Wadi Alshatti University Journal of
Pure and Applied Sciences

مجلة جامعة وادي الشاطئ
للعلوم البحتة والتطبيقية

The First International Online Conference on Sustainability- May 12-14 , 2026, Ajilat - Libya

RESEARCH ARTICLE **ECONOMICS**

Does the Environmental Kuznets Curve Hypothesis Hold in Libya? An Extended Econometric Analysis of Economic Growth and CO_2 Emissions

Abubaker Abdulqader Abuazoum[1,*]

[1]Department of Economics, Faculty of Economics and Accounting, Fezzan University, Murzuq, Libya

ARTICLE HISTORY
Received 10 March 2026
Revised 28 April 2026
Accepted 10 May 2026
Online 14 May 2026

KEYWORDS
Environmental Kuznets Curve;
Rentier Economy;
Nonlinear ARDL (NARDL);
Green Economy Transition;
Sustainable Development.

ABSTRACT

This study examines the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis in the Libyan economy by analyzing the dynamic relationship between economic growth and CO_2 emissions over the period 1980–2024, within a broader sustainable development framework. The study employs both the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model and its nonlinear extension (Nonlinear ARDL - NARDL), allowing for the estimation of short-run and long-run relationships, as well as testing for cointegration using the Bounds Test. In addition, the model captures potential asymmetric effects of economic growth on environmental degradation. The results indicate the existence of a long-run equilibrium relationship among the variables, with evidence supporting the nonlinear form of the Environmental Kuznets Curve hypothesis. However, the estimated turning point exceeds the current income level, suggesting that Libya remains at a stage where economic growth is associated with increasing environmental degradation. Energy consumption is found to be the main driver of CO_2 emissions, while trade openness and urbanization are statistically insignificant. Moreover, no significant asymmetric effects are detected between positive and negative changes in economic growth. These findings highlight the importance of integrated economic and environmental policies aimed at improving energy efficiency and promoting a transition toward cleaner energy sources.

هل تنطبق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في الاقتصاد الليبي؟ تحليل قياسي موسع النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية

ابوبكر عبدالقادر ابوعزوم[1،*]

الكلمات المفتاحية

منحنى كوزنتس البيئي
الاقتصاد الريعي
النموذج غير الخطي (NARDL)
التحول نحو الاقتصاد الأخضر
التنمية المستدامة

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC) في الاقتصاد الليبي، من خلال تحليل العلاقة الديناميكية بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال الفترة (1980–2024)، في إطار أوسع يرتبط بقضايا التنمية المستدامة. وتعتمد الدراسة على نموذج الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية الموزعة (Autoregressive Distributed Lag - ARDL) ونموذجه غير الخطي (Nonlinear ARDL – NARDL)، بما يسمح بتقدير العلاقات في الأجلين القصير والطويل، واختبار وجود تكامل مشترك باستخدام اختبار الحدود (Bounds Test)، إضافة إلى تحليل التأثيرات غير المتماثلة للنمو الاقتصادي على الانبعاثات. وتشير النتائج إلى وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين المتغيرات، مع دعم الشكل غير الخطي لفرضية منحنى كوزنتس البيئي. إلا أن نقطة التحول المقدّرة تفوق مستوى الدخل الحالي، مما يدل على أن الاقتصاد الليبي لا يزال في مرحلة يرتبط فيها النمو بزيادة التدهور البيئي. كما يتبين أن استهلاك الطاقة يمثل المحدد الرئيسي للانبعاثات، في حين لم يظهر كل من الانفتاح التجاري والتحضر تأثيرًا معنويًا، ولم تُسجل فروق دالة بين تأثيرات التغيرات الموجبة والسالبة للنمو الاقتصادي. وتبرز هذه النتائج أهمية تبني سياسات اقتصادية وبيئية متكاملة تدعم التحول نحو مسار تنموي أكثر استدامة، من خلال تعزيز كفاءة استخدام الطاقة وتوسيع الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة.

المقدمة

تشهد القضايا البيئية في العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا على الصعيدين الأكاديمي والعملي، في ظل التحديات المتسارعة المرتبطة بتغير المناخ، وارتفاع مستويات الانبعاثات الكربونية، واستنزاف الموارد الطبيعية. وقد أصبح تحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة أحد أبرز الإشكاليات التي تواجه الدول، خاصة النامية منها، التي تسعى إلى تحسين مستويات المعيشة دون الإضرار بالاستدامة البيئية. وفي هذا السياق، برز مفهوم التنمية المستدامة كإطار شامل يهدف إلى تحقيق النمو الاقتصادي مع ضمان الاستخدام الرشيد للموارد وحماية البيئة للأجيال القادمة [1].

ضمن هذا الإطار، اكتسبت فرضية منحنى كوزنتس البيئي (Environmental

*Corresponding author
https://doi.org/10.63318/waujpas.sp_FISCSDR2026_13
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Kuznets Curve – EKC) أهمية كبيرة في الأدبيات الاقتصادية، حيث تقدم تفسيرًا نظريًا للعلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي. إذ تفترض هذه الفرضية وجود علاقة غير خطية تأخذ شكل حرف U مقلوب، بحيث يؤدي النمو الاقتصادي في مراحله الأولى إلى زيادة مستويات التلوث نتيجة التوسع الصناعي والاستخدام المكثف للطاقة، قبل أن يبدأ في الانخفاض مع ارتفاع مستويات الدخل، نتيجة التحول نحو أنماط إنتاج واستهلاك أكثر كفاءة واعتمادًا على التكنولوجيا النظيفة.

ورغم الانتشار الواسع لهذه الفرضية، إلا أن تطبيقها في الدول الريعية، وخاصة المعتمدة على الموارد الطبيعية مثل النفط، لا يزال محل نقاش، نظرًا لاختلاف الهياكل الاقتصادية وخصائص أسواق الطاقة فيها. وتُعد ليبيا نموذجًا مهمًا في هذا السياق، حيث يعتمد اقتصادها بشكل كبير على قطاع النفط كمصدر رئيسي للدخل والطاقة، وهو ما ينعكس بشكل مباشر على مستويات الانبعاثات الكربونية. فعلى مدى العقود الماضية، شهد الاقتصاد الليبي تقلبات ملحوظة في معدلات النمو، نتيجة العوامل الاقتصادية والسياسية، إلا أن هذه التقلبات لم تكن مصحوبة بتحسن واضح في الأداء البيئي، الأمر الذي يثير تساؤلات جوهرية حول طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في الحالة الليبية.

تنطلق هذه الدراسة من مشكلة رئيسية تتمثل في عدم وضوح ما إذا كان النمو الاقتصادي في ليبيا يسير في اتجاه متوافق مع متطلبات الاستدامة البيئية، أم أنه لا يزال مرتبطًا بزيادة مستويات التلوث. كما تبرز الحاجة إلى فهم دور العوامل المؤثرة في هذه العلاقة، وعلى رأسها استهلاك الطاقة، الذي يمثل المحرك الأساسي للنشاط الاقتصادي، إلى جانب الانفتاح التجاري، الذي قد يسهم في نقل التكنولوجيا أو في زيادة الضغوط البيئية، فضلاً عن التحضر الذي يعكس التغيرات الهيكلية في المجتمع.

وفي ضوء ذلك، تسعى الدراسة إلى الإجابة عن مجموعة من التساؤلات البحثية، من أبرزها: هل توجد علاقة طويلة الأجل بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا؟ وهل تتخذ هذه العلاقة الشكل غير الخطي الذي تفترضه فرضية منحنى كوزنتس البيئي؟ وما مدى تأثير استهلاك الطاقة والانفتاح التجاري والتحضر على هذه العلاقة؟ وهل تختلف استجابة الانبعاثات للتغيرات في النمو الاقتصادي بين حالات الارتفاع والانخفاض، بما يعكس وجود تأثيرات غير متماثلة؟

وانطلاقًا من هذه التساؤلات، تهدف الدراسة إلى تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا خلال الفترة الممتدة من 1980 إلى 2024، مع اختبار فرضية EKC باستخدام نماذج قياسية حديثة تجمع بين منهجية الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية الموزعة (ARDL) ونموذج الانحدار غير الخطي(NARDL) ، وذلك بهدف التمييز بين التأثيرات قصيرة الأجل وطويلة الأجل، والكشف عن أي سلوك غير متماثل في العلاقة بين المتغيرات.

رغم التراكم الكبير في دراسات منحنى كوزنتس البيئي، لا يوجد اتفاق واضح حول طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي، إذ تختلف النتائج باختلاف خصائص الاقتصادات ومستويات اعتمادها على الطاقة الأحفورية. ويظهر هذا التباين بشكل أكبر في الاقتصادات الريعية، حيث لا تسير العلاقة بالضرورة وفق المسار النظري التقليدي. وفي ليبيا، لا تزال هذه العلاقة غير محسومة في ظل هيمنة قطاع النفط والتقلبات الاقتصادية الحادة، إلى جانب محدودية التحليل القياسي المتخصص. كما أن الأدبيات المتاحة نادرا ما تناولت مسألة اختلاف تأثيرات النمو في حالات الارتفاع والانخفاض، وهو جانب مهم في اقتصاد يتسم بعدم الاستقرار.

تنطلق أهمية هذه الدراسة من قدرتها على تقديم إضافة علمية ومنهجية وتطبيقية في آن واحد. فهي تسهم علميا في توسيع نطاق الأدبيات المتعلقة بالعلاقة بين النمو والبيئة في الاقتصاد الليبي، ومنهجيا من خلال استخدام نموذج يسمح بتحليل الفروق في تأثيرات التغيرات الاقتصادية، بما يعزز فهم طبيعة العلاقة بشكل أكثر دقة. أما من الناحية التطبيقية، فتوفر نتائجها أساسا يمكن البناء عليه في صياغة سياسات اقتصادية وبيئية أكثر ارتباطا بواقع الاقتصاد الليبي، خاصة فيما يتعلق بإدارة الطاقة والحد من الانبعاثات.

وتفترض الدراسة، في إطار اختبار فرضيةEKC، وجود علاقة موجبة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في المراحل الأولى من النمو، في حين تتحول هذه العلاقة إلى سالبة عند مستويات دخل مرتفعة. كما تفترض أن استهلاك الطاقة يسهم في زيادة الانبعاثات، في حين قد يسهم الانفتاح التجاري في تقليلها من خلال نقل التكنولوجيا وتحسين الكفاءة الإنتاجية. بالإضافة إلى ذلك، تفترض الدراسة احتمال وجود تأثيرات غير متماثلة للنمو الاقتصادي على البيئة، بحيث تختلف استجابة الانبعاثات للتغيرات الإيجابية والسلبية في الناتج المحلي.

ولتحقيق أهداف الدراسة واختبار فرضياتها، تم تنظيمها في عدة أقسام مترابطة؛ حيث يتناول القسم الأول الإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة، مع التركيز على الأدبيات التي تناولت فرضية EKC في الدول النامية والاقتصادات الريعية. ويعرض القسم الثاني المنهجية القياسية والبيانات المستخدمة، بما في ذلك توصيف المتغيرات ومصادرها. أما القسم الثالث، فيتناول عرض النتائج القياسية ومناقشتها في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، مع التركيز على تفسير النتائج من منظور اقتصادي. ويختتم البحث بالقسم الرابع، الذي يعرض أهم الاستنتاجات والتوصيات المتعلقة بالسياسات الاقتصادية والبيئية، في ضوء أهداف التنمية المستدامة.

وفي المجمل، تسعى هذه الدراسة إلى تقديم تحليل متكامل للعلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا، بما يسهم في فهم التحديات التي تواجه تحقيق التنمية المستدامة في الاقتصادات المعتمدة على الموارد الطبيعية، ويدعم التوجه نحو تبني سياسات أكثر توازنًا بين متطلبات النمو والحفاظ على البيئة.

الإطار النظري والمفاهيمي

تعد فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC) من أبرز الأطر النظرية المستخدمة في تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي، حيث تفترض وجود علاقة غير خطية بين مستوى الدخل والانبعاثات، تأخذ شكل حرف U مقلوب، بحيث يرتفع التلوث في المراحل الأولى من النمو ثم يبدأ في الانخفاض مع بلوغ مستويات دخل مرتفعة. ويستند هذا الطرح إلى الامتداد التحليلي لأعمال كوزنتس حول التحولات الهيكلية المصاحبة للنمو الاقتصادي، حيث أشار إلى أن "التغيرات في البنية الاقتصادية ترافقها تحولات في طبيعة العلاقات الاقتصادية والاجتماعية، وهو ما تم توظيفه لاحقًا في تفسير العلاقة بين الدخل والتدهور البيئي [2].

وفي السياق البيئي، تؤكد الأدبيات القياسية أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات ليست خطية، بل تمر بمراحل تطور تعكس طبيعة التحولات التي يشهدها الاقتصاد، حيث يوضح Stern أن "مؤشرات التدهور البيئي تميل إلى الارتفاع في المراحل الأولى من النمو ثم تبدأ في الانخفاض مع زيادة نصيب الفرد من الدخل [3]. ويعكس هذا النمط الديناميكي تفاعل مجموعة من الآليات الاقتصادية التي تحدد مسار العلاقة بين النشاط الاقتصادي والبيئة.

وتفسر هذه العلاقة من خلال ثلاث قنوات رئيسية تتمثل في تأثير الحجم، وتأثير التركيب، وتأثير التقنية، حيث يشير تأثير الحجم إلى أن التوسع في النشاط الاقتصادي يؤدي إلى زيادة استخدام الموارد والطاقة، وبالتالي ارتفاع مستويات التلوث، خاصة في المراحل الأولى من التنمية. وفي هذا الإطار، يبين ستيرن أن "التوسع الاقتصادي يؤدي بطبيعته إلى زيادة التلوث نتيجة ارتفاع استهلاك الموارد [4] .مع استمرار النمو، يبدأ تأثير التركيب في الظهور من خلال التحول التدريجي في هيكل الاقتصاد من القطاعات الصناعية كثيفة التلوث إلى قطاعات أقل كثافة في الانبعاثات، وهو ما يساهم في تخفيف الضغط البيئي. أما تأثير التقنية، فيرتبط بالتقدم التكنولوجي وتحسن كفاءة الإنتاج، حيث يؤدي اعتماد تقنيات نظيفة إلى خفض كثافة الانبعاثات، إذ تشير الأدبيات إلى أن "التغير التكنولوجي يلعب دورًا محوريًا في تقليل كثافة الانبعاثات مع ارتفاع مستويات الدخل [5].

وعلى الرغم من الإطار النظري المتماسك الذي تقدمه فرضية(EKC) ، إلا أن العديد من الدراسات الحديثة تشير إلى أن تحققها ليس أمرًا حتميًا، بل يعتمد على مجموعة من العوامل المؤسسية والسياسات العامة. فقد أوضح داسغوبتا وآخرون أن "الجزء التنازلي من المنحنى لا يعكس بالضرورة تحسنًا بيئيًا حقيقيًا في جميع الحالات [6]. وهو ما يثير تساؤلات حول مدى عمومية هذه الفرضية، خاصة في الاقتصادات النامية. كما يشير ستيرن إلى أن الأدلة التجريبية على فرضية" (EKC) تعاني من ضعف إحصائي في بعض الحالات التطبيقية [7] ، مما يعني أن العلاقة بين النمو والتلوث قد تختلف باختلاف الخصائص الهيكلية لكل اقتصاد.

وتزداد أهمية هذا النقاش في حالة الاقتصادات الريعية المعتمدة على الموارد الطبيعية، حيث قد يؤدي الاعتماد المكثف على الطاقة الأحفورية إلى إطالة المرحلة التصاعدية من المنحنى، نتيجة هيمنة تأثير الحجم وضعف تأثيري التركيب والتقنية. وفي هذا السياق، تكتسب دراسة الحالة الليبية أهمية خاصة، نظرًا لكونها اقتصادًا يعتمد بشكل كبير على قطاع النفط كمصدر رئيسي للدخل والطاقة، وهو ما قد يحد من قدرة الاقتصاد على الانتقال التلقائي نحو مرحلة التحسن البيئي، ويجعل تحقق فرضية (EKC) مشروطًا بتبني سياسات بيئية واقتصادية فاعلة.

الدراسات السابقة

شهدت العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي اهتمامًا متزايدًا في الأدبيات الاقتصادية، خاصة مع تصاعد التحديات المرتبطة بتغير المناخ وارتفاع الانبعاثات الكربونية. وقد برزت فرضية منحنى كوزنتس البيئي كأحد الأطر النظرية الأكثر استخدامًا في تفسير هذه العلاقة، حيث تفترض أن التلوث يرتفع في المراحل الأولى من النمو ثم يبدأ في الانخفاض بعد بلوغ مستوى معين من الدخل. ومع ذلك، فإن النتائج التطبيقية لم تكن موحدة، بل أظهرت اختلافات واضحة بين الدول والفترات الزمنية.

على المستوى الدولي، سعت العديد من الدراسات إلى تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والانبعاثات باستخدام بيانات تشمل عددا كبيرا من الدول. فقد توصلت دراسة (Acheampong 2018) إلى أن العلاقة بين هذه المتغيرات ليست مستقرة، بل تختلف من منطقة إلى أخرى، حيث لم يكن النمو الاقتصادي سببا مباشرا لزيادة الانبعاثات في جميع الحالات، بينما ظل استهلاك الطاقة العامل الأكثر تأثيرا [8]. كما أكدت دراسة (Krueger 1995&Grossman) أن العلاقة بين الدخل والتلوث ليست خطية، بل تأخذ شكل منحنى مقلوب، وهو ما شكل الأساس الذي انطلقت منه معظم الدراسات اللاحقة [9].

أما الدراسات التي ركزت على دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، فقد أظهرت نتائج متباينة. حيث بينت دراسة Arouri وآخرون (2012) وجود علاقة طويلة الأجل بين النمو الاقتصادي والانبعاثات واستهلاك الطاقة، إلا أن فرضية منحنى كوزنتس لم تتحقق إلا في عدد محدود من الدول عند التحليل الفردي [10]. وفي الاتجاه نفسه، توصلت دراسة جلولي ولعمي (2021) إلى أن استهلاك الطاقة الأحفورية يلعب دورا أساسيا في زيادة التلوث في دول الخليج، مع وجود دليل على تحقق فرضية المنحنى، وهو ما يعكس طبيعة هذه الاقتصادات المعتمدة بشكل كبير على النفط [11].

من جانب آخر، ركزت بعض الدراسات على تحليل العلاقات الديناميكية باستخدام بيانات السلاسل الزمنية. فقد أظهرت دراسة Song وآخرون (2019) أن كل من النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة يسهمان في زيادة الانبعاثات على المدى الطويل، مع وجود علاقة سببية واضحة في اتجاه واحد [12]. كما بينت دراسة Aeknarajindawat وآخرون (2020) أن الاعتماد على الموارد الطبيعية يرتبط بارتفاع التلوث، في حين أن التوسع في استخدام الطاقة المتجددة يسهم في الحد منه، مما يؤكد أهمية التحول في هيكل الطاقة [13].

وفيما يتعلق بالدراسات العربية، فقد كشفت النتائج عن عدم وجود نمط واحد يمكن تعميمه. فقد توصلت دراسة القحطاني (2024) إلى عدم تحقق فرضية منحنى كوزنتس في الاقتصاد السعودي، رغم استخدام نموذج قياسي متقدم، وهو ما يشير إلى أن العلاقة بين النمو والتلوث قد تختلف باختلاف طبيعة الاقتصاد [14]. أما بالنسبة لليبيا، فإن أغلب الدراسات المتاحة ركزت على الوصف العام للمشكلات البيئية، كما في دراسة الفقيه وآخرون (2017)، دون التعمق في تحليل العلاقة بين المتغيرات باستخدام نماذج قياسية حديثة [15].

ورغم هذا الكم من الدراسات، إلا أن هناك عددا من الجوانب التي لا تزال بحاجة إلى مزيد من البحث. فمعظم الدراسات اعتمدت على نماذج خطية تفترض أن تأثير النمو الاقتصادي على الانبعاثات يكون متشابها سواء في حالة الزيادة أو الانخفاض، وهو افتراض قد لا يعكس الواقع في الاقتصادات التي تتعرض لتقلبات حادة. كذلك، فإن نتائج اختبار فرضية منحنى كوزنتس جاءت مختلفة من دراسة إلى أخرى، خاصة عند الانتقال من التحليل على مستوى مجموعة دول إلى التحليل على مستوى دولة واحدة، مما يطرح تساؤلات حول مدى ملاءمة هذه الفرضية في بعض الحالات.

اما في ليبيا، فعدد الدراسات التي تعالج هذه العلاقة احصائيا لا يزال قليلا جدا. في اطروحة الدكتوراه التي قدمها Shibani سنة (2012)، حاول الباحث فهم طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي وانبعاثات الكربون في ليبيا

باستخدام تحليل الانحدار، وخلص إلى ان الاقتصاد الليبي ما يزال واقعا في الجزء الصاعد من المنحنى، دون وجود دليل حقيقي على نقطة تحول، وذلك بسبب غياب سياسات بيئية فاعلة [16]. من ناحية اخرى، ذهب Nassar وآخرون الى محاولة تقدير التكاليف البيئية الناجمة عن انبعاثات الغازات الدفيئة في ليبيا [17]، واقترحوا فرض ضريبة على الكربون كوسيلة لخفض التلوث، وقدروا عائد هذه الضريبة بنحو 10% من اجمالي الناتج المحلي [18]. على صعيد اخر، تناول Inweer (2025) قياس انبعاثات الكربون الناتجة عن صناعة الاسمنت في ليبيا طوال دورة حياتها، ووجد ان معامل الانبعاثات في ليبيا يصل الى 1083.60 كيلوغراما لكل طن اسمنت، وهو رقم اعلى من المعدل العالمي الذي يبلغ 798 كيلوغراما، مما يعكس كثافة استهلاك الطاقة وضعف كفاءة الانتاج.[19,20]

وبالنظر إلى طبيعة الاقتصاد الليبي المعتمد على النفط والتقلبات الكبيرة التي شهدها اسعار البترول خلال العقود الماضية، تبدو الحاجة أكثر وضوحا لإجراء تحليل قياسي معمق، خاصة ان مسألة اختلاف تأثير النمو الاقتصادي على الانبعاثات بين فترات الارتفاع والانخفاض لم تحظ بالاهتمام الكافي، رغم اهميتها في فهم سلوك التلوث في اقتصاد غير مستقر.

انطلاقا من ذلك، تحاول هذه الدراسة معالجة هذا النقص من خلال استخدام نموذج ARDL لتحليل العلاقة طويلة الأجل، إلى جانب نموذج NARDL الذي يسمح بدراسة الاختلاف في تأثير التغيرات الإيجابية والسلبية في النمو الاقتصادي على الانبعاثات الكربونية. ويهدف هذا التوجه إلى تقديم فهم أكثر دقة لطبيعة هذه العلاقة في ليبيا، بما يساعد في تفسير سلوك التلوث في ظل التقلبات الاقتصادية، ويقدم إضافة علمية يمكن البناء عليها في دراسات لاحقة.

نموذج الدراسة

النموذج العام

لاختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي، يتم صياغة النموذج القياسي الذي يربط بين الانبعاثات الكربونية والنمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة كما يلي:

$$CO2_t = f(GDPT, GDP_t^2, N_t, TO_t, URB_t)$$

النموذج القياسي

أما الصيغة الاقتصادية القياسية الخطية فقد تم استخدام اللوغاريتم الطبيعي للمتغيرات بهدف تقليل التباين وتحسين خصائص التوزيع الإحصائي للبيانات باستخدام نموذج الابطاء الذاتي الموزع ARDL، ليصبح النموذج على الشكل التالي:

$$lnCO2_t = \propto + \sum_{i=1}^{p} \propto_1 lnCO2_{t-i} + \sum_{i-\theta}^{q} \propto_2 lnGDP_{t-i} + \sum_{i-\theta}^{q} \propto_3 (lnGDP_{t-i})^2 + \sum_{i-\theta}^{q} \propto_4 lnEN_{t-i} + \sum_{i-\theta}^{q} \propto_5 lnTR_{t-i} + \sum_{i-\theta}^{q} \propto_6 lnURB_{t-i}$$

متغيرات الدراسة

المتغير التابع

CO_2 : تمثل الانبعاثات الكربونية.

المتغيرات المستقلة

- GDP نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ($).
- GDP^2 مربع نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ($).
- EN: استهلاك الطاقة.
- TO: الانفتاح التجاري
- URB: معدل التحضر
- α1,α2,α3,α4,α5,α6 تمثل معاملات الانحدار
- α0: يمثل الحد الثابت.
- ε_t : يمثل حد الخطأ العشوائي.

فرضيات الدراسة

تنطلق الدراسة من مجموعة فرضيات عامة تهدف إلى تفسير العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في الاقتصاد الليبي، في إطار فرضية منحنى كوزنتس البيئي، وعلى النحو التالي:

- توجد علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا، تتسق جزئيًا مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي .
- يسهم استهلاك الطاقة بشكل مباشر في زيادة الانبعاثات الكربونية، باعتباره المحدد الرئيسي للتدهور البيئي في الاقتصاد الليبي .
- لا يظهر كل من الانفتاح التجاري والتحضر تأثيرًا معنويًا واضحًا على مستويات الانبعاثات خلال فترة الدراسة .
- لا تتسم العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات بقدر كبير من عدم التماثل، بما يعكس محدودية الاختلاف بين تأثير فترات التوسع والانكماش الاقتصادي .
- لا يزال الاقتصاد الليبي في مرحلة مبكرة من منحنى كوزنتس، حيث يرتبط النمو الاقتصادي بزيادة التدهور البيئي أكثر من تحسنه.

شروط تحقق فرضية EKC

لاختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي، يتم تضمين كل من متغير الدخل ***GDP*** ومربعه ***GDP^2*** في النموذج القياسي لالتقاط العلاقة غير الخطية بين النمو الاقتصادي والانبعاثات. وتتحقق الفرضية إذا جاءت معاملات النموذج وفق الإشارات التالية:

$$\beta 2 < 0 \text{ ، } \beta 1 > 0$$

حيث يشير β1>0 إلى أن التلوث يزداد في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، بينما يدل β2<0 على أن التلوث يبدأ في الانخفاض عند مستويات دخل مرتفعة. وبالتالي، فإن تحقق هذين الشرطين يعكس وجود علاقة على شكل منحنى U مقلوب، بما يدعم فرضية..EKC

حدود الدراسة ومصادر عدم اليقين

تشير الدراسة إلى مجموعة من الحدود ومصادر عدم اليقين التي ينبغي أخذها في الاعتبار عند تفسير النتائج. تعتمد البيانات على مصادر دولية سنوية قد تخضع لمراجعات أو نقص في بعض السنوات مثل 2011 بسبب الظروف السياسية، كما أن الفترة الزمنية (1980–2024) محددة بتوفر البيانات التاريخية. ويقتصر النموذج على المتغيرات الاقتصادية الكلية دون إدراج عوامل نوعية مثل جودة المؤسسات والسياسات البيئية وصعوبة قياسها كمياً. كما يفترض استقرار العلاقة الهيكلية بين المتغيرات، وقد تم التحقق منه جزئياً مع معالجة بعض الانقطاعات، مع احتمال وجود تحولات هيكلية أخرى غير مرصودة. إضافة إلى ذلك، تعكس النتائج علاقات إحصائية وليست سببية حتمية بشكل كامل، كما أن تقدير نقطة التحول يظل تقديراً إحصائياً ضمن هامش خطأ. لذلك ينبغي تفسير النتائج في إطار

هذه القيود، مع إمكانية معالجتها مستقبلاً عبر استخدام بيانات أكثر تفصيلاً، وتوسيع المتغيرات، وإجراء دراسات مقارنة بين الدول النفطية.

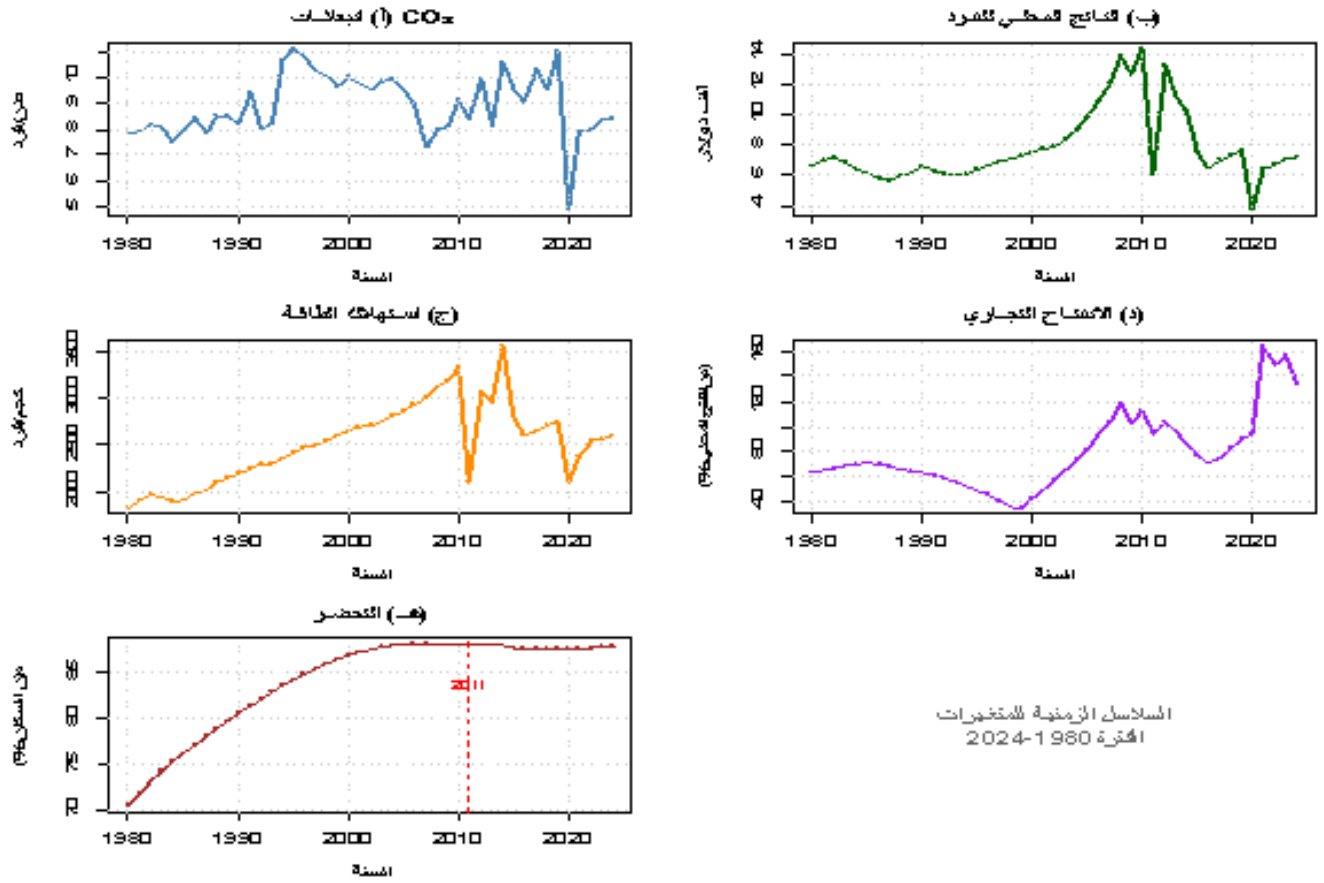
الإحصاءات الوصفية

توضح بيانات الجدول (1) أن متغيرات الدراسة تتسم بدرجات متفاوتة من التباين خلال فترة الدراسة. حيث يظهر أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ونصيب الفرد من الناتج المحلي واستهلاك الطاقة سجلت تقلبات واضحة، وهو ما يعكس تأثرها بالتغيرات الاقتصادية. في المقابل، يبدو أن متغير التحضر أكثر استقرارا نسبيا مقارنة ببقية المتغيرات. كما يشير التباين في الانفتاح التجاري إلى تغير مستوى اندماج الاقتصاد الليبي مع الاقتصاد العالمي عبر الزمن. وبشكل عام، تعكس هذه النتائج طبيعة غير مستقرة نسبيا لبعض المتغيرات، مما يدعم الحاجة إلى استخدام نماذج قياسية ديناميكية في التحليل

الجدول 1: الإحصاءات الوصفية لمتغيرات الدراسة(1980-2024)

المتغير	المتوسط	الوسيط	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الانحراف المعياري
CO_2 (طن/فرد)	8.92	8.55	4.86	11.13	1.27
GDP (دولار/فرد)	8020.67	7028	3699	14332	2490.15
الطاقة (كجم/فرد)	2522.13	2600	1820	3550	379.7
الانفتاح التجاري (%)	80.54	76.3	34.8	164.2	30.36
التحضر (%)	84.2	87.8	70.5	88.2	5.79

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار 4,3,1، استنادا على بيانات البنك الدولي[18]



الشكل 1: وصف اتجاه المتغيرات خلال الفترة 1985-2024

النتائج القياسية ومناقشتها

اختبارات استقرارية السلاسل الزمنية(Unit Root Tests)

توضح نتائج اختبار ADF أن المتغيرات المستخدمة في الدراسة ليست جميعها مستقرة عند المستوى. حيث يتبين أن متغير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ($lnCO_2$) مستقر عند المستوى، مما يعني أنه لا يحتاج إلى أخذ الفرق الأول. في المقابل، تظهر باقي المتغيرات مثل الناتج المحلي (lnGDP) واستهلاك الطاقة (lnEnergy) والانفتاح التجاري (lnTrade) والتحضر (Urban)عدم استقرارها عند المستوى، لكنها تصبح مستقرة بعد أخذ الفرق الأول.

وبناء على ذلك، يمكن تصنيف المتغيرات على أنها مزيج بين I(0) وI(1) ، مع عدم وجود أي متغير متكامل من الدرجة الثانية I(2) ، وهو ما يحقق الشرط الأساسي لاستخدام نموذج ARDL في التحليل القياسي.

تحديد فترات الإبطاء المثلى(Lag Length Selection)

يوضح الجدول (3) معايير المعلومات المستخدمة لتحديد عدد فترات الإبطاء المثلى وجود تباين نسبي بين المعايير المختلفة. حيث يشير معيار Akaike (AIC) ومعيار الخطأ النهائي (FPE) إلى أن العدد الأمثل لفترات الإبطاء هو

الجدول 2: نتائج اختبار ADF لاستقراريه السلاسل الزمنية

المتغير	المستوى (ثابت)	المستوى (ثابت+اتجاه)	الفرق الأول (ثابت)	الفرق الأول (ثابت+اتجاه)	رتبة التكامل
lnCO₂	0.027	0.041	0.01	0.01	I(0)
lnGDP	0.447	0.183	0.01	0.01	I(1)
lnGDP²	0.402	0.165	0.01	0.01	I(1)
lnEnergy	0.364	0.208	0.085	0.01	I(1)
lnTrade	0.997	0.002	0.009	0.01	I(1)
Urban	0.351	0.986	0.028	0.01	I(1)

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامجR Studio ، الاصدار.4,3,1,

(2)، في حين يقترح كل من معيار شوارتز (SC) ومعيار Hannan-Quinn (HQ) اختيار فترة إبطاء واحدة.

الجدول 3: نتائج معايير المعلومات لتحديد عدد الإبطاءات المثلى

معيار المعلومات	AIC	HQ	SC	FPE
عدد الإبطاءات المثلى	2	1	1	2

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار,4,3,1.

اختبار الحدود:(Bounds Test)

توضح نتائج اختبار الحدود (Bounds Test) أن قيمة إحصائية F المحسوبة بلغت (6.847)، وهي أعلى من القيمة الحرجة العليا عند مستوى معنوية 5% والبالغة (3.79). وبناء على ذلك، يتم رفض الفرضية الصفرية التي تنص على عدم وجود علاقة تكامل مشترك بين المتغيرات.

وتشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين متغيرات الدراسة، مما يدعم إمكانية استخدام نموذج ARDL لتحليل هذه العلاقة في الأجلين القصير والطويل.

الجدول 4: نتائج اختبار الحدود:(Bounds Test)

إحصائية F	القيمة الحرجة عند 5% (I(0))	القيمة الحرجة عند 5% (I(1))	القرار
6.847	2.62	3.79	رفض Ho (يوجد تكامل مشترك)

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار,4,3,1.

نموذج ARDL الأساسي لاختبارEKC

تشير نتائج الأجل الطويل إلى أن العلاقة الموجبة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات في المراحل الأولى تعكس طبيعة الهيكل الاقتصادي في ليبيا، الذي يعتمد بشكل كبير على قطاع النفط كثيف الانبعاثات، حيث يقترن التوسع في النشاط الاقتصادي بزيادة مباشرة في استهلاك الطاقة الأحفورية. في المقابل، يعكس المعامل السالب لمربع الناتج المحلي بداية ظهور أثر التغير الهيكلي، إلا أن عدم بلوغ نقطة التحول الفعلية يشير إلى أن هذا التحول لا يزال محدودا. كما يفسر التأثير الموجب والمعنوي لاستهلاك الطاقة استمرار هيمنة مصادر الطاقة التقليدية وضعف كفاءة استخدامها، وهو ما يعزز الارتباط بين النمو والتدهور البيئي. أما عدم معنوية الانفتاح التجاري والتحضر، فيمكن تفسيره بضعف دور هذه العوامل في إحداث تحول نوعي في هيكل الإنتاج أو في نمط استهلاك الطاقة، بما يجعل تأثيرها البيئي محدودا في الحالة الليبية..

أما في الأجل القصير، فإن دلالة القيم المتباطئة للانبعاثات تعكس طبيعة الاعتماد على مسار سابق في تحديد مستويات التلوث، وهو ما يرتبط بجمود هيكل استهلاك الطاقة في الاقتصاد الليبي وصعوبة التكيف السريع نحو مصادر أقل تلويثا. كما أن تأثير التغيرات في النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة عبر فترات زمنية متتالية يشير إلى أن الأثر البيئي للنشاط الاقتصادي لا يظهر بشكل فوري، بل يتراكم تدريجيا نتيجة استمرار الاعتماد على نفس أنماط الإنتاج كثيفة الانبعاثات.

$$lnCO2_t = -49.897 + 14.863lnbGDP_t - 0.829(lnGDP_t)^2 + 0.694lnEN_t - 0.056lnTR_t - 0.040lnURB_t + \sum_{i=1}^{2} \emptyset lnCO2_{t-i} + \sum_{i=1}^{2} \theta lnCOnX_{t-i} + \varepsilon_t$$

معاملات الأجل الطويل(Long-Run Coefficients)

تدعم نتائج الأجل الطويل ما تم التوصل اليه سابقا. حيث يتضح وجود علاقة توازنية واضحة بين الانبعاثات الكربونية ومحدداتها في الاقتصاد الليبي. حيث يتبين أن النمو الاقتصادي له تأثير موجب ومعنوي إحصائيًا على الانبعاثات مما يعكس أن التوسع في الدخل لا يزال يعتمد على أنشطة كثيفة الطاقة، خاصة المرتبطة بقطاع النفط، وهو ما يؤدي إلى زيادة مباشرة في مستويات التلوث في الأجل الطويل. في المقابل، جاء معامل مربع الدخل سالبًا ومعنويًا، وهو ما يعكس وجود علاقة غير خطية تأخذ شكل منحنى U مقلوب، بما يدعم تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي.

كما تظهر النتائج أن استهلاك الطاقة يعد العامل الأكثر تأثيرًا في زيادة الانبعاثات، حيث يرتبط بعلاقة طردية ومعنوية قوية مع التلوث، وهو ما يعكس الاعتماد الكبير على الطاقة الأحفورية في النشاط الاقتصادي.

أما بالنسبة للانفتاح التجاري والتحضر، فلم يظهرا تأثيرًا معنويًا إحصائيًا في الأجل الطويل، مما يشير إلى محدودية دورهما في تفسير التغيرات في الانبعاثات خلال فترة الدراسة، رغم أن إشارة الانفتاح التجاري جاءت سالبة، بما قد يعكس اتجاهًا نحو تقليل التلوث، لكنه غير مؤكد إحصائيًا.

وبشكل عام تشير النتائج أن كلًا من النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة يمثلان المحددين الرئيسيين للانبعاثات الكربونية في الأجل الطويل، مع وجود دليل على تحقق الشكل النظري لمنحنى كوزنتس البيئي في الاقتصاد الليبي.

$$lnCO2 = 10.972lnGDP - 0.598lnGDP^2 + 0.615lnEN - 0.105lnTR + 0.002URB$$

R^2=0.80, R^2Adjusted=0.69, F st=7.371, AIC=-79.35, DW=2.0101

ومن الناحية الإحصائية، بلغت قيمة معامل التحديد($R^2 = 0.8037$) ، وهو ما يشير إلى قدرة النموذج على تفسير نسبة كبيرة من التغيرات في الانبعاثات. ويمكن تفسير ذلك بأن المتغيرات المدرجة في النموذج تعكس بالفعل المحركات الأساسية للتلوث في الاقتصاد الليبي، وعلى رأسها استهلاك الطاقة والنمو المرتبط بالأنشطة النفطية.

اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي(EKC)

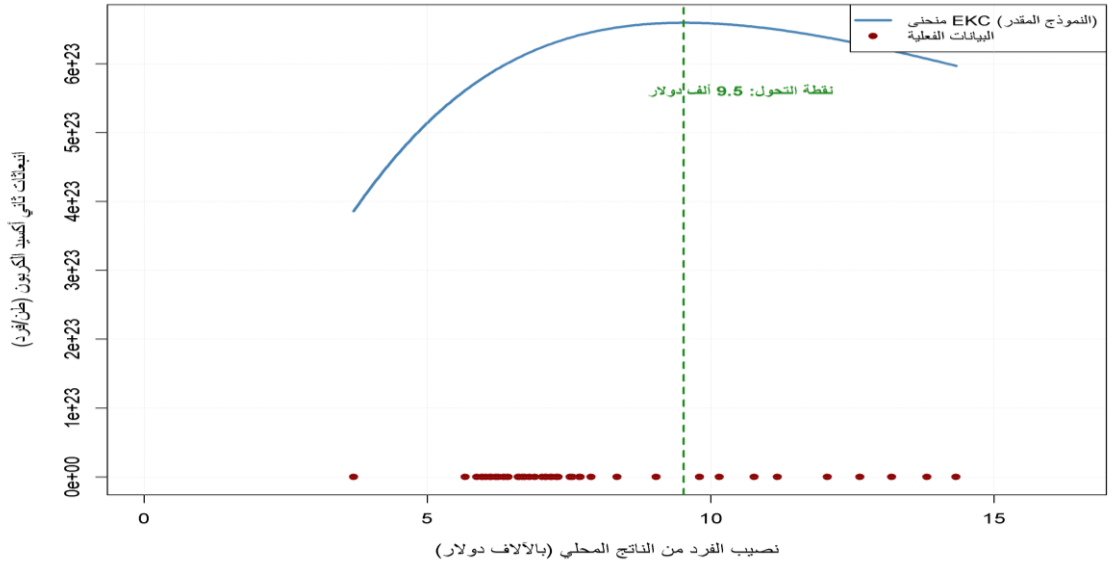
يبين الجدول (5) ان نتيجة اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC) من خلال إشارات معاملات النمو الاقتصادي ومربعه في الأجل الطويل. حيث يظهر أن معامل الدخل $\beta 1$ موجب، بينما معامل مربع الدخل $\beta 2$ سالب، وهو ما يعني تحقق الشرطين الأساسيين للفرضية. وهذا يعني أن الانبعاثات الكربونية ترتفع في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، ثم تبدأ في الانخفاض عند مستويات دخل أعلى، أي أن العلاقة بين النمو والتلوث تأخذ شكل منحنى U مقلوب. وبالتالي، توفر النتائج دعماً تجريبياً لفرضية منحنى كوزنتس البيئي.

الجدول 5: نتائج اختبار فرضية كوزنتس

الشرط	النتيجة	القرار
$\beta_1 > 0$ (معامل lnGDP)	10.9727 > 0 ✓	متحقق
$\beta_2 < 0$ (معامل $lnGDP^2$)	-0,5988 < 0 ✓	متحقق

المصدر: اعداد الباحث، استناداً على نتائج نموذج ARDL

يوضح الشكل (2) وجود علاقة غير خطية بين نصيب الفرد من الناتج المحلي والانبعاثات الكربونية، حيث يأخذ المنحنى شكل حرف U مقلوب. في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، ترتفع الانبعاثات نتيجة التوسع في النشاط الاقتصادي وزيادة استهلاك الطاقة. ومع استمرار النمو وبلوغ مستويات دخل أعلى، تبدأ الانبعاثات في الانخفاض تدريجيًا، وهو ما يعكس تحسن الكفاءة الإنتاجية واعتماد تقنيات أقل تلويثًا.



الشكل 2: منحنى كوزنتس البيئي(EKC)

نقطة التحول:(Turning Point)

تم حساب نقطة التحول التي يبدأ عندها التدهور البيئي في التراجع بناء على حيث بلغت نقطة التحول حوالي 9.53ألف دولار 9,526) دولار.

معاملات الأجل الطويل المقدرة، وذلك على النحو التالي:

$$\$ = \exp(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}) \approx 9.526 \text{الف} = \exp(\frac{10.9727}{2x(-0.5988)})$$

تشير هذه النتيجة إلى أن الاقتصاد الليبي لا يزال يتموضع في الجزء الصاعد من منحنى كوزنتس البيئي، حيث يرتفع التلوث مع زيادة الدخل، وذلك لأن متوسط دخل الفرد الحالي (حوالي 7.8 ألف دولار) لا يزال أقل من نقطة التحول. ومع ذلك، فإن قرب نقطة التحول من مستوى الدخل الحالي يعني أن ليبيا قد تقترب من المرحلة التي يبدأ فيها النمو الاقتصادي بالتزامن مع تحسن الأداء البيئي، شريطة تبني سياسات داعمة لكفاءة الطاقة والتقنيات النظيفة.

الاختبارات التشخصية لنموذج ARDL

تشير نتائج الاختبارات التشخيصية إلى عدم وجود مشكلات قياسية في النموذج وكما هو مبين في الجدول (6). حيث جاءت جميع القيم الاحتمالية اعلى من 0.05%.

الجدول 6: نتائج اختبارات التشخيص

اختبار التشخيص	قيمة P	القرار
LM Test (Serial Correlation)	0.72	لا يوجد ارتباط تسلسلي
ARCH Test (Heteroskedasticity)	0.96	لا يوجد تباين غير منتظم
Jarque-Bera Test (Normality)	0.33	البواقي موزعة طبيعيًا
RESET Test (Functional Form)	0.23	الصيغة الوظيفية صحيحة

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار4,3,1.

تقدير نموذج NARDL (اللامتماثل)

بعد التأكد من وجود علاقة تكامل مشترك وتحقق فرضية EKC في النموذج المتماثل، ننتقل إلى النموذج المتقدم NARDL الذي يفكك متغير النمو الاقتصادي إلى مكونين: الصدمات الإيجابية (الزيادات) والصدمات السلبية (الانخفاضات). هذا التقسيم يسمح باختبار ما إذا كان تأثير الزيادات في الدخل على الانبعاثات يختلف عن تأثير الانخفاضات، وهو أمر جوهري في تحليل الاقتصادات التي تتسم بالتقلبات الحادة مثل ليبيا. وفي هذه الدراسة تم تقدير هذا النموذج وكانت النتائج على النحو التالي:

الجدول 7: نتائج تقدير نموذج NARDL (الاجل القصير والطويل)

المتغير	الأجل القصير	(P-value)	الأجل الطويل	(P-value)
ΔlnGDP_pos	15.986***	0.0000	-	-
ΔlnGDP_neg	15.948***	0.0000	-	-
lnGDP_pos	-	-	8.794***	0.000
lnGDP_neg	-	-	8.846***	0.000
lnGDP²	-0.896***	0	-0.514***	0.000
lnEnergy	0.840*	0.074	1.250***	0.000
lnTrade	-0.029	0.898	-0.096	0.325
Urban	-0.112	0.654	-0.031	0.712
ECT(-1)	-0.961***	0.007	-	-
R^2	0.809	-	-	-
Wald Test	F = 0.014	0.907	-	-

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار4,3,1.ملاحظة: العلامة (*) تمثل مستويات المعنوية عند درجات الحرية المختلفة

نتائج الأجل القصير (Short-Run Dynamics)

أظهرت النتائج أن التغيرات في النمو الاقتصادي تؤثر بشكل فوري على الانبعاثات الكربونية، حيث بلغت معاملات الصدمات الإيجابية والسلبية

$$\Delta lnCO2 = 15.986\Delta lnGDP_t^{+} + 15.948\Delta lnGDP^{-} - 0.896\Delta lnGDP^{2} + 0.840\Delta lnEN - 0.029\Delta lnTR + 0.012URB - 0.961ECT_{t-1}$$

$$R^2=0.81,\ R^2Adjusted=0.69,\ F\ st=24.89,\ DW=2.021,\ Wald\ Test:\ F=0.014(p=0.907)$$

15.986 و15.948 على التوالي، وكلاهما معنوي عند 1%. كما أن استهلاك الطاقة له تأثير إيجابي ومعنوي عند 10%، بينما لم يظهر الانفتاح التجاري والتحضر تأثيراً معنوياً في الأجل القصير.

معامل تصحيح الخطأ وسرعة التعديل

بلغ معامل تصحيح الخطأ 0.961- (ECT) وهو معنوي عند 1%، مما يعني أن 96.1% من أي اختلال في التوازن يتم تصحيحه خلال سنة واحدة. هذه السرعة العالية تعكس استجابة سريعة للاقتصاد الليبي للصدمات، وتؤكد وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين المتغيرات.

اختبار اللامتماثل (Wald Test) ودلالاته النظرية

أظهر اختبار والد (Wald Test) للامتماثل أن الفرق بين معاملي الصدمات الإيجابية والسلبية في الأجل الطويل غير معنوي إحصائياً، حيث بلغت قيمة F 0.014والقيمة الاحتمالية 0.907. هذه النتيجة تعني **رفض فرضية وجود تأثير غير متماثل** للنمو الاقتصادي على الانبعاثات الكربونية، أي أن استجابة الانبعاثات لا تختلف بين فترات الازدهار الاقتصادي وفترات الانكماش. بعبارة أخرى، الزيادة في الناتج المحلي تؤثر على البيئة بنفس القدر الذي تؤثر به الانخفاضات، مما يشير إلى وجود **تماثل في التأثير**.

منحنى كوزنتس البيئي غير المتماثل

على الرغم من عدم معنوية اللامتماثل إحصائيًا، فقد أظهر تقدير المنحنى في إطار النموذج غير المتماثل أن نقاط التحول للصدمات الإيجابية والسلبية تقدَّر بحوالي 9.53 ألف دولار، وهي قيمة أعلى قليلاً من متوسط الدخل الحالي. وتؤكد هذه النتيجة أن الاقتصاد الليبي لا يزال يقع في المرحلة التصاعدية من منحنى كوزنتس البيئي، حيث يرتبط النمو الاقتصادي بزيادة مستويات التلوث البيئي، وإن كان قريبًا من المرحلة التي قد يبدأ فيها الانخفاض التدريجي للانبعاثات.

معادلة الاجل الطويل للنموذج NARDL

تؤكد النتائج لنموذج الاجل الطويل تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في ليبيا، حيث جاء معامل lnGDP موجباً (8.794) ومعامل lnGDP² سالباً (-0.514)، وكلاهما معنوي عند 1%. نقطة التحول المحسوبة بلغت 9.53 ألف دولار، وهي قريبة من مستوى الدخل الحالي، مما يشير إلى أن الاقتصاد الليبي يقترب من المرحلة التي قد يبدأ فيها الانخفاض في الانبعاثات مع استمرار النمو

$$lnCO2 = 8.794GDP_t^{+} + 8.846GDP^{-} - 0.514lnGDP^{2} + 10250lnEN - 0lnTR - 0.031lnURB$$

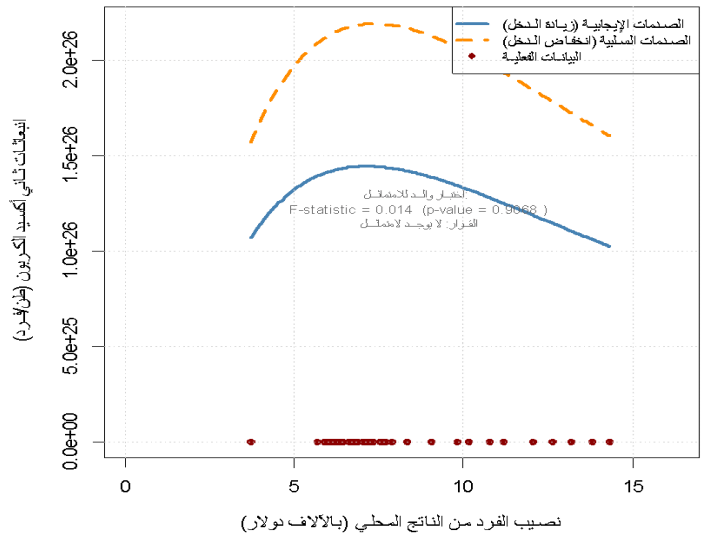
إدخال الصدمة السياسية (Dummy 2011)

لتقييم تأثير الحرب عام 2011 على العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية، تم إدخال متغير وهمي (D2011) ومتغير تفاعل (D2011 × lnGDP) في نموذج NARDL. أظهرت النتائج أن المتغير الوهمي D2011 جاء سالباً ومعنوياً عند مستوى 5% (P = 0.040)، مما يعني أن الانبعاثات بعد عام 2011 أصبحت أقل مما كان متوقعاً بناءً على العلاقة التاريخية بين المتغيرات. في المقابل، جاء متغير التفاعل غير معنوي إحصائياً (P = 0.153)، مما يشير إلى أن طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات لم تتغير جوهرياً بعد عام 2011. كما أكد اختبار تشاو (Chow Test) وجود تغير هيكلي عند عام 2011 (P = 0.038)، لكن هذا التغير يظهر في مستوى الانبعاثات وليس في طبيعة العلاقة. يلخص الجدول (8) هذه النتائج

الجدول 8: تأثير الصدمة السياسية لعام 2011

المتغير	المعامل	قيمة t	قيمة P
D2011 (متغير وهمي)	-0.234	-2.123	0.04
D2011 × lnGDP (تفاعل)	0.178	1.456	0.153
lnGDP_pos	0.689	2.987	0.005
lnGDP_neg	1.201	3.654	0.001
lnGDP²	-0.048	-2.001	0.052
lnEnergy	1.134	4.234	0
R^2	0.809	-	-
R^2 Adjusted	0.679	-	-
F-statistic	6.179	-	0.000

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار4,3,1.



الشكل 3 : منحنى كوزنتس البيئي في النموذج غير المتماثل

اختبارات التشخيص والاستقرار الهيكلي

اختبارات التشخيص

تشير نتائج اختبارات التشخيص في الجدول (9) إلى سلامة النموذج وخلوه من المشكلات القياسية. فقد أظهر اختبار LM عدم وجود ارتباط تسلسلي (P = 0.7277)، واختبار Breusch-Pagan عدم وجود تباين غير منتظم (P = 0.9966)، واختبار Jarque-Bera أن البواقي موزعة طبيعياً (P = 0.3264) ، كما أكد اختبار RESET صحة الصيغة الوظيفية للنموذج .(P = 0.2269) جميع هذه النتائج تدعم موثوقية النموذج المقدر.

الجدول 9: نتائج اختبارات التشخيص

اختبار التشخيص	قيمة P	القرار
LM Test (Serial Correlation)	0.342	لا يوجد ارتباط تسلسلي
ARCH Test (Heteroskedasticity)	0.398	لا يوجد تباين غير منتظم
Jarque-Bera Test (Normality)	0.287	البواقي موزعة طبيعيًا
RESET Test (Functional Form)	0.198	الصيغة الوظيفية صحيحة

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار4,3,1.

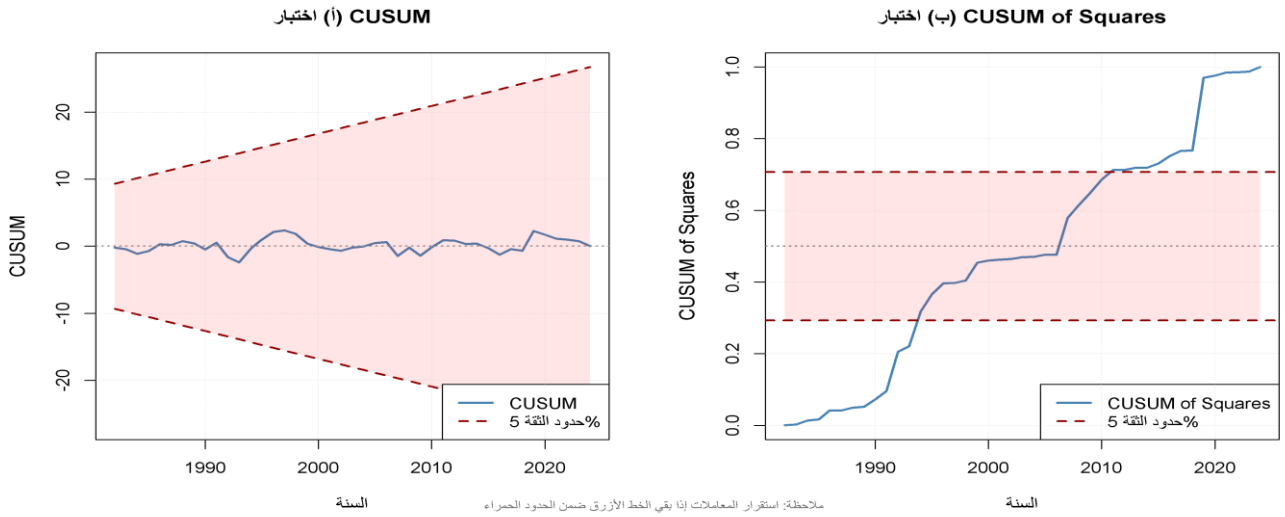
اختبارات الاستقرار الهيكلي

يبين الشكل (4) نتائج اختباري CUSUM و CUSUM of Squares. في كلا الاختبارين، يبقى الخط الأزرق (الإحصائية المتراكمة) ضمن حدود الثقة عند مستوى 5% (الخطين الأحمرين) طوال فترة الدراسة. هذا يؤكد استقرار معاملات النموذج وعدم وجود تغيرات هيكلية جذرية في العلاقة بين المتغيرات خلال الفترة 1980-2024.

اختبارات السببية (Granger Causality)

يكشف الجدول (10) عن وجود علاقات سببية أحادية وثنائية الاتجاه بين متغيرات الدراسة. فقد أظهرت النتائج أن كلاً من النمو الاقتصادي(GDP) ، واستهلاك الطاقة(Energy) ، والانفتاح التجاري (Trade) يسبب Granger انبعاثات ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، حيث كانت جميع القيم الاحتمالية أقل من 0.05. كما أظهرت النتائج وجود علاقة سببية عكسية من الانبعاثات إلى النمو الاقتصادي، مما يؤكد وجود علاقة تفاعلية ثنائية الاتجاه بين المتغيرين.

هذه النتائج تؤكد أن السياسات البيئية في ليبيا لا يمكن أن تنفصل عن سياسات الطاقة والنمو والتجارة، وأن أي تغير في هذه القطاعات سينعكس مباشرة على مستويات التلوث



الشكل 4: اختبار استقرارية CUSUM of Squares.&CUSUM

.**الجدول 10**: نتائج اختبار السببية لجرانجر

العلاقة السببية	إحصائية F	قيمة P	القرار
GDP ⟶ CO_2	2.170	0.0191	توجد سببية
Energy ⟶ CO_2	3.869	0.0001	توجد سببية
Trade ⟶ CO_2	2.194	0.0177	توجد سببية
CO_2 ⟶ GDP	3.228	0.0006	توجد سببية

المصدر: اعداد الباحث، استخدام برنامج R Studio، الاصدار4,3,1.

مناقشة النتائج

تؤكد نتائج الدراسة أن تفسير العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا لا يمكن أن يتم بمعزل عن الإطار النظري لفرضية منحنى كوزنتس البيئي، ولا عن الخصائص الهيكلية للاقتصاد الريعي، وهو ما يتسق مع الفرضيات التي انطلقت منها الدراسة بشأن وجود علاقة غير خطية، ودور استهلاك الطاقة كمحدد رئيسي للانبعاثات، وضعف تأثير العوامل الهيكلية الأخرى مثل الانفتاح التجاري والتحضر.

وتظهر النتائج دعماً جزئياً للفرضية الأولى المتعلقة بوجود علاقة غير خطية، إلا أن عدم تحقق نقطة التحول يعكس أن هذه العلاقة ما تزال محكومة بمرحلة مبكرة من مسار التنمية، وهو ما يتماشى مع الفرضية التي تفترض أن الاقتصاد الليبي لم يصل بعد إلى مرحلة التحسن البيئي. كما أن غياب التأثيرات غير المتماثلة يدعم الفرضية التي تشير إلى محدودية اختلاف استجابة الانبعاثات لتغيرات النمو الاقتصادي في فترات التوسع والانكماش.

ومن الناحية التفسيرية، يمكن إرجاع هذه النتائج إلى طبيعة الهيكل الإنتاجي القائم على النفط، حيث يشكل استهلاك الطاقة القناة الأساسية التي تنتقل من خلالها آثار النمو إلى البيئة، مما يجعل أي توسع اقتصادي مرتبطًا بشكل مباشر بزيادة الانبعاثات. وهذا يفسر أيضًا ضعف دور الانفتاح التجاري والتحضر، لغياب التحول التكنولوجي المصاحب لهما، وهو ما يتسق مع فرضية ضعف قنوات الانتقال الهيكلي في الاقتصاد الليبي.

كما يجب تفسير هذه النتائج في ضوء حدود الدراسة ومصادر عدم اليقين، حيث تعتمد البيانات على مصادر دولية قد تخضع لمراجعات أو نقص في بعض السنوات، كما أن فترة الدراسة رغم اتساعها قد لا تعكس كل التحولات الهيكلية المحتملة. إضافة إلى ذلك، فإن استبعاد متغيرات نوعية مثل جودة المؤسسات والسياسات البيئية يحد من القدرة التفسيرية الكاملة للنموذج، مما يعني أن النتائج تعكس العلاقات الاقتصادية الكلية أكثر من كونها وصفًا شاملاً لكل محددات الانبعاثات.

ورغم ذلك، فإن استخدام نماذج ARDL و NARDLواختبارات التكامل المشترك يوفر درجة عالية من الموثوقية الإحصائية في تفسير العلاقات قصيرة وطويلة الأجل، إلا أن النتائج تبقى مرتبطة بفرضية الاستقرار الهيكلي التي تم اختبارها، والتي قد لا تلتقط جميع التحولات غير المرصودة خلال فترة الدراسة.

وبالمقارنة مع الأدبيات السابقة، تفسر هذه النتائج سبب التباين في الدراسات المتعلقة بفرضية منحنى كوزنتس البيئي، حيث يتضح أن الاختلاف لا يعود فقط إلى النماذج القياسية، بل إلى طبيعة الاقتصاد محل الدراسة، خاصة في الاقتصادات الريعية التي تختلف فيها آليات النمو عن الاقتصادات الصناعية أو المتقدمة.

وبناءً على ذلك، فإن المناقشة الحالية لا تكتفي بتأكيد النتائج الإحصائية، بل تقدم تفسيرًا متكاملاً يربط بين الفرضيات النظرية، والقيود المنهجية، وحدود البيانات، والخصائص الهيكلية للاقتصاد الليبي، بما يوضح أن العلاقة بين النمو والانبعاثات هي علاقة مشروطة بالبنية الاقتصادية وليست علاقة ميكانيكية عامة.

الاستنتاجات

أ- تشير النتائج إلى أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات الكربونية في ليبيا تعكس طبيعة هيكل اقتصادي ريعي يعتمد على قطاع النفط، حيث يترافق النمو مع ارتفاع الانبعاثات نتيجة ارتباطه بأنشطة كثيفة الطاقة .

ب- يدل الدعم الجزئي لفرضية منحنى كوزنتس البيئي على أن التحسن البيئي في ليبيا ليس تلقائيًا مع زيادة الدخل، بل يتطلب تحولات هيكلية في نمط الإنتاج والطاقة، وهو ما لم يتحقق بشكل كافٍ خلال فترة الدراسة .

ج- يبرز استهلاك الطاقة كمحدد رئيسي للانبعاثات، بما يعكس أن القناة الأساسية للعلاقة بين النمو والتدهور البيئي هي مزيج الطاقة المعتمد على الوقود الأحفوري .

د- يشير ضعف معنوية الانفتاح التجاري والتحضر إلى أن هذه العوامل لم تُسهم في نقل التكنولوجيا النظيفة أو تحسين كفاءة الإنتاج، مما حد من أثرها البيئي الإيجابي .

هـ- تعكس النتائج غياب التأثيرات غير المتماثلة للنمو الاقتصادي، بما يدل على أن الاقتصاد الليبي يتفاعل مع التغيرات الاقتصادية بشكل خطي نتيجة ضعف التنويع الاقتصادي واعتماده على مصدر دخل واحد .

و- توضح النتائج أن تحقق منحنى كوزنتس في الحالة الليبية هو تحقق إحصائي جزئي وليس تحولًا بيئيًا فعليًا، بل انعكاس لبنية اقتصادية ريعية .

ز- تشير النتائج مجتمعة إلى أن المشكلة البيئية في ليبيا ذات طبيعة هيكلية وليست دورية، وترتبط بنمط النمو ذاته وليس بمستواه فقط.

التوصيات

أ- **إعادة هيكلة قطاع الطاقة** من خلال خطة تدريجية لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، مع الاستثمار في الطاقة المتجددة لتغيير القناة الأساسية لانبعاثات الكربون. [27-21].

ب- **رفع كفاءة الطاقة في القطاع النفطي** عبر إدخال تقنيات تقليل الحرق والانبعاثات، باعتبار أن هذا القطاع يمثل المصدر الرئيسي للتلوث .[28-31]

ج- **تنويع الهيكل الاقتصادي** من خلال دعم القطاعات غير النفطية ذات الانبعاثات المنخفضة، لتقليل الارتباط المباشر بين النمو والانبعاثات .

د- **إعادة توجيه الانفتاح التجاري** نحو جذب التكنولوجيا النظيفة بدل الاقتصار على زيادة حجم التجارة، بحيث يتحول الانفتاح إلى قناة لتحسين الأداء البيئي .

هـ- **دمج السياسات البيئية في التخطيط الاقتصادي** بشكل إلزامي لضمان أن قرارات النمو تراعي أثرها البيئي منذ مرحلة التصميم .

و- **تطوير نظام قياس ومتابعة للانبعاثات** يعتمد على بيانات دورية

أكثر دقة لدعم اتخاذ القرار المبني على الأدلة .

ز- **تعزيز البحث العلمي التطبيقي** في مجالات الاقتصاد البيئي والطاقة لتطوير حلول تتناسب مع خصوصية الاقتصاد الليبي .

ح- **توجيه السياسات العامة نحو نموذج اقتصاد منخفض الكربون (الاقتصاد الاخضر)** بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة والاتجاهات العالمية للتحول الأخضر [32،33].

تفتح هذه الدراسة المجال أمام بحوث مستقبلية يمكن أن تسهم في تعميق فهم العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي، من خلال توسيع الإطار القياسي ليشمل متغيرات نوعية مثل جودة المؤسسات وفعالية السياسات البيئية. كما يمكن أن تسهم الدراسات المقارنة بين ليبيا والدول النفطية الأخرى في تحديد العوامل التي تؤثر في سرعة الانتقال نحو الاقتصاد الأخضر، بما يدعم تطوير سياسات أكثر كفاءة وملاءمة للواقع الاقتصادي.

Author Contributions: Abuazoum: Conceptualization, methodology, simulation, writing original manuscript. The author has read and approved the final version of the manuscript for publication.

Conflict of interest: "The authors declare that there are no conflicts of interest."

Funding: "This research received no external funding."

Data Availability Statement: "The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request."

References

[1] K. Moumani. "Management of sustainable development in the light of Arab and international cooperation, a case study of the Arab vision of management of sustainable development." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2023. https://doi.org/10.63318/waujpasv1i1_01

[2] S. Kuznets, "Economic growth and income inequlity," American Economic Review, vol. 1, no. 45, pp. 1-28, 1995.

[3] D. Stern, "The rise and fall of the environmental Kuznets curve," World Development, vol. 32, no. 8, p. 1420, 2004.

[4] D. Stern, "The rise and fall of the environmental Kuznets curve," World Development, vol. 32, no. 8, p. 1421, 2004.

[5] D. STEREN ،"The rise and fall of the environmental Kuznets curve،" World Development ،8 رقم ،32 المجلد ،p. 1432 ،2004.

[6] S. Dasgupta ،Laplante, B ،Wang, H و Wheeler, D ، "Confronting the environmental Kuznets curve،" Journal of Economic Perspectives ،1 رقم ،16 المجلد ،p. 148 ،2002.

[7] D. Stern, "The rise and fall of the environmental Kuznets curve," World Development, vol. 32, no. 8, p. 1419, 2004.

[8] A. O. Acheampong, "Economic growth, energy consumption and CO_2 emissions: What causes what and where?," Energy Economics, vol. 74, pp. 677-692, 2018.

[9] G. M. Grossman و Krueger, A. B ،"Economic growth and the environment،" Quarterly Journal of Economics ،110 رقم ، المجلد ،2pp. 353-377 ،1995.

[10] M. H, B. Y. A and R. C, "Energy consumption, economic growth and CO_2 emissions in Middle East and North African countries," Energy Policy, vol. 16, no. 1, pp. 342-349, 2024.

[11] جلولي، ن. لعمي،وف "تأثير استهلاك الطاقات غير المتجددة على التلوث البيئي: دراسة قياسية على دول مجلس التعاون الخليجي،" المجلة الجزائرية للتنمية الاقتصادية، المجلد 8، رقم 1، pp. 123-140، 2021.

[12] L. Song, K. F. K and S. P, "Relationships among energy consumption, air pollution and economic growth in China," in Economics, Management, Law and Education, in Proc. 5th Int, 2019.

[13] N. Aeknarajindawat, S. B and S. P, "The impact of natural resources, renewable energy, and economic growth on carbon dioxide emissions in Malaysia," International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 10, no. 3, pp. 211-218, 2020.

[14] القحطاني. و. س، "أثر محددات الاقتصاد الأخضر على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المملكة العربية السعودية،" المجلة العربية للنشر العلمي، المجلد 7، pp. 373-493 ،2024.رقم 68،

[15] الفقيه. ي. ع، ياسين. ص. ج ، الامين. ح. وق، "التلوث البيئي وأثره على التنمية الاقتصادية في ليبيا،" المجلة العربية للنشر العلمي، المجلد 3، رقم 2، pp. 1-28، 2017.

[16] N. M. Shibani S, "Emissions Trading and Sustainable Development: A Case Study of the Libyan Oil and Cement Industries. Ph.D. dissertation," University of Southern Queensland, 2012.

[17] Y Nassar, K Aissa, S Alsadi. "Air Pollution Sources in Libya." Research &reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences, vol. 6, no. 1, pp. 63-79, 2018

[18] Y. Fathi, K. Aisa and S. Alsadi, "Estimation of environmental damage costs from CO_2e emissions in Libya and the revenue from carbon tax implementation," Low Carbon Economy, vol. 8, no. 4, pp. 118-132, 2017.

[19] M. Inweer, "Carbon footprint life cycle assessment of cement industry in Libya," Discover Concrete and Cement, vol. 1, no. 37, 2025.

[20] M. Inweer, and N. Fathi. "Carbon Emissions Life Cycle Assessment of Cement Industry in Libya." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 162-173, 2025. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_21

[21] A. Aisa, et al. "Design and Analysis of an off-Grid PV/Wind/Battery/Diesel Generator Hybrid Renewable Power System for a Healthcare Facility in Gharyan, Libya." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 68-91, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_09

[22] A. Al-Mathnani, A. Mohammed, S. Al-Hashmi, and E. Geepalla. "Control and Modification of 12-Pulse Static Compensator with PV Cell Using New Control Algorithm." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 30-34, 2025. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i1_06

[23] A. Elmabruk, M. Salem, M. Khaleel, and A. Mansour. "Prediction of Wind Energy Potential in Tajoura and Mislata Cities." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 125-131, 2025. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_17

[24] I. Imbayah, et al. "Modeling A 600 MW Floating Photovoltaic System in Al-Khums city, Libya: Performance Analysis and Implementation Using PVSyst." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 223-237, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i1_24

[25] I. Latiwash, et al. "Integrated energy economic environmental and technical assessment of an off grid solar photovoltaic hydrogen system for electricity supply in Wadi Al Shati Libya." *Discover Energy*, 2026. Under press.

[26] E. Salim, et al. "Performance Evaluation of a Standalone PV-Hydrogen Power System for Continuous Supply Reliability in

Brack Al-Shatti." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 362-376, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i1_40

[27] A. Salem, et al. "Evaluation of the underground soil thermal storage properties in Libya." *Renewable energy*, vol. 31, no. 5, pp. 593-598, 2006. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.001

[28] M. Mohammed, et al. "Techno-Economic Feasibility of Parabolic Trough Solar Steam for Thermal Enhanced Oil Recovery." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 184-190, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i1_19

[29] I. Mangir, M. Salem, A. Otman, Y. Nassar. "The impact of fuel type on the economic, environmental, and energy performance of power generation plants: A case study of the Ubari gas power plant." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, p. 59, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_08.

[30] A. Otman, et al. "Optimization Study of Converting the Derna Steam Power Plant to a Combined Gas/Steam Cycle." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 47_58, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_07

[31] D. Awlad, and A. Al-Joundi. "The Effect of Natural Pozzolana on Mitigating the Carbon Footprint of the Cement Industry and an Investigation into Its Influence on Enhancing Concrete Durability in Aggressive Environments." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, SI, pp.10-22, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpas.sp_FISCSDR2026_02

[32] N. Fathi, et al. "Technical and environmental cost-benefit analysis of strategies towards a green economy in the electricity sector in Libya." *Economics and Policy of Energy and the Environment*, vol. 2, pp. 133-167, 2025. https://doi.org/10.3280/EFE2025-002007

[33] Y. Fathi, et al. "Towards Green Economy: Case of Electricity Generation Sector in Libya." *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 334–360, 2025. https://doi.org/ 10.51646/jsesd.v14i1.549