3.4%
المعدل من 2011 إلى 2020	-0.4%	-4.0%
نسبة القطاع من إجمالي انبعاثات (CO_2)	**93.19%**	**6.81%**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

يُظهر الجدول (11) متوسطات ومعدلات نمو انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في ليبيا حسب قطاعي الطاقة والصناعة خلال الفترة 1990–2020، ويتضح أن قطاع الطاقة يُعد المصدر الرئيسي لانبعاثات هذا الغاز، إذ بلغ متوسطه العام 48,175 كيلو طن مقارنة بـ 3,523.20 كيلو طن فقط في قطاع الصناعة، وهو ما يجعل الطاقة مسؤولة عن 93.19% من إجمالي انبعاثات CO_2 في البلاد. كما تعكس المتوسطات الزمنية تزايدا واضحا في انبعاثات القطاعين خلال الفترتين الأولى (1990–2000) والثانية (2001–2010)، حيث ارتفع متوسط انبعاثات الطاقة من 42,033.30 إلى 50,526.52 كيلو

طن، بينما ارتفع متوسط الصناعة من 3,279.19 إلى 4,424.79 كيلو طن. وفي الفترة الأخيرة (2011–2020)، استمرت انبعاثات الطاقة في الارتفاع إلى 52,579.35 كيلو طن، بينما شهد قطاع الصناعة انخفاضا ملحوظا إلى 2,890.00 كيلو طن. وتُظهر معدلات النمو السنوية اتجاها عاما موجبا لقطاع الطاقة بنسبة 0.8% مقابل اتجاه سالب طفيف للصناعة بلغ -0.6%. كما يتضح أن أعلى معدلات النمو سُجّلت خلال الفترة الأولى، حيث بلغ معدل نمو الطاقة 2.4% والصناعة 3.8%، بينما تراجعت هذه المعدلات في الفترة الأخيرة إلى -0.4% لقطاع الطاقة و -4.0% للصناعة.



الشكل 11 : متوسط ونسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) حسب القطاعات في ليبيا (1990–2020).

المناقشة (Discussion)

تُظهر نتائج التحليل توافقا واضحا مع معظم التوقعات للأدبيات العلمية حول انبعاثات الغازات الدفيئة في الدول النفطية وشمال إفريقيا. إذ يؤكد التوزيع القطاعي للانبعاثات صحة الفرض الأول، حيث أثبتت البيانات أن قطاع الطاقة هو القطاع الأكبر مساهمة في إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا بنسبة تتجاوز 90% طوال الفترة (1990–2020). هذه النتيجة تتماشى مع ما ذكره يوسف وآخرون (Yusuf et al., 2020) ولين وأبدو (Lin & Abudu, 2020) بشأن هيمنة الانبعاثات المرتبطة بالوقود الأحفوري في الدول النامية المنتجة للنفط. كما يدعم ذلك ما ورد في سليمان وآخرين (Suliman et al., 2024)، حيث أظهرت الدراسة أن ليبيا تُعد من بين الدول الأعلى في انبعاثات الطاقة داخل شمال إفريقيا، مما يعزز الارتباط الوثيق بين البنية الاقتصادية الليبية القائمة على النفط وارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2).

أما الفرض الثاني المتعلق بهيمنة ثاني أكسيد الكربون على الانبعاثات، فقد جاءت النتائج مؤكدة له بوضوح؛ إذ أظهرت الدراسة أن CO_2 يشكل أكثر من 97% من إجمالي الانبعاثات ليبيا، وبفارق كبير عن الميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O). هذه النتائج تتفق مع ما ورد في دراسة سليمان وآخرين (Suliman et al., 2024) التي أكدت أن CO_2 هو الغاز الأكثر سيطرة في الانبعاثات في شمال إفريقيا، خصوصا لدى الدول النفطية مثل ليبيا والجزائر. كما تنسجم النتائج مع ما ذكره جاكسون وآخرون (Jackson et al., 2020) حول ارتباط ارتفاع انبعاثات CO_2 بأنشطة الحرق المباشر للوقود الأحفوري وعمليات الصناعة الثقيلة.

وفيما يخص الفرض الثالث المتعلق بانخفاض معدلات النمو السنوية لانبعاثات ليبيا مقارنة بشمال إفريقيا وإفريقيا، فقد بينت نتائج الجدول الإقليمي أن معدل النمو العام للانبعاثات في ليبيا (0.66%) كان أقل بوضوح من شمال إفريقيا (2.8%) وإفريقيا (1.91%) والعالم (1.51%). وتدعم هذه النتيجة ما توصلت إليه دراسات معهد دول حوض النيل والدراسات الإفريقية (MBDDN, 2024) التي أشارت إلى أن الانبعاثات في ليبيا أقل نموا من نظيراتها في الجزائر ومصر بسبب التفاوت في حجم النشاط الاقتصادي والاستثمارات الصناعية. كما أشار جيوفانيس وأوزدامار (Giovanis & Ozdamar, 2022) إلى أن الدول ذات النمو الاقتصادي غير المستقر تميل إلى امتلاك معدلات انبعاث منخفضة نسبيا، وهو ما ينطبق على ليبيا خلال العقود الأخيرة.

أما الفرض الرابع الذي ينص على أن الفترة (2011–2020) ستشهد استقرارا أو تراجعا طفيفا في الانبعاثات السنوية، فقد أيدته النتائج بشكل واضح؛ إذ تبين أن معظم القطاعات وخاصة الصناعة والطاقة شهدت تباطؤا أو انخفاضا في النمو خلال هذا العقد. وقد أرجعت الأدبيات مثل دراسة سلامي وباباتوندي (Salami & Babatunde, 2024) هذا الاتجاه إلى تأثيرات عدم الاستقرار السياسي وتراجع الإنتاج الصناعي، وهي عوامل تنطبق بدرجة كبيرة على الحالة الليبية خلال هذه الفترة. كما أظهرت الدراسات المناخية (Zittis et al., 2021; Chen et al., 2020) أن ليبيا خلال الفترة بعد 2011 شهدت تغيرات مناخية ملحوظة متزامنة مع تغيرات اقتصادية وسياسية وهيكلية أثرت في مستويات الانبعاثات.

تُظهر النتائج أن انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز رغم مساهمتها المحدودة تُظهر أنماطا زمنية متباينة تعكس تأثيرات القطاعات المختلفة. يُظهر قطاع الزراعة نموا مستمرا في انبعاثات أكسيد النيتروز، مما يتفق مع دراسة رحمن وآخرين (Rehman et al., 2020) التي أكدت أن الأنشطة الزراعية، مثل استخدام الأسمدة النيتروجينية، تُعد مصدرا رئيسيا لانبعاثات N_2O. كما أن قطاع النفايات يُظهر اتجاها تصاعديا في انبعاثات الميثان، مما يعكس ضعف نظم إدارة النفايات، وهو ما أشار إليه نتياموه وآخرون (Ntiamoah et al., 2024) في دراستهم حول إدارة النفايات في إفريقيا.
تؤكد هذه الدراسة أن انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا تتسم بعدم التوازن القطاعي، حيث يهيمن قطاع الطاقة وثاني أكسيد الكربون على الهيكل العام للانبعاثات. كما أن معدلات النمو السنوية تُظهر تباينا زمنيا يعكس تأثير العوامل الاقتصادية والسياسية. هذه النتائج تُبرز أهمية تبني سياسات مستدامة لتحسين كفاءة الطاقة، تطوير تقنيات إدارة النفايات، وتعزيز الممارسات الزراعية المستدامة للحد من الانبعاثات المستقبلية.

التوصيات

1) وضع أهداف ملموسة لرفع حصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في المزيج الوطني خلال العقد القادم، مع تشجيع الاستثمارات الخاصة والعامة في مشاريع الطاقة المتجددة من خلال تقديم حوافز ضريبية وضمانات تمويل، مما يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويحد من انبعاثات الغازات الدفيئة.
2) العمل على تطبيق معايير أداء طاقة صارمة للمحطات الحرارية والمصافي، بما في ذلك تقنيات التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS)، بالإضافة إلى دعم برامج تحديث المعدات الصناعية والمولدات الكهربائية القديمة لزيادة كفاءتها وتقليل استهلاك الوقود والانبعاثات.
3) تطوير محطات لإنتاج السماد العضوي وإعادة تدوير النفايات للحد من انبعاثات الميثان من مكبات النفايات، وتركيب وحدات لالتقاط الغاز الحيوي في محطات المعالجة وتحويله إلى طاقة كهربائية، مما يسهم في خفض الانبعاثات وتحقيق قيمة مضافة.
4) تشجيع استخدام تقنيات الحقن المسبق للأسمدة وتقنيات الري المحكم للحدّ من تسرب أكسيد النيتروز، ودعم نظم الإدارة السليمة للمخلفات الحيوانية (مثل التسميد الهوائي واللاهوائي) للحدّ من إنتاج الميثان، مما يعزز الاستدامة البيئية للقطاع الزراعي.
5) بناء قاعدة بيانات مركزية للانبعاثات على مستوى القطاعات المختلفة، بالاعتماد على بيانات ميدانية وتقنيات الاستشعار عن بعد، مع نشر تقارير دورية (سنوية) شفافة تتضمن التقدم المحرز في تحقيق الأهداف وتقييم فعالية السياسات المتبعة.
6) تحديث التشريعات البيئية لتفرض حدودا قصوى للانبعاثات القطاعية وتحدد عقوبات وحوافز مالية ومتابعة تنفيذ الخطط الوطنية للتكيف مع التغير المناخي والتخفيف من آثاره.
7) تدريب الكوادر الوطنية في تقنيات احتساب ورصد الانبعاثات، وإعداد الدراسات المناخية المتخصصة، ودعم البحث العلمي المستقل حول تأثيرات التغير المناخي في ليبيا واقتراح إجراءات التكيف الممكنة، لتعزيز الوعي والقدرة على التعامل مع التحديات المناخية.
8) العمل على ربط الاستراتيجية الوطنية للتنمية الاقتصادية بخطة خفض انبعاثات الكربون وتعزيز النمو منخفض الكربون، مع تشجيع القطاع الخاص على تبني خطط عمل مستدامة وممارسات صديقة للمناخ من خلال تقديم حوافز استثمارية جاذبة.

المراجع

Anwar, M.; Iftikhar, M.; Khush Bakhat, B.; Sohail, N.; Baqar, M.; Yasir, A.; Nizami, A. Sources of carbon dioxide and environmental issues. In *Sustainable Agriculture Reviews 37: Carbon Sequestration Vol. 1 Introduction and Biochemical Methods*; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 13–36.

Capron, M. E., Stewart, J. R., de Ramon N'Yeurt, A., Chambers, M. D., Kim, J. K., Yarish, C., ... & Hasan, M. A. (2020). Restoring pre-industrial CO2 levels while achieving sustainable development goals. *Energies, 13*(18), 4972.

Chen, J., Liu, Y., Pan, T., Ciais, P., Ma, T., Liu, Y., ... & Peñuelas, J. (2020). Global socioeconomic exposure of heat extremes under climate change. *Journal of Cleaner Production, 277*, 123275. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123275

Fearnside, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conserv. Biol.* 2005, 19, 680–688.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions database, 2024. Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). FAOSTAT Greenhouse Gas Emissions. https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT

Giovanis, E., & Ozdamar, O. (2022). The impact of climate change on budget balances and debt in the Middle East and North Africa (MENA) region. *Climatic Change, 172*(3), 34. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03345-8

Hansen, J.; Kharecha, P.; Sato, M.; Masson-Delmotte, V.; Ackerman, F.; Beerling, D.J.; Hearty, P.J.; Hoegh-Guldberg, O.; Hsu, S.-L.; Parmesan, C. Assessing "dangerous climate change": Required reduction of carbon emissions to protect young people, future generations and nature. *PLoS ONE* 2013, 8, e81648.

Hansen, J.E.; Sato, M.; Lacis, A.; Ruedy, R.; Tegen, I.; Matthews, E. Climate forcings in the industrial era. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1998, 95, 12753–12758.

Höök, M.; Tang, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review. *Energy Policy* 2013, 52, 797–809.

Jackson, R. B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J. G., Poulter, B., Stavert, A. R., ... & Tsuruta, A. (2020). Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environmental Research Letters, 15*(7), 071002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab76db

Jackson, R. B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J. G., Poulter, B., Stavert, A. R., ... & Tsuruta, A. (2020). Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources. *Environmental Research Letters, 15*(7), 071002.

Jones, M. W., Peters, G. P., Gasser, T., Andrew, R. M., Schwingshackl, C., Gütschow, J., ... & Le Quéré, C. (2023). Vestin, P., Mölder, M., Kljun, N., Cai, Z., Hasan, A., Holst, J., ... & Lindroth, A. (2020). Impacts of clear-cutting of a boreal forest on carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes. *Forests, 11*(9), 961.

Lashof, D.A.; Ahuja, D.R. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature* 1990, 344, 529–531.

Lin, B., & Abudu, H. (2020). Can energy conservation and substitution mitigate CO2 emissions in electricity generation? Evidence from Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management, 273*, 111-120. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111120

Lin, B., & Abudu, H. (2020). Can energy conservation and substitution mitigate CO2 emissions in electricity generation? Evidence from Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management, 269*, 110757.

Mehmood, T., Hassan, M. A., Li, X., Ashraf, A., Rehman, S., Bilal, M., ... & Shakoor, A. (2022). Mechanism behind sources and sinks of major anthropogenic greenhouse gases. In *Climate change alleviation for sustainable progression* (pp. 114-150). CRC Press.

Mignamissi, D., & Djeufack, A. (2022). Urbanization and CO2 emissions intensity in Africa. *Journal of Environmental Planning and Management, 65*(9), 1660-1684.

Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues, 7*(4), 2897.

Miniaoui, H. (2022). Climate Change in the Middle East and North Africa: Between the repercussions of a lived reality and opportunities for a brighter future. In *The Palgrave Handbook of International Sustainable Development and Tourism* (pp. 447-467). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90717-3_23

Nakazawa, T. (2020). Current understanding of the global cycling of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. *Proceedings of the Japan Academy, Series B, 96*(9), 394-419.

Nisbet, E. G., Dlugokencky, E. J., Fisher, R. E., France, J. L., Lowry, D., Manning, M. R., & Warwick, N. J. (2021). Atmospheric methane and nitrous oxide: challenges along the path to Net Zero. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, *379*(2210), 20200457. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0457

Ntiamoah, E. B., Appiah-Otoo, I., Li, D., Twumasi, M. A., Yeboah, E. N., & Chandio, A. A. (2024). Estimating and mitigating greenhouse gas emissions from agriculture in West Africa: does threshold matter? *Environment, Development and Sustainability, 26*(4), 10623–10651. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03456-7

Nunes, L. J. (2023). The rising threat of atmospheric CO2: a review on the causes, impacts, and mitigation strategies. *Environments, 10*(4), 66.

Quadrelli, R.; Peterson, S. The energy–climate challenge: Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion. *Energy Policy* 2007, 35, 5938–5952.

Rehman, A., Ma, H., Irfan, M., & Ahmad, M. (2020). Does carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and GHG emissions influence the agriculture? Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research, 27*, 28768–28779. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09012-3

Salami, A. A., & Babatunde, O. R. (2024). Environmental Challenges, The Impacts of Climate Change in North Africa Region: A Review. *Natural Resources Deterioration in MENA Region: Land Degradation, Soil Erosion, and Desertification*, 281–294. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03456-7

Salami, A. A., & Babatunde, O. R. (2024). Environmental Challenges, The Impacts of Climate Change in North Africa Region: A Review. In *Natural Resources Deterioration in MENA Region: Land Degradation, Soil Erosion, and Desertification* (pp. 281-294). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45736-5_12

Solomon, S.; Plattner, G.-K.; Knutti, R.; Friedlingstein, P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2009, 106, 1704–1709.

Suliman, A., Mahmoud, A., & Eid, M. (2024). Greenhouse gas emissions from North African countries. *Journal of African and Nile Basin Countries Research and Studies, 8*(1), 225–235. https://mbddn.journals.ekb.eg/

West, T.O.; Marland, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2002, 91, 217–232.

Yusuf, A. M., Abubakar, A. B., & Mamman, S. O. (2020). Relationship between greenhouse gas emission, energy consumption, and economic growth: evidence from some selected oil-producing African countries. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(13), 15815–15823. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08123-0

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Almazroui, M., Bucchignani, E., Driouech, F., El Rhaz, K., ... & Lelieveld, J. (2021). Business-as-usual will lead to super and ultra-extreme heatwaves in the Middle East and North Africa. *npj Climate and Atmospheric Science, 4*(1), 20. https://doi.org/10.1038/s41612-021-00178-7

سليمان. س., أبوسنينة، م. ح., & عمر، ص. م. (2024). البصمة الكربونية المباشرة للطالب بجامعة طرابلس. *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences* (AJAPAS), 3(4), 372-381. https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/article/view/1036

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of ALBAHIT and/or the editor(s). ALBAHIT and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content