

DOI: 10.33948/ESJ-KSU-17-2-2

تحول الطاقة وفرص المضي على مسار الاستدامة في المملكة العربية السعودية

د. الوليد نور الهدي أحمد كنة⁽¹⁾ د. عبد القيوم عبد العزيز محمد الهندي⁽²⁾

(قَدِمَ للنشر: 30 أغسطس، 2024م – وقَبِلَ للنشر: 20 أكتوبر، 2024م)

المستخلص: هدفت هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على نموذج التحول الطاقوي وفرص المضي على مسار الاستدامة في المملكة العربية السعودية بتحقيق رؤية المملكة في الفصل بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. واستخدمت الدراسة المنهج الإحصائي الوصفي في تحليل مشهد الطاقة المتجددة وكفاءة استخدام الطاقة في المملكة، وكذلك المنهج القياسي بتقدير العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المملكة خلال الفترة (1980-2022). وأظهرت نتائج الدراسة أن برنامج التحول الطاقوي يحظى بمكانة مهمة في المنظومة السياسية والتشريعية في البلاد وبدعم من القيادة العليا ممثلة في صاحب السمو الأمير محمد بن سلمان. كما توصلت الدراسة إلى أن التقدم المحرز في التحول الطاقوي في المملكة مازال متواضعاً مقارنة ببعض الدول العربية والعالمية، رغم الإمكانيات الهائلة التي تزخر بها البلاد. أظهرت نتائج التقدير القياسي أن العلاقة بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون تأخذ شكل الحرف (U)، ما يشير إلى عدم انطباق فرضية منحني كوزنتس البيئي (EKC) على الاقتصاد السعودي، كما أظهرت نتائج التحليل القياسي أن استهلاك الطاقة له تأثير سلبي على جودة البيئة في المملكة. وخلصت الدراسة إلى عدة توصيات، أهمها أن تحقيق رؤية المملكة في الفصل بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، يتطلب مواصلة الجهود في تعزيز الاستثمارات في تدابير كفاءة الطاقة والاقتصاد الدائري للكربون. الكلمات المفتاحية: الاستدامة، التحول الطاقوي، انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، الفصل، منحني كوزنتس البيئي.

Energy Transition and the Pathway to Sustainability in Saudi Arabia

Elwalied Norehuda A. Kunna⁽¹⁾

Abdulqayoom Abdulaziz M. Alhindi⁽²⁾

(Received: Aug 30, 2024 – Accepted for publication: Oct 20, 2024)

Abstract: This study aims to shed light on the energy transition model and the chances to move towards a sustainable development pathway in Saudi Arabia and achieve the Kingdom's Vision in decoupling economic growth from carbon dioxide emissions. The study employs the descriptive statistical approach to assess renewable energy and energy efficiency landscape in the Saudi Arabia, as well as the econometric approach to estimate the relationship between economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in Saudi Arabia during the period (1980-2022). The study found that the energy transition program enjoys significant policy and legislative position in the country under the guidance of His Highness Prince Mohammed bin Salman. The study also found that the progress made in the energy transition in the Kingdom is still modest compared to Arab countries and worldwide, despite the enormous potential that the country abounds with. Results of the econometric estimation showed that the relationship between economic growth and carbon dioxide emissions is U-shaped, indicating that the environmental Kuznets curve hypothesis (EKC) does not hold for Saudi Arabia. Results of the econometric analysis also revealed that energy consumption has a negative impact on environmental quality in Saudi Arabia. The study concludes with several recommendations, the most important of which is that achieving the goal of the Kingdom's vision in decoupling economic growth from CO₂ emissions requires continuing to promote investments in energy efficiency measures and a circular carbon economy.

Keywords: Sustainability, Development pathway, Energy transition, CO₂ emissions, Decoupling, EKC.

(1): Associate Professor, Islamic University of Madina- College of Law & Economics – Dept of Economics, Saudi Arabia. Email: nelhuda@hotmail.com.

(2): Associate Professor, Islamic University of Madina- College of Law & Economics – Dept of Economics, Saudi Arabia. Email: o540900025@gmail.com.

(1) أستاذ مشارك، قسم الاقتصاد، كلية الأنظمة والاقتصاد، الجامعة

الإسلامية بالمدينة المنورة، المملكة العربية السعودية.

(2) أستاذ مشارك، قسم الاقتصاد، كلية الأنظمة والاقتصاد، الجامعة

الإسلامية بالمدينة المنورة، المملكة العربية السعودية.

1- إطار عام للدراسة

1-1 المقدمة

تتمتع المملكة العربية السعودية بمقومات طبيعية واقتصادية تؤهلها لتحقيق التحول نحو الطاقة النظيفة، حيث تتوفر لديها مستويات كافية من أشعة الشمس والرياح، بالإضافة إلى الموارد المالية اللازمة لدعم هذا التحول. تبنت المملكة العربية السعودية العديد من الأهداف والاستراتيجيات لمعالجة تغير المناخ وتسريع انتقال الطاقة، وتشمل: كفاءة الطاقة، الطاقة النووية، الطاقة المتجددة، الهيدروجين، والاقتصاد الدائري للكربون. تؤكد هذه الخطوات التزام المملكة المستمر بالنمو الأخضر والتنمية المستدامة. وتُوجت جهود المملكة العربية السعودية في تعزيز العمل المناخي، محلياً ودولياً، بإطلاق "مبادرة السعودية الخضراء" و"مبادرة الشرق الأوسط الأخضر". وخلال المنتدى الاقتصادي العالمي في 19 يناير 2022م، أكد سمو وزير الطاقة الأمير عبد العزيز بن سلمان أنّ أي استراتيجية للطاقة يجب أن تقوم على ثلاث ركائز أساسية، هي: أمن الطاقة، ونمو الاقتصاد وازدهاره واستدامته، والتغير المناخي. لقد أحرزت المملكة العربية السعودية تقدماً ملحوظاً في التشريعات والالتزام السياسي بتحقيق هدف خفض الانبعاثات إلى مستوى الصفر، مع الموازنة بين أمن الطاقة وتحقيق الاستدامة. ويهدف نهج المملكة في الانتقال الطاقى إلى المساهمة في تحقيق الاستدامة والوفاء بالتزاماتها المتعلقة بالمساهمات المحددة وطنياً (NDCs)، وتحديدًا من خلال رؤية 2030 التي تسعى إلى فصل النمو الاقتصادي عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وفي هذا الإطار، تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على التقدم المحرز في تحقيق هذا الهدف، واستكشاف فرص المضي قدماً في مسار التحول الطاقى وتحقيق الاستدامة.

2-1 مشكلة الدراسة

يمثل مفهوم الفصل بين النمو الاقتصادي والآثار البيئية (Decoupling) المحور الرئيس للتنمية المستدامة، ويعني هذا المفهوم إمكانية توليد الناتج الاقتصادي باستخدام قدر أقل من الطاقة والمواد، وذلك من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد. خلال العقدين الماضيين، نجحت العديد من الدول في تحقيق النمو الاقتصادي مع خفض استخدامها للطاقة، مما يؤكد أنّ سياسات كفاءة الطاقة يمكن أن تساهم في تحقيق الفصل بين النمو الاقتصادي والآثار البيئية لاستهلاك الطاقة. وفي سياق المملكة العربية السعودية، أطلقت الدولة خلال السنوات الأخيرة عدداً من المبادرات الطموحة لخفض الانبعاثات وتسريع وتيرة التحول الطاقى. وتشمل هذه المبادرات: برنامج كفاءة الطاقة، والاستثمارات الضخمة في الهيدروجين النظيف ومصادر الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى تطوير تقنيات متقدمة لاحتجاز الكربون..

تساؤلات الدراسة: إلى أي مدى نجحت المملكة في فصل نموها الاقتصادي عن التأثيرات البيئية وانبعاثات الكربون؟ وما هي فرص تحقيق التوازن بين أهداف النمو الاقتصادي وأهداف الاستدامة في المملكة العربية السعودية؟ إلى أي مدى يمكن للاقتصاد الدائري للكربون وتنويع مصادر الطاقة أن يساعد البلاد في تحقيق طموحاتها الوطنية والوفاء بالتزاماتها العالمية المتعلقة بالمساهمات المحددة وطنياً (NDCs)؟

3-1 هدف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم نموذج الاستدامة في المملكة العربية السعودية. يستند هذا النموذج على ثلاثة محاور رئيسية تتمثل في: التحول إلى الطاقة المتجددة، وكفاءة استخدام الطاقة، وجودة البيئة، ويتم ذلك من خلال استعراض

واقع وكفاءة الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية، بالإضافة إلى تقدير قياسي للتقدم المحرز نحو مسار الاستدامة وفصل النمو الاقتصادي عن تأثيراته البيئية.

4-1 أهمية الدراسة

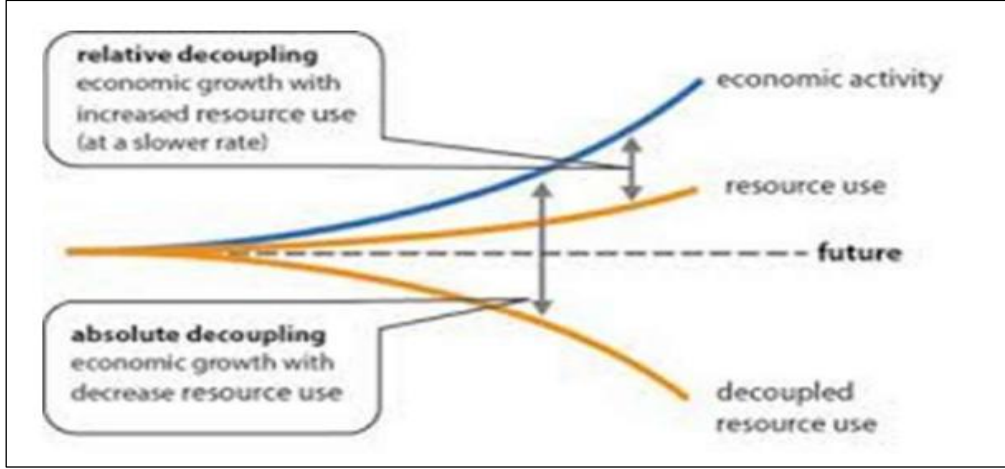
تُعد قضية التنمية المستدامة أحد أهم أولويات رؤية المملكة 2030. ففي إطار الرؤية، تسعى المملكة إلى تحقيق تنمية مستدامة توازن بين حماية البيئة والنمو الاقتصادي، وذلك من خلال التحول نحو الطاقة المستدامة، وتخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ولأهمية هذا النهج، أطلقت المملكة العربية السعودية في السابع والعشرين من شهر مارس 2021م "مبادرة السعودية الخضراء"، و"مبادرة الشرق الأوسط الأخضر"، وقد أكد سمو ولي العهد حينها أنّ المملكة بصفتها منتجاً عالمياً رائداً للنفط، ندرك تماماً مسؤوليتها في دفع عجلة مكافحة أزمة المناخ، وأنها ستعمل على قيادة "الحقبة الخضراء القادمة". وفي سبيل تحقيق ذلك، تبنت المملكة العديد من الاستراتيجيات لمعالجة تغير المناخ وتسريع انتقال الطاقة، إلى جانب تقديم مساهماتها المحددة وطنياً (NDCs). شملت هذه الاستراتيجيات: كفاءة الطاقة، الطاقة النووية، الطاقة المتجددة، الهيدروجين، والاقتصاد الدائري للكربون. إنّ نجاح المملكة في دفع نهج الاقتصاد الدائري الكربوني إلى الأمام، وإزالة الكربون من صادراتها الأساسية، سيسهم بشكل إيجابي في إزالة الكربون في العالم. في هذا السياق، تأتي هذه الدراسة لتلقي الضوء على نموذج التحول الطاقى، وتحديد فرص مسار الاستدامة في المملكة العربية السعودية.

5-1 منهجية الدراسة

تستخدم هذه الدراسة المنهج التحليلي الإحصائي الوصفي في تحليل مشهد الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في المملكة العربية السعودية، بالإضافة إلى المنهج القياسي لتقدير العلاقة بين النمو الاقتصادي وجودة البيئة واستهلاك الطاقة في المملكة. وتتمثل المتغيرات الرئيسية المختارة للدراسة القياسية في: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد (بالطن المتري)، والناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد (بالدولار الأمريكي الثابت لعام 2010)، واستخدام الطاقة (كغم مكافئ نفط لكل فرد).

6-1 أدبيات الدراسة

تعتمد الاستراتيجيات الرامية إلى تحقيق أهداف مناخية طموحة عادة على مفهوم الفصل بين النمو الاقتصادي والآثار البيئية (Decoupling)، وتهدف تحديداً إلى تحقيق النمو الاقتصادي مع الحد من استخدام الموارد الطبيعية وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري (UNEP, 2011).

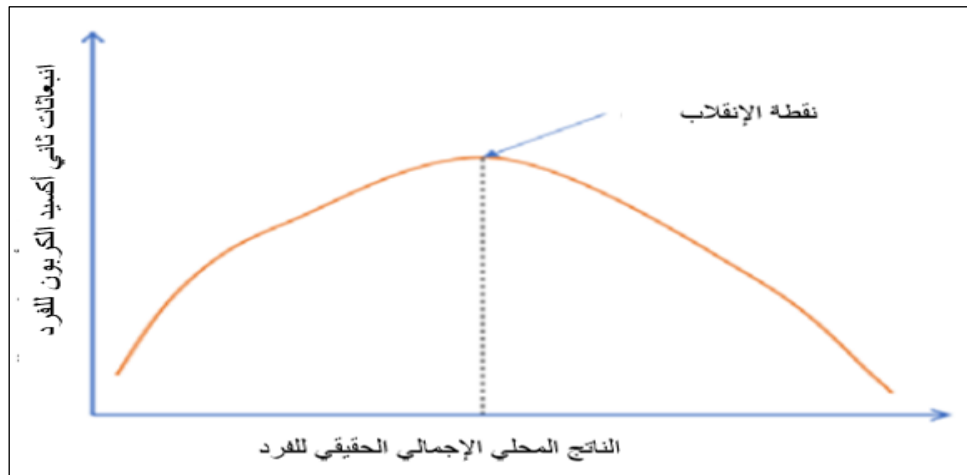


الشكل (1): أنواع الفصل resource decoupling Source: UNEP, 2011:

يمكن التمييز بين نوعين من الفصل، هما الفصل النسبي (Relative decoupling) والفصل المطلق (Absolute decoupling). يحدث الفصل النسبي عندما يكون معدل الزيادة في استخدام الموارد أو الضغط على البيئة أقل من معدل النمو الاقتصادي، أما الفصل المطلق فهو الفصل الذي يعمل على تقليل استخدام الموارد، بغض النظر عن نمو الناتج المحلي الإجمالي (مهي وآخرون، 2018).

تتركز النقاشات في أدبيات التحول الطاقى والتنمية المستدامة على التمييز بين مفهومي الاستدامة الضعيفة (Weak Sustainability) والاستدامة القوية (Strong Sustainability). تفترض الاستدامة الضعيفة أنه من الممكن استبدال رأس المال الطبيعي برأس المال المصنَّع؛ أما الاستدامة القوية فإنها تفترض ألا تنخفض بعض الأصول البيئية تحت المستويات الحرجة (مهي، 2020). يرتبط مفهوم الاستدامة الضعيفة بمجال اقتصاديات البيئة والموارد الطبيعية، بينما يرتبط مفهوم الاستدامة القوية بالاقتصاد الإيكولوجي. يرى أنصار الاستدامة الضعيفة أن النمو الاقتصادي هو من أسباب نجاح التنمية المستدامة. بالمقابل، ينادي أنصار الاستدامة القوية بضرورة تخفيض النمو (Degrowth)، ذلك أن الموارد البيئية بطبيعتها عندما تستخدم في النشاط الاقتصادي فإنها تتعرض للتدهور بطريقة لا رجعة فيها بسبب الإنتروبيا وتعذر الانعكاس المشتقين من القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

يرى (Loiseau et al., 2016) أن تحقيق الفصل المطلق بين النمو الاقتصادي والتأثيرات البيئية يتطلب تبني أطروحة الاقتصاد الإيكولوجي، أي التوجه نحو الاستدامة القوية من أجل التعامل مع مخاوف تغير المناخ. في هذا الإطار، يرى (Barua and Khataniar, 2016) أن البلدان متوسطة الدخل تتبع مسار الاستدامة الضعيفة، في حين أن البلدان مرتفعة الدخل تتحول تدريجياً من مسار الاستدامة الضعيفة إلى مسار الاستدامة القوية. وتتفق هذه النتيجة التي توصل إليها الباحثان مع فرضية منحني كوزنتس البيئي (EKC). والتي تستخدم في تحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي والتلوث البيئي. يمثل منحني كوزنتس البيئي العلاقة غير الخطية بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي، ويُعرض عادةً من خلال رسم بياني يُوضع فيه دخل الفرد على المحور الأفقي، ومؤشر التدهور البيئي على المحور الرأسي. وتشير الفرضية إلى أن هذه العلاقة تأخذ شكل حرف U مقلوب، بحيث يكون التدهور البيئي مرتفعاً في المراحل الأولى من التنمية الاقتصادية، ثم يبدأ في الانخفاض بعد أن يصل الاقتصاد إلى مستوى معين من التطور (نقطة الانقلاب)، كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2): منحني كوزنتس البيئي

وكما هو معلوم؛ فإن الاقتصادي "سيمون كوزنتس" هو أول من اقترح وجود علاقة بين متوسط الدخل الفردي والاعدالة في توزيع الدخل على شكل حرف U مقلوب، وسميت هذه العلاقة بمنحنى كوزنتس (Kuznets, 1995). قام كل من (Grossman & Krueger, 1991) بنشر ورقة بحثية رائدة استخدموا فيها نموذج منحني كوزنتس في السياق البيئي، ما مهد الطريق لظهور ما يعرف في الأدبيات بـ "منحنى كوزنتس البيئي" (EKC). وفي السياق ذاته قام (Shafik & Banfyopafhyay, 1992) بتعزيز هذا الاتجاه من خلال دراستهم التجريبية للعلاقة بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي. وقد شكلت هاتان الدراستان الأساس النظري والتجريبي لمجموعة كبيرة من الأدبيات التي سعت إلى اختبار فرضية EKC.

أظهرت الأدبيات التجريبية تبايناً واضحاً في نتائج اختبار فرضية EKC. على سبيل المثال، توصلت دراسة (Acaravci & Ozturk, 2010)، التي شملت 19 دولة أوروبية إلى أن الفرضية تنطبق فقط على كل من الدنمارك وإيطاليا، بينما لم يُعثر على دليل يدعمها لباقي الدول التي شملتها الدراسة. وفي الدراسة التي أجراها (Ertugrul et al., 2016) وشملت عشر دول، توصلوا إلى انطباق EKC في كل من تركيا، والهند، والصين، وكوريا الجنوبية، في حين لم تتحقق في كل من البرازيل، والمكسيك، وإندونيسيا، وجنوب أفريقيا، وتايلاند، وماليزيا. وفي دراسة أخرى، وجد (Onafowora & Owoye, 2014) أنَّ الفرضية تنطبق في كل من اليابان وتركيا، لكنها لم تتحقق في ست دول أخرى شملتها الدراسة ضمت البرازيل، والصين، ومصر، والمكسيك، ونيجيريا، وجنوب أفريقيا. كذلك قام (Baek, 2015) بفحص فرضية EKC ضمن عينة من سبع دول من بلدان القطب الشمالي، وتبين أن الفرضية لم تتحقق سوى في أيسلندا، بينما لم يُعثر على دليل يؤيدها في كل من كندا، والدنمارك، وفنلندا، والنرويج، والسويد، والولايات المتحدة.

فيما يتعلق بالاقتصاد السعودي، سعت دراسة (Alfantookh, et al., 2023) إلى استكشاف أثر التصنيع على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال الفترة 1971-2021، وذلك في إطار فرضية منحني كوزنتس البيئي، حيث أظهرت نتائج الدراسة أن الفرضية لا تنطبق على المملكة العربية السعودية. وفي سياق مماثل، قام (Alkhatlan and Javid, 2013) بتحليل العلاقة بين النمو الاقتصادي وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الطاقة على المستويين الكلي والجزئي للمملكة خلال الفترة 1980-2011، وتوصلت الدراسة إلى أن المرونة الدخلية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الأجل

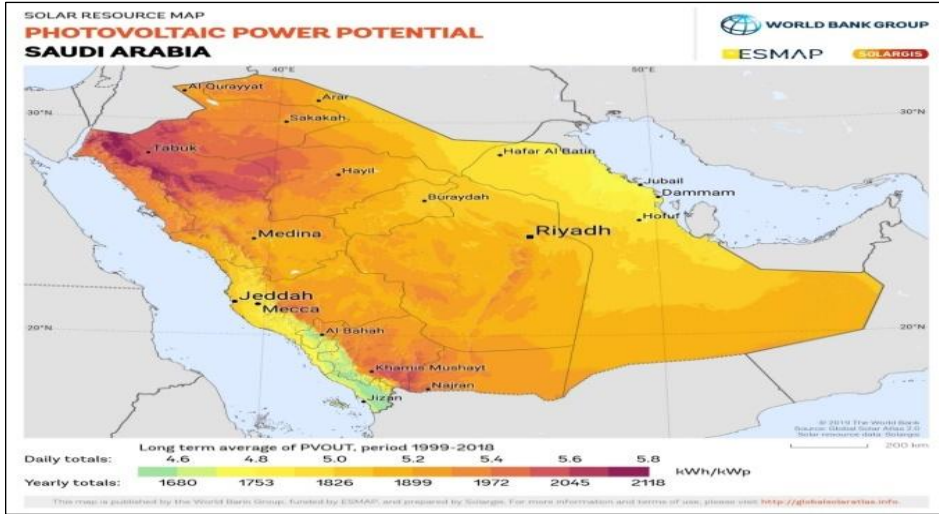
الطويل كانت أعلى منها في الأجل القصير. وتشير هذه النتائج إلى وجود علاقة طردية رتيبة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والنمو الاقتصادي، وبالتالي عدم تحقق EKC في الاقتصاد السعودي.

يُعد مفهوم ذروة الانبعاثات (Peak Emissions) محورياً أساسياً في مسار الانتقال نحو الانبعاثات الصفرية، وهو يتقاطع جوهرياً مع فرضية منحني كوزنتس البيئي EKC. في هذا الإطار، تُشكل ذروة الانبعاثات نقطة الانقلاب التي تنتقل عندها العلاقة بين النمو والانبعاثات من علاقة طردية إلى علاقة عكسية، بما يعكس تحقق الفصل (Decoupling) بين النمو الاقتصادي والانبعاثات. وتكتسب هذه الذروة أهمية مضاعفة في ضوء الالتزامات المناخية العالمية، إذ إنّ تأخر الوصول إليها أو بلوغها عند مستويات مرتفعة يزيد من التحديات المرتبطة بخفض الانبعاثات لاحقاً بوتيرة كافية لتحقيق أهداف اتفاق باريس (UNEP, 2024). وعليه، فإن التخطيط للوصول إلى ذروة انبعاثات مبكرة ومنخفضة يُعد مساراً أمثل لتحقيق التوافق بين النمو والاستدامة البيئية.

2- إمكانات المملكة العربية السعودية في الطاقة المتجددة

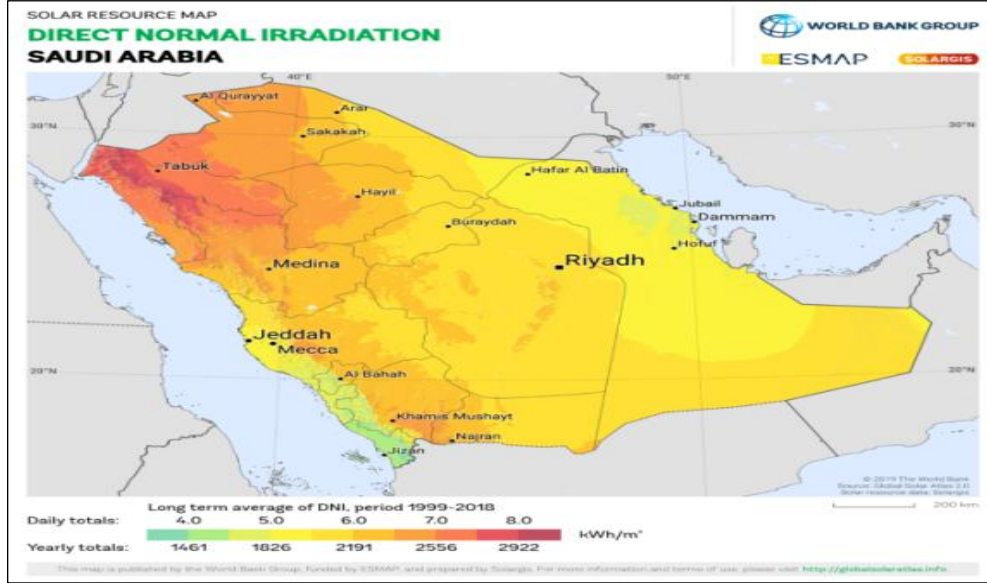
1-2 الطاقة الشمسية الكهروضوئية

الخريطة الموجودة بالشكل (3) توضح إمكانات توليد الطاقة الكهروضوئية في المملكة العربية السعودية، والتي تتراوح بين 5 و 6 كيلوواط/ساعة يومياً، وتم استخدام بيانات الإشعاع الشمسي الموجودة بالشكل (4) المتمثلة في مقدار الإشعاع الشمسي الطبيعي المباشر، وكذلك الموجودة بالشكل (5) المتمثلة في مقدار الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي في برنامج محاكاة أنظمة الطاقة الكهروضوئية الشمسية لتحديد إنتاجية الطاقة الكهربائية المذكورة.

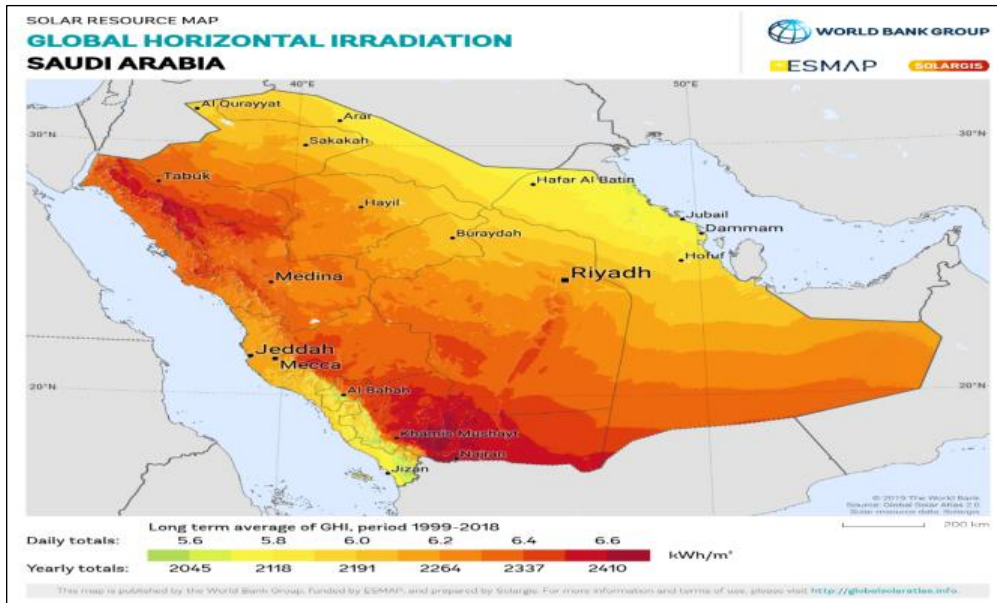


الشكل (3): خريطة إمكانات المملكة العربية السعودية في الطاقة الكهروضوئية الشمسية (1999-2018) (البنك الدولي، 2018)

عدد خاص من مجلة الدراسات الاقتصادية، المجلد 17، العدد 2 (ص: 149-171)، أبحاث المؤتمر العلمي السنوي الثاني والعشرين لجمعية الاقتصاد السعودية، 10-11 سبتمبر، 2025م، جامعة الأعمال والتكنولوجيا، جدة، المملكة العربية السعودية.

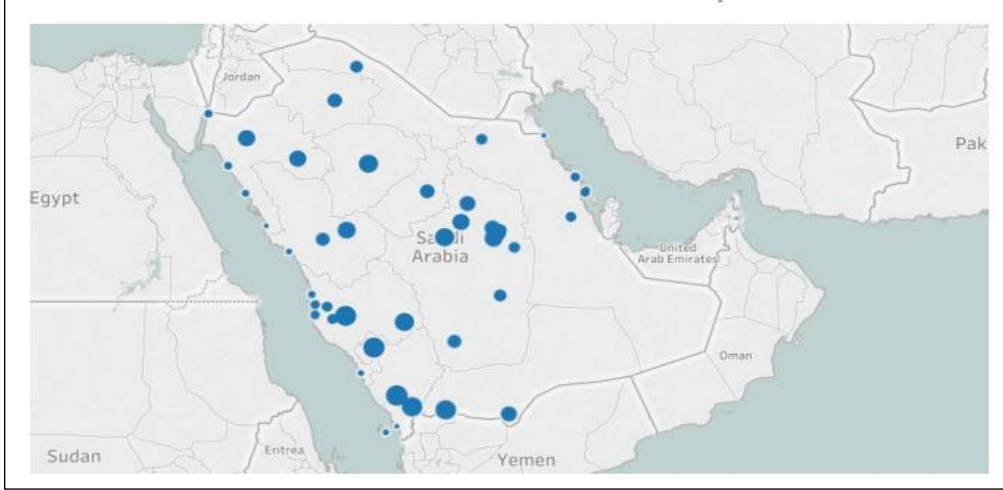


الشكل (4): المتوسط اليومي/السنوي للإشعاع الشمسي الطبيعي المباشر (DNI) (البنك الدولي، 2018)



الشكل (5): المتوسط اليومي/السنوي للإشعاع الأفقي الكلي (GHI) (البنك الدولي، 2018)

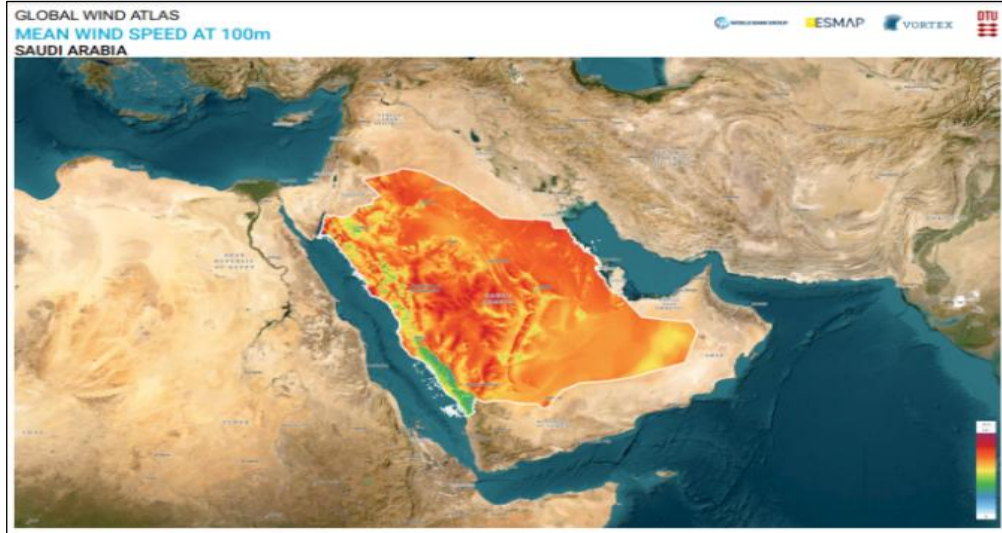
وقد قامت المملكة بإنشاء أكثر من 40 محطة لقياس الطاقة الشمسية، كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6) خريطة توضح محطات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية (مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية والمتجددة)

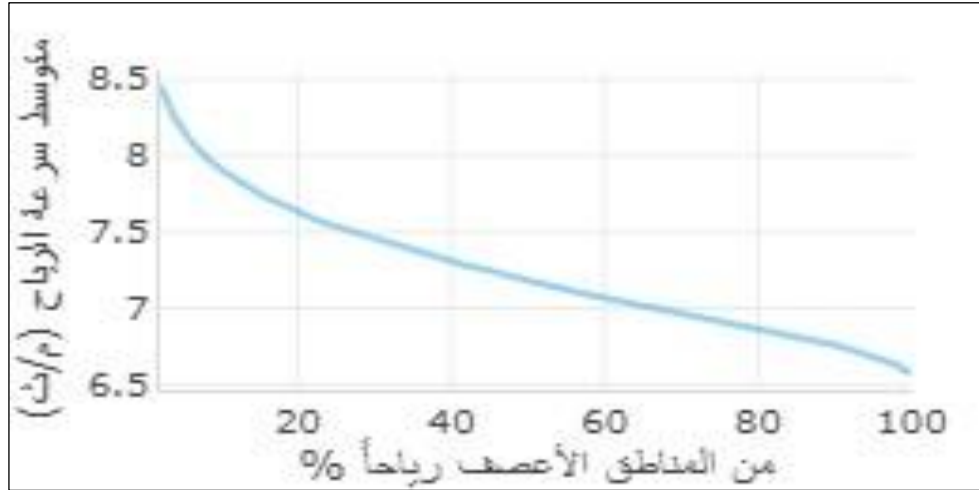
2-2 طاقة الرياح

يوضح الشكل (7) خريطة إمكانات المملكة العربية السعودية في طاقة الرياح في قاعدة بيانات الأطلس العالمي لطاقة الرياح. ويمثل متوسط سرعة الرياح مقياساً لموارد الرياح.



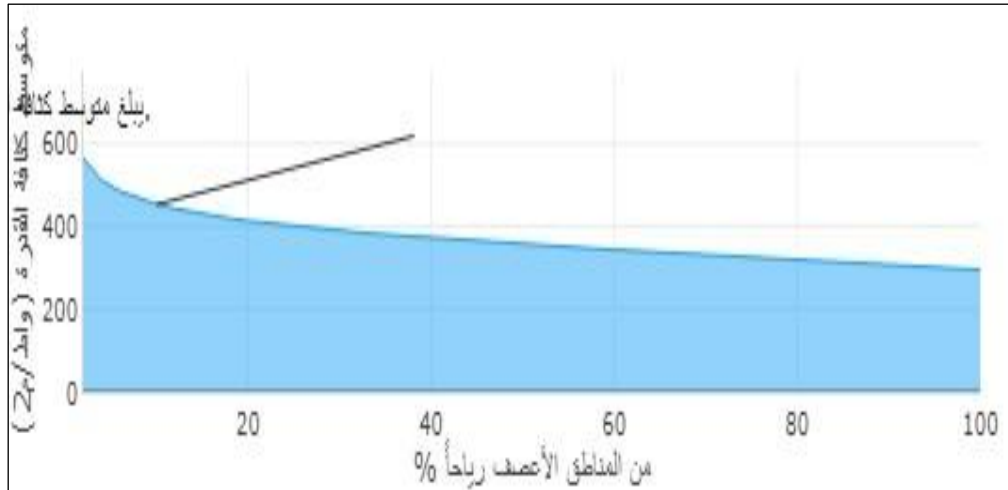
الشكل (7): خريطة توضح إمكانات المملكة العربية السعودية في طاقة الرياح (البنك الدولي، 2018).

يوضح الشكل (8) أن متوسط سرعة الرياح ل 10% من المناطق الأعصف رياحاً عند ارتفاع 100 متر في المملكة العربية السعودية. هو 7.91 (م/ث).



الشكل (8): متوسط سرعة الرياح ل 10% من المناطق الأعصف رياحاً عند ارتفاع 100 متر.

يجدر الإشارة إلى أن متوسط كثافة قدرة الرياح يعتبر مؤشراً أكثر دقة لموارد الرياح المتاحة. من الشكل (9) نجد أن متوسط كثافة القدرة في 10% من المناطق الأعصف رياحاً في المملكة هو 453.4 (واط/م²).

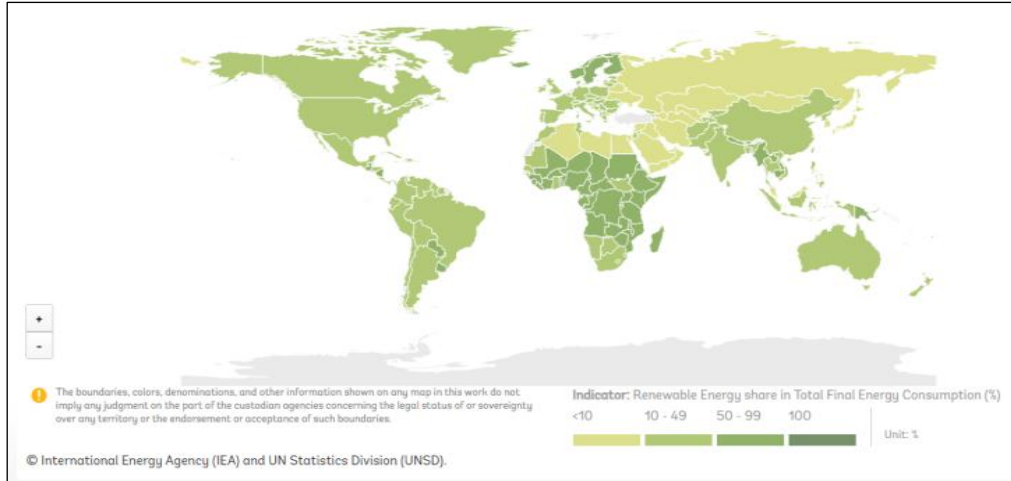


الشكل (9): متوسط كثافة القدرة في 10% من المناطق الأعصف رياحاً (البنك الدولي، 2018).

3- مشهد التحول الطاقى في المملكة العربية السعودية

3-1 مؤشر حصة الطاقة المتجددة من إجمالي استهلاك الطاقة

ينص المقصد [7.2] من أهداف التنمية المستدامة على: "تحقيق زيادة كبيرة في حصة الطاقة المتجددة من مجموع مصادر الطاقة العالمية بحلول عام 2030". إن تحقيق الاستدامة الاقتصادية يتطلب تحقيق تقدم ملحوظ في دمج الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، وفي فصل النمو الاقتصادي عن استهلاك الطاقة من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة (الإسكوا، 2019). إن المؤشر المستخدم في تتبع المقصد [7.2] هو حصة الطاقة المتجددة في إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة.

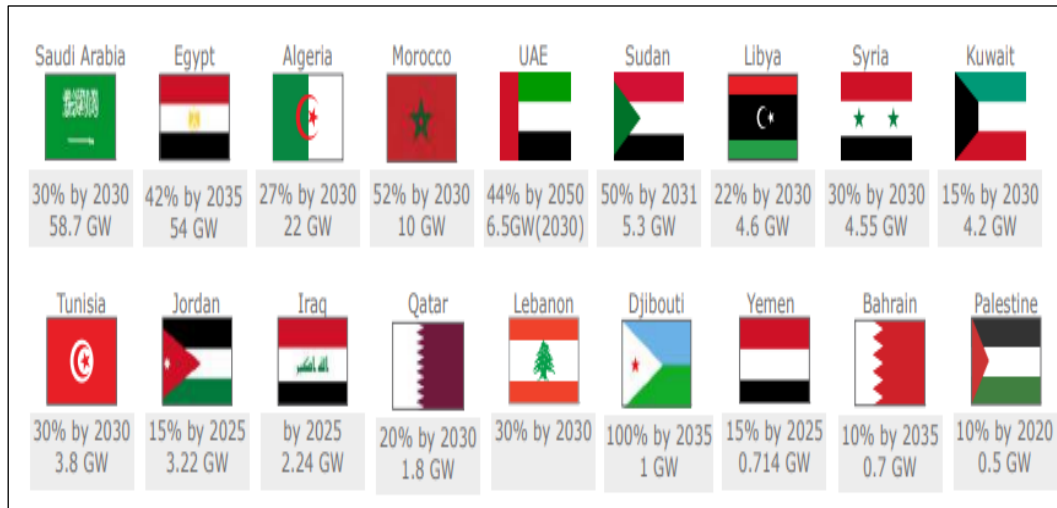


الشكل (10): حصة الطاقة المتجددة في إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة (%) خلال الفترة 1990-2021 (أهداف التنمية المستدامة، 2024)

يوضح الشكل (10) حصة الطاقة المتجددة من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة في العالم خلال الفترة 1990-2021. يلاحظ من الشكل أن المملكة العربية السعودية، خلال الفترة المذكورة، لم تحقق زيادة في حصة الطاقة المتجددة من إجمالي استهلاك الطاقة فيها؛ حيث جاء تصنيفها في المستوى المنخفض (أقل من 10%).

2-3 المؤشر العربي لطاقة المستقبل (AFEX) *The Arab Future Energy Index*

وفقاً لهذا المؤشر يتم رصد وتحليل القدرة التنافسية للطاقة المستدامة في المنطقة العربية، ويقوم بإصدار تقرير المؤشر العربي لطاقة المستقبل المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. يوضح الشكل (11) أهداف الطاقة المتجددة المعلنة في المنطقة العربية. من الشكل المذكور ووفقاً لأهداف المملكة العربية السعودية المعلنة؛ فإن حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة سترتفع بنسبة 30% بحلول سنة 2030 م، بسعة إنتاج تعادل 58.7 جيغاوات.



الشكل (11): أهداف الطاقة المتجددة في المنطقة العربية (المؤشر العربي لطاقة المستقبل، 2019)

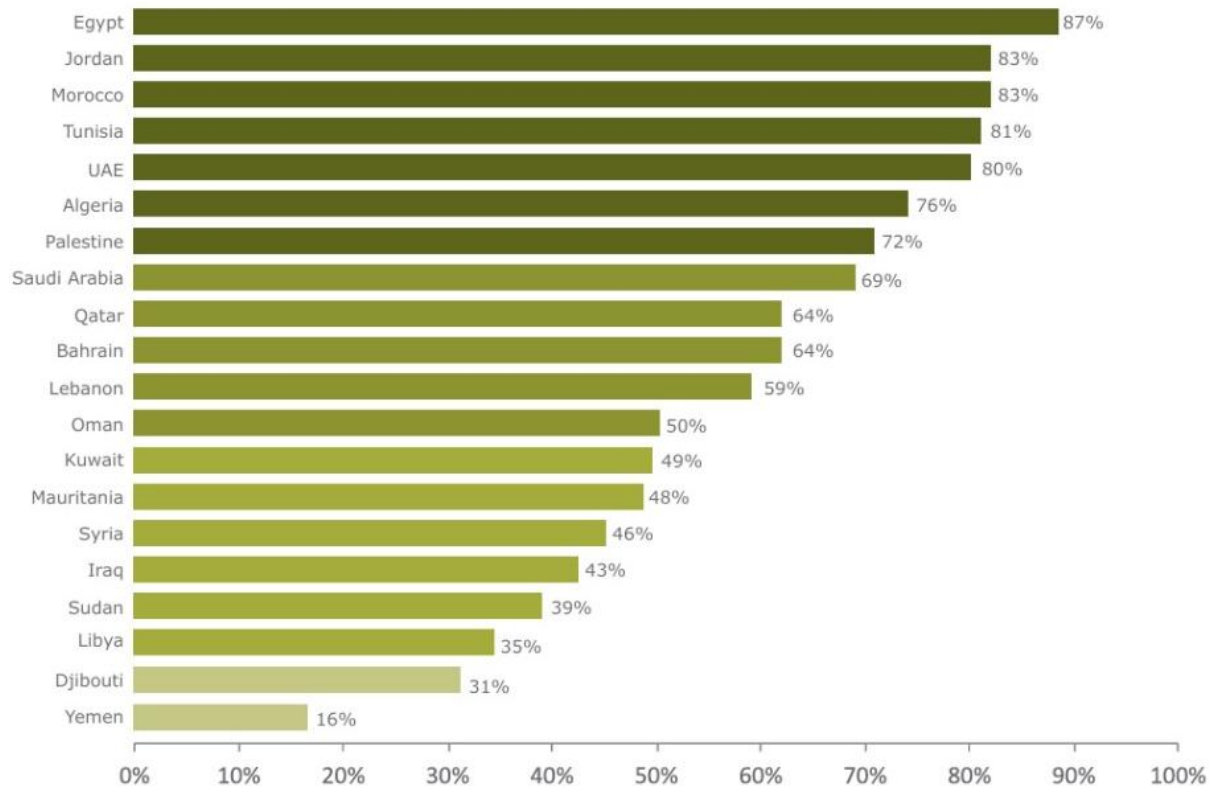
يُظهر الجدول (1) أداء المملكة العربية السعودية في قطاع الطاقة المتجددة وفقاً لمؤشر (AFEX 2023)، حيث سجلت المملكة نسبة 82% للتمويل والاستثمار، والقدرة المؤسسية بنسبة 76%، وسياسة العمل بنسبة 72%، وهيكل السوق بنسبة 56%.

الجدول (1): ترتيب المملكة العربية السعودية حسب تقييم (AFEX) للطاقة المتجددة، 2023م.

البلد	هيكل السوق	سياسة العمل	القدرة المؤسسية	التمويل والاستثمار	التقييم النهائي
السعودية	56%	72%	76%	82%	69%

المصدر: المؤشر العربي لطاقة المستقبل، الطاقة المتجددة، 2023م، ص 16.

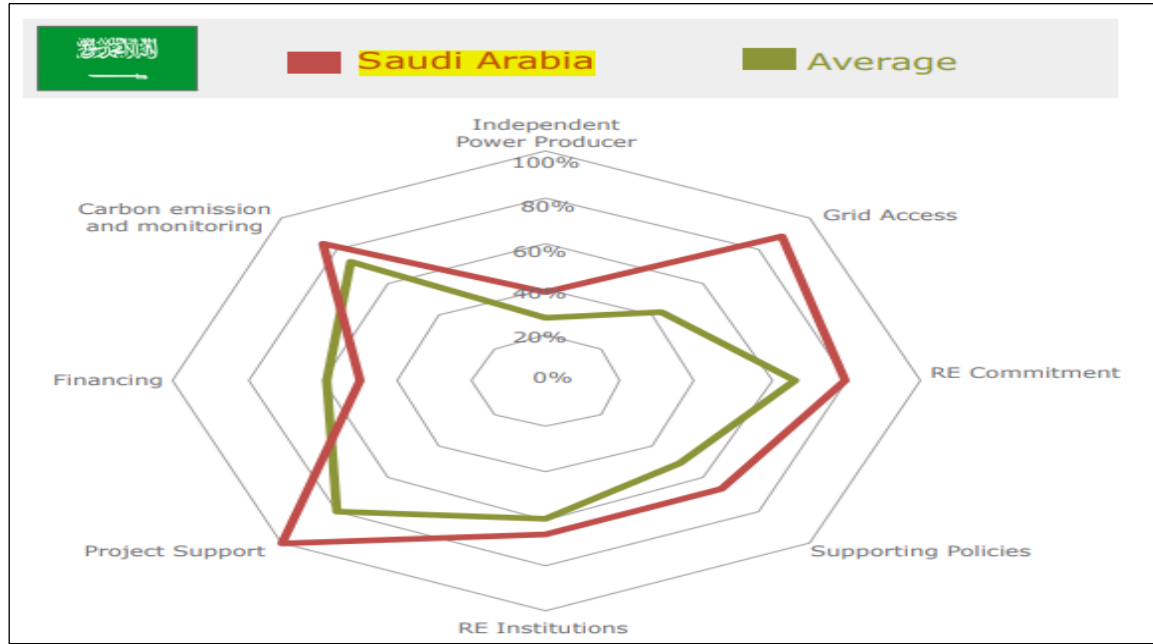
من الشكل (12) نجد أن التقييم النهائي لأداء المملكة العربية السعودية في قطاع الطاقة المتجددة بلغت نسبته 69%، وبذلك تحتل المملكة المركز الثامن عربياً، بعد كل من مصر والأردن والمغرب وتونس والإمارات والجزائر وفلسطين.



الشكل (12): نتائج تقييم AFEX لكفاءة الطاقة المتجددة وترتيب الدول العربية (المؤشر العربي لطاقة المستقبل، 2023، ص 16).

يوضح الشكل (13) نقاط القوة ونقاط الضعف لقطاع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية في عدد من المؤشرات الفرعية، والتي شملت: مشروعات توليد الكهرباء بنظام منتج الطاقة المستقل (IPPS)، الوصول إلى الشبكة (Grid Access)، الالتزام السياسي (RE Commitment)، السياسات الداعمة (Supporting policies)، الدعم الحكومي للطاقة

(Energy Subsidies)، المؤسسات المعنية بالطاقة المتجددة (Renewable Energy Institutions)، دعم المشاريع (Project Support)، التمويل (Financing)، ورصد انبعاثات الكربون (Carbon emission and monitoring).



الشكل (13): نتائج أداء المملكة في المؤشرات الفرعية حسب تقييم (AFEX) للطاقة المتجددة، 2023م (المؤشر العربي لطاقة المستقبل، 2023، 19).

3-3 مؤشر تحول الطاقة (ETI) The Energy Transition Index

من الجدول (2)، نجد أن المملكة احتلت المرتبة 57 من بين 120 دولة في مؤشر تحول الطاقة (ETI 2023) مقابل المرتبة 81 في العام 2021م؛ حيث بلغت قيمة المؤشر 55.3% (مقابل 54% في 2021). أما فيما يتصل بالمؤشرات الفرعية؛ فقد سجلت المملكة العربية السعودية تحسناً ملموساً في مؤشر أداء نظام الطاقة ومؤشر الاستعداد للتحول الطاقى، وكما هو مبين في الشكل (14) والشكل (15).

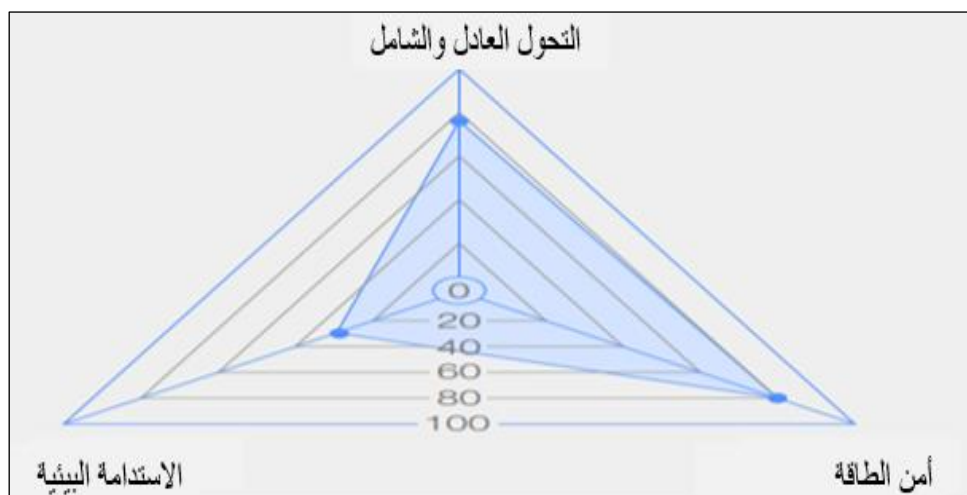
الجدول (2): نتائج المملكة العربية السعودية في مؤشر تحول الطاقة، 2023م.

المرتبة	قيمة المؤشر	الاستعداد للتحول	أداء نظام الطاقة	البلد
57	55.3%	45.3%	62%	المملكة العربية السعودية

المصدر: تقرير المنتدى الاقتصادي العالمي: "تعزيز الانتقال الفعال للطاقة 2023"، ص 12.

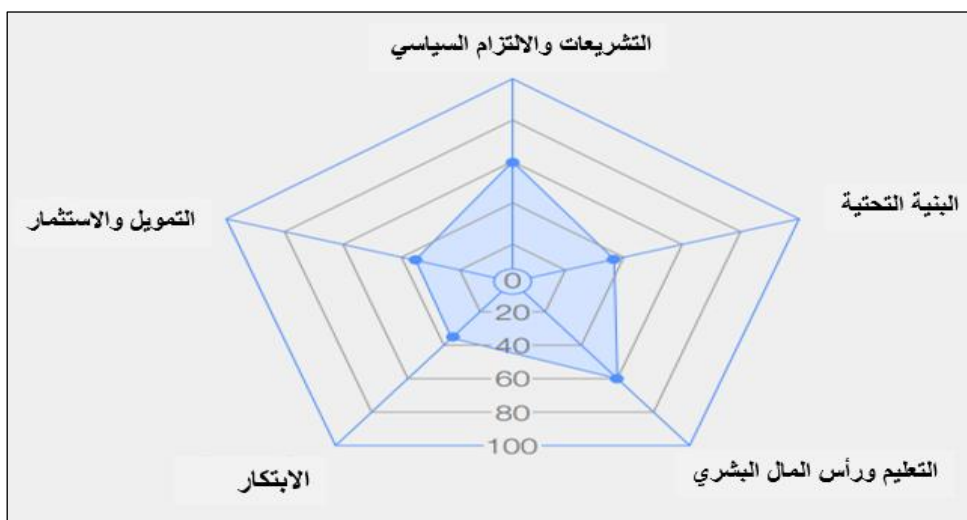
من الشكل (14)، يمكن ملاحظة تقدم المملكة في المؤشر الفرعي المتعلق بنجاح أداء نظام الطاقة، حيث حققت مراتب متقدمة في بعدي أمن الطاقة والتحول العادل والشامل، ومع أن ترتيبها في بعد الاستدامة البيئية يشهد تقدماً، إلا أنه لا يزال هناك مجال للتحسين، وخاصة في تقليل كثافة الطاقة وتقليل كثافة الكربون في مزيج الطاقة. ولتحقيق هذه

الغاية، يمكن تنفيذ تدابير تتمثل في التوسع في موارد الطاقة المتجددة، وكذلك استخدام تقنيات احتجاز الكربون (المنتدى الاقتصادي العالمي، 2023).



الشكل (14): سجل المملكة في أداء نظام الطاقة (المنتدى الاقتصادي العالمي، 2023، 51)

يشير الشكل (15) إلى أن المملكة العربية السعودية قد أحرزت تقدماً كبيراً في التشريعات والالتزام السياسي- ضمن المؤشر الفرعي "الاستعداد للتحول"، ما يشير إلى التعزيز التدريجي والمضطرد للبيئة المواتية لانتقال الطاقة في البلد.



الشكل (15): نتائج أداء المملكة في الاستعداد للتحول (المنتدى الاقتصادي العالمي، 2023، 51)

4-3 البرنامج الوطني للطاقة المتجددة، والهيدروجين الأخضر

يهدف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة، الذي تم إطلاقه في العام 2017، إلى إنتاج 58.7 جيجاواط من الطاقة المتجددة بحلول 2030 تركز بالأساس على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح (Al-Gahtani, 2024). يتوافق هذا الهدف مع رؤية المملكة 2030 في الوصول إلى توليد 50% من الكهرباء من مصادر متجددة. وفي إطار استراتيجيتها الشاملة لتحول الطاقة، تسعى المملكة العربية السعودية للريادة العالمية في إنتاج الهيدروجين الأخضر مستفيدة من معدل الإشعاع

الشمسي المرتفع (Manal, 2025). وقد أشار (Alyousef, et al., 2025) إلى الإمكانيات الكبيرة للهيدروجين الأخضر في إزالة الكربون من القطاعات التي يصعب فيها الاعتماد على الكهرباء، مثل الطيران والشحن والصناعات الثقيلة. وتعكس مشروعات المملكة العربية السعودية في مجال الهيدروجين الأخضر، وعلى رأسها المشروع المقام في مدينة نيوم هذا التوجه الاستراتيجي، كما تبرز طموح المملكة في أن تصبح مركزاً عالمياً لتصدير الهيدروجين الأخضر.

3-5 مبادرات كفاءة الطاقة

يعد برنامج كفاءة استخدام الطاقة من البرامج الفرعية الداعمة لرؤية السعودية 2030؛ حيث تسعى المملكة العربية السعودية من خلال البرنامج إلى تحقيق الاستدامة البيئية وخفض انبعاثات غازات الدفيئة. وقد مر مشروع كفاءة الطاقة السعودي بالمراحل التالية:

- إطلاق البرنامج الوطني لإدارة وترشيد الطاقة 2003 بمبادرة من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والذي يهدف إلى تحسين وترشيد استخدام الطاقة، وعلى وجه الخصوص الطاقة الكهربائية.
- المركز السعودي لكفاءة الطاقة: تأسس المركز في العام 2010، وهو مركز وطني حكومي يتولى مسؤولية الإشراف على ترشيد ورفع كفاءة استهلاك الطاقة، وتوحيد الجهود بين الجهات الحكومية وغير الحكومية في هذا المجال بالعمل على المحافظة على الثروة الوطنية من مصادر الطاقة وتحقيق أدنى مستويات الاستهلاك الممكنة بالنسبة للناتج المحلي.
- البرنامج السعودي لكفاءة الطاقة، 2012: ويهدف إلى تجنب استهلاك الطاقة بنحو 5.1 مليون برميل يومياً بحلول عام 2030، ويمثل تخفيض بنسبة 20% في استهلاك الطاقة المتوقع بدون البرنامج.

وحسب الإحصاءات الرسمية، تستهلك قطاعات الصناعة والمباني والنقل مجتمعة نحو 90% من إجمالي استهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية. ويستهدف البرنامج السعودي لكفاءة الطاقة خفض كثافة استهلاك الطاقة في هذه القطاعات الثلاثة الرئيسية. وقد قطعت المملكة شوطاً كبيراً في معايير تحسين ورفع كفاءة استهلاك الطاقة في هذه القطاعات الرئيسية والاستخدامات المرتبطة بإمكانياتها في تحقيق وفر في الطاقة. وتركز هذه المعايير على قطاعي النقل والبناء؛ فعلى سبيل المثال، أصبح تطبيق العزل الحراري إلزامي على جميع المباني في المدن الرئيسية بمناطق المملكة.

وفقاً للتقرير السنوي الصادر عن المركز السعودي لكفاءة الطاقة؛ فقد بلغ إجمالي الوفر في استهلاك الطاقة الأولية من تطبيق مبادرات كفاءة الطاقة نحو 492 ألف برميل نفط مكافئ يومياً، بزيادة بلغت نحو 16% مقارنة بالعام 2021. كما بلغ حجم الانبعاثات التي تم خفضها في العام نفسه بسبب هذه المبادرات نحو 57 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون، بنسبة تحسين بلغت 12% مقارنة بالعام 2021 (المركز السعودي لكفاءة الطاقة، 2023).

4- نموذج قياسي لاختبار تحقق فرضية منحى كوزنتس البيئي في الاقتصاد السعودي

4-1 بيانات الدراسة

يهدف هذا الجزء من الدراسة إلى استكشاف العلاقة بين النمو الاقتصادي (مقاساً بالناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد) والتدهور البيئي (مقاساً بانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون للفرد) واستخدام الطاقة في المملكة العربية السعودية خلال الفترة (1980-2022)، وذلك في إطار فرضية EKC. الجدول (3) يقدم تعريفاً بمتغيرات الدراسة ومصادر البيانات.

الجدول (3): تعريف بمتغيرات الدراسة ومصادر البيانات

المتغير	الوصف	مصادر البيانات
CO_2	انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد (بالطن المتري)	WDI
$RGDP$	الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد (ألف دولار)	WDI
EC	استهلاك الطاقة الأولية (مكافئ كغم من النفط للفرد)	EIA

EIA: U.S. Energy Information Administration (<https://www.eia.gov/international/data/world>)

WDI: World Development Indicators <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

2-4. النموذج القياسي ومنهجية تقديره

لتقدير العلاقة بين النمو الاقتصادي، واستهلاك الطاقة، وجودة البيئة في إطار فرضية منحى كوزنتس البيئي، يأخذ النموذج الرياضي للدراسة الصيغة التالية:

$$CO_2 = f(RGDP, (RGDP)^2, EC) \quad (1)$$

حيث أن:

CO_2 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد

$RGDP$: الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد

$(RGDP)^2$: مربع الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد

EC : استخدام الطاقة للفرد.

تم استخدام التحويل اللوغاريتمي للبيانات وفقاً للمعادلة التالية:

$$\ln CO_{2t} = \alpha + \beta_1 \ln RGDP_t + \beta_2 (\ln RGDP_t)^2 + \beta_3 \ln EC_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

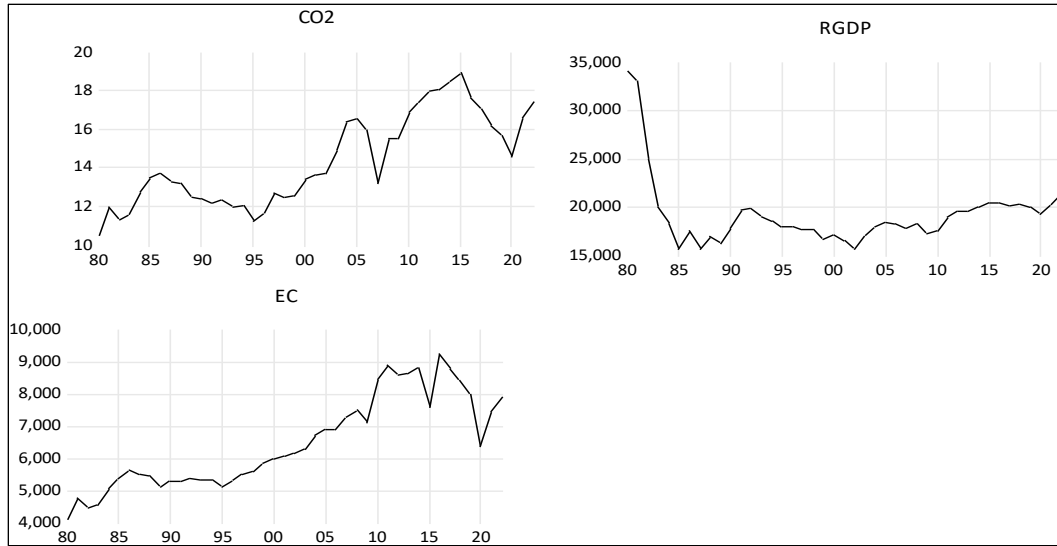
حيث أن $\ln RGDP_t$ ، $(\ln RGDP_t)^2$ ، $\ln EC_t$ تمثل التحويل اللوغاريتمي للمتغيرات المستقلة في النموذج، و $\ln CO_{2t}$ التحويل اللوغاريتمي للمتغير التابع. و α هي معلمة القاطع، و β_k معلمة المتغير المستقل المعني، بينما ε_t حد الخطأ، و t الزمن.

لتقدير النموذج المقترح تستخدم هذه الدراسة طريقة الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية المتباطئة والموزعة (ARDL) التي طورها (Pesaran, et al., 2001)، والتي تستخدم لاختبار التكامل المشترك وتقدير العلاقات قصيرة الأجل وطويلة الأجل بين المتغيرات. تتميز هذه الطريقة بأنه لا يستلزم تطبيقها أن تكون السلاسل الزمنية متكاملة من الرتبة نفسها، وإنما يشترط تكاملها عند الرتبة صفر $I(0)$ ، أو الرتبة واحد $I(1)$ أو مزيج بينهما، ولكن يجب ألا تكون متكاملة عند الرتبة الثانية $I(2)$.

3-4 نتائج تقدير النموذج

1-3-4 تطور متغيرات الدراسة وأهم الإحصاءات الوصفية

تُظهر البيانات الموجودة بالشكل (16) أن استخدام الطاقة في المملكة العربية السعودية قد ارتفع من 4100.38 كيلوجرام مكافئ نفط للفرد إلى 7916.32 كيلوجرام مكافئ نفط للفرد خلال الفترة (1980-2022). كذلك ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المملكة من 10.53 إلى 17.54 طن متري للفرد خلال الفترة المذكورة.



الشكل (16): تطور متغيرات الدراسة خلال الفترة (1980-2022)

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على مخرجات برنامج (Eviews13).

يوضح الجدول (4) أهم مقاييس الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة.

الجدول (4): الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة

المتغير	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أعلى قيمة	أقل قيمة
$LnCO_2$	2.653	0.163	2.942	2.354
$LnRGDP$	9.851	0.157	10.43575	9.659
$(LnRGDP)^2$	97.069	3.153	108.905	93.307
$LnEC$	8.750	0.219	9.133	8.319
عدد المشاهدات	43			

المصدر: من إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

2-3-4 نتائج اختبار جذر الوحدة

يتبين من نتائج اختبارات الاستقرار بالجدول (5) أنَّ المتغيرات مستقرة بعد أخذ الفرق الأول، أي أنها متكاملة من الرتبة (1).I.

الجدول (5): نتائج اختبار جذر الوحدة باستخدام اختبار ديكي-فولر الموسع واختبار فيليبس- بيرون

المتغير	اختبار ADF				اختبار PP		
	المستوى	الدلالة	الفرق الأول	الدلالة	المستوى	الدلالة	الفرق الأول
$\ln CO_2$	1.088	0.925	-6.885	0.000	1.225	0.941	-6.922
$\ln RGDP$	-0.965	0.294	-3.598	0.000	-0.751	0.385	-4.592
$(\ln RGDP_t)^2$	-1.050	0.260	-3.673	0.000	-0.826	0.352	-4.507
$\ln EC$	1.267	0.946	-8.164	0.000	1.467	0.963	-8.164

المصدر: من إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

3-3-4 اختبار التكامل المشترك وفقا لمنهجية الحدود.

للتحقق من وجود تكامل مشترك بين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون والمتغيرات التفسيرية في النموذج، تم إجراء اختبار الحدود، كما هو موضح بالجدول (6).

الجدول (6): نتائج اختبار للتكامل المشترك (اختبار الحدود)

الحد الأعلى	الحد الأدنى	مستوى المعنوية	القيمة
3.10	2.01	10%	5.93
3.63	.245	5%	
4.16	2.87	2.5%	
4.84	3.42	1%	

المصدر: من إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

يلاحظ من الجدول المذكور أن قيمة F أكبر من القيم الحرجة للحد الأدنى (0) والحد الأعلى (1) عند مستويات الدلالة المختلفة، ومن ثم يتم رفض فرضية عدم القائلة بعدم وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين متغيرات الدراسة، وقبول الفرضية البديلة القائلة بوجود علاقة تكامل مشترك بين المتغيرات.

4-3-4 نتائج تقدير نموذج ARDL

يظهر الجدول (7) قيم المعاملات طويلة الأجل للعلاقة بين النمو الاقتصادي، وجودة البيئة، واستهلاك الطاقة.

الجدول (7): المقدرات طويلة الأجل لنموذج $ARDL(0,0,0,1)$ *

المتغيرات التفسيرية	المعاملات	الخطأ المعياري	t إحصائية	P القيمة الاحتمالية
$\ln RGDP$	-5.2767	3.1038	-1.7001	0.0971
$(\ln RGDP_t)^2$	0.0421	0.0126	3.3300	0.0020
$\ln EC$	0.6895	0.0689	10.0100	0.0000
C	23.9954	26.2936	0.9100	0.3670

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

يلاحظ أن معامل الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد سالب، بينما معامل مربع الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد موجب، أي أن العلاقة تأخذ شكل الحرف (U). وعليه نخلص إلى عدم انطباق فرضية منحني كوزنتس البيئي على الاقتصاد السعودي. بالنسبة لتأثير استهلاك الطاقة على جودة البيئة؛ فإن النتائج بالجدول المذكور تظهر وجود علاقة طردية دالة إحصائية بين استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ما يشير إلى التأثير السلبي لاستهلاك الطاقة على الجودة البيئية في المملكة العربية السعودية. تتوافق هذه النتائج مع دراسة (Alkhathlan and Javid, 2013)، ودراسة (Alfantookh, et al., 2023) حيث توصلت الدراستان إلى عدم تحقق فرضية منحني كوزنتس البيئي في الاقتصاد السعودي، كما تتفق مع العديد من الدراسات التي أشارت إلى عدم انطباق فرضية منحني كوزنتس البيئي على كافة البلدان الغنية، بما يعني أن النمو الاقتصادي لا يكفي وحده لتحسين جودة البيئة في تلك الدول. على سبيل المثال، توصلت دراسة (Baek, 2015) إلى عدم انطباق فرضية منحني كوزنتس البيئي على ست دول غنية من الدول التي شملتها الدراسة (وهي: كندا والدنمارك وفنلندا والنرويج والسويد والولايات المتحدة). وحتى في حالة الدول الغنية التي نجحت بالفعل في الفصل بين نمو الناتج المحلي الإجمالي وانبعاثات غازات ثاني أكسيد الكربون، فإن هذا الفصل لا يتم بالوتيرة المطلوبة للوفاء بتعهدات المناخ المتفق عليها عالمياً.

وتتوافق هذه النتائج مع ما أورده تقرير فجوة الانبعاثات لعام 2024 الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة، والذي أشار إلى أن سبع دول من مجموعة العشرين، من بينها المملكة العربية السعودية، لم تبلغ بعد ذروة انبعاثاتها، وهي: الصين، الهند، إندونيسيا، المكسيك، المملكة العربية السعودية، كوريا الجنوبية، وتركيا. ويُقصد بذلك أن هذه الدول لم تسجل بعد أعلى مستوى للانبعاثات قبل خمس سنوات على الأقل من سنة أحدث البيانات المتاحة. (UNEP, 2024).

5-3-4 نموذج تصحيح الخطأ (ECM) Error Correction Model

يستخدم نموذج تصحيح الخطأ لقياس سرعة تصحيح الخطأ في الأجل القصير واستعادة التوازن في الأجل الطويل من خلال معلمة تصحيح الخطأ التي يجب أن تكون ذات قيمة سالبة ومعنوية إحصائية. ويوضح الجدول (8) نتائج نموذج تصحيح الخطأ.

الجدول (8): نتائج نموذج تصحيح الخطأ $ARDL(1, 0, 0, 0)$ *

CointEq(-1)	إحصاءة T	P-value
- 0.591	- 4.55	0.000

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

يتضح من الجدول (8) أن معامل تصحيح الخطأ (-1) CointEq سالب ومعنوي إحصائياً عند مستوى دلالة أقل من 1%، وتشير قيمة المعامل إلى أنه بسرعة 59% يتم تصحيح الاختلال في الأجل القصير والعودة إلى التوازن في الأجل الطويل.

4-3-6 الاختبارات التشخيصية

أ. اختبارات الارتباط الذاتي، عدم ثبات التباين، والتوزيع الطبيعي للأخطاء

للتأكد من أن النموذج لا يعاني من مشاكل القياس، تم إجراء اختبار مضروب لاجرانج للارتباط الذاتي بين البواقي، واختبار عدم ثبات التباين، واختبار التوزيع الطبيعي للأخطاء، كما هو مبين بالجدول (9).

الجدول (9): نتائج الاختبارات التشخيصية

الاختبار	القيمة الاحتمالية
اختبار مضروب لاجرانج	0.3361
اختبار عدم ثبات تباين حد الخطأ	0.6039
اختبار التوزيع الطبيعي للأخطاء	0.978

المصدر: إعداد الباحثين باستخدام برنامج (Eviews13).

من خلال القيم الاحتمالية بالجدول (9)، نخلص إلى النتائج التالية:

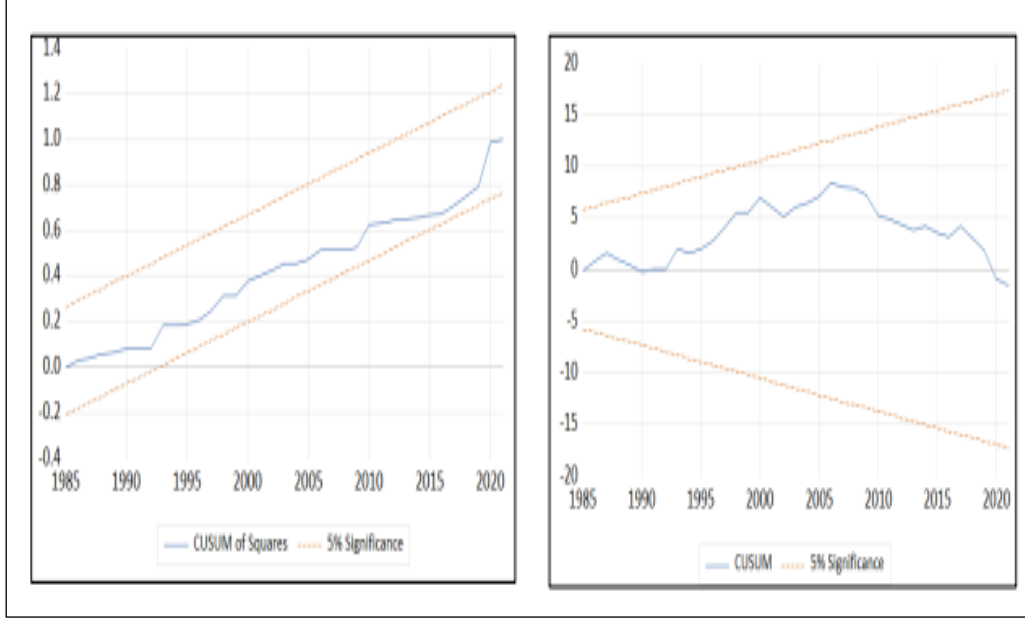
-عدم رفض فرضية عدم القائلة بأن الأخطاء العشوائية تتوزع توزيعاً طبيعياً.

-عدم رفض فرضية عدم القائلة بعدم وجود مشكلة ارتباط ذاتي بين البواقي.

-عدم رفض فرضية عدم القائلة بثبات تباين الخطأ.

ب. اختبار استقرارية النموذج المقدر

يكون النموذج المقدر مستقراً وفقاً لهذين الاختبارين إذا كان منحني الأخطاء يقع داخل الحدود الحرجة بين الخط العلوي والخط السفلي عند مستوى الدلالة (0.05)، وعندما يكون الخط البياني للأخطاء خارج الحدود الحرجة عند مستوى الدلالة (0.05) فإن ذلك يعني أن النموذج المقدر لا يتسم بالاستقرارية. يلاحظ من الشكل (17) أن النموذج المقدر يتسم بالاستقرارية.



الشكل (17): اختبار المجموع التراكمي للبواقي (CUSUM) ومربعات البواقي (CUSUMSQ)

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على مخرجات برنامج (Eviews13).

5- خاتمة.

أولاً- أهم النتائج

- 1- يحظى التحول الطاقى بمكانة مرموقة في المنظومة السياسية والتشريعية في البلاد وبدعم من القيادة العليا ممثلة في صاحب السمو الأمير محمد بن سلمان.
- 2- حسب المؤشر العربي لطاقة المستقبل (AFEX 2023)، فإنّ التقييم النهائي لأداء المملكة العربية السعودية في قطاع الطاقة المتجددة بلغت نسبته 69%، وبذلك تحتل المملكة المركز الثامن عربياً، بعد كل من مصر والأردن والمغرب وتونس والإمارات والجزائر وفلسطين.
- 3- تقدمت المملكة العربية السعودية في مؤشر تحول الطاقة (ETI 2023)، واحتلت المرتبة 57 من بين 120 دولة مقابل المرتبة 81 في العام 2021م، كما تقدمت في المؤشر الفرعي المتعلق بنجاعة أداء نظام الطاقة والمؤشر الفرعي المتعلق بالاستعداد للانتقال.
- 4- تشكل الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر ركيزتين للمستقبل، في حين يبقى النجاح مرهوناً بالتغلب على التحديات التقنية والمالية والتنظيمية.
- 5- إنّ انبعاثات المملكة من ثاني أكسيد الكربون للفرد الواحد، والتي بلغت 17.5 طن متري في عام 2022، تتجاوز بكثير المتوسط العالمي البالغ 4.7 طن متري، مما يؤكد حجم تحدي إزالة الكربون.

6- وجود علاقة طردية دالة إحصائيًا بين استهلاك الطاقة وانبعثات غاز ثاني أكسيد الكربون؛ أي أن استهلاك الطاقة له تأثير سلبي على جودة البيئة في المملكة العربية السعودية.

7- أظهرت النتائج أن العلاقة بين النمو الاقتصادي وانبعثات ثاني أكسيد الكربون في الاقتصاد السعودي تأخذ شكل حرف (U)، ما يشير إلى عدم انطباق فرضية منحني كوزنتس البيئي على الاقتصاد السعودي، وهذا يعني أنه لم يتحقق الفصل بين النمو الاقتصادي والتدهور البيئي.

8- تتفق نتائج التحليل القياسي مع تقرير فجوة الانبعثات لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة لعام 2024، والذي أشار إلى أن سبع دول من مجموعة العشرين، بما في ذلك المملكة العربية السعودية، لم تصل بعد إلى ذروة انبعثاتها الكربونية. هذه الدول هي: الصين، الهند، إندونيسيا، المكسيك، المملكة العربية السعودية، كوريا الجنوبية، وتركيا.

ثانياً- التوصيات

1 -تسريع الاستثمار في الطاقة المتجددة لتحقيق الفصل عن الوقود الأحفوري: لتحقيق أهداف التحول الطاقى، توصي الدراسة بتسريع وتيرة الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة. يتطلب هذا التوجه الاستراتيجي تعزيز الابتكار على امتداد سلسلة القيمة لقطاع الطاقة بهدف فصل النمو الاقتصادي عن استهلاك الوقود الأحفوري. هذا التحول لن يسهم فقط في خفض الانبعثات الكربونية، بل سيعزز أيضاً من الأمن الطاقى ويفتح آفاقاً جديدة للنمو الاقتصادي.

2 -التركيز على كفاءة الطاقة: العمل على تطبيق إلزامية معايير كفاءة الطاقة في الصناعة والمباني، وتعميم نظام العزل الحراري للمباني في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية بعد نجاح تجربة تطبيقه في المدن الرئيسية. كذلك من الضروري مراجعة سياسات دعم الطاقة .

3 -تعزيز الابتكار في الاقتصاد الدائري للكربون: لتحقيق أهداف إزالة الكربون بما ينسجم مع رؤية السعودية 2030، يتطلب ذلك إعادة توجيه الاستراتيجيات نحو تفعيل الابتكار في الاقتصاد الدائري للكربون. يركز هذا التوجه على دمج تقنيات احتجاز وتخزين الكربون (CCS) في القطاعات الصناعية كثيفة الاستهلاك للطاقة وذات الانبعثات العالية، مثل صناعات الأسمنت، والصلب، والبتروكيماويات.

4 -تطوير بنية تحتية للذكاء الاصطناعي لدعم التحول الطاقى المستدام: لتحقيق الأهداف الطموحة في مجال الطاقة المتجددة والاقتصاد المستدام ضمن رؤية المملكة، من الضروري الاستثمار في بنية تحتية متقدمة للذكاء الاصطناعي. يمكن الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة وفي توقع أنماط الإنتاج من الطاقة المتجددة وفي إدارة شبكات الطاقة الذكية. يجب أن تترافق هذه الخطوات مع تأهيل الكوادر الوطنية في هذا المجال لضمان قدرة المملكة على قيادة الابتكار والاستفادة الكاملة من التقنيات المستقبلية

5- تعزيز الشراكات الدولية: بناء شراكات استراتيجية مع الدول الرائدة في مجالات الطاقة المتجددة، وتسهيل نقل المعرفة والخبرات، والمشاركة الفعالة في المنتديات والمبادرات العالمية المتعلقة بالمناخ لترسيخ مكانة المملكة في قيادة العمل المناخي العالمي.

قائمة المراجع:

أ- المراجع العربية

- الإسكوا (2019). تتبع الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة: تقرير بشأن التقدم المحرز في مجال الطاقة في المنطقة العربية. <https://short-link.me/Lu2w>
- البنك الدولي، برنامج المساعدة في إدارة قطاع الطاقة (2025). تقرير تتبع الهدف السابع من أهداف التنمية المستدامة: التقدم نحو تحقيق الطاقة المستدامة. <https://trackingsdg7.esmap.org/results>
- مهي، ناهد طلعت وآخرون، (2018). استخدام سياسات الفصل (decoupling) لمواجهة التحديات البيئية للموارد المائية في مصر. *مجلة العلوم البيئية*، 43(2)، 185-165.
- المركز السعودي لكفاءة الطاقة (2023): *التقرير السنوي 2023* <https://www.seec.gov.sa/media/ca4fjzki/2023.pdf>
- مهدي، خلادي محمد أمين، (2020). الاستدامة الضعيفة والقوية: بين المتطلبات العملية للرفاهية وصون البيئة- دراسة مقارنة. *مجلة الاقتصاد والبيئة*، 3(3)، 43-30.

Arabic References:

المراجع العربية المترجمة

- ESCWA (2019). Tracking SDG 7: Energy Progress Report in the Arab Region. <https://short-link.me/Lu2w>
- The World Bank, Energy Sector Management Assistance Program (2025). *Tracking SDG 7: Progress towards sustainable energy*. <https://trackingsdg7.esmap.org/results>
- Mehny, Nahed, T. et al., (2018). Use of Decoupling Policies to Address the Environmental Challenges of Water Resources in Egypt. *Journal of Environmental Science*, 43(2), 185-165
- Saudi Energy Efficiency Center (2023). *Annual Report 2023*: <https://www.seec.gov.sa/media/ca4fjzki/2023.pdf>
- Mehdi, Khelladi Mohammad Amine, (2020). The Weak and Strong Sustainability: between practical requirements of welfare and nature conservation: A comparative Study. *Journal of Economics and Environment*, 3(3), 43-30

English References

ب- المراجع الأجنبية

- Acaravci, A., & Ozturk, I. (2010). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420.
- AFEX (2023). *Renewable Energy. Retrieved from Arab Future Energy Index*. <https://www.undp.org/arab-states/publications/arab-future-energy-index-2023>.
- Alfantookh, N., et al., (2023). Implications of Transition towards Manufacturing on the Environment: Saudi Arabia's Vision 2030 Context. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(1), 1-13.
- Al-Gahtani, S.F. (2024). Saudi Arabia's Journey toward a Renewable Future. *Energies*, 17(11), 2444. <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/11/2444>
- Alkathlan, K. and Javid, M., (2013). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Saudi Arabia: An aggregate and disaggregate analysis, *Energy Policy*, 62, 1525-1532.
- Alyousef, M., et al., (2025). Mapping Saudi Arabia's low emissions transition path by 2060: An input-output analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 211, 123920. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162524007182?via%3Dihub>

- Baek, J. (2015). Environmental Kuznets Curve for CO2 emissions: The case of Arctic countries, *Energy Economics*, 50, 13-17.
- Barua, A., and Khataniar, B., (2016). Strong or weak sustainability: A case study of emerging Asia. *Asia-Pacific Development Journal*, 22(1), 1-31.
- EIA: U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/international/data/world>.
- Ertugrul, H. M., Cetin, M., Seker, F., & Dagon, E. (2016). The impact of trade openness on global carbon dioxide emissions: Evidence from top ten emitters among developing countries. *Ecological Indicators*, 67, 543-555.
- Grossman, G.M, & Krueger, A.B. (1991). “*Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*”. NBER Working Papers Series No. 3914, NBER.
- Kuznets, S (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Loiseau, E., et al., (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of cleaner production*, 139, 361-371.
- Onafowora, O. A., & Owoye, O. (2014). Bounds testing approach to analysis of the environmental Kuznets curve hypothesis. *Energy Economics*, 44, 47-62.
- Pesaran, M., et al., (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationship. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Shafik, N., & Banfyopafhyay, S. (1992). “*Economic Growth and environmental quality*” Time series and cross-country evidence”, *World Bank Policy Research Working Paper*, WPS 904.
- The World Economic Forum (2023). *Energy Transition Index: Fostering Effective Energy Transition*:<https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>.
- UNEP (2011). *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel*.
- UNEP (2024). *Emissions Gap Report 2024: No more hot air... please!*: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>.
- World Development Indicators: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.