http://journals.uokerbala.edu.iq/index.php/ijas/index
Iraqi Journal for Administrative Sciences
المجلة العراقية للعلوم الإدارية

Impact of Economic Growth and Energy Consumption on Environmental Pollution: An Applied Study in Germany (1980–2024)

Huda Zwair Miklif [1*] Namariq Qassem Hussain[2]

أثر النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على التلوث البيئي: دراسة تطبيقية على ألمانيا (1980– 2024)

هدى زوير مخلف * [1] نمارق قاسم حسين [2]

1 College of Administration and Economics, Department of Economics, University of Kerbala, Iraq-Karbala.Email: dr.huda.miklif@uokerbala.edu.iq ***Corresponding Author**
2 College of Administration and Economics, Department of Economics, University of Kerbala, Iraq-Karbala. Email:- namariq.q@uokerbala.edu.iq

1 كلية الإدارة والاقتصاد، قسم الاقتصاد، جامعة كربـــلاء، العراق- كربلاء. * **المؤلف المراسل**
2 كلية الإدارة والاقتصاد، قسم الاقتصاد، جامعة كربـــلاء، العراق- كربلاء.

CC BY NC ND

Article information

Article history: DD/MM/YY
Received: 03/06/2026
Accepted:30/06/2026
Available online:30/06/2026

Keywords:
Economic growth, environmental pollution, energy consumption, pathway analysis, Germany.

تاريخ الاستلام: 2026/06/03
تاريخ قبول النشر: 2026/06/30
تاريخ النشر: 2026/06/30

الكلمات المفتاحية
النمو الاقتصادي، التلوث البيئي، استهلاك الطاقة، تحليل المسار، ألمانيا..

Abstract **DOI: https://doi.org/10.71207/ijas.v22i88.6540**

This study analyzes the impact of economic growth (GDP) and energy consumption on environmental pollution in Germany from 1980 to 2024, using carbon dioxide (CO_2) emissions as an indicator of environmental degradation. Employing a descriptive-analytical approach supported by econometric pathway analysis, the research utilizes annual data from the World Bank, the German Federal Environment Agency, and Our World in Data to test the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. The results reveal a statistically significant positive direct effect of GDP growth on CO_2 emissions, alongside a significant indirect effect mediated through energy consumption. Furthermore, while the study confirms the validity of the EKC hypothesis in the German context, non-renewable energy consumption remains the most influential factor driving environmental pollution. Consequently, the study recommends accelerating the energy transition and promoting eco-innovation to achieve sustainable economic growth.

Citation: Zwair Miklif, Huda, Qassem Hussain, Namariq. (2026). Impact of Economic Growth and Energy Consumption on Environmental Pollution: An Applied Study in Germany (1980–2024), *Journal for Administrative Sciences*, 22(88), 531-539.

الاقتباس: زوير مخلف، هدى، قاسم حسين، نمارق. (2026). أثر النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على التلوث البيئي: دراسة تطبيقية على ألمانيا (1980– 2024)، المجلة العراقية للعلوم الإدارية، 22(88)، 531-539.

المستخلص:
تستهدف هذه الدراسة تحليل أثر النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على التلوث البيئي في ألمانيا للفترة من 1980 إلى 2024، باستخدام انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) كمؤشر للتدهور البيئي. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المدعوم بأدوات القياس الاقتصادي (تحليل المسارات)، مستندةً إلى بيانات سنوية مستمدة من البنك الدولي، والهيئة الاتحادية للبيئة في ألمانيا، وموقع "Our World in Data" لاختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC). وأظهرت النتائج وجود أثر مباشر إيجابي ومعنوي إحصائياً للنمو الاقتصادي في زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، إلى جانب أثر غير مباشر معنوي يمر عبر قناة استهلاك الطاقة كعامل وسيط. وعلاوة على ذلك، أثبتت الدراسة صحة فرضية منحنى كوزنتس البيئي في الحالة الألمانية، مع بقاء استهلاك الطاقة (لا سيما من المصادر غير المتجددة) العامل الأكثر تأثيراً في رفع معدلات التلوث البيئي. وبناءً على ذلك، توصي الدراسة بتسريع وتيرة التحول الطاقوي ودعم الابتكار البيئي لتحقيق نمو اقتصادي مستدام.

1 المقدمة Introduction

أصبحت العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي من أكثر القضايا إثارة للجدل في الفكر الاقتصادي المعاصر، خصوصًا مع تزايد المخاوف المرتبطة بالتغير المناخي والاحتباس الحراري. فالنمو الاقتصادي، رغم كونه هدفًا أساسيًا للدول، غالبًا ما ارتبط تاريخيًا بزيادة استهلاك الموارد الطبيعية والطاقة وارتفاع مستويات التلوث البيئي، ولا سيما في المراحل الأولى من التصنيف وتحقيق التنمية.

من هنا برزت الحاجة إلى دراسة العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي من أجل فهم التفاعلات المتبادلة بين النشاط الاقتصادي وجودة البيئة، وتحديد ما إذا كان بالإمكان تحقيق نمو اقتصادي مستدام دون الإضرار بالنظام البيئي. ويُعدّ الاقتصاد الألماني نموذجًا مناسبًا للتحليل، نظرًا لطبيعته الصناعية المتقدمة، التي شهدت تحولات هيكلية عميقة في نمط إنتاجها واستهلاكها للطاقة، لا سيما بعد تبني سياسات التحول الطاقوي الهادفة إلى تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري واهتمامه المبكر بالسياسات البيئية والتحول نحو الطاقة النظيفة منذ ثمانينيات القرن الماضي. وعليه، فإن دراسة التجربة الألمانية تمثل حالة تطبيقية مهمة لفهم كيفية تطور العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي في اقتصاد متقدم.

2 المنهجية Methodology

1.2 مشكلة البحث: -تتمثل مشكلة البحث في زيادة الاثار البيئية الناتجة عن النمو الاقتصادي المصاحب بزيادة استهلاك الطاقة ومحاولة الإجابة عن التساؤلات الآتية:

1. ما مدى تأثير النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على مستويات التلوث البيئي المتمثلة بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون؟
2. هل أن التقدم الاقتصادي والتكنولوجي والتحول الطاقي يسهم في الحد منه؟
3. وهل تتوافق هذه العلاقة مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي خلال الفترة (1980–2024)؟

2.2 فرضية البحث: -تنطلق فرضية البحث من الاتي:

1. توجد علاقة بين النمو الاقتصادي واستلاك الطاقة والتلوث البيئي في ألمانيا.
2. تأخذ العلاقة بين GDP وانبعاثات CO2 شكل منحنى كوزنتس البيئي(∩) بحيث يأخذ النمو الاقتصادي أثرًا إيجابيًا في المراحل الأولى، ثم سلبيًا في المراحل المتقدمة.
3. يؤثر استهلاك الطاقة تأثيرًا إيجابيًا ومعنويًا وكمتغير وسيط في زيادة التلوث البيئي.
4. يساهم التحول نحو الطاقة المتجددة في تخفيف أثر النمو الاقتصادي على البيئة.

3.2 اهداف البحث:

يهدف البحث الى تحقيق

1. بيان الإطار النظري لمفهوم النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة التلوث البيئي.
2. دراسة العلاقة بينهما في ضوء النظريات الاقتصادية والبيئية الحديثة.
3. استخدام نموذج تحليل المسار بين الناتج المحلي الاجمالي وغاز CO2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة في المانيا للفترة (1980–2024).
4. استخلاص النتائج التي تبيّن مدى توافق التجربة الألمانية مع مفهوم "النمو الأخضر."
5. اختبار مدى تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في الاقتصاد الألماني.

4.2 أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من كونه يسعى إلى تحليل العلاقة الجدلية بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة وحماية البيئة في إطار مفهوم التنمية المستدامة، إذ لم يعد النمو الاقتصادي هدفًا مطلقًا بحد ذاته، بل أصبح من الضروري أن يترافق مع الحفاظ على البيئة والتحول الطاقي لضمان رفاه الأجيال القادمة.

5.2الدراسات السابقة:

تشير الأدبيات الاقتصادية إلى أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي واستهلاك الطاقة منها:

1- دراسة Grossman (1995) و Krueger بين العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي من خلال طرح فرضية منحنى كوزنتس البيئي. وأوضحت الدراسة أن التلوث يرتفع في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي نتيجة زيادة النشاط الصناعي واستهلاك الطاقة، ثم يبدأ بالانخفاض بعد تجاوز مستوى معين من الدخل بسبب التحول الهيكلي، والتقدم التكنولوجي، وزيادة الاهتمام بجودة البيئة. (Grossman & Krueger, 1995, p.358)

2- دراسة Shahbaz2017 العلاقة طويلة الأجل بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي باستخدام نماذج ARDL، وتوصلت الى وجود ارتباط طويل الأجل بين هذه المتغيرات، مع التأكيد على أن مصدر الطاقة المستخدم يعد عاملاً مهماً في تحديد مستوى الانبعاثات، إذ يؤدي الاعتماد على الطاقة الأحفورية إلى زيادة التلوث البيئي (Shahbaz, 2017,p4)

3- كما أظهرت دراسة Stern2004 أن استهلاك الطاقة، ولا سيما من المصادر الأحفورية، أكدت دراسة على أن استهلاك الطاقة يمثل أحد أهم محددات التلوث البيئي، إذ إن زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري ترتبط بارتفاع

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وأن تحسين كفاءة الطاقة واستخدام التكنولوجيا الحديثة يمكن أن يساهما في الحد من الآثار البيئية للنمو الاقتصادي(David I. Stern, 2004,p1426) .

4- ناقشت دراسةDinda 2004 العلاقة بين التنمية الاقتصادية والاستدامة البيئية، وبينت أن الدول النامية تواجه تحدياً في تحقيق النمو مع المحافظة على البيئة بسبب اعتمادها على الأنشطة كثيفة الطاقة وتستطيع الدول المتقدمة تحقيق توافق أكبر بين النمو وحماية البيئة من خلال الابتكار والسياسات البيئية. (Dinda, 2004, p.435)

5- IEA (2024):

أشار تقرير وكالة الطاقة الدولية إلى أن قطاع الطاقة يعد من أكبر مصادر الانبعاثات الكربونية عالمياً، وأن الاعتماد على الوقود الأحفوري يؤدي إلى زيادة التلوث ويسهم التوسع في الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة استخدام الطاقة في تقليل الانبعاثات وتحقيق الاستدامة البيئية. (IEA, 2024, p.10)

3 الجانب النظري

1.3 الإطار النظري للنمو الاقتصادي

1.1.3 مفهوم النمو الاقتصادي: -يعرف النمو الاقتصادي بانه الزيادة المستمرة في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للدولة خلال فترة زمنية محددة، ويعكس قدرة الاقتصاد على إنتاج السلع والخدمات (D. Nordhaus&Samuelson, 2021,p56).ويُعد من المؤشرات الرئيسة التي تُستخدم لتقييم الأداء الاقتصادي والسياسات التنموية. ويعتمد النمو الاقتصادي على عدة عوامل أهمها: تراكم رأس المال، التقدم التكنولوجي، زيادة الإنتاجية، وفاعلية النظام المؤسسي.

2.1.3 نظريات النمو الاقتصادي: - تطورت نظريات النمو من الكلاسيكية إلى الحديثة، ويمكن تلخيصها كالآتي:

1- النظرية الكلاسيكية (آدم سميث وريكاردو):- ربطت النمو بتوسع رأس المال والعمل، مع اعتبار الموارد محدودة.

2-النظرية الكينزية: ركزت على دور الطلب الكلي والسياسات الحكومية في تحفيز النمو.

3- النظريات الحديثة (سولو وروبرت لوكاس): أضافت دور التقدم التكنولوجي ورأس المال البشري كعوامل مستدامة للنمو(solow, 1956,p78).

3.1.3 مؤشرات قياس النمو الاقتصادي

هناك مجموعة من المؤشرات لقياس النمو الاقتصادي وهي كالاتي:

1- الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي:

يمثل الناتج المحلي الإجمالي القيمة السوقية لجميع السلع والخدمات النهائية المنتجة داخل حدود الدولة خلال فترة زمنية معينة ويُستخدم بالقيمة الحقيقية بعد استبعاد أثر تغيرات الأسعار (التضخم) بهدف قياس التغير الفعلي في حجم الإنتاج الاقتصادي. ويعد هذا المؤشر من أهم مقاييس النمو الاقتصادي لأنه يعكس قدرة الاقتصاد على زيادة إنتاجه الحقيقي عبر الزمن (Mankiw, 2021p512,).

2- معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي (نسبة مئوية):

يقيس معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي نسبة التغير في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي بين فترتين زمنيتين، ويستخدم لتحديد سرعة توسع الاقتصاد أو انكماشه. ويعد ارتفاع معدل النمو مؤشراً على زيادة النشاط الإنتاجي والاستثمارات وتحسن الأداء الاقتصادي، بينما يشير انخفاضه إلى تباطؤ النشاط الاقتصادي (Blanchard, 2021, p 26).

3- نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي:

يُستخدم نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي كمؤشر للتنمية الاقتصادية ومستوى الرفاه الاقتصادي، إذ يعبر عن متوسط ما يحصل عليه الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ويتم حسابه بقسمة الناتج المحلي الإجمالي على عدد السكان. ويعد أكثر تعبيراً عن مستوى المعيشة مقارنة بالناتج المحلي الإجمالي الكلي، لأنه يأخذ حجم السكان بنظر الاعتبار. (Todaro & Smith, 2020,p17)

وعلى الرغم من أهمية هذه المؤشرات في قياس النمو الاقتصادي، إلا أن بعض الباحثين يشيرون إلى أن النمو الاقتصادي لا يعكس جميع أبعاد الرفاه والتنمية، لذلك قد يتم استخدام مؤشرات مكملة مثل مؤشر التنمية البشرية والاستدامة البيئية للحصول على تقييم أكثر شمولاً للتنمية الاقتصادية (UNDP, 2024 ,p36).

2.3 الإطار النظري لاستهلاك الطاقة واهميته

1.2.3 مفهوم استهلاك الطاقة:

يُعرَّف استهلاك الطاقة بأنه مجموع الطاقة المستخدمة في الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية داخل الاقتصاد خلال فترة زمنية معينة، ويشمل ذلك استهلاك القطاعات الإنتاجية (الصناعة، الزراعة، النقل) والقطاعات الخدمية والاستهلاك المنزلي. ويُعد استهلاك الطاقة أحد المؤشرات الأساسية لقياس مستوى النشاط الاقتصادي والتقدم الصناعي في أي دولة.(IEA, 2019,p23)

ويرى ساموبلسون ونوردهاوس أن الطاقة تُعد مدخلاً إنتاجياً استراتيجياً لا يقل أهمية عن العمل ورأس المال، إذ تسهم بشكل مباشر في تشغيل الآلات، وتحريك وسائل النقل، وتوفير الخدمات الأساسية (D. Nordhaus&Samuelson, 2021,412).

2.2.3 أهمية استهلاك الطاقة في الاقتصاد

تكمن أهمية استهلاك الطاقة في كونه يعكس مستوى التطور الاقتصادي، حيث ترتبط زيادة استهلاك الطاقة غالبًا بارتفاع الناتج المحلي الإجمالي وتحسن مستويات الدخل. وتشير الأدبيات الاقتصادية إلى أن الدول الصناعية تستهلك طاقة أكبر مقارنة بالدول النامية بسبب توسع القاعدة الإنتاجية(P. Todaro&C. Smith, 2020,p289).

كما يؤكد البنك الدولي أن توفير الطاقة بشكل مستقر وبأسعار مناسبة يُعد شرطًا أساسياً لتحقيق النمو الاقتصادي المستدام وتقليل الفقر(World Bank, 2018,p56).

3.2.3محددات استهلاك الطاقة: -

يتأثر استهلاك الطاقة بعدة عوامل اقتصادية وديموغرافية، من أبرزها:النمو الاقتصادي: يؤدي ارتفاع الناتج المحلي إلى زيادة الطلب على الطاقة، خاصة في القطاعات الصناعية(David I. Stern, 2011,p18).

النمو السكاني: يسهم تزايد عدد السكان في رفع الاستهلاك النهائي للطاقة، لا سيما في الاستخدامات المنزلية (IEA, 2019,p47).

التقدم التكنولوجي: قد يؤدي إلى زيادة الاستهلاك نتيجة التوسع الإنتاجي، أو إلى ترشيده من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة(Murray G. Patterson, 1996,p377).

هيكل الاقتصاد: تختلف أنماط استهلاك الطاقة باختلاف طبيعة الاقتصاد (صناعي، زراعي، خدمي) (Nicholas & E. Payne, 2014)

4.2.3 استهلاك الطاقة والتنمية المستدامة

يرتبط استهلاك الطاقة ارتباطًا وثيقًا بمفهوم التنمية المستدامة، إذ إن الاعتماد المفرط على مصادر الطاقة الأحفورية يؤدي إلى آثار بيئية سلبية، مثل التلوث وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لذلك، تؤكد الدراسات الحديثة على ضرورة التحول نحو الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة الاستهلاك(UNDP, 2021,p91).

ويشير ستيرن إلى أن التحدي الحقيقي لا يكمن في تقليل استهلاك الطاقة بقدر ما يكمن في تحسين نوعية مصادرها وزيادة كفاءتها(David I. Stern, 2011,p24).

ويمكننا ان نستنتج إن استهلاك الطاقة يمثل حلقة وصل أساسية بين النشاط الاقتصادي والتنمية المستدامة، ويتحدد بمستوى النمو، والهيكل الاقتصادي، والتطور التكنولوجي. كما أن إدارة استهلاك الطاقة بكفاءة تُعد عنصرًا محوريًا لتحقيق النمو الاقتصادي المستدام والحد من الآثار البيئية السلبية.

3.3 الإطار النظري للتلوث البيئي

1.3.3 مفهوم التلوث البيئي:

ان التلوث البيئي هو إدخال مواد أو طاقات إلى البيئة تؤدي إلى اضطراب في توازنها الطبيعي، وتسبب أضرارًا للكائنات الحية. ويُعدّ ثاني أكسيد الكربون من أكثر الغازات الملوثة الناتجة عن الأنشطة البشرية، خاصة احتراق الوقود الأحفوري في المصانع ووسائل النقل(UNDP, 2021,p27).

2.3.3 أنواع التلوث البيئي

1. تلوث الهواء: ينتج عن انبعاث الغازات الضارة مثل ثاني اكسيد الكاربون CO_2 و ثاني اكسيد النيتروجينNO_2 وثاني اكسيد الكبريتSO_2
2. تلوث المياه: بسبب تصريف المخلفات الصناعية في الأنهار والبحار.
3. تلوث التربة: نتيجة استخدام المبيدات والأسمدة الكيميائية.
4. التلوث الضوضائي: الناتج عن الأنشطة الصناعية وحركة النقل.

3.3.3 الآثار الاقتصادية للتلوث

من الاثار الاقتصادية للتلوث البئي هي:(WHO, 2020,p102)

1 انخفاض الإنتاجية الزراعية والصناعية.
2 ارتفاع تكاليف الرعاية الصحية.
3 زيادة الأعباء المالية على الدولة نتيجة إصلاح الأضرار البيئية.

4.3.3 الجهود الدولية لمكافحة التلوث

من أبرز الاتفاقيات الدولية لمكافحة التلوث:

1. اتفاقية باريس للمناخ (2015) التي تهدف إلى الحد من ارتفاع درجة حرارة الأرض إلى أقل من درجتين مئويتين.
2. اتفاقية كيوتو (1997) الخاصة بخفض الانبعاثات الصناعية.

4.3 العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي – منحنى كوزنتس البيئي(EKC)

1.4.3النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة

تشير الأدبيات الاقتصادية إلى وجود علاقة وثيقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة، حيث يؤدي التوسع في الأنشطة الإنتاجية والصناعية إلى زيادة الطلب على الطاقة بوصفها مدخلًا أساسيًا في عملية الإنتاج. فكلما ارتفع الناتج المحلي الإجمالي، زادت الحاجة إلى الطاقة لتشغيل المصانع، وتطوير البنية التحتية، وتوسيع قطاع النقل (David I. Stern, 2011,p27) ويرى تودارو وسميث أن استهلاك الطاقة يُعد من المؤشرات غير المباشرة لقياس مستوى النمو الاقتصادي، خاصة في الدول النامية التي تعتمد بشكل كبير على الطاقة التقليدية في تحقيق النمو .(P. Todaro&C. Smith, 2020,294)

2.4.3 استهلاك الطاقة والتلوث البيئي

يرتبط استهلاك الطاقة، لا سيما من المصادر الأحفورية، ارتباطًا مباشرًا بالتلوث البيئي. إذ يؤدي احتراق الوقود الأحفوري إلى انبعاث كميات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري، وعلى رأسها ثاني أكسيد الكربون، مما يسهم في تفاقم مشكلات التغير المناخي وتدهور جودة البيئة. (IEA, 2019,P112)

ويؤكد البنك الدولي أن الاقتصادات التي تعتمد على النفط والفحم كمصادر رئيسية للطاقة تعاني من مستويات أعلى من التلوث مقارنة بالدول التي تتبنى مصادر الطاقة المتجددة(World Bank, 2018,P61).

3.4.3النمو الاقتصادي والتلوث البيئي (فرضية منحنى كوزنتس البيئي)

يرجع الأصل النظري لمنحنى كوزنتس إلى أعمالSimon Kuznets ، قبل أن يتم توسيع الفكرة لتشمل العلاقة بين الدخل والتلوث البيئي. تقوم الفرضية الجوهرية لمنحنى كوزنتس البيئي على أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث تتخذ شكل حرف (U) مقلوب؛ أي أن التلوث يزداد في المراحل الأولى من النمو نتيجة التوسع الصناعي، ثم يبدأ بالانخفاض مع زيادة الدخل بفضل التحول نحو التكنولوجيا النظيفة. وهو ما يعرف بـ منحنى كوزنتس البيئي (Grossman & Alan, 1995,p355)

وتُفسَّر هذه الظاهرة بثلاث آليات رئيسية((Grossman & Alan, 1995,p357) :

1. أثر الحجم: زيادة النشاط الاقتصادي تؤدي إلى زيادة الانبعاثات.
2. أثر الهيكل :مع تطور الاقتصاد، ينتقل النشاط نحو قطاعات أقل تلوثًا مثل الخدمات.
3. أثر التقنية :تقدم التكنولوجيا يؤدي إلى خفض الانبعاثات عبر الكفاءة الطاقية.

وبناءً على ذلك، يتوقع أن يكون للنمو الاقتصادي أثر إيجابي على الانبعاثات في المدى القصير، وسلبي في المدى الطويل نتيجة التحول التقني.

4.4.3 العلاقة التفاعلية بين النمو الاقتصادي والطاقة والتلوث

تُظهر الدراسات الحديثة أن العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي علاقة تفاعلية ومتشابكة، إذ يسهم النمو في زيادة استهلاك الطاقة، والذي يؤدي بدوره إلى ارتفاع مستويات التلوث، ما لم يتم الاعتماد على مصادر طاقة نظيفة وتحسين كفاءة الاستخدام(Nicholas & E. Payne, 2014,p229).

كما يشير ستيرن إلى أن تحقيق النمو الاقتصادي المستدام يتطلب فك الارتباط بين النمو واستهلاك الطاقة الملوِّثة، من خلال التحول إلى الطاقة المتجددة واعتماد سياسات بيئية صارمة(David I. Stern, 2011,p31)

نستنتج مما سبق إن النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث البيئي يشكلون مثلثًا مترابطًا؛ فالنمو الاقتصادي يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة، والذي ينعكس سلبًا على البيئة عند الاعتماد على مصادر تقليدية. ومن ثم، فإن تحقيق التنمية المستدامة يتطلب إعادة هيكلة مزيج الطاقة وتعزيز كفاءة الاستخدام، بما يضمن استمرار النمو مع الحد من التلوث البيئي.

5.3 تحليل مسار أثر النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على التلوث البيئي (ألمانيا 1980–2022)

1.5.3 لمحة عن النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والتلوث في ألمانيا

تُعد ألمانيا من اهم الدول الصناعية المتقدمة التي نجحت نسبيًا في تحقيق توازن بين النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة، حيث يمثل قطاع الصناعة نحو 25% من الناتج المحلي. ومنذ ثمانينيات القرن الماضي، تبنت الدولة سياسات للتحول الطاقي الهادفة إلى تقليل الاعتماد على الفحم والنفط، وزيادة مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطني. وبدءًا من التوسع الصناعي، مرورًا بإعادة التوحيد عام 1990، وصولًا إلى تبني استراتيجية التحول الطاقي فقد انعكست هذه السياسات على مستويات الانبعاثات الكربونية، التي شهدت انخفاضًا مستمرًا على مدى العقود الأربعة الماضية (World Bank, 2018,p114) وقد مكّن هذا التحول ألمانيا من تقليص انبعاثاتها الكربونية بنسبة تقارب 48% بين عامي 1990 و2024، رغم استمرار نمو الناتج المحلي الإجمالي(UBA, 2025p3).

تشير العديد من الدراسات التطبيقية إلى أن الدول الصناعية، ومنها ألمانيا، قد تجاوزت نقطة التحول في منحنى كوزنتس البيئي. فقد بيّن(Cosimo Magazzino, 2023,p18) أن انبعاثات CO_2 في ألمانيا بدأت بالانخفاض منذ منتصف التسعينيات، رغم استمرار النمو الاقتصادي.

فقد شهد استهلاك الطاقة في ألمانيا اتجاهًا تنازليًا خلال السنوات الأخيرة على الرغم من استمرار النشاط الاقتصادي وتقدم القاعدة الصناعية، نتيجة سياسات ترشيد الطاقة وتحسين الكفاءة، إضافة إلى التحول التدريجي نحو مصادر الطاقة المتجددة.

وفيما يتعلق بالتلوث البيئي، انخفضت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل ملحوظ مقارنة بمستويات عام 1990، وهو ما يعكس نجاح السياسات البيئية والتحول في مزيج الطاقة بعيدًا عن الوقود الأحفوري. كما ساعد التوسع في استخدام الطاقة النظيفة على فك الارتباط النسبي بين النمو الاقتصادي وزيادة التلوث.

وبذلك، تمثل التجربة الألمانية نموذجًا مهمًا يوضح إمكانية تحقيق النمو الاقتصادي مع تقليل استهلاك الطاقة الملوّثة والحد من الآثار البيئية السلبية، في إطار توجه عام نحو التنمية المستدامة.

تشير النتائج إلى أن سياسات التحول الطاقوي التي تبنتها ألمانيا منذ مطلع الألفية كانت فعّالة في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وزيادة حصة الطاقة المتجددة، وهو ما انعكس إيجابًا على الحد من الانبعاثات)(BMWK, 2023,p41)

تشير البيانات إلى أن الناتج المحلي الإجمالي الألماني تضاعف تقريبًا خلال فترة الدراسة، في حين انخفضت انبعاثات CO_2 من أكثر من 1 مليار طن في الثمانينيات إلى أقل من 0.65 مليار طن في عام 2024 (Hannah Ritchie, 2024,p8).

اذ تؤكد النتائج أن ألمانيا نجحت في تحقيق فصل نسبي بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي، ويُعزى ذلك إلى التحول الطاقي، والتشريعات البيئية الصارمة، والاستثمار في التكنولوجيا النظيفة. غير أن استمرار هذا الاتجاه يتطلب تقليل الاعتماد على الطاقة الأحفورية بشكل أكبر.) (UBA, 2025p5) تعكس النتائج المسار التاريخي للاقتصاد الألماني، إذ ارتبط النمو الاقتصادي في المراحل المبكرة بزيادة التلوث نتيجة التوسع الصناعي، قبل أن تسهم السياسات البيئية والتقدم التكنولوجي في الحد من الانبعاثات في المراحل اللاحقة. ويبرز التحول الطاقوي الألماني كعامل أساسي في تفسير هذا التحول(OECD, 2022,P77).

يعتمد البحث على نموذج منحنى كوزنتس البيئي، مع إدخال استهلاك الطاقة كمتغير مفسر إضافي، وفق الصيغة التالية:

$$E \quad \alpha_{\circ} \quad Yb \quad c\dot{Y}$$

حيث:

E = التلوث البيئي

Y = الدخل أو النمو الاقتصادي

وهذا يعطي شكل U مقلوبة؛ أي: في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي يزداد التلوث البيئي، ثم بعد مرحلة معينة يبدأ بالانخفاض مع استخدام التكنولوجيا والطاقة المتجددة وتحقيق التنمية المستدامة.

2.5.3 توصيف النموذج ومتغيرات الدراسة

لكي تتم معرفة إثر العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة وانبعاثات الكاربون في المانيا للمدة من 1980- 2024 يجب استخدام التقنيات المناسبة لتحليل البيانات المجمعة.

يمكن استخدام التحليل الإحصائي، والتحليل الاقتصادي لتحليل البيانات. وتحليل المسار يتم استخدامه لفهم العلاقة بين متغيرات متعددة في سياق واحد، ولفهم كيفية تأثير متغير واحد أو أكثر على متغير آخر وكيف يتأثر بدوره بمتغيرات أخرى.

1- توصيف النموذج

يُمثل التحليل المساري علاقات بين المتغيرات باستخدام الرموز المختلفة، مثل: المتغيرات الظاهرية: النمو الاقتصادي - وانبعاثات الكاربون اما المتغيرات الخفية: استهلاك الطاقة

يتم استخدام تحليل المساري لتحديد العلاقات بين المتغيرات وتحديد الأثر الذي يمارسه المتغير الواحد على المتغير الآخر، ولتحديد العلاقات السببية بين المتغيرات وتحديد العوامل التي تؤثر على النتائج والإجراءات التي يمكن اتخاذها لتحسينها. يمكن أن يكون التحليل المساري أداة قوية للتحليل الإحصائي والاقتصادي وغيرها من المجالات.

2- الاختبارات الخاصة بتحليل المسار

تحليل المسار هو إطار نظري وإحصائي يستخدم لفهم العلاقة بين متغيرات متعددة في سياق واحد. ولتنفيذ هذا الإطار النظري، يتطلب تطبيق تحليل المسار استخدام عدة اختبارات مختلفة لتحديد ما إذا كانت الفرضيات المعروضة صحيحة وما إذا كانت النتائج موثوقة ودقيقة. ويمكن تطبيق هذه الاختبارات باستخدام برامج الإحصائيات المختلفة مثل SPSS و STATA وSMART PLSوغيرها.

وبرنامج SMART PLS هو برنامج حوسبة يستخدم لتحليل المسار وتحليل النماذج البيانية الهيكلية بما في ذلك الاختبارات الخاصة بتحليل المسار، يمكن استخدام SMART لتحليل البيانات في الوقت الحقيقي وتوليد التقارير والرسوم البيانية والمخططات. ويتيح البرنامج للمستخدمين تحليل البيانات باستخدام الإحصائيات الأساسية مثل الانحدار الخطي وتحليل الانحدار والتحليل العاملي والتحليل المتعدد المتغيرات.

يعرض هذا المبحث أهم ما توصل إليه الباحث من خلال تحليل علاقات التأثير المباشر غير المباشر بين المتغير المستقل (النمو الاقتصاديGDP) والمتغير التابع (انبعاثات الكاربونCO2) من خلال المتغير الوسيط (استهلاك

الطاقةE) وتم استخدام مؤشرات عن متغيرات الدراسة وذلك باستخدام البرنامج الاحصائي AMOS vs.23. وسيتم توضيحه كما يلي: -

2.5.3 تحليل النتائج والمناقشة

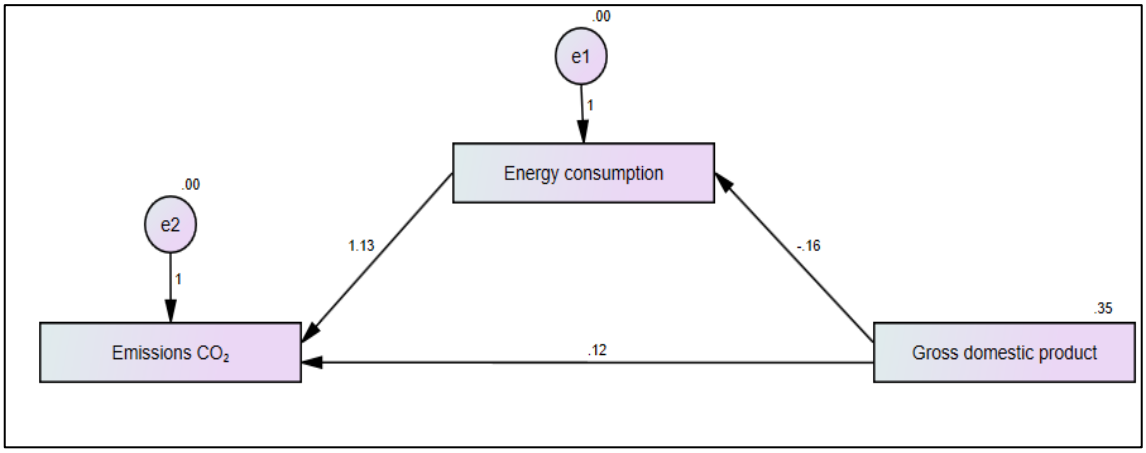
الفرضية الاولى: لا يوجد تأثير غير مباشر لنمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة

يتبين من نتائج جدول (1) والشكل (1) ان الاثر المباشر لنمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 بلغ (0.12)، وبمستوى معنوية (0.001)، وهو ما يعني ان هذا الاثر طردي ودال احصائيا، مما يدل على ان ارتفاع نمو الناتج المحلي قد يقترن بزيادة انبعاثات غاز CO2 ، وذلك بسبب اتساع النشاط الاقتصادي وزيادة الانتاج والتوسع في الانشطة الصناعية والخدمية والنقل، وهي جميعها انشطة غالبا ما يصاحبها ارتفاع في مستويات الانبعاثات. وفي المقابل، يظهر الاثر غير المباشر لنمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة بقيمة (-0.1808)، وبمستوى معنوية (0.001)، مما يدل على ان هذا الاثر سالب ودال احصائيا. وهذا يعني ان نمو الناتج المحلي عندما يمر عبر استهلاك الطاقة لا يؤدي بالضرورة الى زيادة الانبعاثات بصورة مباشرة، بل قد يعكس وجود انماط استخدام كفؤة للطاقة او تحولات في هيكل الاستهلاك الطاقي تؤثر بصورة عكسية في العلاقة بين المتغيرين. كما ان هذا الاثر غير المباشر السالب قد يشير الى ان استهلاك الطاقة يمثل قناة مؤثرة تعيد تشكيل إثر نمو الناتج المحلي في الانبعاثات، ويعني ذلك ان استهلاك الطاقة قد ادى دورا وسيطا عكس اتجاه العلاقة بين نمو الناتج المحلي وانبعاثات غاز CO2 ، اذ جاء الاثر غير المباشر السالب أكبر من الاثر المباشر الموجب، مما ادى الى تحول الاثر الكلي الى السالب. وان الاثر الكلي بعد احتساب الاثر المباشر وغير المباشر معا بلغ (-0.0608)، اي ان محصلة تأثير نمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 اصبحت سلبية بسبب هيمنة الاثر غير المباشر الاكبر حجما. وتظهر حدود الثقة الناتجة عن اسلوب Bootstrap والتي تراوحت بين (-0.094) كحد أدنى و(-0.039) كحد اعلى، وبمستوى معنوية (0.001)، مما يؤكد معنوية الاثر الكلي واستقراره احصائيا. وبناء على ذلك يمكن القول ان استهلاك الطاقة يتوسط العلاقة بين نمو الناتج المحلي وانبعاثات غاز CO2.

جدول (1) مسارات التأثير المباشر وغير المباشر بين نمو الناتج المحلي وانبعاثات غاز CO2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة

التأثير المباشر	مستوى المعنوية	التأثير غير المباشر	مستوى المعنوية	التأثير الكلي	الحد الأعلى للاختبار Bootstrap	الحد الأدنى للاختبار Bootstrap	مستوى المعنوية
0.12	0.001	-0.1808	0.001	-0.0608	-0.039	-0.094	0.001

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات AMOS vs.23



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات AMOS vs.23

شكل (1) مسارات التأثير المباشر وغير المباشر بين نمو الناتج المحلي وانبعاثات غاز CO_2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة

1.4 الاستنتاجات

1. ان استهلاك الطاقة له تأثيرًا إيجابيًا ومعنويًا وكمتغير وسيط في زيادة التلوث البيئي عند زيادة النمو الاقتصادي، يسهم التحول نحو الطاقة المتجددة في تخفيف أثر النمو الاقتصادي على البيئة.
2. ان الاثر المباشر لنمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 بلغ (0.12)، وبمستوى معنوية (0.001)، وهو ما يعني ان هذا الاثر طردي ودال احصائيا.

3. يظهر الاثر غير المباشر لنمو الناتج المحلي في انبعاثات غاز CO2 من خلال توسيط استهلاك الطاقة بقيمة (-0.1808)، وبمستوى معنوية (0.001)، مما يدل على ان هذا الاثر سالب ودال احصائيا.
4. تبين أن استهلاك الطاقة، وخصوصًا المصادر التقليدية، يُعد من أهم العوامل التي تؤدي الى زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مما يوكد على ضرورة التحول الطاقوي وان السياسات البيئية الفاعلة مكّنت ألمانيا من تحقيق نمو اقتصادي نظيف نسبيًا.
5. أن النمو الاقتصادي لا يمثل بالضرورة مصدرًا دائمًا للتدهور البيئي، بل يعتمد أثره على طبيعة السياسات الاقتصادية والبيئية المتبعة، اذ أظهرت النتائج أن النمو الاقتصادي كان مرتبطًا بزيادة الانبعاثات CO2 في المراحل الاولى للتطور الصناعي، قبل أن يستخدم التقدم التكنولوجي في تحسن البيئة واعتماد سياسات بيئية وتكنولوجية في المانيا.
6. تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في ألمانيا قبل التحول الطاقي، حيث يتحول تأثير النمو الاقتصادي من إيجابي على الانبعاثات في المراحل الأولى إلى سلبي في المراحل المتقدمة على التلوث عند مستويات متقدمة من الدخل.

2.4 التوصيات:

وتوصي الدراسة بما يأتي:

1. تعزيز الاستثمار في الطاقة المتجددة ورفع كفاءة استخدام الطاقة في القطاعات الصناعية والنقل وتحقيق التحول الطاقوي.
2. تشديد سياسات تسعير الكربون وفرض ضرائب الكربون ونظم تداول الانبعاثات لزيادة الحوافز الاقتصادية لاعتماد تقنيات أقل تلويثًا.
3. دعم الابتكار البيئي والاستثمار في البحث والتطوير البيئي والتكنولوجيات النظيفة لتحقيق استدامة النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة والاعتماد على الابتكار الأخضر والتحول الطاقوي والسياسات التنظيمية لضمان نمو اقتصادي متوافق مع حماية البيئة.
4. الاستمرار في تحديث البنية التحتية للطاقة والتركيز على الحد من الانبعاثات قبل حدوث التدهور البيئي أي الوقائية بدلًا من العلاج.

الشكر والتقدير: يتقدم الباحث بالشكر والتقدير لكل من مد يد العون والمساعدة في انجاز هذا البحث
التمويل: لم يتلقى الباحث أي تمويل من أي جهة لدعم هذا البحث.

مساهمة المؤلف: قام الباحث بأعداد هذا البحث بالاعتماد على مصادر موثوقة وجمع البيانات لسنوات الدراسة وقاموا بتحليلها واعداد جداول لدراسة مدى تأثير النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة على التلوث البيئي المتمثلة بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون

الذكاء الاصطناعي التوليدي والتقنيات المدعومة بالذكاء الاصطناعي في عملية الكتابة: لم يعتمد الباحثون على برامج الذكاء الصناعي في انجاز بحثهم.

تضارب المصالح: يُقرّ المؤلفون بعدم وجود تضارب مصالح يتعلق بالمضمون أو التأليف أو نشر هذا البحث.

نبذة قصيرة عن كل مؤلف:

المؤلف الأول: ا.م.د هدى زوير مخلف حاصلة على شهادة الدكتوراه في العلوم الاقتصادية، تدريسية في كلية الإدارة والاقتصاد/ قسم الاقتصاد

المؤلف الثاني: أ.م.د نمارق قاسم حسين حاصلة على شهادة الدكتوراه في مجال الاقتصاد.

مصادر البيانات: تم الحصول عليها من البنك الدولي، والهيئة الاتحادية للبيئة في ألمانيا، وموقع " Our World in Data"

5 المصادر References

1. Apergis, N., & Payne, J. E. (2014). Renewable energy, output, CO_2 emissions, and fossil fuel prices in Central America: Evidence from a nonlinear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*, 42, 226–232.
2. BMWK. (2023). *Climate action in figures: Facts, trends and incentives for German climate policy* (Annual Report). Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action.
3. Byrne, B. M. (2016). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming* (3rd ed.). Routledge.
4. Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455.
5. Grimm, K. J., Ram, N., & Estabrook, R. (2017). *Growth Modeling: Structural Equation Modeling Approaches* (Second Edition). Guilford Press.

6. Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
7. IEA. (2024). *Energy Statistics of Germany*. International Energy Agency. Paris.
8. World Health Organization (WHO). (2020). Air Pollution and Health. Geneva: WHO, p. 98–115.
9. International Energy Agency. (2019). *World energy outlook 2019*. IEA Publishing.
10. Long, J. S. (2012). *Applied Structural Equation Modeling: An Introduction Using Mplus*. Sage Publications.
11. Blunch, N. (2013). *Introduction to structural equation modeling using IBM SPSS Statistics and AMOS*. SAGE Publications.
12. Magazzino, C. (2023). CO_2 emissions and economic growth in Germany. *Energy Economics*, 117, Article 106460.
13. OECD. (2022). *Environmental performance reviews: Germany*. OECD Publishing.
14. Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390.
15. Ritchie, H. (2024). *CO_2 emissions: Germany*. Our World in Data.
16. Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). *Economics* (19th ed.). McGraw-Hill Education.
17. Shahbaz, M., Jam, F. A., Bibi, S., & Loganathan, N. (2017). Environmental (D. Nordhaus&Samuelson, 2021)Kuznets curve hypothesis: A survey. *Energy Economics*, 63, 38–52.
18. Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439.
19. Stern, D. I. (2011). The role of energy in economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219(1), 26–51.
20. Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2020). *Economic development* (13th ed.). Pearson Education.
21. Umwelt undreamt. (2025). *Greenhouse gas emissions report*. Berlin, Germany.
22. UNDP. (2021). *Human development report 2021/2022*. United Nations Development Programme.
23. World Bank. (2018). *Access to electricity*. World Bank Group.
24. World Bank. (2024). *World development indicators*. World Bank Group.