https://jsrhs.rcc.edu.ly/
ISSN: 3078-4611
Vol.3 No.2 (2026), 47- 68
Article history:
Received:15/09/2026
Accepted:02/10/2026
Published:12/10/2026

مجلة البحوث المستدامة في العلوم الإنسانية

JSRHS

علاقة النمو الاقتصادي بالتدهور البيئي في ليبيا
(1990–2020) دراسة قياسية وفق فرضية منحنى كوزنتس البيئي

بالقاسم يوسف بازينة [1] سعيد محمد كنيمو [2]

[1] أستاذ مشارك بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية جامعة مصراتة

https://orcid.org/0009-0007-5890-5178

[2] محاضرمساعد بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية جامعة مصراتة

https://orcid.org/0009-0009-8927-991X

[1]bazeco@eps.misuratau.edu.ly[2] s.kneimo@isl.misuratau.edu.ly

DOI: https://doi.org/10.36602/jsrhs.2026.3.2.4

Abstract:
This study aimed to measure and analyze the impact of economic growth (represented by GDP per capita) on environmental pollution (represented by carbon dioxide emissions) in Libya for the period (1990–2020) by testing the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. To achieve this objective, the study utilized the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach. The results confirmed the validity of the hypothesis, revealing an inverted U-shaped relationship between the two variables. A turning point and a downward trend in emissions were observed starting around 2006, followed by sharp fluctuations and further declines due to political and security crises post-2011. Based on these findings, the study recommended adopting green economy transition policies, facilitating the import of clean technologies, and enforcing environmental legislation.
Keywords: Economic Growth, Environmental Pollution, Carbon Dioxide Emissions, Environmental Kuznets Curve (EKC), ARDL Model, Libya.

الملخص:
هدفت هذه الدراسة إلى قياس وتحليل أثر النمو الاقتصادي (ممثلاً في متوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي) على التلوث البيئي (ممثلاً في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون) في ليبيا للفترة (1990–2020) عبر اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC). ولتحقيق هذا الهدف، اعتمدت الدراسة على منهجية الانحدار الذاتي ذو الفجوات الموزعة (ARDL). وأظهرت النتائج صحة الفرضية بوجود علاقة على شكل حرف (U) مقلوب بين المتغيرين، حيث تم تسجيل نقطة تحول وانخفاض في طابع الانبعاثات بدأت تحديداً حول عام 2006، تلتها تقلبات حادة وانخفاضات إضافية نتيجة الأزمات السياسية والأمنية بعد عام 2011. وبناءً على ذلك، أوصت الدراسة بتبني سياسات التحول نحو الاقتصاد الأخضر، وتسهيل استيراد التقنيات النظيفة، وتفعيل التشريعات البيئية.
الكلمات المفتاحية: النمو الاقتصادي، التلوث البيئي، انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، منحنى كوزنتس البيئي (EKC)، نموذج ARDL، ليبيا.

1. المقدمة:

يعد كل من النمو الاقتصادي وحماية البيئة من أهم القضايا التي تحظى باهتمام الحكومات وصانعي السياسات الاقتصادية في مختلف دول العالم. فمع السعي نحو رفع مستويات الإنتاج والدخل، تتزايد التحديات المرتبطة بارتفاع الملوثات البيئية، وعلى رأسها انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، الأمر الذي جعل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي محل نقاش واسع في الأدبيات الاقتصادية، وقد تناولت العديد من الدراسات هذه العلاقة في دول ومناطق مختلفة، وأظهرت نتائج متباينة بشأن طبيعتها ومدى توافقها مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي (بوعافية وآخرون، 2021؛ ذهب وأبوقرين، 2021؛ بن محاد وآخرون، 2020؛ بوخلخال، 2023).

وقد اهتمت الدراسات الحديثة بالتعرف على طبيعة هذه العلاقة، خاصة من خلال فرضية منحنى كوزنتس البيئي، التي تفترض وجود علاقة غير خطية بين النمو والتلوث، بحيث تتزايد الانبعاثات في المراحل الأولى من النمو، ثم تبدأ في الانخفاض عند بلوغ مستوى معين من الدخل، وقد دعمت بعض الدراسات هذه الفرضية في عدد من الدول، في حين توصلت دراسات أخرى إلى عدم تحققها أو إلى وجود أشكال مختلفة للعلاقة بين النمو والتدهور البيئي (زراري ورايس، 2020؛ اللحياني والشطي، 2024؛ الحسنين، 2024).

وفي ليبيا، التي تعتمد بصورة أساسية على قطاع النفط كمصدر رئيس للنشاط الاقتصادي، تشكل مسألة التلوث البيئي قضية بارزة نتيجة الأنشطة الاستخراجية والاستهلاكية المصاحبة للنمو الاقتصادي، وقد تناولت بعض الدراسات الحالة الليبية، وأظهرت نتائج غير متطابقة بشأن طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات، فقد توصلت بعض الدراسات إلى عدم تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في ليبيا، بينما أشارت دراسات أخرى إلى وجود علاقة غير خطية مختلفة بين المتغيرات (مسعود وساسي، 2020؛ الجروشي والسنوسي، 2023). لذلك، هذه الدراسة سوف تتطرق الى تحليل وقياس العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي خلال الفترة (1990–2020)، للتعرف على اتجاه العلاقة وما إذا كانت تتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي، بما يساعد في تقديم أساس علمي للسياسات البيئية والاقتصادية المستقبلية.

2. الدراسات السابقة:

دراسة القهواجي والنعم (2024) استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي المدعوم بالبيانات الإحصائية والمعادلات الرياضية لاختبار فرضية EKC في الولايات المتحدة، العراق، الصين، والهند خلال 31 سنة. توصلت إلى تحقق الفرضية في الولايات المتحدة والعراق بوجود نقطة تحول للدخل، بينما لم تتحقق في الصين والهند.

دراسة الحسنين(2024) اعتمدت على تحليل بيانات البانل والسلاسل الزمنية لـ 48 دولة أفريقية (1990–2019)، باستخدام اختبارات التكامل المشترك، وطريقةD–OLS ، واختبار سببية جرانجر. أكدت النتائج تحقق فرضية EKC في أفريقيا إجمالًا، خصوصًا في الدول ذات الدخل المتوسط الأعلى والمرتفع.

دراسة اللحياني والشطي (2024) استخدمت نموذج ARDL لتحليل العلاقة في السعودية (1990–2020) بين انبعاثات CO_2 والناتج المحلي ومربعه والانفتاح التجاري والتحضر. أثبتت النتائج وجود علاقة على شكل U مقلوب، بما يدعم فرضية.EKC

دراسة الجروشي والسنوسي(2023) اعتمدت على تحويل البيانات السنوية إلى ربع سنوية واستخدام انحدار المربعات الصغرى (OLS) لاختبار الفرضية في ليبيا (2003–2018). أظهرت النتائج علاقة على شكل (N) مع تحديد نقطة تحول للدخل، وتأثير لعوامل مثل الطاقة المتجددة والاستقرار السياسي.

دراسة حجي وفرج (2023) استخدمت نماذج بيانات البانلPRM) ، FEM، REM)والانحدار المشترك لتحليل الدول العربية النفطية (2003–2022). دعمت النتائج الشكل النظري لـEKC ، لكن نقطة التحول لم تتحقق ضمن مستويات الدخل الفعلية.

دراسة MEDDAHI & TERGOU (2023) في الجزائر للفترة 1970–2020 استخدمت نموذجين غير خطيين (تربيعي وتكعيبي) مع منهجية ARDL واختبار الحدود للتكامل المشترك. أظهرت النتائج عدم تحقق فرضية EKC على المدى القصير والطويل، فيما كان للنمو السكاني أثر إيجابي كبير على الانبعاثات، بينما كان تأثير الانفتاح التجاري والتنمية المالية ضعيفًا، مع سرعة تعديل مرتفعة نحو التوازن.

دراسة بوخلخال (2023) فقد ركزت على الجزائر (1965–2017) باستخدام مؤشرين بيئيين (CO_2) والبصمة البيئية (ونموذج ARDL لتقدير الأجلين القصير والطويل. أكدت النتائج تحققEKC ، مع أثر إيجابي معنوي للصادرات على جودة البيئة، وأثر سلبي للتحضر، بينما لم تكن الواردات ذات أثر مهم.

دراسة كديدة (2022) في الجزائر (1983–2018) استخدمت نموذج ARDL بعد اختبارات الاستقرارية والتكامل المشترك ومنهجية Grangerللسببية، وأظهرت علاقة على شكل U مقلوب بين نصيب الفرد من الناتج المحلي والانبعاثات الكربونية، مع تأثير إيجابي للتمدد العمراني واستهلاك الطاقة على التلوث، في حين لم يكن للانفتاح التجاري أثر معنوي طويل الأجل.

دراسة مخزومي وآخرون (2022) استخدمت بيانات بانل لـ 26 دولة أفريقية (1995–2020) مع نموذج Driscoll–Kraay للتعامل مع التغاير الذاتي وغير المتجانس. أظهرت النتائج تحقق EKC على شكل N مقلوب، مع تأثيرات متفاوتة لتجارة السلع واستهلاك الطاقة والتحضر على التدهور البيئي، ما يبرز أهمية تحليل نوعية التجارة عند وضع السياسات البيئية والتنموية.

دراسة شياد (2021) في الإمارات (1992–2014)، فقد استخدمت ARDL لتحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي، الانبعاثات، والطاقة المتجددة، وتوصلت إلى وجود علاقة توازنية طويلة الأجل، مع أثر إيجابي للطاقات المتجددة على النمو وجودة البيئة، وأثر سلبي للطاقة الأحفورية.

دراسة ذهب وأبوقرين (2021) في دول المغرب العربي (1975–2014) اعتمدت على FMOLS بعد اختبارات السكون والتكامل المشترك، وأظهرت أن العلاقة بين الدخل والانبعاثات طردية في البداية وعكسية عند بلوغ مستوى دخل معين، ما يدعمEKC ، لكن انخفاض التلوث المتأخر كان ضعيفًا بسبب ضعف تطبيق السياسات البيئية، وأوصت بدمج البعد البيئي في السياسات الاقتصادية.

دراسة بوعافية وآخرون (2021) في الجزائر (1980–2017) باستخدام VECM ونموذج التصحيح الخطأ، فأكدت تحقق EKC على المدى الطويل؛ حيث يزيد النمو الاقتصادي التلوث قصير الأجل ثم يقلله طويل الأجل، بينما استهلاك الطاقة كان طرديًا للانبعاثات، مع توصية بتبني سياسات تنموية مستدامة تراعي البيئة.

دراسة زراري ورايس (2020) في الإمارات (1984–2017) باستخدامARDL ، أظهرت وجود علاقة U مقلوب بين الناتج المحلي والانبعاثات، مع استقرار النموذج في الأجلين القصير والطويل، مما يعكس فعالية استراتيجيات التحول إلى الاقتصاد الأخضر.

دراسة مسعود وساسي (2020) في ليبيا (1996–2018) باستخدام ARDL بينت أن EKC لم تتحقق، إذ ارتفاع الدخل لا يؤدي تلقائيًا لتحسن بيئي، رغم وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين المتغيرات الاقتصادية والانبعاثات، مع توصية بتطوير السياسات البيئية الوطنية وقواعد البيانات لتعزيز الرقابة وتشجيع الاستثمار المستدام.

دراسة بن محاد وآخرون (2020) في الدول العربية (1980–2017) باستخدام نماذج بانل تربيعية، أظهرت تحقق EKC في العينة العربية مجتمعة، مع اختلاف النتائج بين دول الأوبك والدول غير الأوبك بسبب كفاءة الطاقة واعتماد الطاقة النظيفة، مع التأكيد على أهمية تقليل استهلاك الموارد الناضبة خاصة في الدول غير النفطية.

موقع الدراسة الحالية من الدراسات السابقة:

تناولت بعض الدراسات السابقة الاقتصاد الليبي، سواء بشكل مباشر أو عرضي، مثل دراسة (مسعود وساسي، 2020) التي غطت الفترة 1996–2018، بينما اعتمدت الدراسة الحالية الفترة 1990–2020. كما استخدمت الدراسات السابقة منهجيات مثل(OLS) ، في حين توظف هذه الدراسة نموذج (ARDL) لتحليل العلاقات قصيرة وطويلة الأجل والتعامل مع البيانات غير الساكنة بكفاءة، مما يمثل تطويراً منهجياً وتطبيقياً يتناسب مع التطورات الاقتصادية والسياسية التي شهدتها ليبيا خلال فترة الدراسة .

3. مشكلة الدراسة:

على الرغم من التطور الاقتصادي الذي شهدته ليبيا خلال العقود الثلاثة الماضية، إلا أن هذا التطور صاحبه ارتفاع في مستويات التلوث البيئي، خاصة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، يبقى اتجاه العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث في ليبيا غير واضح، خصوصًا في ظل التحولات الاقتصادية والاضطرابات التي أثرت على مستويات الإنتاج والنشاط الصناعي.

وتكمن مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي: ما طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، وهل تتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي؟

ويتفرع عن هذا التساؤل أسئلة فرعية تشمل الاتي:

- هل يؤدي ارتفاع متوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي إلى زيادة التلوث البيئي في المدى القصير؟
- وهل توجد نقطة انعطاف تبدأ عندها الانبعاثات البيئية في الانخفاض مع استمرار النمو الاقتصادي؟
- وهل العلاقة بين المتغيرين خطية أم غير خطية؟

4. أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف، من أهمها:

- قياس وتحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)
- اختبار مدى انطباق فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC) على الاقتصاد الليبي.
- تحديد ما إذا كانت العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي خطية أم غير خطية.
- التعرف على وجود نقطة انعطاف (Turning Point) في العلاقة.
- تقديم استنتاجات تساعد صانع القرار في صياغة سياسات اقتصادية وبيئية أكثر توازنًا واستدامة.

5. فرضيات الدراسة:

استنادًا إلى النموذج القياسي المستخدم في الدراسة ومع الأخذ في الاعتبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي(EKC) ، يمكن صياغة فرضيات الدراسة على النحو الآتي:

الفرضية الرئيسية: توجد علاقة غير خطية على شكل حرف (U) مقلوب بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، بما يتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي.

الفرضيات الفرعية:

الفرضية الأولى: يؤثر النمو الاقتصادي إيجابًا وبشكل معنوي في زيادة انبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون في المراحل الأولى من النمو.

الفرضية الثانية: يؤثر مربع الناتج المحلي للفرد سلبًا وبشكل معنوي في انبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون، مما يشير إلى وجود نقطة انعطاف.

الفرضية العدمية: لا توجد علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي، ولا ينطبق منحنى كوزنتس البيئي على ليبيا.

6. أهمية الدراسة:

سد فجوة بحثية تتعلق بنقص الدراسات القياسية حول العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا ضمن إطار منحنى كوزنتس البيئي. وتوفير دليل علمي لصناع السياسات حول تأثير النشاط الاقتصادي على الانبعاثات، بما يساعد في تبني استراتيجيات تنموية متوازنة تراعي البعد البيئي. بالإضافة إلى تحديد اتجاه العلاقة بين نصيب الفرد من الناتج المحلي وانبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون، وهل ليبيا تسير وفق نمط الدول التي يُلاحظ فيها تراجع التلوث عند بلوغ مستويات دخل معينة. وتعزيز الوعي البيئي عبر ربط النمو الاقتصادي بمؤشرات الاستدامة البيئية، مما يساهم في دعم سياسات الاقتصاد الأخضر. أيضا تقديم نتائج قياسية يمكن الاعتماد عليها في البحوث المستقبلية المتعلقة بالبيئة والنمو والتنمية المستدامة.

7. منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على منهجية تحليلية وقياسية تستند إلى البيانات السنوية لمتوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ليبيا خلال الفترة (1990–2020). ويبدأ العمل بالمنهج الوصفي لعرض المفاهيم العامة، ثم اختبار استقرارية السلاسل الزمنية قبل الانتقال إلى التقدير القياسي. ويتم تحليل العلاقة بين المتغيرين من خلال نموذج الانحدار غير الخطي القائم على فرضية منحنى كوزنتس البيئي.

8. العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي:

تعد العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي من القضايا المحورية في الفكر الاقتصادي المعاصر، نظرا لما يترتب عليها من آثار مباشرة على مسار التنمية المستدامة فالنمو الاقتصادي، بوصفه عملية توسع في الإنتاج والدخل، غالبًا ما يرتبط بزيادة استهلاك الطاقة والموارد الطبيعية، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع مستويات التلوث البيئي، خاصة في الدول النامية التي تعتمد على تقنيات إنتاج تقليدية وكثيفة الانبعاثات وقد بينت دراسات تطبيقية في عدد من الاقتصادات أن استهلاك الطاقة والأنشطة الاقتصادية المرتبطة بالنمو يمكن أن تسهم في زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (بوعافية وآخرون، 2021؛ شياد، 2021؛ مخزومي وآخرون، 2022).

في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، يتركز الاهتمام على تحقيق معدلات نمو مرتفعة وزيادة الدخل، مع إعطاء أولوية أقل للجوانب البيئية. ويؤدي ذلك إلى تصاعد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة التوسع الصناعي، وزيادة النقل، وارتفاع الطلب على الطاقة الأحفورية. وتعرف هذه المرحلة بمرحلة التدهور البيئي المصاحب للنمو، حيث تكون العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث علاقة طردية، وهو ما تشير إليه نتائج عدد من الدراسات التطبيقية في الاقتصادات النامية والدول النفطية (بن محاد وآخرون، 2020؛ ذهب وأبوقرين، 2021؛ حجي وفرج، 2023).

ومع استمرار النمو وبلوغ مستويات أعلى من الدخل الفردي، تبدأ بنية الاقتصاد في التغير تدريجيًا، إذ تتحول الأنشطة الاقتصادية من القطاعات الاستخراجية والصناعية الثقيلة إلى قطاعات خدمية وتقنية أقل تلويثًا. كما تزداد قدرة الدولة على تبني سياسات بيئية أكثر

صرامة، إلى جانب ارتفاع مستوى الوعي البيئي لدى الأفراد، وتحسن كفاءة استخدام الطاقة والتكنولوجيا النظيفة. وفي هذه المرحلة، قد تبدأ مستويات التلوث في التراجع رغم استمرار النمو الاقتصادي. وتُجسد هذه الديناميكية ما يعرف بمنحنى كوزنتس البيئي، والذي يفترض وجود علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي تأخذ شكل حرف (U) مقلوب، حيث ترتفع الانبعاثات في المراحل الأولى من النمو ثم تبلغ نقطة انعطاف تبدأ بعدها في الانخفاض (زراري ورايس، 2020؛ اللحياني والشطي، 2024؛ الحسنين، 2024).

ولا تقتصر العلاقة بين النمو والتدهور البيئي على مستوى الدخل وحده، إذ يمكن أن تتأثر كذلك بعوامل أخرى، مثل استهلاك الطاقة، والتحضر، والانفتاح التجاري، ونوعية النشاط الاقتصادي فقد أظهرت بعض الدراسات أن استهلاك الطاقة الأحفورية يرتبط بارتفاع الانبعاثات، في حين يمكن للطاقة المتجددة والتغير في هيكل الاقتصاد أن يساهما في تحسين الأداء البيئي (شياد، 2021؛ كديدة، 2022؛ مخزومي وآخرون، 2022). كما بينت بعض الدراسات أن طبيعة العلاقة قد تختلف من دولة إلى أخرى، ولا تكون بالضرورة على شكل حرف (U) مقلوب، إذ ظهرت في بعض الحالات أشكال أخرى للعلاقة، مما يؤكد أهمية اختبار الفرضية قياسيًا بدل افتراض تحققها مسبقًا (مخزومي وآخرون، 2022؛ الجروشي والسنوسي، 2023).

أما في حالة الاقتصاد الليبي، فإن خصوصية الهيكل الاقتصادي، القائم بدرجة كبيرة على قطاع النفط والأنشطة المرتبطة به، تلعب دورا أساسيًا في تشكيل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي. فالاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري والأنشطة الاستخراجية قد يؤدي إلى استمرار الضغوط البيئية حتى مع تحقيق معدلات نمو اقتصادي، ما يثير تساؤلات حول مدى انطباق فرضية منحنى كوزنتس البيئي على ليبيا. وقد توصلت دراسة مسعود وساسي (2020) إلى عدم تحقق فرضية منحنى كوزنتس البيئي في الاقتصاد الليبي، في حين أشارت دراسة الجروشي والسنوسي (2023) إلى وجود علاقة غير خطية من شكل مختلف، الأمر الذي يعكس عدم حسم طبيعة العلاقة في الحالة الليبية.

9. قياس العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة 1990–2020:

من خلال ما تم عرضه في الإطار النظري الذي تناول تعريف النمو الاقتصادي والثلوث البيئي والعلاقة بينهما، وكذلك توضيح المقصود بفرضية منحنى كوزنتس البيئي، لذلك سوف يتم قياس العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، وذلك من خلال القياس الاقتصادي بقصد الوقوف على قوة وطبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي والثلوث البيئي ومعرفة ما إذا كانت هذه العلاقة تتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي أم لا؟

1.9 توصيف النموذج:

يمكن توصيف متغيرات النموذج الرئيسية المستخدمة في التقدير كالآتي:

$$\mathrm{CO_{2p}} = \mathrm{f}\left(\mathrm{GDP}_p، \mathrm{GDP}_P^2\right) \quad \text{.....} \quad (1-5)$$

حيث أن:

- $\mathrm{CO_{2p}}$: متوسط نصيب الفرد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (طن متري للفرد)
- GDP_p: متوسط نصيب الفرد من إجمالي الناتج المحلي بالأسعار الثابتة لسنة 2015 (دولار أمريكي)
- GDP_P^2: مربع متوسط نصيب الفرد من إجمالي الناتج بالأسعار الثابتة لسنة 2015 (دولار أمريكي)

وبالتالي يكون الشكل القياسي للمعادلة رقم (1–5) كالتالي:

$$CO_{2p_t} = \beta_0 + \beta_1\left(\mathrm{GDP}_{P_t}\right) + \beta_2\left(\mathrm{GDP}_{P_t}^2\right) + \varepsilon_t \quad \text{.....} \quad (2-5)$$

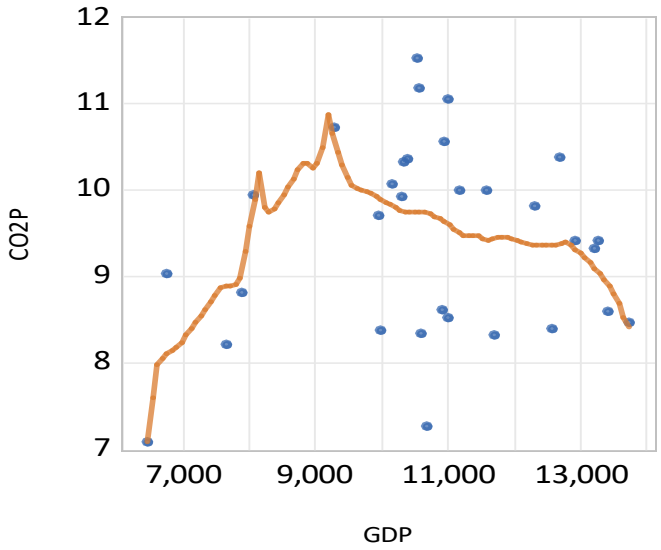
حيث أن:

β_0 : الحد الثابت و β_1 و β_2 :معاملات الانحدار أو ميل الدالة و ε : حد الخطأ و t : الزمن.

من خلال النظر إلى الشكل رقم (1)، يتضح أن هناك علاقة غير خطية متقوسة أو شبه منحنية بين متغيري CO_{2P} وGDP_p. هذه العلاقة غير الخطية تشير إلى وجود ديناميكية معقدة بين هذين المتغيرين، والخط الأصفر المرسوم على المخطط التشتتي يمثل خط الاتجاه (Kernel Fit) المضاف لتوضيح شكل العلاقة بشكل أفضل، ويلتقط التغيرات في اتجاه العلاقة بين CO_{2P} و GDP_p، حيث يظهر ارتفاعًا أوليًا متبوعًا بانخفاض لاحق، حيث أن زيادة GDP_p لا تؤدي إلى زيادة خطية مستمرة في CO_{2P}. بل هناك نقطة انعطاف حيث يبدأ CO_{2P} في الانخفا مع زيادة GDP_p أكثر.

علاقة النمو الاقتصادي بالتدهور البيئي في ليبيا

دراسة قياسية وفق فرضية منحنى كوزنتس البيئي (1990–2020)



شكل رقم (1): مخطط الانتشار. المصدر: مخرجات برنامج EViews13

بشكل عام، يوفر المخطط التشتتي رؤية مبدئية حول الطبيعة المعقدة للعلاقة بين متغيرات الدراسة، والتي قد تتطلب نماذج تحليلية أكثر تطورًا لفهمها بشكل كامل.

2.9 اختبار استقرارية السلاسل الزمنية:

تظهر نتائج اختبارات جذر الوحدة (ADF& PP) الموضحة في الجدول رقم (1) أن متغيرات الدراسة عند المستوى تعاني من عدم الاستقرارية في معظم الحالات، حيث لم تكن القيم الاحتمالية معنوية إحصائيًا عند مستويات الدلالة التقليدية لجميع المتغيرات، خاصة في وجود الاتجاه العام. في المقابل، تشير النتائج عند الفرق الأول إلى أن جميع المتغيرات أصبحت مستقرة إحصائيًا عند مستوى معنوية مرتفع، سواء في نموذج الثابت أو الثابت مع الاتجاه، ما يدل على أن المتغيرات متكاملة من الدرجة الأولى I(1) ، الأمر الذي يسمح بالانتقال إلى تقدير النموذج القياسي واختبار العلاقة طويلة الأجل بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي وهذا يعني أن نموذج الانحدار المناسب هو نموذج الانحدار الذاتي ذو الفجوات الموزعة ARDL.

جدول رقم (1)

اختبار استقرارية السلاسل الزمنية جدر الوحدة (Unit Root Tests)

GDP_P^2	GDP_p	CO_{2P}	الحالة		الاختبار
			At Level–عند المستوى		
−2.8825	−2.8551	−3.4685	t-Statistic	With Constant	PP
0.0593*	0.0628*	0.0162**	Prob		
−2.8277	−2.9037	−2.0767	t-Statistic		ADF
0.0664*	0.0567*	0.2549	Prob		
−3.1920	−3.3174	−4.4965	Statistic	With Constant & Trend	PP
0.1051	0.0827*	0.0062***	Prob		
−3.0949	−3.3055	−4.5551	t-Statistic		ADF
0.1256	0.0847*	0.0054***	Prob		
GDP_P^2	GDP_p	$CO2P_P$	First Difference– الفرق الأول		الاختبار
−9.2587	−9.8958	−15.1582	t-Statistic	With Constant	PP
0.0000***	0.0000***	0.0000***	Prob		
−8.4053	−8.0811	−3.6880	t-Statistic		ADF
0.0000***	0.0000***	0.0112**	Prob		
−9.2314	−10.7732	−16.9192	t-Statistic	With Constant & Trend	PP
0.0000***	0.0000***	0.0000***	Prob		
−8.3100	−7.9999	−3.4780	t-Statistic		ADF
0.0000***	0.0000***	0.0647*	Prob		

المصدر: مخرجات برنامج EViews13.

3.9 مخطط اختبار نموذج الانحدار الذاتي ذو الفجوات الموزعة (ARDL):

وتقوم منهجية (ARDL) على العديد من الخطوات تكون على النحو التالي:

- التأكد من أن جميع المتغيرات مستقرة I(0) أو I(1) أو مزيج بينهما ولا يسمح لأي متغير $I(d) \geq 2$.
- تحديد النموذج الأمثل من نماذج (ARDL) الخمسة السابق ذكرها $t = 1, \ldots, 5$
- تحديد هيكل فترات الإبطاء المناسبة للنموذج المحدد في الخطوة السابقة.
- قم بتقدير النموذج في الخطوة 3 باستخدام المربعات الصغرى العادية (OLS).
- التأكد من أن البواقي من الخطوة 4 غير مرتبطة بشكل تسلسلي ومتجانسة التباين.
- إجراء اختبار الحدود.
- تقدير سرعة التعديل، إذا كان ذلك مناسبا.

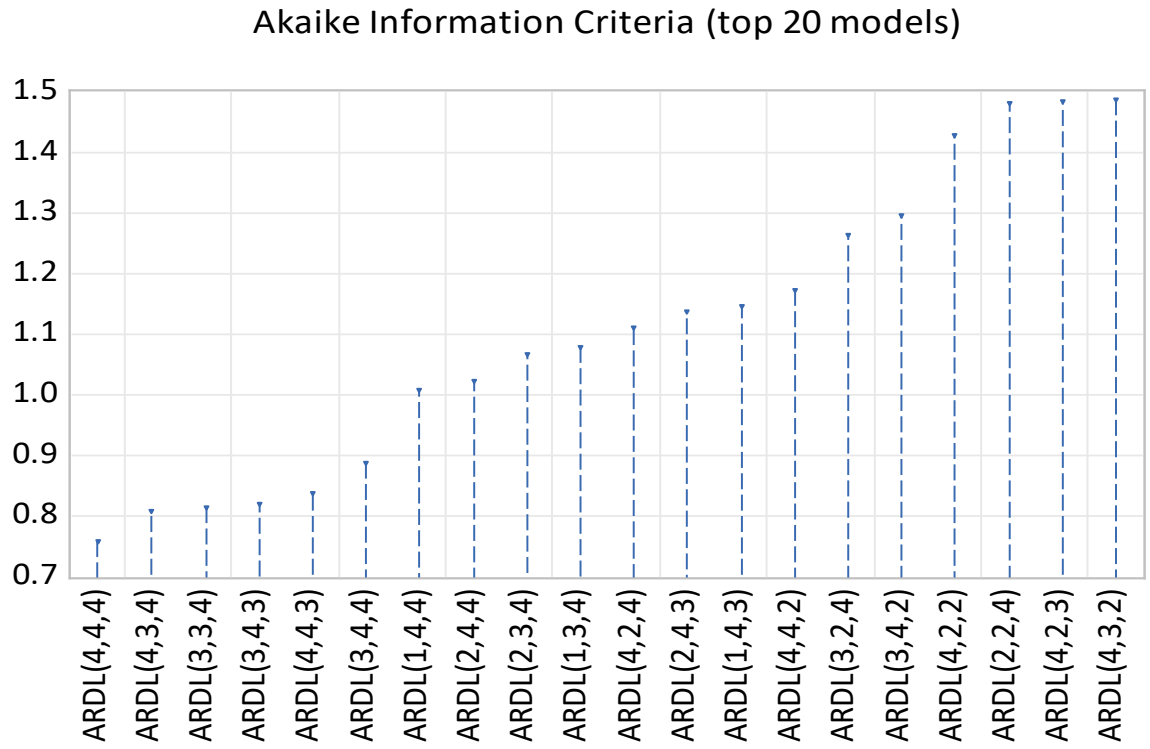
4.9 اختبار التكامل المشترك باستخدام منهجية (ARDL):

من خلال ما تم الحصول عليه من نتائج حول استقراريه السلاسل الزمنية فقد تم اختيار النموذج الثالث والذي يكون مع ثابت غير مقيد وبدون اتجاه (Unrestricted Constant and No Trend) وتعد هذه الخطوة المتمثلة في تحديد النموذج الأمثل من الخطوات الصعبة التي تعتمد على العديد من الأسس منها تمركز البيانات حول الصفر التي ينصح الكثير من الباحثين اعتماد النموذج الأول وهو بدون حد ثابت و اتجاه ، و يتم الأخذ أيضا بشكل و اتجاه السلاسل بيانيا و غيرها من الشروط الأخرى (IHSEViews, 2017) ، ومن خلال

النظر الى بيانات الشكل رقم (2) يتضح أنه أفضل فترة إبطاء لتقدير نموذج (ARDL)هي (4,4,4) حيث أنه يتم إبطاء المتغير التابع والمتغيرات المستقلة بأربع فترات ووفق معيار (Akaike–AIC) وفق الصيغة الآتية:

$$\Delta CO_{2P} = C + \beta_1(CO_{2p\,t-1}) + \beta_2(GDP_{p\,t-1}) + \beta_3(GDP^2_{P\,t-1}) + \sum_{i=1}^{K} \alpha_1 \Delta CO_{2P\,t-i} + \sum_{i=1}^{K} \alpha_2 \Delta GDP_{P\,t-i} + \sum_{i=1}^{K} \alpha_3 \Delta GDP^2_{P\,t-i} + \epsilon_t$$

حيث يمثل $\mathbf{CO_{2P}}$ المتغير التابع، وتُشير $\boldsymbol{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}$ إلى معلمات الأجل القصير (تصحيح الخطأ)، وتُشير $\boldsymbol{\beta_1, \beta_2, \beta_3}$ إلى معلمات الأجل الطويل، ويمثل $\mathbf{C}$ الحد الثابت، ويشير الرمز Δ إلى الفرق الأول (difference first) للمتغيرات، بينما يمثل $\mathbf{K}$ فترات الإبطاء (lags) لمتغيرات الفرق الأول ويمثل $\boldsymbol{\epsilon_t}$ حد الخطأ العشوائي.



شكل رقم (12) نتائج اختبار أفضل فترة إبطاء . المصدر: مخرجات برنامج EViews 13

5.9 الاختبارات التشخيصية:

جدول رقم (2) ملخص نتائج الاختبارات التشخيصية للنموذج القياسي

الاختبار	الفرضية الصفرية (H0)	الإحصائية المستخدمة	قيمة (الاحتمال–p value)	القرار عند مستوى 5%	النتيجة التشخيصية
Breusch–Godfrey LM	عدم وجود ارتباط ذاتي للبواقي حتى فترتي إبطاء	F = 0.357006 Obs*R² = 1.799355	0.7083 (0.4067)	قبول H_0	لا توجد مشكلة ارتباط ذاتي

الاختبار	الفرضية الصفرية (H0)	الإحصائية المستخدمة	قيمة الاحتمال (p-value)	القرار عند مستوى 5%	النتيجة التشخيصية
Breusch–Pagan–Godfrey	تجانس تباين الأخطاء (Homoscedasticity)	F = 0.966731 Obs*R² = 14.31115	0.5295 (0.4268)	قبول H_0	لا توجد مشكلة عدم تجانس التباين
ARCH (Lag=2)	تجانس تباين الأخطاء	F = 1.580637 Obs*R² = 4.599720	0.1200 (0.1117)	قبول H_0	لا توجد آثار ARCH
Jarque–Bera	البواقي تتبع التوزيع الطبيعي	—	0.551587	قبول H_0	البواقي تتبع التوزيع الطبيعي

المصدر: مخرجات برنامج EViews13 حسب النتائج في الملحق

تشير نتائج الاختبارات التشخيصية في الجدول رقم (2) إلى سلامة النموذج القياسي المقدر، حيث لا توجد مشكلة ارتباط ذاتي أو عدم تجانس في تباين الأخطاء، كما أن البواقي تتبع التوزيع الطبيعي، مما يعزز من موثوقية النتائج وإمكانية الاعتماد عليها في تفسير العلاقات الاقتصادية محل الدراسة.

6.9 اختبار التكامل المشترك للنموذج باستخدام اختبار الحدود (Bounds test):

يلاحظ من بيانات الجدول رقم (3) أن القيمة المحسوبة لـ (F-statistics) تساوي (23.803686) وهي أكبر من الحدود العليا (I1 Bound) عند جميع مستويات المعنوية (10%, 5%, 2.5%, و1%)، يمكننا رفض الفرضية الصفرية والقول بأن هناك علاقة طويلة الأجل بين متغيرات الدراسة، وهذا يشير إلى وجود تكامل مشترك بين المتغيرات، مما يعني أنها تتحرك معًا على المدى الطويل.

جدول رقم (2) نتائج اختبار التكامل المشترك للنموذج باستخدام منهجية اختبار الحدود (Bounds test)

Value/ Test Statistic		المعنوية	الحد الأدنى I(0)	الحد الأعلى I(1)
F-statistic	23.803686	%1	5.150	6.360
		%5	3.790	4.850
		%10	3.170	4.140
t-Statistic	−7.876892	%1	−3.430	−4.100
		%5	−2.860	−3.530
		%10	−2.570	−3.210
عدد المتغيرات K=2				

المصدر: مخرجات برنامج EViews13.

ولمعرفة ما إذا كان التكامل الموجود بين المتغيرات هو تكامل منطقي (logical Cointegration) أو غير منطقي (Nonsensical Cointegration) ، ويتم هذا من خلال اختبار الحدود و مقارنة (t-statistics)، و كما هو موضح في الجدول السابق رقم (3) فأن

القيمة المحسوبة لـ (t–statistics) تساوي (7.876892−) وهي أصغر من الحدود العليا (I1 Bound) عند جميع مستويات المعنوية (10%, 5%, 2.5%, و1%)، وبهذا يتم رفض الفرضية الصفرية ، ويمكن القول بأن علاقة التكامل المشترك بين متغيرات الدراسة هي علاقة تكامل منطقي (logical Cointegration) وهذا ما يعزز من صحة العلاقة في اختبار الحدود (Bounds test) بشكل عام.

7.9 نتائج نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد (UECM):

من خلال نتائج اختبار الحدود (Bounds test) والتي توصلت إلى أن علاقة التكامل المشترك علاقة منطقية، ولمعرفة هل العلاقة هي علاقة تكامل مشترك عادية– اعتيادية (Usual Cointegration) أم متدهورة (Degenerate Cointegration) ننتقل إلى معامل تصحيح الخطأ (EC_t) حيث يمكن من خلاله تقدير وقياس سرعة انتقال التصحيح من المدى القصير إلى المدى الطويل في إطار علاقة التكامل المشترك. وتكمن أهمية هذا المعامل أيضًا في كونه يسمح بتحديد قدرة النموذج على امتصاص الصدمات قصيرة الأجل والعودة إلى مسار التوازن على المدى الطويل، وكانت النتائج كما هي موضحة كالآتي:

جدول رقم (4) نتائج نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد (UECM)

Dependent Variable: D(CO2P)
Method: ARDL
Date: 25/08/04 Time: 21:59
Sample: 1994 2020
Included observations: 27
Dependent lags: 4 (Automatic)
Automatic-lag linear regressors (4 max. lags): GDP GDP_2
Deterministics: Unrestricted constant and no trend (Case 3)
Model selection method: Akaike info criterion (AIC)
Number of models evaluated: 100
Selected model: ARDL(4,4,4)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CO2P(-1)*	-1.465399	0.186038	-7.876892	0.0000
GDP(-1)	0.008719	0.001061	8.215862	0.0000
GDP_2(-1)	-3.84E-07	4.78E-08	-8.043140	0.0000
D(CO2P(-1))	0.276312	0.125047	2.209666	0.0473
D(CO2P(-2))	0.248105	0.126995	1.953667	0.0745
D(CO2P(-3))	0.193163	0.118005	1.636908	0.1276
D(GDP)	0.003727	0.000781	4.773867	0.0005
D(GDP(-1))	-0.004279	0.000897	-4.770399	0.0005
D(GDP(-2))	0.002435	0.000894	2.725742	0.0184
D(GDP(-3))	0.002163	0.001732	1.248472	0.2357
D(GDP_2)	-1.69E-07	3.84E-08	-4.416568	0.0008
D(GDP_2(-1))	1.88E-07	4.24E-08	4.439079	0.0008
D(GDP_2(-2))	-1.26E-07	4.35E-08	-2.897094	0.0134
D(GDP_2(-3))	-1.19E-07	8.47E-08	-1.409311	0.1841
C	-34.09329	4.286679	-7.953311	0.0000

R-squared	0.974670	Mean dependent var	-0.053445
Adjusted R-squared	0.945118	S.D. dependent var	1.298707
S.E. of regression	0.304247	Akaike info criterion	0.758224
Sum squared resid	1.110792	Schwarz criterion	1.478134
Log likelihood	4.763969	Hannan-Quinn criter.	0.972291
F-statistic	32.98174	Durbin-Watson stat	1.536519
Prob(F-statistic)	0.000000		

* p-values are incompatible with t-bounds distribution.

المصدر: مخرجات برنامج EViews13.

ويلاحظ من بيانات الجدول (5) أن قيمة (EC_t) تساوي (1.465399−) وهي سالبة ومعنوية، وتدل تلك القيمة على وجود علاقة تكامل مشترك وأن هناك تصحيحاً لتلك العلاقة من المدى القصير إلى المدى الطويل بسرعة (146.54%)، أي أنه خلال ما يقارب 7 أشهر يتم تعديل الاختلال الحادث في الأجل القصير، وهذا يزيد من دقة وصحة العلاقة التوازنية في المدى الطويل.

8.9 تقدير العلاقة طويلة الأجل:

ويمكن تقدير العلاقة طويلة الأجل، واشتقاق العلاقة من نتائج نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد (UECM) كما هي موضحة في الجدول (5)، ويمكن الحصول على معاملات الأجل الطويل من خلال قسمة قيمة معامل $\mathrm{GDP_{p\,t-1}}$ على قيمة معامل (EC_t) كالآتي:

$$\boldsymbol{\alpha_i = \frac{\beta}{-\lambda}}$$

حيث:

β: معامل المتغير التابع المبطئ لفترة واحدة $\mathrm{CO_{2p\,t-1}}$ أو (EC_t).

λ: معامل المتغير المستقل المبطئ لفترة واحدة $\mathrm{CO_{2p\,t-1}}$ و $\mathrm{GDP^2_{P\,t-i}}$.

وكما هو موضح في الجدول رقم (5) ومن خلال النتائج المتحصل عليها وتطبيقها ويمكن الحصول على دالة الأجل الطويل كالآتي:

$$\mathrm{CO_{2P}} = \mathrm{C} + \boldsymbol{\alpha_1}(\mathrm{GDP_p}) + \boldsymbol{\alpha_2}(\mathrm{GDP_P^2})$$

$$\mathrm{CO_{2P}} = -23.265 + 0.005950(\mathrm{GDP_p}) - 0.000000262(\mathrm{GDP_P^2})$$

ويمكن تقدير العلاقة مباشرة من خلال برنامج EViews كما هو موضح في الجدول التالي (6):

جدول رقم (2) نتائج العلاقة طويلة الأجل (Cointegrating Relation)

Variable *	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP(−1)	0.005950	0.000361	16.47648	0.0000
GDP_2(−1)	−2.62E−07	1.66E−08	−15.84126	0.0000
Note: * Coefficients derived from the CEC regression.				

المصدر: مخرجات برنامج EViews13

وقبل تفسير النتائج المتوصل إليها من خلال نتائج الجدول (5) يتضح أنها متطابقة مع ما تم تقديره يدويا، غير أن الحد الثابت لا يظهر ضمن تقدير العلاقة طويلة الأجل، ويعود هذا السبب لطبيعة النموذج المستخدم (الحالة الثالثة – ثابت غير مقيد وبدون اتجاه)، فإن نموذج ARDL يتضمن حدًا ثابتًا يُستخدم لضبط مستوى العلاقة في المدى القصير، ولكنه لا يظهر ضمن معاملات العلاقة طويلة الأجل المستخرجة من نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد (UECM). يعود ذلك إلى أن برامج الاحصائية مثل EViews تُعطي فقط معاملات المتغيرات التفسيرية في صيغة مقسومة على معامل تصحيح الخطأ، دون إظهار الثابت صراحة. وقد تم حسابه يدويا حيث بلغ في هذا النموذج نحو (23.265 −)، ويدل الحد الثابت على مستوى الانبعاثات في ظل عدم وجود نمو اقتصادي أو مساوي للصفر ووجود الإشارة السالبة ينافي المنطق ولا يمكن تطبيقه في الواقع على جميع المستويات.

ونظرا لظهور إشارة غير واقعية للحد الثابت في دالة الأجل الطويل، وتمت معالجة هذه الإشكالية من خلال تصفير المتغيرات حول المتوسط، وذلك بما يتناسق مع حالة النموذج المعتمد (ثابت غير مقيد وبدون اتجاه). وتهدف هذه المعالجة إلى تقليل أثر التحيز في تقدير الحد الثابت، مع الحفاظ على دقة معاملات المدى الطويل والقصير.

لتكون السلاسل الزمنية المحورة كما يلي:

$$\mathrm{GDP_{p\,t}} = \mathrm{mean}(\mathrm{GDP_p}) - \mathrm{GDP_{p\,t}}$$

$$\mathrm{GDP}_{\mathrm{P}}^{2}{}_{t} = \mathrm{mean}(\mathrm{GDP}_{\mathrm{P}}^{2}) - \mathrm{GDP}_{\mathrm{P}}^{2}{}_{t}$$

حيث أن:

mean: المتوسط الحسابي للسلاسل الزمنية (Average) و t : السنة الحالية.

يعرف التحوير السابق للبيانات بالتوسيط (time−demeaning): ويهدف لإزالة التأثير الفردي الثابت عبر الوقت من السلاسل الزمنية. ولا يؤثر على معاملات الانحدار وإنما يقتصر تأثيره على الحد الثابت (Constant) فقط (Wooldridge, 2013) ، ووفقا لهذا فقد تم اعتماد النتائج السابقة نفسها لاختبارات الحدود والتكامل المشترك، مع تعديل الحد الثابت بناءً على القيم المتمركزة حول المتوسط، وبهذا فأن التوسيط لا يغير ميل المعادلة ولا يؤثر على دلالة العلاقات الاقتصادية المقدّرة ولا على النتائج المتوصل إليها.

وكما هو موضح في الجدول (6) التي تم من خلالها إعادة تقدير نتائج نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد (UECM) كالآتي:

جدول رقم (6) نتائج النموذج الثاني لتصحيح الخطأ غير المقيد (UECM)

Dependent Variable: D(CO2P)
Method: ARDL
Date: 25/08/04 Time: 21:59
Sample: 1994 2020
Included observations: 27
Dependent lags: 4 (Automatic)
Automatic-lag linear regressors (4 max. lags): GDP GDP_2
Deterministics: Unrestricted constant and no trend (Case 3)
Model selection method: Akaike info criterion (AIC)
Number of models evaluated: 100
Selected model: ARDL(4,4,4)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CO2P(-1)*	-1.465399	0.186038	-7.876892	0.0000
GDP(-1)	0.008719	0.001061	8.215862	0.0000
GDP_2(-1)	-3.84E-07	4.78E-08	-8.043140	0.0000
D(CO2P(-1))	0.276312	0.125047	2.209666	0.0473
D(CO2P(-2))	0.248105	0.126995	1.953667	0.0745
D(CO2P(-3))	0.193163	0.118005	1.636908	0.1276
D(GDP)	0.003727	0.000781	4.773867	0.0005
D(GDP(-1))	-0.004279	0.000897	-4.770399	0.0005
D(GDP(-2))	0.002435	0.000894	2.725742	0.0184
D(GDP(-3))	0.002163	0.001732	1.248472	0.2357
D(GDP_2)	-1.69E-07	3.84E-08	-4.416568	0.0008
D(GDP_2(-1))	1.88E-07	4.24E-08	4.439079	0.0008
D(GDP_2(-2))	-1.26E-07	4.35E-08	-2.897094	0.0134
D(GDP_2(-3))	-1.19E-07	8.47E-08	-1.409311	0.1841
C	13.86532	1.772420	7.822821	0.0000
R-squared	0.974670	Mean dependent var		-0.053445
Adjusted R-squared	0.945118	S.D. dependent var		1.298707
S.E. of regression	0.304247	Akaike info criterion		0.758224
Sum squared resid	1.110792	Schwarz criterion		1.478134
Log likelihood	4.763969	Hannan-Quinn criter.		0.972291
F-statistic	32.98174	Durbin-Watson stat		1.536519
Prob(F-statistic)	0.000000			

* p-values are incompatible with t-bounds distribution.

المصدر: مخرجات برنامج EViews13

وكما هو ملاحظ من الجدول (6) فأن التغير الوحيد في النتائج هو قيمة الحد الثابت والتي تساوي (13.86532)، وباقي القيم متطابقة تماما مع النتائج الموجودة في الجدول (4) ، والتي أظهرت القدرة التفسيرية للمتغيرات المستقلة و التي بلغت (R−squared=0.974) وهذا ما يدل على أن حوالي (97.4%) من التغيرات الحاصلة في المتغير التابع (انبعاثات الكربون) سببها أو تفسرها التغيرات الحاصلة

في المتغير المستقل (النمو الاقتصادي: الناتج المحلي الإجمالي)، و أيضا يتضح أن مستوى المعنوية لـ (Prob(F−statistic)=0.0000) وهي اقل من 5% مما يعني أنها ذات دلالة إحصائية، وبهذا يكون النموذج معنوي ككل، ويمكن إعادة تقدير دالة العلاقة طويلة الأجل وصياغة نتائجها بالشكل الآتي:

$$CO_{2P} = 9.46180528 + 0.005950(GDP_p) - 0.000000262(GDP_P^2)$$

حيث تشير قيمة الحد الثابت (9.4618) إلى القيمة المتوقعة للانبعاثات CO_{2P} عندما يكون الناتج المحلي الإجمالي صفرًا، ويشير معامل GDP_p والتي بلغت (0.00595) والتي تعني أن زيادة وحدة واحدة في الناتج المحلي الإجمالي تؤدي إلى زيادة الانبعاثات CO_{2P} بمقدار 0.00595 وحدة، بشرط ثبات باقي العوامل، ويتضح أيضا أن معامل مربع الناتج المحلي GDP_P^2 يساوي (−0.000000262) وتشير الإشارة السالبة إلى أن العلاقة بين الناتج المحلي والانبعاثات ليست خطية بل منحنية على شكل مقلوب الحرف U، وهذا ما يتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي (Environmental Kuznets Curve – EKC)، و التي تنص على أن الاقتصاد في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، تكون العلاقة طردية وموجبة ، بمعنى كلما ارتفع الناتج المحلي، زادت الانبعاثات بسبب زيادة النشاط الاقتصادي ، وتستمر العلاقة الطردية حتى تصل إلى نقطة معينة وتبدأ الانبعاثات بالانخفاض، مكوّنة منحنى بيئي على شكل مقلوب الحرف U، ويمكن حساب نقطة التحوّل (Turning Point) من خلال المشتقة الأولى لدالة الأجل الطويل كالآتي:

$$CO_{2P} = 9.46180528 + 0.005950(GDP_p) - 0.000000262(GDP_P^2)$$

$$\frac{d(CO_{2P})}{d(GDP_p)} = 0.005950 - 0.000000524(GDP_p)$$

وبمساواة الدالة $\frac{d(CO_{2P})}{d(GDP_p)}$ بالصفر نحصل على الاتي: –

$$0.005950 - 0.000000524(GDP_p) = 0$$

وبقسمة الطرفين على معامل GDP_p

$$\frac{0.005950}{0.000000524} = GDP_p$$

$$\mathbf{11,354.96} = GDP_p$$

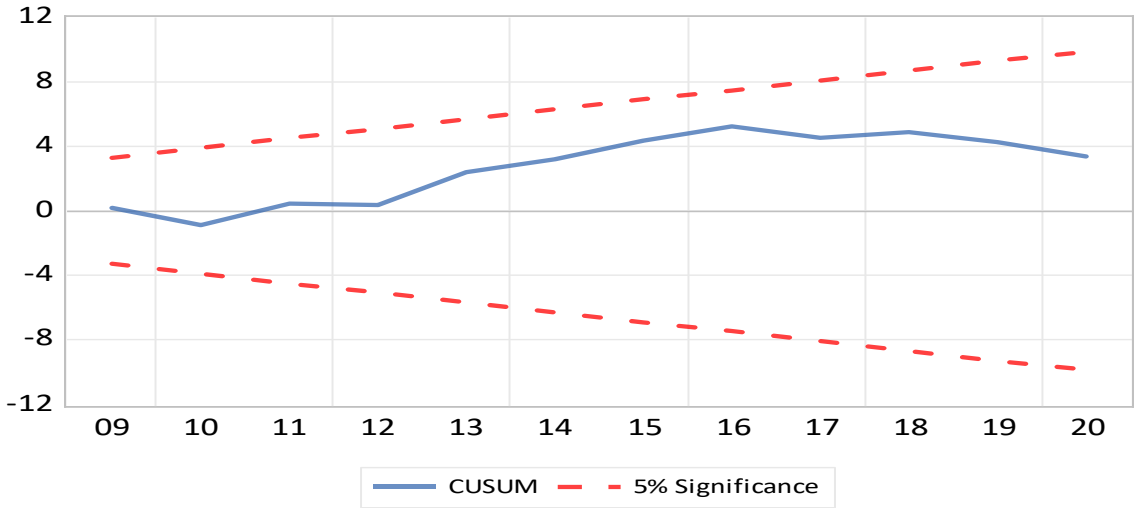
أي أن الانبعاثات تصل إلى ذروتها عندما يبلغ الناتج المحلي الإجمالي حوالي 11,355 وحدة، ووفقا لوحدات المتغيرات المدروسة فهي الدولار الأمريكي.

9.9 اختبارات الاستقرار الهيكلي لنموذج (ARDL):

تم الاعتماد على اختبار CUSUM واختبار CUSUM of Squares للتحقق من استقرار معاملات النموذج في الأجل الطويل والقصير، وهو ذلك لضمان مصداقية ودقة التقديرات في نموذج ARDL.

1.9.9 اختبار المجموع التراكمي للإخطاء (CUSUM):

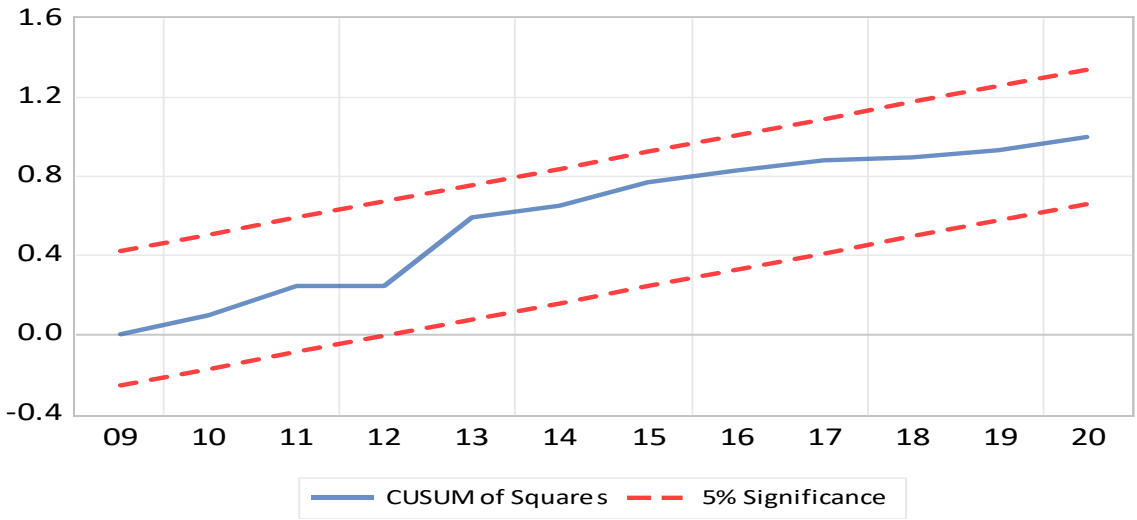
يظهر في الشكل رقم (3) أن خط CUSUM يقع ضمن الحدود الحرجة عند مستوى دلالة 5% (الخطين المتقطعين) خلال الفترة، وهذا يشير إلى استقرار معاملات النموذج وعدم وجود تغيرات هيكلية كبيرة تؤثر على سلوك المتغيرات في الأجلين القصير والطويل، وهذا ما يعني قبول الفرضية الصفرية التي تفيد بعدم جود تغير هيكلي في النموذج، مما يعزز من موثوقية التقديرات المقدرة.



شكل رقم (3) اختبار المجموع التراكمي للإخطاء (CUSUM). المصدر: مخرجات برنامج EViews 13

2.9.9. اختبار المجموع التراكمي لمربعات الإخطاء المثالية (CUSUM of Squares):

وكما هو موضح في الشكل (4) فأن منحنى CUSUM of Squares يقع كذلك داخل الحدود الحرجة عند مستوى 5%، ويدلّ ذلك على عدم وجود تغيرات فجائية في تباين الأخطاء واستقرار العلاقة المقدّرة على المستوى الكلي للنموذج.



شكل رقم (4) اختبار المجموع التراكمي لمربعات الاخطاء المثالية (CUSUM of Squares). المصدر: مخرجات برنامج EViews 13

10.9 نتائج اختبار خطأ توصيف معادلة الانحدار (Ramsey RESET):

للتأكد من صحة توصيف نموذج ARDL المستخدم (Model Specification)، تم إجراء اختبار Ramsey RESET.وتنص الفرضية الصفرية لهذا الاختبار على أن النموذج صحيح التوصيف ولا يعاني من مشكلة حذف متغيرات مهمة أو أخطاء في الشكل الوظيفي.
وكانت النتائج المتحصل عليها كالآتي:

جدول رقم (7) نتائج اختبار (Ramsey RESET Test)

Ramsey RESET Test			
Test Statistic	**Value**	**df**	**Probability**
t-statistic	1.120711	11	0.2863
F-statistic	1.255994	(1, 11)	0.2863

Likelihood ratio	2.919236	1	0.0875

المصدر: مخرجات برنامج EViews13

ومن خلال الجدول السابق رقم (7) فقد أظهرت النتائج، أن قيمة إحصائية F بلغت 1.256 بقيمة احتمالية (P-value) تساوي 0.2863. وبما أن هذه القيمة أكبر من مستوى الدلالة 5%، وبناءً عليه يتم قبول الفرضية الصفرية، وإستنتاج أن النموذج المستخدم صحيح من جهة التوصيف ولا يعاني من أخطاء جوهرية، مثل حذف متغيرات مهمة أو استخدام شكل وظيفي خاطئ.

11.9 نتائج اختبار (Wald Test)

من أجل اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC)، التي تفترض وجود علاقة غير خطية (على شكل مقلوب الحرف " U ") بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي، وتم استخدام اختبار Wald لتقدير معنوية المجاميع الجزئية لمعاملات كل من متغير الناتج المحلي الإجمالي (GDP) ومربعه (GDP^2) في نموذج (ARDL) المقدر، وتم صياغة الفرضية الصفرية (H_0) لاختبار Wald كالآتي:

$$\left.\begin{array}{l} \left(\text{مجموع معاملات GDP}\right) \quad \beta_i = 0 \sum_{i=0}^{4} \\ \left(\text{مجموع معاملات } \text{GDP}^2\right) \quad \gamma_i = 0 \sum_{i=0}^{4} \end{array}\right\}$$

حيث:

- β_i :معاملات GDP في التأخيرات من 0 إلى 4 في النموذج.
- γ_i :معاملات GDP^2 في التأخيرات من 0 إلى 4.

أي أن مجموع معاملات GDP وGDP^2 في النموذج يساوي صفرًا، مما يشير إلى عدم وجود علاقة غير خطية ذات دلالة إحصائية.

جدول رقم (8) نتائج اختبار (Wald Test)

Wald Test			
Test Statistic	**Value**	**df**	**Probability**
F-statistic	34.99989	(2, 12)	0.0000
Obs*R-squared	69.99977	2	0.0000

المصدر: مخرجات برنامج EViews13

وكما هو ملاحظ من نتائج الاختبار في الجدول (8) بما أن القيمة الاحتمالية لإحصائية (F-statistic) وكاي-تربيع (Chi-square) أقل بكثير من 1%، وهذا ما يعني رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة، مما يشير بوضوح إلى وجود علاقة غير خطية ومعنوية بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال فترة الدراسة. وتعد هذه النتيجة دعمًا واضحًا لفرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC)، التي ترى أن الانبعاثات الكربونية ترتفع في المراحل الأولى من النمو الاقتصادي، ثم تبدأ بالانخفاض بعد الوصول إلى مستوى معين من الدخل.

10. النتائج:

أظهرت نتائج التقدير باستخدام نموذج الانحدار الذاتي ذي الفجوات الموزعة (ARDL) وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بوصفها مؤشرًا للتدهور البيئي، ومتوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ومربعه في ليبيا خلال الفترة

(1990–2020)، وقد أظهرت اختبارات الاستقرارية أن متغيرات الدراسة أصبحت مستقرة عند الفرق الأول، بما يسمح باستخدام نموذج ARDL، كما أكد اختبار الحدود (Bounds Test) وجود تكامل مشترك وعلاقة طويلة الأجل بين متغيرات النمو الاقتصادي والتدهور البيئي.

كما يتمتع النموذج بقدرة تفسيرية مرتفعة، إذ بلغ معامل التحديد (R^2) نحو 0.97، مما يعني أن المتغيرات الداخلة في النموذج تفسر نحو 97.4% من التغيرات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كذلك جاءت إحصائية F معنوية عند مستوى مرتفع من الدلالة، بما يؤكد معنوية النموذج ككل، ويعزز ذلك معامل تصحيح الخطأ (ECM) الذي جاء سالبا ومعنويا، بما يشير إلى وجود آلية تصحيح تعيد العلاقة إلى مسار التوازن طويل الأجل عند حدوث انحرافات قصيرة الأجل.

وتكشف نتائج العلاقة طويلة الأجل عن وجود أثر موجب للناتج المحلي الإجمالي للفرد على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث بلغ معامل الناتج المحلي الإجمالي نحو (0.00595)، وهو ما يشير إلى أن زيادة الناتج المحلي الإجمالي في الجزء الأول من مسار العلاقة ترتبط بزيادة الانبعاثات مع ثبات العوامل الأخرى، وفي المقابل جاء معامل مربع الناتج المحلي الإجمالي سالبا وبلغ نحو (−0.000000262)، وهو ما يدل على أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات ليست خطية، وإنما تأخذ شكل منحنى U مقلوب، بما يتفق مع الأساس النظري لفرضية منحنى كوزنتس البيئي.

وتكتسب هذه النتيجة أهمية خاصة في الحالة الليبية، فهي تشير إلى أن النمو الاقتصادي لا يقود بالضرورة إلى استمرار التدهور البيئي إلى ما لا نهاية، وإنما قد تمر العلاقة بمرحلتين (مرحلة أولى يرتبط فيها ارتفاع الدخل والنشاط الاقتصادي بزيادة الانبعاثات، ثم مرحلة لاحقة يبدأ فيها أثر زيادة الدخل في الاتجاه نحو خفض الانبعاثات) ويتوافق هذا المسار مع المنطق الاقتصادي لمنحنى كوزنتس البيئي، الذي يفترض ارتفاع الضغوط البيئية في المراحل الأولى من التنمية، ثم تراجعها عند الوصول إلى مستويات أعلى من الدخل نتيجة التحول الهيكلي، وتحسن كفاءة استخدام الموارد والطاقة وزيادة الاهتمام بالسياسات البيئية والتكنولوجيا النظيفة.

وبالاعتماد على معاملات العلاقة طويلة الأجل، قُدرت نقطة الانعطاف عند نحو **11,355 دولارا للفرد**، وهي النقطة التي تبلغ عندها الانبعاثات ذروتها قبل أن يبدأ اتجاهها في الانخفاض وفق الشكل التربيعي المقدر، وتمثل هذه النتيجة أحد أهم المؤشرات التي تدعم وجود المسار غير الخطي للعلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي في ليبيا.

ولم يقتصر إثبات العلاقة غير الخطية على إشارات معاملات النمو ومربعه، بل دعمه أيضا اختبار Wald ، الذي بلغت فيه القيمة الاحتمالية لإحصائية F وكذلك إحصائية ($Obs^* R^2$) نحو 0.0000. وعليه، تُرفض الفرضية الصفرية القائلة بعدم وجود علاقة غير خطية، بما يوفر دليلًا إحصائيا قويا على وجود علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال فترة الدراسة.

1.10 مناقشة فرضيات الدراسة:

1.1.10 الفرضية الرئيسية:

تنص على وجود علاقة غير خطية على شكل U مقلوب بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في ليبيا خلال الفترة (1990–2020)، بما يتوافق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي، وتؤيد النتائج هذه الفرضية فقد جاء معامل الناتج المحلي الإجمالي موجبا، في حين جاء معامل مربعه سالبا، كما أكد اختبار Wald معنوية العلاقة غير الخطية، وبناءً عليه تقبل الفرضية الرئيسية للدراسة.

2.1.10 الفرضية الأولى:

تنص على أن النمو الاقتصادي يؤثر إيجابيا وبشكل معنوي في زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المراحل الأولى من النمو، وقد أظهر معامل الناتج المحلي الإجمالي في الأجل الطويل إشارة موجبة، كما أظهرت نتائج النموذج في الأجل القصير وجود أثر موجب ومعنوي للناتج المحلي الإجمالي إذ بلغ معامل ((GDP نحو 0.003727 وبقيمة احتمالية 0.0005، وبذلك تُقبل الفرضية الأولى مما يشير إلى ارتباط التوسع الاقتصادي في المرحلة الأولى بارتفاع الانبعاثات.

3.1.10 الفرضية الثانية:

تنص على أن مربع الناتج المحلي الإجمالي يؤثر سلبا وبشكل معنوي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بما يشير إلى وجود نقطة انعطاف، وقد جاءت إشارة معامل مربع الناتج المحلي الإجمالي سالبة، وبلغ نحو (−0.000000262)، وهو ما يؤكد اتجاه العلاقة نحو الانخفاض بعد بلوغ مستوى معين من الدخل، كما دعمت نتائج اختبار Wald معنوية العلاقة غير الخطية، وعليه تقبل الفرضية الثانية.

4.1.10 الفرضية العدمية:

تنص على عدم وجود علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي وعدم انطباق منحنى كوزنتس البيئي على ليبيا، وبما أن اختبار Wald أدى إلى رفض الفرضية الصفرية عند مستوى معنوية مرتفع، فإن نتائج الدراسة ترفض الفرضية العدمية، وتقدم دعما إحصائيا لانطباق فرضية منحنى كوزنتس البيئي على الاقتصاد الليبي خلال فترة الدراسة.

2.10 ربط النتائج بالدراسات السابقة:

تتفق نتائج الدراسة الحالية مع عدد من الدراسات السابقة، مثل القهواجي والنعمة (2024)، والحسنين (2024)، واللحياني والشطي (2024)، وكديدة (2022)، وشياد (2021)، وبوعافية وآخرون (2021)، وزراري ورايس(2020) ، التي توصلت إلى وجود علاقة غير خطية على شكل Uمقلوب بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي بما يدعم فرضية منحنى كوزنتس البيئي.

كما تتفق الدراسة مع الجروشي والسنوسي (2023) في وجود نقطة تحول للدخل في الحالة الليبية، لكنها تختلف عنها في شكل العلاقة إذ وجدت الدراسة الحالية منحنى U مقلوب، في حين توصلت الدراسة السابقة إلى علاقة على الشكل N ويمكن تفسير هذا الاختلاف باختلاف الفترة الزمنية والمتغيرات والمنهج القياسي المستخدم.

وتختلف نتائج الدراسة الحالية مع بعض الدراسات التي لم تؤيد انطباق فرضية EKC في الحالة الليبية، مثل مسعود وساسي(2020) ، وهو اختلاف يؤكد أن العلاقة بين النمو والتلوث ليست ثابتة بالضرورة، وإنما تتأثر بهيكل الاقتصاد ومزيج الطاقة والسياسات البيئية والفترة الزمنية محل الدراسة.

وبصفة عامة، تقدم الدراسة الحالية دعما إضافيا لفرضية منحنى كوزنتس البيئي في ليبيا، مع تحديد نقطة تحول تقدر بنحو 11,355 دولارا للفرد، مع التأكيد على أن انخفاض التلوث بعد هذه النقطة لا يتحقق تلقائيا، بل يتطلب سياسات داعمة للتكنولوجيا النظيفة وكفاءة استخدام الموارد وحماية البيئة.

3.10 الاستنتاجات:

توصلت الدراسة من خلال تقدير نموذج ARDL واختبارات العلاقة قصيرة وطويلة الأجل إلى مجموعة من الاستنتاجات يمكن إيجازها فيما يلي:

1. أظهرت اختبارات جذر الوحدة أن متغيرات الدراسة غير مستقرة عند المستوى، بينما أصبحت مستقرة عند الفرق الأول، أي أنها متكاملة من الدرجة الأولى(1)I ، وهو ما سمح باستخدام نموذج ARDL في تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي.

2. أكد اختبار الحدود (Bounds Test) وجود علاقة تكامل مشترك بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ومتوسط نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ومربعه، بما يدل على وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي في ليبيا.
3. أظهرت نتائج العلاقة طويلة الأجل وجود أثر موجب للناتج المحلي الإجمالي للفرد على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث بلغ معامل الناتج المحلي الإجمالي نحو (0.00595)، بما يشير إلى أن التوسع الاقتصادي في المراحل الأولى يرتبط بارتفاع مستويات الانبعاثات.
4. جاء معامل مربع الناتج المحلي الإجمالي سالبا، وبلغ نحو (−0.000000262) وهو ما يؤكد أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات ليست خطية، وإنما تأخذ شكل حرف U مقلوب بما يتفق مع فرضية منحنى كوزنتس البيئي(EKC).
5. قدرت نقطة التحول في العلاقة عند مستوى يقارب 11,355 دولارا للفرد، حيث تمثل هذه القيمة المستوى الذي تبلغ عنده الانبعاثات ذروتها قبل أن يبدأ اتجاهها في الانخفاض وفق النموذج المقدر.
6. أكد اختبار Wald وجود علاقة غير خطية ذات دلالة إحصائية بين النمو الاقتصادي والانبعاثات، حيث بلغت القيمة الاحتمالية 0.0000، الأمر الذي أدى إلى رفض الفرضية العدمية ودعم انطباق فرضية منحنى كوزنتس البيئي على الحالة الليبية خلال فترة الدراسة.
7. يتمتع النموذج بقدرة تفسيرية مرتفعة إذ بلغ معامل التحديد نحو 97.4%، كما جاءت إحصائية F معنوية بما يؤكد معنوية النموذج ككل وقدرته على تفسير نسبة كبيرة من التغيرات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.
8. تشير النتائج إلى أن انخفاض الانبعاثات في بعض مراحل الفترة، ولا سيما خلال فترات الاضطراب السياسي والأمني، لا يمكن تفسيره باعتباره تحسنا بيئيا ناتجا بالضرورة عن التحول إلى اقتصاد أكثر نظافة، إذ قد يكون مرتبطا بتراجع النشاط الاقتصادي والإنتاجي، ومن ثم ينبغي التمييز بين انخفاض الانبعاثات نتيجة التقدم البيئي وانخفاضها نتيجة الانكماش الاقتصادي.

11. التوصيات:

1. تبني سياسة تنموية تربط بين النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة، بحيث لا يكون تحقيق النمو الاقتصادي قائما على زيادة استهلاك الطاقة الأحفورية والانبعاثات، وإنما على تحسين كفاءة استخدام الموارد والطاقة.
2. تسريع التحول نحو الاقتصاد الأخضر، من خلال دعم الاستثمار في مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة ذات الانبعاثات المرتفعة.
3. استغلال مرحلة ما بعد نقطة التحول المقدرة لتعزيز السياسات التي تساعد على خفض الانبعاثات بالتوازي مع استمرار النمو الاقتصادي، وعدم التعامل مع تحقق منحنى كوزنتس البيئي باعتباره نتيجة تلقائية.
4. تشجيع نقل واستيراد التكنولوجيا النظيفة ورفع كفاءة التكنولوجيا المستخدمة في القطاعات الإنتاجية، بما يساعد على الفصل التدريجي بين النمو الاقتصادي وزيادة الانبعاثات.
5. تفعيل التشريعات والسياسات البيئية والرقابة على مصادر التلوث، مع دمج البعد البيئي بصورة واضحة في السياسات الاقتصادية والاستثمارية.
6. تنويع هيكل الاقتصاد الليبي وتقليل الاعتماد على الأنشطة كثيفة استهلاك الطاقة، بما يسمح بتحقيق نمو اقتصادي أكثر استدامة وأقل ارتباطا بالتدهور البيئي.

7. تحسين نظام البيانات والإحصاءات البيئية في ليبيا، وإنشاء قواعد بيانات منتظمة ودقيقة حول الانبعاثات واستهلاك الطاقة ومصادر التلوث، بما يدعم الدراسات المستقبلية وصنع السياسات القائمة على الأدلة.
8. عدم اعتبار انخفاض الانبعاثات الناتج عن الأزمات والانكماش الاقتصادي تحسنا بيئيا مستداما، بل ينبغي أن يكون الهدف هو تحقيق خفض في الانبعاثات مع استمرار النمو وتحسن مستويات المعيشة 11.2 .المراجع باللغة الإنجليزية

المراجع:

بوعافية، س.، رحالي، ب.، وزهواني، ر. (2021). العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي في ظل فرضيات منحنى كوزنتس البيئي: دراسة قياسية لحالة الجزائر خلال الفترة (1980–2017). مجلة الإصلاحات الاقتصادية والتكامل في الاقتصاد العالمي، (1)، 242–254. https://www.asjp.cerist.dz/en/article/154598 .

بن محاد، س.، حجاب، ع.، ونذير، ع. (2020). اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي للعلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي (1980–2017). مجلة معهد العلوم الاقتصادية، 23 (1)، 553–574. https://search.emarefa.net/detail/BIM-1019729 .

بوخلخال، ع. (2023). دراسة قياسية لأثر النمو الاقتصادي على البيئة بالجزائر في ظل فرضية منحنى كوزنتس. مجلة البشائر الاقتصادية، 9 (1)، 177–192. https://www.asjp.cerist.dz/en/article/219078 .

الجروشي، ع. ع.، والسنوسي، م. ع. (2023). العوامل المؤثرة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وأثرها على التدهور البيئي في ليبيا. مجلة إضافات اقتصادية، 7 (2)، 168–187. https://www.asjp.cerist.dz/en/article/234690 .

ذهب، س. ب.، وأبوقرين، س. م. (2021). اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي: دراسة حالة دول المغرب العربي خلال الفترة 1975–2014. مجلة دراسات الاقتصاد والأعمال، 8 (2)، 15–32 . https://doi.org/10.36602/jebs.2021.v08.02.02

الحسنين، م. ع. (2024). اختبار صحة فرضية منحنى كوزنتس البيئي لتحقيق النمو الاقتصادي الأخضر المستدام في أفريقيا. مجلة السياسة والاقتصاد، 22(21)، 388–412. https://doi.org/10.21608/jocu.2023.222588.

حجي، ر.، وفرج، م. م. (2023). تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي من خلال اختبار فرضيات منحنى كوزنتس البيئي: دراسة حالة مجموعة الدول النفطية الممتدة(2003–2022). *Al Kut Journal of Economics and Administrative Sciences*، *15*(49)، 577– https://doi.org/10.29124/kjeas.1549.115.

زراري، س.، ورايس، ح. (2020). منحنى كوزنتس البيئي: دراسة حالة الإمارات العربية المتحدة باستخدام منهج الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة (ARDL) خلال الفترة 1984–2017. مجلة الاستراتيجية والتنمية، 10 (4)، 11–29 . https://asjp.cerist.dz/en/article/124632

شياد، ف. (2021). العلاقة بين النمو الاقتصادي والجودة البيئية: أي دور للطاقة المتجددة في الإمارات العربية المتحدة خلال الفترة 1992–2014. مجلة دراسات وأبحاث اقتصادية في الطاقات المتجددة، 8 (2)، 234–254 . https://www.asjp.cerist.dz/en/article/167204

كديدة، آ. (2022). دراسة العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في إطار منحنى كوزنتس: حالة الجزائر خلال الفترة 1983–2018 [أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة]. المستودع الرقمي لجامعة قاصدي مرباح ورقلة– https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/30720 .

اللحياني، ش. إ.، والشطي، و. (2024). العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي في المملكة العربية السعودية خلال الفترة (1990–2020). المجلة العربية للنشر العلمي، 7 (63)، 43–61. https://doi.org/10.36571/ajsp643 .

مخزومي، ل.، حرنان، ن.، والتواتي، أ. ع. (2022). الأثر البيئي لتجارة السلع في الدول الأفريقية: مقاربة قياسية باستخدام فرضية منحنى كوزنتس البيئي (1995–2020). مجلة الاقتصاد والتنمية المستدامة، 332–355 .
https://asjp.cerist.dz/en/article/181533

مسعود، ي. خ.، وساسي، س. ع. (2020). اختبار فرضية منحنى كوزنتس البيئي: دراسة حالة في الاقتصاد الليبي 1996–2018. *مجلة أبعاد اقتصادية، 10*(1)، 83– 103. https://search.emarefa.net/detail/BIM-1019334 .

القهواجي، ن. ص.، والنعمة، ع. و. (2024). التلوث الهوائي والتنمية الاقتصادية: اختبار لفرضية منحنى كوزنتس البيئي لبعض البلدان مع إشارة خاصة للعراق للمدة (1990–2020). مجلة الاقتصاد والتنمية المستدامة، 18 (61)، 289–322 .
https://doi.org/10.33899/regs.2024.150524.1208

Meddahi, M., & Tergou, M. (2023). Is there a Relationship Between Economic Growth and CO_2 Emissions in Algeria? An Econometric Analysis, Journal of North African Economies, *19*(2), 555–568. https://asjp.cerist.dz/en/article/225718

الملاحق

ملحق رقم (1) نتائج اختبار مشكلة الارتباط الذاتي (Breusch–Godfrey Serial Correlation Test)

Breusch–Godfrey Serial Correlation LM Test: Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags			
F–statistic	0.357006	Prob. F(2,10)	0.7083
Obs*R–squared	1.799355	Prob. Chi–Square(2)	0.4067

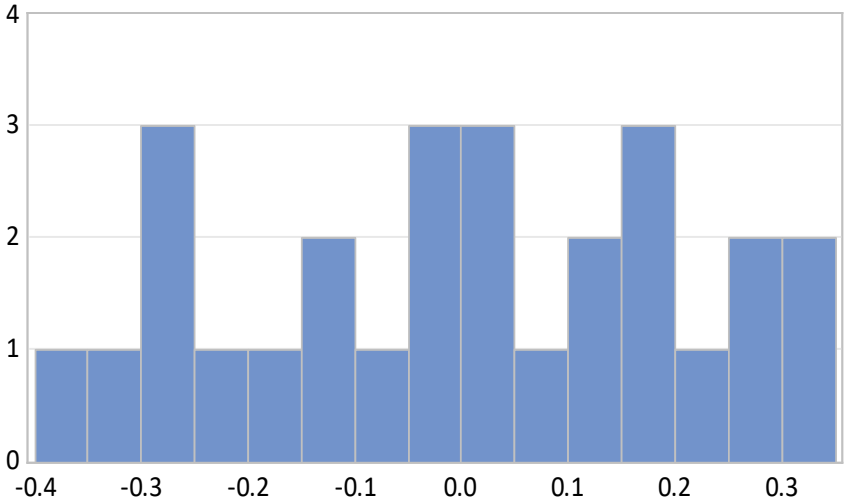
ملحق رقم (2) نتائج اختبار مشكلة عدم ثبات التباين (Breusch–Pagan–Godfrey)

Heteroskedasticity Test: Breusch–Pagan–Godfrey Null hypothesis: Homoskedasticity			
F–statistic	0.966731	Prob. F(14,12)	0.5295
Obs*R–squared	14.31115	Prob. Chi–Square(14)	0.4268

ملحق رقم (3) نتائج اختبار مشكلة عدم ثبات التباين (ARCH)

Heteroskedasticity Test: ARCH			
F–statistic	1.580637	Prob. F(2,22)	0.1200
Obs*R–squared	4.599720	Prob. Chi–Square(2)	0.1117

ملحق رقم (4) نتائج اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي



Series: Residuals	
Sample 1994 2020	
Observations 27	
Mean	-1.61e-14
Median	0.009201
Maximum	0.340920
Minimum	-0.391918
Std. Dev.	0.206695
Skewness	-0.175333
Kurtosis	2.033184
Jarque-Bera	1.189912
Probability	0.551587