هل يمكن للطاقة الخضراء أن تواجه تداعيات التغير المناخي في مصر: تقييم تجريبي في إطار استراتيجية مصر 2050

محمد حسانين محمد
معيد بقسم الاقتصاد – كلية التجارة – جامعة بنها

أ.د/ حسني حسن مهران
أستاذ الاقتصاد وعميد الكلية الأسبق
كلية التجارة – جامعة بنها
وعميد المعهد العالي للعلوم الادارية بجناكليس

د/ مروة السيد كمال
مدرس الاقتصاد
كلية التجارة – جامعة بنها

الملخص

تُعد ظاهرة التغير المناخي من أبرز التحديات التي تواجه الاقتصادات المعاصرة، ولا سيما الاقتصادات النامية، في ظل التزايد المستمر في الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة كثيفة الانبعاثات الكربونية، وما يرتبط بذلك من آثار بيئية واقتصادية واجتماعية تهدد تحقيق التنمية المستدامة. وفي هذا السياق، هدفت الدراسة إلى تحليل مدى فاعلية التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في مواجهة التغير المناخي في مصر، في ضوء مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، إلى جانب دراسة واقع قطاع الطاقة في مصر وفرص التحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات. ولتحقيق أهداف الدراسة، اعتمدت على المنهج التحليلي الوصفي، من خلال تناول الإطار النظري للطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء والتغير المناخي، وتحليل تطورات قطاع الطاقة في مصر ومستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050. وتوصلت الدراسة إلى أن استمرار الاعتماد على الوقود الأحفوري يُعد أحد أهم العوامل المساهمة في تفاقم ظاهرة التغير المناخي في مصر، وفي المقابل، يسهم التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في الحد من الانبعاثات الكربونية ودعم جهود مواجهة التغير المناخي، إلا أن مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة المصري ظلت محدودة خلال معظم فترة الدراسة، كما أظهرت الدراسة أن النمو الاقتصادي وما يصاحبه من زيادة الطلب على الطاقة والأنشطة الإنتاجية كثيفة الانبعاثات يمثل أحد العوامل المؤثرة في زيادة الانبعاثات الكربونية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الخضراء، الطاقة غير المتجددة، التغير المناخي، الاستراتيجية الوطنية للتغير المناخ 2050

Abstract:

Climate change is one of the most significant challenges facing contemporary economies, particularly developing economies, in light of the continued reliance on carbon-intensive non-renewable energy sources and the associated environmental, economic, and social impacts that threaten the achievement of sustainable development. In this context, the study aimed to analyze the effectiveness of expanding the use of green energy in addressing climate

change in Egypt, in light of the targets of the National Climate Change Strategy 2050, while also examining the current state of Egypt's energy sector and the opportunities for transitioning toward a low-emission economy. To achieve the study's objectives, the descriptive-analytical approach was adopted by addressing the theoretical framework of non-renewable energy, green energy, and climate change, as well as analyzing developments in Egypt's energy sector and the targets of the National Climate Change Strategy 2050. The study concluded that continued reliance on fossil fuels is one of the key factors contributing to the worsening of climate change in Egypt. In contrast, expanding the use of green energy contributes to reducing carbon emissions and supporting efforts to address climate change; however, the contribution of renewable energy to Egypt's energy mix remained limited throughout most of the study period. The study also showed that economic growth, accompanied by increased energy demand and emission-intensive production activities, represents one of the factors contributing to higher carbon emissions.

Keywords: Green Energy, Non-Renewable Energy, Climate Change, National Climate Change Strategy 2050.

1. المقـــدمـــة

أصبحت قضية التغير المناخي واحدة من أكثر القضايا إلحاحاً وتعقيداً في الاقتصاد العالمي المعاصر، لما تفرضه من تداعيات اقتصادية وبيئية واجتماعية متزايدة تهدد مسارات التنمية المستدامة، ولا سيما في الاقتصادات النامية التي تعتمد بدرجة كبيرة على مصادر الطاقة التقليدية كثيفة الانبعاثات الكربونية. فقد أدى التوسع المستمر في استخدام الوقود الأحفوري منذ الثورة الصناعية الأولى إلى ارتفاع غير مسبوق في تركيزات غازات الاحتباس الحراري، وعلى رأسها غاز ثاني أكسيد الكربون، الأمر الذي انعكس في صورة ارتفاع متوسط درجات الحرارة العالمية، وتزايد الظواهر المناخية المتطرفة، وتفاقم مشكلات التصحر وندرة المياه (IPCC, 2023). وفي هذا السياق، تشير تقديرات الوكالة الدولية للطاقة International Energy Agency إلى أن قطاع الطاقة يمثل المصدر الأكبر لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة عالميًا، وذلك نتيجة الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري. الأمر الذي يسهم في تفاقم ظاهرة تغير المناخ والضغوط البيئية، مما يجعل التحول نحو الطاقة النظيفة أحد المحاور الأساسية لتحقيق أهداف الحياد الكربوني والتنمية المستدامة (IEA, 2022).

وقد أدى التنامي المتسارع للمخاطر المناخية وما يرتبط بها من خسائر اقتصادية وبيئية واجتماعية إلى إحداث تحول جوهري في توجهات السياسات الاقتصادية والتنموية الدولية; إذ أصبح التحول نحو الاقتصاد الأخضر وتعزيز الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة أحد المرتكزات الأساسية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، وتعزيز القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية. وفي هذا الإطار، برزت الطاقة المتجددة باعتبارها أحد أهم الأدوات الاستراتيجية القادرة على تحقيق التوازن بين متطلبات النمو الاقتصادي والحفاظ على الاستدامة البيئية، خاصة في ظل التزايد المستمر في الضغوط المرتبطة بأمن الطاقة وتقلبات أسواق الوقود الأحفوري وارتفاع مستويات الانبعاثات الكربونية. وقد أكدت العديد من الأدبيات ذات الصلة بهذا المجال إلى أن التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة يسهم بصورة مباشرة في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، بما يدعم جهود الانتقال إلى أنماط إنتاج واستهلاك أكثر استدامة. كما تؤكد الدراسات التطبيقية وجود علاقة إيجابية بين استهلاك الطاقة المتجددة والنمو الاقتصادي المستدام، وذلك من خلال ما توفره هذه المصادر من فرص لتحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، وتعزيز الابتكار التكنولوجي، وخلق فرص عمل جديدة، وتحفيز الاستثمارات الخضراء، فضلًا عن الحد من التقلبات الاقتصادية المرتبطة بأسعار الطاقة التقليدية (Sadorsky, 2009; Apergis & Payne, 2010). وفي السياق ذاته، تؤكد تقارير IEA أن تحقيق هدف الحياد الكربوني بحلول عام 2050 يتطلب إجراء تحول هيكلي شامل في منظومة الطاقة العالمية، بحيث يرتكز على التوسع المكثف في مصادر الطاقة منخفضة الكربون، وزيادة

الاســـتثمارات في تقنيات الطاقة النظيفة، وتســـريع وتيرة التحول نحو الكهرباء النظيفة والهيدروجين الأخضر، إلى جانب تعزيز كفاءة الطاقة وتطوير البنية التحتية الداعمة للتحول الأخضر. أيضا، توضح هذه التقارير أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح تمثلان المحرك الرئيسي للتحول العالمي في قطاع الطاقة خلال العقود المقبلة، نظرًا لقدرتها المتزايدة على توفير بدائل مســـتدامة وذات كفاءة اقتصـــادية مقارنة بمصادر الطاقة التقليدية (IEA, 2023).

1.1 أهمية الدراسة

على الرغم الاهتمام العالمي المتزايد بالطاقة الخضراء وسياسات التحول نحو الاقتصاد منخفض الكربون، لا تزال العديد من الاقتصادات النامية تواجه تحديات هيكلية ومؤسسية تعوق تسريع عملية التحول نحو الطاقة النظيفة، وذلك نتيجة استمرار الاعتماد المكثف على مصادر الطاقة التقليدية لتلبية متطلبات النمو الاقتصادي والتوسع الصناعي والزيادة السكانية المتسارعة. ويرتبط ذلك بمجموعة قيود أساسية، من أبرزها ارتفاع تكاليف التحول إلى الطاقة النظيفة، وضعف البنية التحتية للطاقة المتجددة، ومحدودية التمويل الأخضر، إضافة إلى الاعتماد التاريخي على الوقود الأحفوري كمصدر رئيسي للإنتاج والطاقة. الأمر الذي يزيد من تعقيد تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية الاقتصادية وأهداف الاستدامة البيئية (IRENA, 2023; IEA, 2023). وفي هذا السياق، تُعد العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية من أكثر القضايا إثارة للاهتمام والجدل في الأدبيات الاقتصادية والبيئية المعاصرة، خاصة في ظل تباين نتائج الدراسات التطبيقية بين الدول المتقدمة والنامية.

وقد برزت فرضـية منحنى كوزنتس البيئي (Environmental Kuznets Curve–EKC) كإطار نظري رئيســي لتفســير العلاقة الديناميكية بين النمو الاقتصــادي والتدهور البيئي; إذ تفترض أن التلوث البيئي يميل إلى الارتفاع خلال المراحل الأولى من النمو الاقتصــادي نتيجة التوســع الصــناعي وزيادة استهلاك الطاقة، ثم يبدأ في التراجع تدريجيًا بعد الوصول إلى مستويات دخل مرتفعة تسمح بتبني تقنيات إنتاج أكثر كفاءة وفرض سياسات بيئية أكثر صرامة وتحسين مستويات الوعي البيئي (Grossman & Krueger, 1995).

ومن جانب آخر، يمثل التغير المناخي أحد أخطر التحديات التي تواجه الاقتصاد العالمي في الوقت الراهن، وذلك في ظل التزايد المستمر في الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الاعتماد المكثف على مصادر الطاقة الأحفورية في عمليات الإنتاج والاستهلاك. فقد أدت الزيادة المتراكمة في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وعلى رأسها غاز ثاني أكسيد الكربون، إلى اضطرابات مناخية متزايدة الحدة تهدد مسارات التنمية المستدامة والاستقرار الاقتصادي على المدى الطويل (IPCC, 2023). وعليه، يُعد قطاع الطاقة المصدر

الرئيسي للانبعاثات الكربونية عالميًا نتيجة الاعتماد الواسع على النفط والغاز الطبيعي والفحم، خاصة في القطاعات الصناعية كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل الصناعات الكيميائية والتعدين وصناعة الأسمنت، والتي تُعد من أكثر الصناعات مساهمة في الانبعاثات الكربونية بسبب طبيعة العمليات الإنتاجية الخاصة بها (Sasana & Purti, 2018).

وقد دفع تصاعد المخاطر المناخية إلى ضرورة إحداث تحول جوهري في توجهات السياسات الاقتصادية والبيئية الدولية، حيث أصبح التحول نحو الاقتصاد الأخضر والطاقة النظيفة أحد المحاور الرئيسية لتحقيق التنمية المستدامة وتعزيز القدرة على التكيف مع تداعيات التغير المناخي. وفي هذا الإطار، مثلت اتفاقية باريس (Paris Agreement) نقطة تحول رئيسية في الجهود الدولية الرامية إلى الحد من الانبعاثات الكربونية; إذ أكددت على ضرورة تنويع مزيج الطاقة العالمي، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، والتوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة (مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية)، وبما يسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة والحياد الكربوني على المدى الطويل (UNFCCC, 2015).[1]

وتكتسب هذه القضية أهمية متزايدة على مستوى الاقتصاد المصري، وذلك في ظل ارتفاع مستويات الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الأنشطة الاقتصادية المختلفة. فتُعد مصر من أكبر الدول المسببة للانبعاثات في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا; إذ تحتل المرتبة الثالثة إقليميا –بعد المملكة العربية السعودية وإيران–

والثانية إفريقيا –بعد جنوب افريقيا– من حيث حجم الانبعاثات الكربونية (الناقة وآخرون، 2021). وقد أشارت البيانات الرسمية الواردة عن وزارة البيئة المصرية إلى أن قطاع الطاقة استحوذ على النسبة الأكبر من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري في مصر بنسبة بلغت نحو 64.5%، كما أسهم وحده في انبعاث نحو 87% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، نتيجة الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء والنقل والصناعة. ويأتي بعده قطاع الزراعة بنسبة 14.9% نتيجة الأنشطة الزراعية والحيوانية المختلفة، ثم قطاع العمليات الصناعية بنسبة 12.5%، وأخيرًا قطاع المخلفات

---

[1] جادلت دراسة (Li & Haneklaus, 2022) بأن زيادة استهلاك الطاقة المتجددة بنسبة 1% يؤدى إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 0.68% على المدى الطويل، بما يعكس الدور المحوري للطاقة النظيفة في الحد من التدهور البيئي ودعم الاستدامة المناخية.

بنسبة 8.1% نتيجة عمليات التخلص من النفايات ومعالجة المياه والصرف الصحي (وزارة البيئة المصرية وجهاز شئون البيئة، 2018).

ويعكس هيكل استهلاك الطاقة في مصر استمرار الاعتماد المتزايد على مصادر الطاقة التقليدية، وعلى رأسها الغاز الطبيعي والمنتجات البترولية، وذلك رغم التوسع التدريجي في استخدام مصادر الطاقة المتجددة خلال السنوات الأخيرة. وقد شهد قطاع الطاقة المصري تحولًا ملحوظًا في هيكل مزيج الطاقة نتيجة التوسع في إنتاج الغاز الطبيعي عقب الاكتشافات الكبرى، خاصة حقل ظهر. الأمر الذي ساهم في تعزيز أمن الطاقة وتحسين مؤشرات تجارة الطاقة الخارجية من خلال زيادة صادرات الوقود وتقليص الواردات النفطية. وفي المقابل، لا تزال القطاعات الاقتصادية الرئيسية، وفي مقدمتها توليد الكهرباء والنقل والصناعة، تعتمد بصورة كبيرة على الوقود الأحفوري، وبالشكل الذي يجعلها المصدر الرئيسي للانبعاثات الكربونية في الاقتصاد المصري. وبالرغم من تبني الدولة لاستراتيجية وطنية[1] للتوسع في استخدام الطاقة المتجددة ورفع مساهمتها في إنتاج الكهرباء إلى نحو 42% بحلول عام 2035، فإن تحقيق هذا الهدف لا يزال يتطلب تسريع وتيرة الاستثمار في مشروعات الطاقة النظيفة، ورفع كفاءة استخدام الطاقة، وتعزيز آليات التحول نحو الاقتصاد الأخضر بما يدعم أهداف التنمية المستدامة والحياد الكربوني (آفاق الطاقة المتجددة، 2016 ; وزارة البترول والثروة المعدنية، 2023؛ الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2021).

وعلى الرغم من الجهود المبذولة للتحول نحو الطاقة الخضراء، تواجه مصر تحديات كبيرة في تمويل مشروعات التنمية المستدامة ومواجهة التغير المناخي، وذلك نتيجة عدم التوازن بين احتياجات التكيف المناخي واحتياجات التخفيف من الانبعاثات. ففي الوقت الذي تتركز فيه معظم التدفقات التمويلية الدولية نحو مشروعات التخفيف باعتبارها أكثر ربحية وجاذبية للمستثمرين، تعاني الدول النامية، ومن بينها مصر، من احتياجات متزايدة لتمويل مشروعات التكيف مع الآثار السلبية للتغير المناخي، خاصة في القطاعات المرتبطة بالمياه والزراعة والبنية التحتية. ويبرز ذلك الحاجة إلى إعادة توجيه أولويات

---

[1] أطلقت الحكومة المصرية الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، باعتبارها إطارًا استراتيجيًا طويل الأجل يهدف إلى تعزيز النمو الاقتصادي منخفض الانبعاثات، وتحقيق الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية، ورفع قدرة الاقتصاد المصري على التكيف مع التداعيات المناخية المستقبلية. وتركز الاستراتيجية بصورة رئيسية على التوسع في استخدام مصادر الطاقة النظيفة وتحسين كفاءة الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، وذلك بالشكل الذى يدعم جهود خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق التحول نحو الاقتصاد الأخضر (Government of Egypt, 2022).

التمويل الدولي بما يحقق توازنا أكبر بين متطلبات التكيف والتخفيف، فضلًا عن تعزيز قدرة الاقتصادات النامية على الاستفادة من التمويلات الخضراء وتطوير آليات تمويل مستدامة تدعم التحول الطاقوي منخفض الكربون (شعبان، 2021؛ فتح الله، 2022).

2.1 إشكالية الدراسة

في ظل تداعيات التغير المناخي المتزايدة وما يرتبط بها من ارتفاع مستويات الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الاعتماد المكثف على مصادر الطاقة الأحفورية، أصبح التحول نحو الطاقة الخضراء أحد المحاور الرئيسية لتحقيق التنمية المستدامة وتعزيز أمن الطاقة والحد من التدهور البيئي. وعلى الرغم من تبني مصر لاستراتيجية وطنية لتغير المناخ 2050 تستهدف التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة وخفض الانبعاثات الكربونية، لا تزال القطاعات الاقتصادية تعتمد بدرجة كبيرة على مصادر الطاقة غير المتجددة، الأمر الذي يثير تساؤلات حول مدى فاعلية التحول الطاقوي في مواجهة التغير المناخي وتحقيق التوازن بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية للتنمية. وعليه، تتمثل الإشكالية الرئيسية للدراسة في الإجابة على التساؤل الرئيسي وهو: **إلى أي مدى يمكن أن يسهم التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في مواجهة تداعيات التغير المناخي في مصر في ضوء مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050؟** وينبثق عن هذا التساؤل الرئيسي مجموعة من التساؤلات الفرعية، موضحة على النحو التالي:

i. ما هي أبرز التطورات الراهنة والمستقبلية المتعلقة بهيكل استهلاك الطاقة التقليدية والطاقة الخضراء ومستويات الانبعاثات الكربونية في مصر خلال فترة الدراسة؟
ii. إلى أي مدى يسهم التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتحقيق الاستدامة البيئية في مصر؟
iii. ما مدى توافق تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة الطاقة الخضراء وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون مع مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050 فيما يتعلق بالتحول نحو الاقتصاد الأخضر وخفض الانبعاثات الكربونية؟

3.1 أهداف الدراسة

اتساقًا مع الإشكالية البحثية، يتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في تحليل مدى فاعلية التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في مواجهة التغير المناخي في مصر، في ضوء مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050. ومن هذا الهدف الرئيسي ينبثق مجموعة أهداف فرعية موضحة على النحو التالي.

I. رصـــد وتحليل التطورات الراهنة والمتوقعة المتعلقة بهيكل اســـتهلاك الطاقة التقليدية والطاقة الخضراء ومستويات الانبعاثات الكربونية في مصر خلال فترة الدراسة.

II. تقييم مدى مسـاهمة التوسـع في اسـتخدام الطاقة الخضـراء في خفض انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون وتعزيز الاستدامة البيئية في مصر.

III. بيان مدى توافق تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون مع مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050.

4.1 فرضيات الدراسة

تنطلق الدراسة من فرضية رئيسية مفادها أنه توجد علاقة بين استهلاك الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضـراء والتغير المناخي في مصـر، بما يعكس تأثير أنماط اسـتهلاك الطاقة على مسـتويات انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون في ضـوء مسـتهدفات الاسـتراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050. وينبثق من هذه الفرضية الرئيسية فرضيات فرعية جوهرية موضحة على النحو التالي:

i. توجد علاقة طردية بين اســـتهلاك الطاقة غير المتجددة وانبعاثات ثاني أكســـيد الكربون في مصر.

ii. توجد علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة الخضراء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مصر.

iii. يسـهم التوسـع في اسـتخدام الطاقة الخضـراء في تحسـين جودة البيئة والحد من آثار التغير المناخي في مصر.

iv. تتوافق نتائج تحليل العلاقة بين الطاقة الخضـــراء والانبعاثات الكربونية مع مســـتهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050 فيما يتعلق بخفض الانبعاثات وتعزيز التحول نحو الاقتصاد الأخضر.

5.1 منهجية الدراسة

تعتمد الدراســة الحالية على منهجين رئيســيين وهما: المنهج التحليلي الوصــفي والمنهج القياســي الكمي، وذلك بالشـــكل الذي يتيح تقديم معالجة علمية متكاملة تجمع بين التأصـــيل النظري والتحليل التطبيقي لقضية التحول نحو الاقتصاد الأخضر ومواجهة تداعيات التغير المناخي. فمن ناحية، يُستخدم المنهج التحليلي الوصـفي في بناء الإطار النظري للدراسـة، مع التركيز على تفسـير طبيعة العلاقة بين اسـتهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية وأبعاد التنمية المسـتدامة في ضـوء الاسـتراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050.

6.1 هيكل الدراسة

وتنظم الدراسة الحالية في خمسة أقسام رئيسية مترابطة. يتناول القسم الأول المقدمة، والتي تعرض خلفية الدراسة وأهدافها. ويستعرض **القسم الثاني** مراجعة الأدبيات السابقة ذات الصلة. أما **القسم الثالث** فيعرض الإطار النظري للدراسة، ومن خلاله يتم تحليل الأطر النظرية المفسرة للعلاقة بين الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء والتغير المناخي. ويختص **القسم الرابع** تحليل العلاقة بين طاقة غير المتجددة وطاقة الخضراء وظاهرة التغير المناخي. وأخيرًا، يعرض **القسم االخامس** النتائج التوصيات،

حيث يتم مناقشة تحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة وتفسيرها في ضوء الأدبيات الاقتصادية ذات الصلة، مع استخلاص أهم الاستنتاجات المتعلقة بأثر التحول نحو الطاقة الخضراء على التغير المناخي في مصر. وفى ضوء هذه الاستنتاجات، يتم تقديم مجموعة من التوصيات وسياسات التي تدعم صانعي القرار في تعزيز التحول نحو الاقتصاد الأخضر، وتحقيق أهداف الاستدامة البيئية.

2. مراجعة الأدبيات

أشارت بعض الدراسات مثل دراسة (osobajo et al, 2020) إلى أن حوالي (١٥٠) ألف حالة وفاة سنوياً ترجع إلي التأثيرات الناتجة عن التلوث البيئي. وعلى الرغم من وجود العديد من الغازات الدفيئة الملوثة للبيئة مثل غاز الميثان وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين، إلا أن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون تعتبر المعيار الرئيسي لتقدير الاحتباس الحراري العالمي. وذلك لكونه ثابت في الغلاف الجوي بالتالي يكون المتسبب بشكل أساسي في ظاهرة أثر الصوبة أو البيت الزجاجي. وقد اوضحت الدراسات (sasan&aputri, 2018; Akin, 2014) أثناء تقديرها لظاهرة الاحتباس الحراري أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تمثل أكثر من (60%) من الغازات المسببة لها. وبالتالي فإن زيادة هذه الانبعاثات لازالت تشكل مصدر قلق عالمي. من ثم فهناك حاجة ملحة لتتبع أهم العوامل المحركة لتلك الانبعاثات.

وفى ضوء ذلك، توصلت العديد من الدراسات القياسية إلى وجود تأثير إيجابي بين استهلاك الطاقة غير المتجددة وارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وبما يعكس الأثر البيئي السلبي للاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري، خاصة في القطاعات الصناعية والنقل وتوليد الكهرباء. وفي المقابل، تؤكد دراسات أخري أن التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة يسهم بصورة فعالة في تحسين جودة البيئة وخفض مستويات الانبعاثات الكربونية، وذلك من خلال تقليل كثافة الكربون في النشاط الاقتصادي، وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة، ودعم التحول نحو أنماط إنتاج واستهلاك أكثر استدامة. الأمر الذي يجعل الطاقة المتجددة أحد المحاور الأساسية لمواجهة التغيرات المناخية وتحقيق التنمية

الاقتصـادية المسـتدامة على المدى الطويل (Dogan & Seker, 2016; Balsalobre-Lorente et al., 2018)

اهتمت الأدبيات الاقتصادية والبيئية على نطاق واسع بدراسة العلاقة بين استهلاك الطاقة وانبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون، حيث لم يقتصـر الاهتمام البحثي على تحليل أثر اسـتهلاك الطاقة غير المتجددة على التغيرات المناخية فحسـب، بل امتد ليشـمل دراسـة دور الطاقة الخضـراء في الحد من الانبعاثات الكربونية وتحقيق الاسـتدامة البيئية. وقد أسـهمت هذه الأدبيات في تطوير العديد من الأطر التحليلية والنماذج التطبيقية التي سعت إلى تفسير طبيعة العلاقة بين هيكل استهلاك الطاقة ومستويات التلوث البيئي، مع التركيز على تأثير التحول نحو مصـادر الطاقة النظيفة في مواجهة ظاهرة التغير المناخي. وانطلاقًا من تنوع زوايا المعالجة في الأدبيات الاقتصـادية، يمكن تصـنيف الدراسـات السـابقة ذات الصلة بموضوع الدراسة الحالية إلى ثلاثة محاور رئيسية. يتمثل **المحور الأول** في الدراسات التي اهتمت بتحليل العلاقة بين اسـتهلاك الطاقة غير المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون، وذلك بهدف تفسير تأثير الاعتماد على الوقود الأحفوري في زيادة مستويات التلوث البيئي. أما **المحور الثاني**، فيشمل الدراسات والتي اهتمت تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة الخضراء و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، من خلال التركيز على الدور البيئي للطاقة النظيفة في الحد من الانبعاثات وتحقيق التنمية المسـتدامة. بينما يتمثل **المحور الثالث** في الدراسـات التي جمعت بين اسـتهلاك الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضـراء في إطار تحليلي واحد، بهدف تفسير طبيعة التأثير المتبادل لكل منهما على انبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون وقياس أثر التحول الطاقة على ظاهرة التغير المناخي. وعلى نحو مفصـل، نستعرض فيما يلي هذه المحاور الثلاثة:

1.2 الدراسات التي اهتمت بتحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة غير المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

ومنها دراسـة" (Li et al, 2017) والتي هدفت إلى تحليل العلاقة بين انبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون والنمو الاقتصـادي، والوقود الأحفوري (الفحم، الغاز الطبيعي، النفط) في الصـين خلال الفترة (1965-2015)، باسـتخدام نموذج تصـحيح الخطأ الموجه (VECM). وتوصـلت الدراسـة إلى وجود علاقة توازن طويلة الأجل بين انبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون والنمو الاقتصـادي واسـتهلاك الفحم واسـتهلاك الغاز الطبيعي والنفط، كما قامت **دراسـة"** (Greiner et al, 2018) بفحص العلاقة بين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من استهلاك الغاز الطبيعي وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن اسـتهلاك الفحم، وذلك لجميع الدول المتاحة لها البيانات خلال الفترة (1960-2013).

وتوصلت الدراسة إلى أن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استهلاك الفحم أكثر ضرراً من الانبعاثات الناتجة عن استهلاك الغاز الطبيعي.

أما **دراسة**" (Paraschiv & Paraschiv, 2020) فقد بحثت في تطور وتحليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري (الفحم، الغاز الطبيعي، النفط) في 28 دولة من دول الاتحاد الأوروبي خلال الفترة (1960-2018). وتوصلت الدراسة إلى ارتفاع انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق الفحم في 11 دولة من دول الاتحاد الأوروبي، وانخفاض تلك الانبعاثات في 17 دولة خلال فترة الدراسة، بالإضافة إلى ارتفاع الانبعاثات الناتجة عن حرق الغاز الطبيعي في 28 دولة خلال فترة الدراسة، وفيما يتعلق بالانبعاثات الناتجة عن حرق النفط فقد زادت في 26 دولة وانخفضت في دولتين خلال فترة الدراسة، وقد اهتمت **دراسة**" (Siddik et al, 2021) برصد تطور هيكل الإنتاج والاستهلاك الحالي للوقود الأحفوري (الفحم، النفط، الغاز الطبيعي) على المستوى العالمي والإقليمي، والتحقيق في الارتباط بين استهلاك الوقود الأحفوري وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون العالمية خلال الفترة (1990-2019). وتوصلت الدراسة إلى أن زيادة إنتاج واستهلاك الوقود الأحفوري العالمي بنسبة (67.5%)، (64%) على التوالي، أدى إلى زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون العالمي بشكل كبير خلال فترة الدراسة.

أما **دراسة**" (Martins et al, 2021) هدفت إلى تحليل العلاقة بين استهلاك الفحم، النفط، والغاز الطبيعي، وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في دول G7 خلال الفترة (1965-2018)، بالاعتماد على نموذج الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة(ARDL). وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك (1%) من النفط والفحم والغاز الطبيعي يساهم في زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسب (0.482%)، (0.314%)، (0.171%) على التوالي، كما قامت **دراسة**" (Gurbanov, 2021) بمعرفة مدى مساهمة استهلاك الغاز الطبيعي في تكوين انبعاثات غاز ثاني أكسيد في أذربيجان، باستخدام نموذج الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة (ARDL)، طريقة المربعات الصغرى المعدلة بالكامل(FMOLS) ، طريقة المربعات الصغرى العادية الديناميكية (DOLS). وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الغاز الطبيعي يؤثر بنسبة منخفضة في تكوين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

وقد اهتمت **دراسة**" (فوزي وأحمد، 2022) بتحليل أثر بعض المتغيرات الاقتصادية على البصمة البيئية في بعض دول شمال إفريقيا (مصر- الجزائر- تونس- المغرب). باستخدام نموذج (PMG- ARDL)، (DOLS)، (FMOLS). توصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة غير المتجددة والانفتاح التجاري والنمو الاقتصادي لهم أثر سلبي على جودة البيئة، وأخيراً **دراسة**" (Belucio et al, 2022) والتي هدفت إلى فحص أثر استهلاك الغاز الطبيعي على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في 16 دولة من الدول الأوروبية خلال الفترة (1993-2018). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الغاز الطبيعي له أثر أقل على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في مقابل استهلاك

النفط في المدى القصير، في حين أن استهلاك الطاقة الكهرومائية قادرة على تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المدى القصير والطويل.

2.2 الدراسات والتي اهتمت تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة الخضراء و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

دراســـة" (Koengkan & Fuinhas, 2018) والتي قامت بتحليل أثر اســـتهلاك الطاقة المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكســـيد الكربون في 10 دول من دول أمريكا الجنوبية خلال الفترة (1980–2012). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة المتجددة يقلل من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث أن استهلاك (1%) من مصادر الطاقة المتجددة يؤدى إلى تقليل (0.042%) من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، أما **دراســة**" (Hasnisah et al, 2019) هدفت إلى تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة والتنمية الاقتصادية على انبعاثات غاز ثاني أكســـيد الكربون في 13 دولة نامية في آســـيا خلال الفترة (1980–2014). باســـتخدام طريقة المربعات الصغرى المعدلة OLS. وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة المتجددة يحد من التلوث البيئي وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

كما قامت **دراســة**" (فايزة، 2019) بتحليل العلاقة السببية بين استهلاك الطاقة المتجددة، انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون والنمو الاقتصادي باستخدام بيانات السلاسل الزمنية المقطعية في 10 دول من دول الاتحاد الأوروبي خلال الفترة (1990–2016). باســـتخدام نموذج VECM لتحديد اتجاه العلاقة السببية بين المتغيرات. وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة سببية ثنائية الاتجاه بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة المتجددة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الأجل الطويل، وكذلك وجود علاقة سببية قصـــيرة الأجل ثنائية الاتجاه بين اســـتهلاك الطاقة المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكســـيد الكربون، وقد اهتمت **دراسة**" (Mourad & Ettayib, 2020) بتحليل أثر استهلاك الطاقة المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في ألمانيا خلال الفترة (1990–2018). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة المتجددة خلال تلك الفترة قد ساهم في تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. ويؤكد ذلك على أن زيادة استهلاك الطاقة غير المتجددة يساعد دائماً على زيادة انبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون.

أما **دراسة** (Dkhili & Dhaib, 2020) فقد بحثت في أثر استهلاك الطاقة المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون والنمو الاقتصادي في المملكة العربية السعودية خلال الفترة (1990–2018). وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة سببية أحادية الاتجاه بين الناتج المحلي الإجمالي واستهلاك الطاقة، وكذلك وجود علاقة ســـببية أحادية الاتجاه بين اســـتهلاك الطاقة المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكســـيد الكربون في المدى الطويل.

وقد اهتمت **دراسة** "(Khan et al, 2022) بدراسة أثر مصادر الطاقة المتجددة وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والناتج المحلى الإجمالي على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المغرب خلال الفترة (1985–2020). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى أن مصادر الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، الرياح، الطاقة الكهرومائية) وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات قد ساهمت في الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المغرب خلال تلك الفترة، وأخيراً **دراسة** "(Mukhtarov et al, 2023) والتي هدفت إلى فحص تأثير استهلاك الطاقة المتجددة، الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد والصادرات والواردات على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في أذربيجان خلال الفترة (1993–2019). باستخدام طريقة المربعات الصغرى الديناميكية DOLS. وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة المتجددة له تأثير سلبي على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، بينما الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي للفرد كان له تأثير إيجابي.

3.2 الدراسات التي اهتمت بتحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

دراسة "(Anwar &Ali, 2017) هدفت هذه الدراسة إلى تقدير العلاقة السببية بين تلوث البيئة ومصادر الطاقة المتجددة وغير المتجددة والكثافة السكانية في أربع دول آسيوية: الهند وباكستان وبنغلاديش وسريلانكا خلال الفترة (1980–2013). بالاعتماد على نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين الكثافة السكانية ومصادر الطاقة غير المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وفيما يتعلق بالطاقة المتجددة فقد توصلت الدراسة على وجود علاقة عكسية بينها وبين انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، أما **دراسة** "(El Araby et al, 2019) فقد هدفت إلى معرفة أثر إنتاج الكهرباء من مصادر مختلفة (بما في ذلك الطاقة المتجددة والطاقة غير المتجددة) على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في 25 دولة من دول البحر المتوسط خلال الفترة (2002–2016). وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين انتاج الكهرباء من الفحم وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وجود علاقة عكسية بين مصادر الطاقة المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

وقد قامت **دراسة** "(Hasnisah et al, 2019) بتقدير العلاقة بين جودة البيئة والتنمية الاقتصادية واستهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة في 13 دولة نامية في آسيا، وذلك باستخدام نموذج التكامل المشترك والمربعات الصغرى العادية المعدلة (OLS). وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة المتجددة تساهم بشكل كبير في تقليل التلوث البيئي أي خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المدى الطويل.

كما قامت **دراسة** "(إبراهيم، 2021) بتقدير أثر استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة والانفتاح التجاري على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في مجموعة دول البريكس خلال الفترة (1990-2018). باستخدام نموذج التكامل المشترك وتصحيح الخطأ. وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين استهلاك الطاقة غير المتجددة والانفتاح التجاري وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وكذلك وجود علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المدى القصير والطويل.

أما **دراسة** "(Sahoo &Sahoo, 2022) فقد بحثت في أثر استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الهند خلال الفترة (1965-2018). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة المائية وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، فيما يتعلق بالطاقة المتجددة توصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين استهلاك الطاقة النووية وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. وأخيراً توصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين جميع مصادر استهلاك الطاقة غير المتجددة وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

وقد اختبرت **دراسة** "(Ali et al, 2022) مدى الارتباط بين استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة وسكان الحضر ونفقات البحوث والتنمية والابتكار التكنولوجي، وكثافة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الصين خلال الفترة (1990-2019). باستخدام نموذج ARDL. وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة طردية بين استهلاك الطاقة غير المتجددة وسكان الحضر، وكثافة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المدى الطويل، كما توصلت الدراسة إلي وجود علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة المتجددة وكثافة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وأخيراً توصلت إلى أن الابتكار التكنولوجي يزيد من كثافة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المدى القصير، وأخيراً **دراسة** "(أمين، 2022) فقد استهدفت تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة والتلوث البيئي في دول شمال إفريقيا خلال الفترة (1990-2018). باستخدام بيانات بانل الديناميكي اعتماداً على أسلوب مقدرة وسط المجموعة المدمجة (PMG). وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقة معنوية طردية بين استهلاك الطاقة غير المتجددة والتلوث البيئي في المدى الطويل. وفيما يتعلق بالطاقة المتجددة فقد توصلت الدراسة إلى وجود علاقة عكسية بينها وبين التلوث البيئي في المدى القصير.

تختلف الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة في الجوانب الآتية:

1- تناول مصادر حديثة للطاقة الخضراء، تتمثل في الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء، مع توضيح مدى الجدوى الاقتصادية لكل منهما وإمكانات الاستفادة منهما في دعم التحول نحو الطاقة الخضراء في مصر.

2- ربط تحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة بمستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، بما يسهم في تقييم مدى توافق نتائج الدراسة مع توجهات الدولة المصرية نحو خفض الانبعاثات ومواجهة التغير المناخي والتحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات.

3.الإطار النظري للدراسة

ينطلق الإطار النظري للدراسة من تحديد المفاهيم الأساسية لمتغيرات الدراسة، ثم تناول مصادر واستخدامات كلٍ من الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء، يلي ذلك توضيح ظاهرة التغير المناخي من خلال بيان مفهومها، والقطاعات الأكثر تأثرًا بها، وآليات مواجهتها والحد من آثارها. ويهدف هذا التقسيم إلى بناء تصور نظري تكاملي يربط بين هذه المحاور الثلاثة في إطار واحد متسق، بما يسهم في توضيح دور التحول نحو الطاقة الخضراء داخل القطاعات الاقتصادية المختلفة، وأثر ذلك في الحد من تداعيات ظاهرة التغير المناخي. وعلى نحوٍ أكثر تفصيلًا، يتناول هذا البناء النظري التكاملي الموضوعات الواردة أدناه.

3 الطاقة غير المتجددة: إطار مفاهيمي ونظري

تُعرف الطاقة غير المتجددة بأنها مجموعة من مصادر الطاقة الطبيعية المحدودة والقابلة للنضوب، والتي تتكون عبر فترات زمنية جيولوجية طويلة نتيجة تحلل بقايا الكائنات الحية تحت تأثير الضغط ودرجات الحرارة المرتفعة داخل طبقات القشرة الأرضية، وتشمل بشكل رئيسي النفط والفحم والغاز الطبيعي. وتمتاز هذه المصادر بعدم قدرتها على التجدد بالسرعة التي تتناسب مع معدلات الاستهلاك البشري، مما يؤدي إلى تناقص مخزونها تدريجيًا وصولًا إلى مرحلة النضوب، كما يُعد استخدامها أحد أبرز المصادر الرئيسة لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون المسببة لظاهرة التغير المناخي (OPEC, 2022). وتتمثل مصادر الطاقة غير المتجددة في النفط والغاز الطبيعي والفحم، والتي تختلف في خصائصها وطرق استخدامها، إلا أنها تتشابه في كونها مصادر رئيسية للطاقة في مختلف القطاعات الاقتصادية.

يُعد النفط أحد أهم مصادر الطاقة غير المتجددة، ويُعرف أيضًا بالبترول الخام أو "الذهب الأسود"، وهو سائل كثيف قابل للاشتعال يُستخرج من التكوينات الجيولوجية في باطن الأرض. ويحتل النفط مكانة محورية في الاقتصاد العالمي لاعتماد قطاعات النقل والصناعة والطاقة عليه بصورة رئيسية، حيث يُستخدم في تشغيل وسائل النقل والمعدات الصناعية، كما يدخل كمادة خام في الصناعات البتروكيماوية مثل البلاستيك والمطاط والأسمدة والألياف الصناعية، بالإضافة إلى إنتاج المشتقات النفطية كالديزل والبنزين وزيوت التشحيم. وقد شهد الاستهلاك العالمي من النفط تزايدًا ملحوظًا، حيث ارتفع من نحو 87.2 مليون برميل يوميًا عام 2010 إلى نحو 94.5 مليون برميل يوميًا عام 2021، ثم إلى نحو 102 مليون برميل يوميًا عام 2024، مع استمرار التوقعات باتجاه تراجع تدريجي في ظل التحول نحو الطاقة النظيفة وسياسات خفض الانبعاثات الكربونية (Adeolaet al, 2022; IEA, 2023).

وفي السياق ذاته، يُعد الغاز الطبيعي أحد أهم مصادر الطاقة غير المتجددة الأقل تلويثًا للبيئة مقارنة بالنفط والفحم، حيث يتكون من تحلل المواد العضوية عبر ملايين السنين تحت ضغط وحرارة مرتفعين. وقد توسعت استخداماته ليشمل توليد الكهرباء في المحطات الغازية والدورة المركبة، وتشغيل الصناعات الثقيلة، بالإضافة إلى التدفئة والطهي، واستخدامه كوقود بديل في النقل عبر الغاز الطبيعي المضغوط، فضلًا عن دوره في الصناعات الكيميائية وإنتاج الأسمدة. وقد ارتفع الاستهلاك العالمي من الغاز الطبيعي من نحو 3351 مليار متر مكعب عام 2010 إلى نحو 4248 مليار متر مكعب عام 2021، ثم إلى نحو 5768 مليار متر مكعب عام 2024 (IEA, 2024; Shaari et al, 2024).

أما الفحم، فيُعد من أقدم مصادر الطاقة غير المتجددة، وهو صخر رسوبي يتكون من بقايا نباتية دُفنت في طبقات الأرض وتعرضت عبر ملايين السنين للضغط والحرارة، مما أدى إلى تحولها إلى مادة غنية بالكربون قابلة للاشتعال. وعلى الرغم من أهميته التاريخية والاقتصادية، إلا أنه يُعد من أكثر مصادر الطاقة تلويثًا للبيئة نتيجة ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتراقه. ويُستخدم الفحم في توليد الكهرباء وفي الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل الحديد والصلب والأسمنت، بالإضافة إلى الصناعات الكيميائية. وقد بلغ الاستهلاك العالمي من الفحم نحو 5220 مليون طن عام 2010، ثم 5644 مليون طن عام 2021، وارتفع إلى نحو 8771 مليون طن عام 2024 (IEA, 2024).

2.3 الطاقة الخضراء: إطار مفاهيمي ونظري

تُعد الطاقة الخضراء أحد المفاهيم الحديثة في مجال الطاقة والتنمية المستدامة، حيث تشير إلى مجموعة من مصادر الطاقة النظيفة والمستدامة المستمدة من الموارد الطبيعية المتجددة والمتكررة الحدوث. وتنقسم هذه

المصـادر إلى قسمين رئيسيين؛ يتمثل الأول في مصـادر الطاقة المتجددة التقليدية مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، والطاقة الحيوية، والطاقة الحرارية الأرضية، بينما يتمثل الثاني في مصادر الطاقة الحديثة الناتجة عن توظيف تقنيات الطاقة المتجددة، وعلى رأسـها الهيدروجين الأخضـر وما يرتبط به من تطبيقات مثل الأمونيا الخضـراء. ويُسـهم الاعتماد على هذه المنظومة المتكاملة من المصـادر في دعم التحول نحو اقتصـاد منخفض الكربون، والحد من آثار التغير المناخي، وتعزيز أهداف التنمية المسـتدامة وحماية البيئة (IRENA, 2024; IEA, 2023) وفي هذا الإطار، يمكن تناول أهم مصـادر الطاقة المتجددة وخصـائصـها وتطور استخدامها على النحو التالي:

أولًا: مصادر الطاقة المتجددة

تتعدد مصادر الطاقة المتجددة من حيث طبيعتها وآليات إنتاجها للطاقة، إلا أنها تتفق في اعتمادها على موارد طبيعية متجددة تسهم في تحقيق أمن الطاقة وخفض الانبعاثات الكربونية. وفيما يلي عرض لأبرز هذه المصادر واستخداماتها.

1. الطاقة الشمسية

تُعد الطاقة الشمسية Solar Energy من أبرز مصادر الطاقة المتجددة وأكثرها انتشارًا، حيث تعتمد على استغلال الإشعاع الشمسي في إنتاج الطاقة الحرارية والكهربائية، وتتميز بكونها مصدرًا مستدامًا وغير قابل للنضوب. ويتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة قابلة للاستخدام عبر تقنيتين رئيسيتين؛ تتمثل الأولى في تكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة (CSP) التي تعتمد على تركيز الإشعاع الشمسي لإنتاج الحرارة وتشغيل التوربينات، بينما تتمثل الثانية في تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية (PV) التي تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء باستخدام ألواح السيليكون(Obaideen et al, 2023).

وتتعدد استخدامات الطاقة الشمسية لتشمل القطاعات الاقتصادية المختلفة، حيث تُستخدم في توليد الكهرباء عبر المحطات الشمسية وأنظمة الخلايا الكهروضوئية، كما تمتد تطبيقاتها إلى القطاع الزراعي من خلال تشغيل مضخات المياه وتجفيف المحاصيل وتدفئة الصوب الزراعية، بما يسهم في تقليل التكاليف التشغيلية والاعتماد على الوقود الأحفوري(El Aimani, 2023).

وقد شـهدت الطاقة الشـمسـية تطورًا ملحوظًا خلال العقود الأخيرة، إذ انتقلت من اسـتخدامات محدودة إلى أحد أهم مصادر الطاقة عالميًا، مدفوعة بانخفاض التكاليف وارتفاع الكفاءة. ووفق التقديرات الدولية، ارتفع الإنتاج العالمي من نحو 137.5 جيجاوات عام 2013 إلى مسـتويات أعلى في عام 2024، مع توقعات باسـتمراره في النمو ليصـل إلى نحو 5654 جيجاوات بحلول عام 2030، ونحو 18200 جيجاوات بحلول عام 2050(IRENA, 2023; Vesce, 2023).

2. طاقة الرياح

تُعد طاقة الرياح Wind Energy من أقدم مصادر الطاقة المتجددة، حيث تعتمد على استغلال حركة الرياح الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة ودوران الأرض والتباين الحراري بين اليابسة والمسطحات المائية. ويتم تحويل هذه الطاقة إلى كهرباء باستخدام توربينات الرياح التي تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

وتنقسم طاقة الرياح إلى نوعين رئيسيين؛ طاقة الرياح البرية التي تُقام داخل اليابسة وتتميز بانخفاض التكلفة التشغيلية، وطاقة الرياح البحرية التي تُقام في البحار والمحيطات حيث تكون الرياح أكثر انتظامًا مما يرفع من كفاءة الإنتاج رغم ارتفاع تكاليف الإنشاء.

وقد تطورت اســتخدامات طاقة الرياح من التطبيقات التقليدية مثل تشــغيل طواحين الهواء إلى إنتاج الكهرباء على نطاق واســع، حيث ارتفع الإنتاج العالمي من نحو 181 جيجاوات عام 2010 إلى حوالي 899 جيجاوات عام 2022، مع توقعات ببلوغه نحو 2015 جيجاوات بحلول عام 2030، ونحو 6044 جيجاوات بحلول عام 2050 (IREAN, 2019).

3. الطاقة المائية

تُعد الطاقة المائية Hydropower من أقدم مصادر الطاقة وأكثرها استقرارًا، حيث تعتمد على تحويل الطاقة الحركية أو الكامنة للمياه إلى طاقة كهربائية. وتنقسم مصادرها إلى طاقة الأنهار والسدود، وطاقة المد والجزر، وطاقة التدرج الحراري للمحيطات (عبدالله وعلي، 2022).

ويتم توليد الكهرباء من خلال توجيه المياه نحو التوربينات التي تحول حركة المياه إلى طاقة دورانية تُستخدم في تشغيل المولدات الكهربائية، مع تنوع التطبيقات بين توليد الكهرباء والاستخدامات الصناعية والزراعية. وقد تطورت الطاقة المائية من استخدامها التقليدي في تشغيل الطواحين إلى أحد أهم مصادر الكهرباء عالميًا، حيث ارتفع الإنتاج إلى نحو 1255 جيجاوات عام 2022، و1290 جيجاوات عام 2024، مع توقعات ببلوغه نحو 1465 جيجاوات بحلول عام 2030، ونحو 2500 جيجاوات بحلول عام 2050 (IREAN, 2019).

4.الطاقة الحيوية

تُعد طاقة الكتلة الحيوية Biomass Energy أحد مصادر الطاقة المتجددة التي تعتمد على المخلفات العضوية النباتية والحيوانية في إنتاج الطاقة الحرارية والكهربائية. وتتميز بكونها متاحة على نطاق واسع

وذات تكلفة منخفضة نسبيًا مقارنة ببعض المصادر الأخرى. وتشمل أشكالها الوقود الصلب الناتج عن المخلفات الزراعية والخشبية، والوقود السائل مثل الإيثانول والديزل الحيوي، بالإضافة إلى الغاز الحيوي الناتج عن التحلل اللاهوائي للمخلفات العضوية. وقد شهدت هذه الطاقة نموًا تدريجيًا مدفوعًا بالاتجاه العالمي نحو تقليل الانبعاثات، حيث ارتفع الإنتاج من نحو 83 جيجاوات عام 2013 إلى حوالي 165 جيجاوات عام 2024، مع توقعات ببلوغه نحو 343 جيجاوات بحلول عام 2030 (IRENA, 2023).

5- الطاقة الحرارية الأرضية

تُعد الطاقة الحرارية الأرضية Geothermal Energy من مصادر الطاقة المستقرة، حيث تستمد من الحرارة المختزنة في باطن الأرض داخل الصخور والمياه الجوفية. ويتم استغلالها عبر عمليات الحفر لاستخراج المياه الساخنة أو البخار المستخدم في توليد الكهرباء. وتتميز هذه الطاقة بالاستمرارية وعدم التأثر بالعوامل المناخية، إلا أن استخدامها ما يزال محدودًا نسبيًا نتيجة ارتفاع تكاليف الحفر والتقنيات المستخدمة. وتستخدم في توليد الكهرباء، وتدفئة المباني، والتجفيف الزراعي، بالإضافة إلى بعض التطبيقات السياحية العلاجية. وقد ارتفع الإنتاج من نحو 10.7 جيجاوات عام 2013 إلى 15.3 جيجاوات عام 2024، مع توقعات ببلوغه نحو 105 جيجاوات بحلول عام 2030 (IRENA, 2023).

ثانيًا: مصادر الطاقة الحديثة

وفي إطار التطور المتسارع لتقنيات الطاقة النظيفة، لم يعد مفهوم الطاقة الخضراء مقتصرًا على المصادر المتجددة التقليدية، بل امتد ليشمل مصادر حديثة مثل الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء، والتي يمكن توظيفها في قطاعات الكهرباء والصناعة والنقل. وتمثل هذه المصادر أحد المسارات المهمة لدعم التحول الطاقي وخفض الانبعاثات، خاصة في القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة والتي يصعب خفض انبعاثاتها بالاعتماد على المصادر التقليدية وحدها.

1. الهيدروجين الأخضر

يُعد الهيدروجين الأخضر Green Hydrogen أحد أهم مصادر الطاقة الحديثة الناشئة، ويتم إنتاجه عبر التحليل الكهربائي للمياه باستخدام كهرباء متجددة، مما يجعله خاليًا من الانبعاثات الكربونية المباشرة مقارنة بالهيدروجين التقليدي(Rezaei et al., 2024; Hassan et al., 2024).

وقد اكتسب أهمية متزايدة بعد اتفاقية باريس للمناخ 2015، حيث أصبح عنصرًا رئيسيًا في استراتيجيات التحول الطاقي، مع توسع استخدامه في توليد الكهرباء، والنقل، والصناعة وتشمل تطبيقاته تخزين الطاقة المتجددة، وتشغيل وسائل النقل الثقيلة، والاستخدام في الصناعات كثيفة الانبعاثات مثل الحديد والصلب،

إضافة إلى إنتاج الأمونيا الخضراء. وقد بلغ إنتاجه نحو 2.2 مليون طن عام 2018، مع توقعات ببلوغه نحو 25 مليون طن بحلول عام 2050 (Kirchem & Schill, 2023).

2- الأمونيا الخضراء

تُعد الأمونيا الخضراء Green Ammonia مركبًا كيميائيًا (NH_3) يتم إنتاجه من دمج النيتروجين مع الهيدروجين الأخضر، مما يجعلها بديلًا منخفض الانبعاثات مقارنة بالأمونيا التقليدية. وتُستخدم في صناعة الأسمدة والكيماويات، كما تُعد وسيلة فعالة لتخزين ونقل الطاقة، بالإضافة إلى استخدامها في أنظمة التبريد الصناعي، وهو ما يعزز دورها في دعم التحول نحو أنظمة طاقة أكثر استدامة واقتصاد منخفض الكربون (IRENA, 2022; Zhao, 2024).

3.3 ظاهرة التغير المناخي: إطار مفاهيمي ونظري

تُعرّف ظاهرة التغير المناخي بأنها تغير طويل الأمد في نظام مناخ الأرض، يتمثل في ارتفاع درجات الحرارة وتغير أنماط الطقس وزيادة الظواهر الجوية المتطرفة، وينتج أساسًا عن تزايد تركيز غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي نتيجة الأنشطة البشرية مثل حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات، إلى جانب بعض العوامل الطبيعية، مما يؤدي إلى آثار واسعة على البيئة والأنظمة الاقتصادية والصحية عالميًا.

وفي هذا الإطار، تُعد الأنشطة البشرية المحرك الرئيسي لهذه الظاهرة في العصر الحديث، خاصة منذ الثورة الصناعية وما صاحبها من توسع في استخدام الوقود الأحفوري في قطاعات الطاقة والصناعة والنقل، وهو ما أدى إلى زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز، بالإضافة إلى إسهام إزالة الغابات في تقليل قدرة النظم البيئية على امتصاص الكربون، فضلاً عن الانبعاثات الناتجة عن القطاع الزراعي ومكبات النفايات. وعلى الرغم من ذلك، لا يمكن إغفال دور العوامل الطبيعية في تشكيل المناخ عبر فترات زمنية طويلة، مثل الانفجارات البركانية والتغيرات في النشاط الشمسي والدورات المدارية للأرض، إلا أن تأثيرها يظل محدودًا مقارنة بالتغيرات السريعة المسجلة في العقود الأخيرة (الموسى، 2024).

وانعكاسًا لهذا التداخل بين العوامل البشرية والطبيعية، فقد أدت ظاهرة التغير المناخي إلى تداعيات بيئية واقتصادية واجتماعية واسعة النطاق، شملت ذوبان الأنهار الجليدية وارتفاع منسوب مياه البحار وتدهور الأراضي الزراعية، إلى جانب تزايد الظواهر المناخية المتطرفة، وهو ما أثر سلبًا على قطاعات الزراعة والسياحة والطاقة والنقل، كما ساهم في تفاقم الهجرة القسرية والفقر، خاصة في الدول النامية. وفي ضوء هذه التداعيات المتشابكة، برزت الحاجة إلى تبني استجابات وسياسات فعّالة للحد من آثار الظاهرة

والتعامل مع نتائجها، وهو ما قاد إلى تطوير إطارين رئيسيين في المواجهة يتمثلان في آليات التخفيف وآليات التكيف (Das & Swain, 2024).

وفي هذا السياق، تشير آليات التخفيف من التغير المناخي إلى مجموعة السياسات والتدابير الهادفة إلى معالجة الأسباب الجذرية للظاهرة، من خلال خفض انبعاثات غازات الدفيئة أو تعزيز قدرتها على الامتصاص. وتشمل هذه الآليات التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة، وتطوير النقل المستدام، إلى جانب الإدارة الرشيدة للموارد الطبيعية، بالإضافة إلى تقنيات احتجاز وتخزين الكربون، بما يدعم الانتقال نحو اقتصاد منخفض الكربون.

أما آليات التكيف مع التغير المناخي، فهي تمثل امتدادًا مكملًا لجهود التخفيف، حيث تركز على تكييف النظم البشرية والطبيعية مع الآثار الحالية والمتوقعة للظاهرة، بما يقلل من حجم الخسائر ويعزز القدرة على الصمود. وتعمل هذه الآليات على مستويين متكاملين: قصير الأجل يتعامل مع الظواهر المناخية المتطرفة مثل الفيضانات وموجات الحر والجفاف، وطويل الأجل يهدف إلى بناء قدرات مستدامة من خلال التخطيط المؤسسي والاقتصادي. وتشمل تطبيقاتها قطاعات الزراعة والمياه والصحة والبنية التحتية والطاقة والنقل والسياحة والتعليم، بما يعكس شمولية الاستجابة المناخية وتكاملها عبر مختلف القطاعات التنموية.

4 . التحليل الوصفي للمتغيرات الاقتصادية الرئيسية محل الدراسة

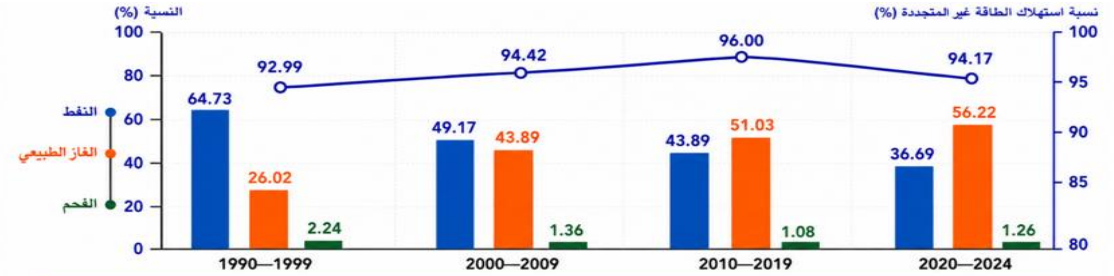
يتناول هذا القسم تحليل وصفي لمتغيرات الدراسة الرئيسية المتمثلة في الطاقة غير المتجددة، والطاقة الخضراء، وظاهرة التغير المناخي في مصر خلال الفترة (1990– 2024) وذلك باعتبارها المرحلة التمهيدية قبل الانتقال إلى الاختبار القياسي للعلاقات بين هذه المتغيرات وفي ضوء هذا التحليل نستكشف السلوك العام للمتغيرات محل الدراسة، ورصيد اتجاهاتها وتقلباتها عبر الزمن، بما يسمح بتكون رؤية أولية حول طبيعة العلاقات المحتملة

1.4 تطور استهلاك الطاقة غير المتجددة في مصر خلال الفترة (1990–2024)

يمثل استهلاك الطاقة غير المتجددة أحد المؤشرات الرئيسة لفهم طبيعة التحديات البيئية والمناخية التي تواجه الاقتصاد المصري، إذ يعكس حجم الاعتماد على الوقود الأحفوري مدى ارتباط النمو الاقتصادي بأنماط إنتاج واستهلاك كثيفة الانبعاثات. وتكتسب دراسة تطور هذا الاستهلاك أهمية خاصة في إطار عنوان الدراسة، نظرًا لأن قدرة الطاقة الخضراء على مواجهة تداعيات التغير المناخي لا يمكن تقييمها بمعزل عن حجم وهيكل الاعتماد القائم على النفط والغاز الطبيعي والفحم. ومن ثم، فإن تحليل تطور

استهلاك الطاقة غير المتجددة في مصر خلال الفترة (1990–2025) يوضح مدى عمق الفجوة بين الواقع الحالي لمزيج الطاقة ومتطلبات التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون في ضوء استراتيجية مصر 2050. في ضوء الشكل (1) نرصد ونتابع ونحلل تطور استهلاك الطاقة غير المتجددة، وذلك خلال الفترة (1990–2024).

الشكل رقم (1): تطور هيكل استهلاك الطاقة غير المتجددة في مصر وتوزيعها القطاعي خلال الفترة(1990–2024)



	1990—1999	2000—2009	2010—2019	2020—2024
النقل	13%	14%	15.63%	25%
الصناعة	26%	24%	21.68%	17%
الكهرباء	32%	35%	39.4%	38%
البتيريل	9%	8%	6.33%	7%
المنازل و التجاري	8%	8%	7.72%	7%
قطاعات أخري	12%	11%	9.24%	13%

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات https://ourworldindata.org /

شهدت الفترة (1990–1999) اعتمادًا مرتفعًا على مصادر الطاقة غير المتجددة، حيث بلغ إجمالي استهلاكها نحو 92.99% من إجمالي مزيج الطاقة. وقد استحوذ النفط على النسبة الأكبر من هذا الاستهلاك بنسبة 64.73%، مما يعكس هيمنة المنتجات البترولية على الأنشطة الاقتصادية وقطاع النقل خلال تلك المرحلة، في حين ساهم الغاز الطبيعي بنسبة 26.02%، بينما ظل الفحم محدود الاستخدام بنسبة 2.24%فقط مقارنة بباقي المصادر. وعلى المستوى القطاعي، تصدر قطاع الكهرباء القطاعات الأكثر استهلاكًا للطاقة بنسبة 32% ، يليه قطاع الصناعة بنسبة 26%، ثم قطاع النقل بنسبة 13%، بينما سجل كل من قطاع البترول وقطاع المنازل/التجاري نسبًا متقاربة بلغت 9%و 8%على التوالي، في حين بلغت مساهمة القطاعات الأخرى نحو 12% ويعكس ذلك اعتماد الاقتصاد خلال هذه الفترة بصورة أساسية على الكهرباء والصناعة باعتبارهما المحركين الرئيسيين لاستهلاك الطاقة غير المتجددة.

ارتفعت نسبة استهلاك الطاقة غير المتجددة خلال الفترة (2000–2009) إلى حوالي 94.42%، مما يدل على استمرار الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري. وقد انخفضت مساهمة النفط إلى 49.17%مقابل ارتفاع ملحوظ في مساهمة الغاز الطبيعي إلى 43.89%، وهو ما يشير إلى بداية التحول التدريجي نحو الغاز الطبيعي باعتباره مصدرًا أكثر كفاءة وأقل تأثيرًا بيئيًا نسبيًا، بينما تراجعت مساهمة الفحم إلى 1.36% وعلى الصعيد القطاعي، حافظ قطاع الكهرباء على موقعه كأعلى القطاعات

استهلاكًا للطاقة بنسبة 35، تلاه قطاع الصناعة بنسبة 24% ، ثم قطاع النقل بنسبة 14، كما سجلت القطاعات الأخرى نسبة 11%، بينما انخفض استهلاك قطاع البترول إلى 8% واستقر قطاع المنازل/التجاري عند 8%ويعكس ذلك التوسع في مشروعات توليد الكهرباء والأنشطة الصناعية خلال هذه المرحلة.

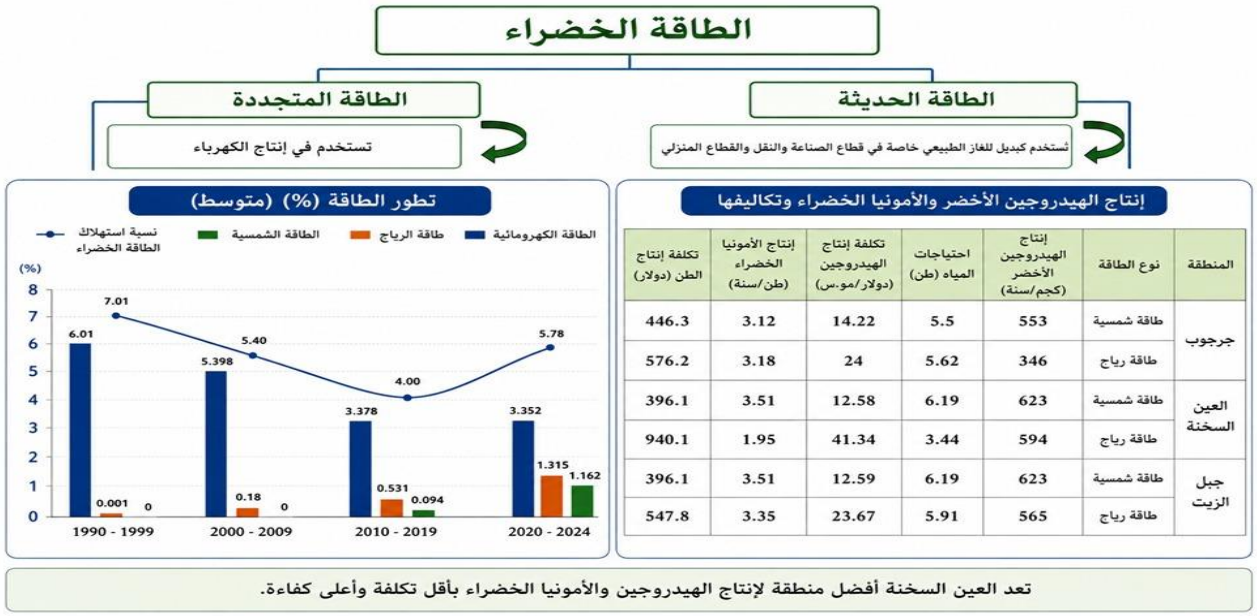
انخفضت نسبة استهلاك الطاقة غير المتجددة نسبيًا خلال الفترة (2020–2024) إلى حوالي 94.17%، إلا أنها ظلت تمثل النسبة الغالبة من مزيج الطاقة. وقد تراجع اعتماد النظام الطاقة على النفط إلى 36.69%، مقابل استمرار ارتفاع مساهمة الغاز الطبيعي إلى 56.22%، وهو ما يؤكد التحول التدريجي نحو الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي للطاقة، بينما ارتفعت مساهمة الفحم بشكل طفيف إلى 1.26%مع بقائها محدودة للغاية. وعلى المستوى القطاعي، ظل قطاع الكهرباء الأعلى استهلاكًا للطاقة بنسبة 38%، يليه قطاع النقل الذي ارتفعت مساهمته بصورة واضحة إلى 25%نتيجة زيادة النشاط الاقتصادي وحجم الطلب على الوقود، بينما تراجعت مساهمة قطاع الصناعة إلى 17% ، وسجل كل من قطاع البترول وقطاع المنازل/التجاري نسبة 7%لكل منهما، في حين ارتفعت مساهمة القطاعات الأخرى إلى 13% ويعكس ذلك استمرار هيمنة قطاع الكهرباء مع تزايد أهمية قطاع النقل في استهلاك الطاقة غير المتجددة خلال السنوات الأخيرة.

وبناءً على ما سبق، يتضح أن تطور استهلاك الطاقة غير المتجددة في مصر خلال الفترة محل الدراسة يعكس أحد التحديات الأساسية أمام قدرة الطاقة الخضراء على مواجهة تداعيات التغير المناخي. فعلى الرغم من حدوث تحول تدريجي في هيكل الطاقة من النفط إلى الغاز الطبيعي، فإن هذا التحول لا يمثل انتقالًا كاملًا نحو مصادر نظيفة، بل يظل داخل إطار الاعتماد على الوقود الأحفوري، وإن كان الغاز الطبيعي أقل كثافة كربونية مقارنة بالنفط والفحم. كما أن استمرار ارتفاع مساهمة الطاقة غير المتجددة في مزيج الطاقة المصري، خاصة في قطاعات الكهرباء والنقل والصناعة، يشير إلى أن الضغوط البيئية والانبعاثات الكربونية ستظل قائمة ما لم يتم تسريع التوسع في مصادر الطاقة الخضراء. ومن ثم، فإن هذه النتائج تؤكد أن تحقيق أهداف استراتيجية مصر 2050 في مواجهة التغير المناخي لا يرتبط فقط بإحلال الغاز الطبيعي محل النفط، وإنما يتطلب تحولًا أعمق نحو الطاقة الخضراء ورفع كفاءتها ومساهمتها الفعلية في مزيج الطاقة، بما يدعم خفض الانبعاثات ويعزز قدرة الاقتصاد المصري على مواجهة تداعيات التغير المناخي.

2.4 تطور استهلاك الطاقة الخضراء في مصر خلال الفترة 1990 – 2024

تنقسم الطاقة الخضراء إلى محورين رئيسيين يتمثلان في **الطاقة المتجددة** و**الطاقة الحديثة** . وتشير الطاقة المتجددة إلى المصادر الطبيعية المستدامة المستخدمة بصورة أساسية في إنتاج الكهرباء، مثل الطاقة الكهرومائية والطاقة الشمسية وطاقة الرياح، والتي تسهم في خفض الانبعاثات الكربونية وتعزيز استدامة منظومة الطاقة. أما الطاقة الحديثة فتكون بديل قوي للغاز الطبيعي باعتباره بديلًا أنظف للوقود التقليدي، خاصة في قطاعات الصناعة والنقل والمنازل، إلى جانب التوسع في تطبيقات الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء باعتبارهما من أهم توجهات التحول نحو الاقتصاد منخفض الكربون. ويعكس هذا التقسيم توجه الدولة نحو تنويع مصادر الطاقة وتعزيز الاعتماد على البدائل النظيفة لتحقيق التنمية المستدامة.

الشكل رقم (2): تطور استهلاك الطاقة الخضراء في مصر خلال الفترة (1990 – 2024)



المنطقة	نوع الطاقة	إنتاج الهيدروجين الأخضر (كجم/سنة)	احتياجات المياه (طن)	تكلفة إنتاج الهيدروجين (دولار/مو.س)	إنتاج الأمونيا الخضراء (طن/سنة)	تكلفة إنتاج الطن (دولار)
جرجوب	طاقة شمسية	553	5.5	14.22	3.12	446.3
	طاقة رياح	346	5.62	24	3.18	576.2
العين السخنة	طاقة شمسية	623	6.19	12.58	3.51	396.1
	طاقة رياح	594	3.44	41.34	1.95	940.1
جبل الزيت	طاقة شمسية	623	6.19	12.59	3.51	396.1
	طاقة رياح	565	5.91	23.67	3.35	547.8

المصـــدر :إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات https://ourworldindata.org/، ودراســات كلٍ من (Gado et al, 2023; Salah et al, 2022; Kumar et al, 2024; Fasihi et al, 2021; Campion et al, 2023; Nayak-Luke, 2018; Morgan, 2014).

شهدت الفترة (1990–1999) ارتفاعًا نسبيًا في متوسط استهلاك الطاقة المتجددة ليبلغ حوالي 7.01%، مدفوعًا بالاعتماد الأساسي على الطاقة الكهرومائية بنسبة 6.01%، في حين كانت مساهمة طاقة الرياح والطاقة الشمسية محدودة للغاية ولم تتجاوز 0.001%، مما يعكس محدودية التقنيات المتجددة الحديثة خلال تلك المرحلة. ومع بداية الفترة (2000–2009)، انخفض متوسط استهلاك الطاقة المتجددة إلى حوالي 5.40% نتيجة تراجع مساهمة الطاقة الكهرومائية إلى 5.398%، رغم ظهور مساهمة أولية لطاقة الرياح بنسبة 0.18%، بينما ظلت الطاقة الشمسية شبه منعدمة، وهو ما يشير إلى بداية التوجه نحو تنويع مصادر الطاقة المتجددة.

وخلال الفترة (2010–2019)، استمر التراجع في متوسط استهلاك الطاقة المتجددة ليصل إلى حوالي 4%، بالتزامن مع انخفاض مساهمة الطاقة الكهرومائية إلى 3.378%، مقابل ارتفاع تدريجي لطاقة الرياح إلى 0.531% وظهور مساهمة فعلية للطاقة الشمسية بنسبة 0.094%، بما يعكس بداية التوسع في مشروعات الطاقة المتجددة الحديثة. أما خلال الفترة (2020–2024)، فقد ارتفع متوسط استهلاك الطاقة المتجددة مجددًا إلى حوالي 5.78%، مدعومًا بالنمو الواضح في طاقة الرياح بنسبة 1.315% والطاقة الشمسية بنسبة 1.162%، إلى جانب استقرار مساهمة الطاقة الكهرومائية عند 3.352%. ويعكس ذلك التوسع الكبير في الاستثمارات الموجهة لمشروعات الطاقة المتجددة وتعزيز جهود التحول نحو الطاقة النظيفة.

توضح بيانات إنتاج الهيدروجين الأخضر وجود تباين واضح بين المناطق ومصادر الطاقة المستخدمة، حيث تحقق الطاقة الشمسية أفضل أداء إنتاجي وتكلفي مقارنة بطاقة الرياح. فقد سجلت منطقتا العين السخنة وجبل الزيت أعلى إنتاج للهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقة الشمسية بنحو 623 كجم/ساعة لكل منهما، وبتكلفة منخفضة بلغت حوالي 12.58 و12.59 دولار/كجم على التوالي، وهو ما يجعلهما الأكثر تنافسية بين البدائل المطروحة. في المقابل، بلغ إنتاج جرجوب باستخدام الطاقة الشمسية نحو 553 كجم/ساعة بتكلفة أعلى نسبيًا بلغت 14.22 دولار/كجم. أما في حالة طاقة الرياح، فتظهر العين السخنة بإنتاج مرتفع نسبيًا بلغ 594 كجم/ساعة، لكنها سجلت أعلى تكلفة لإنتاج الهيدروجين بنحو 41.34 دولار/كجم، رغم انخفاض احتياجاتها المائية إلى 3.44 طن، وهي الأقل بين جميع البدائل. بينما حققت جرجوب أقل إنتاج للهيدروجين باستخدام الرياح بنحو 346 كجم/ساعة وبتكلفة 24 دولار/كجم. ومن ثم، تشير المقارنة إلى أن الطاقة الشمسية، خاصة في العين السخنة وجبل الزيت، تمثل الخيار الأكثر كفاءة لإنتاج الهيدروجين الأخضر من حيث ارتفاع الإنتاج وانخفاض التكلفة، في حين تبدو طاقة الرياح أقل تنافسية من الناحية الاقتصادية رغم بعض مزاياها في تقليل الاحتياجات المائية.

أما بالنسبة لإنتاج الأمونيا الخضراء، فتؤكد البيانات استمرار تفوق الطاقة الشمسية مقارنة بطاقة الرياح، سواء من حيث حجم الإنتاج أو تكلفة الطن. فقد سجلت العين السخنة وجبل الزيت أعلى إنتاج للأمونيا الخضراء باستخدام الطاقة الشمسية بنحو 3.51 طن/سنة لكل منهما، مع أقل تكلفة إنتاج بلغت حوالي 396.1 دولار/طن، وهو ما يعكس ميزة تنافسية واضحة لهاتين المنطقتين في توطين صناعة الأمونيا الخضراء. وجاءت جرجوب بالطاقة الشمسية في مرتبة أقل، حيث بلغ إنتاج الأمونيا نحو 3.12 طن/سنة بتكلفة 446.3 دولار/طن. في المقابل، أظهرت مشروعات الرياح تكلفة أعلى بصورة ملحوظة؛ إذ بلغت تكلفة إنتاج الطن في العين السخنة نحو 940.1 دولار/طن، وهي الأعلى بين جميع البدائل،

رغم أن إنتاجها لم يتجاوز 1.95 طن/سنة، وهو الأقل أيضًا. كما سجلت جرجوب وجبل الزيت باستخدام الرياح إنتاجًا بلغ 3.18 و3.35 طن/سنة على التوالي، وبتكلفة 576.2 و547.8 دولار/طن. وبذلك يتضح أن إنتاج الأمونيا الخضراء اعتمادًا على الطاقة الشمسية، خصوصًا في العين السخنة وجبل الزيت، هو الأكثر جدوى من حيث انخفاض التكلفة وارتفاع الإنتاج، بينما تمثل خيارات الرياح بديلًا أقل كفاءة اقتصاديًا، خاصة في العين السخنة بسبب ارتفاع تكلفة الإنتاج وانخفاض حجم الناتج.

وعلى الرغم من أن مصر تمتلك إمكانات طبيعية كبيرة تؤهلها للتوسع في سوق الطاقة الخضراء، خاصة من حيث ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي، وتوافر مناطق ملائمة لطاقة الرياح، وامتلاك مواقع استراتيجية مثل العين السخنة وجبل الزيت وجرجوب، فإن تحويل هذه الإمكانات إلى قدرة إنتاجية مؤثرة في مواجهة التغير المناخي يظل مرهونًا بتوافر الإمكانات المالية والتكنولوجية. فالمشكلة لا ترتبط بضعف الموارد الطبيعية، وإنما بمدى قدرة الدولة على تعبئة الاستثمارات اللازمة، وتوطين التكنولوجيا، وتطوير البنية التحتية الخاصة بالإنتاج والتخزين والنقل والتصدير. وتوضح بيانات الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء أن مصر تمتلك مواقع قادرة على تحقيق إنتاج مرتفع وتكلفة تنافسية، خاصة عند الاعتماد على الطاقة الشمسية في العين السخنة وجبل الزيت، إلا أن تعميم هذه النماذج يتطلب تمويلًا كبيرًا ونقلًا للتكنولوجيا وخبرات تشغيلية متقدمة.

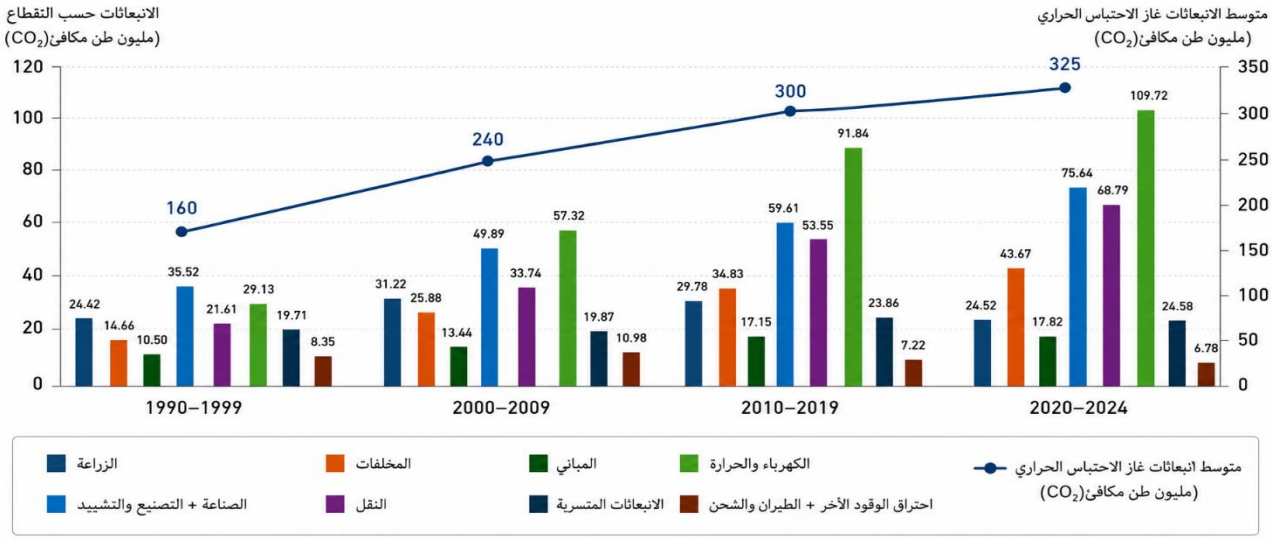
ومن ثم، فإن استراتيجية مصر 2050 لا ينبغي النظر إليها باعتبارها مجرد خطة للتوسع في الطاقة الخضراء، بل كإطار لمعالجة الفجوة بين الإمكانات الطبيعية المتاحة والقدرات المالية والتكنولوجية المطلوبة. فامتلاك الموارد الشمسية والريحية وحده لا يكفي لتحقيق التحول الأخضر، ما لم يتم دعمه بسياسات تمويلية فعالة، وشراكات دولية، وحوافز استثمارية، وبرامج لتوطين التكنولوجيا وبناء القدرات المحلية. وبذلك يمكن القول إن الطاقة الخضراء تستطيع أن تسهم في مواجهة تداعيات التغير المناخي في مصر، لكنها لن تحقق هذا الدور بصورة كاملة إلا إذا نجحت الدولة في تحويل ميزتها الطبيعية إلى ميزة إنتاجية وتصديرية، من خلال سد فجوة التمويل والتكنولوجيا وربط مشروعات الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء بأهداف التنمية المستدامة والحياد الكربوني في إطار استراتيجية مصر 2050 (المجلس الوطني للتغيرات المناخية، 2022).

3.4 تطور ظاهرة التغير المناخي في مصر خلال الفترة (1990–2024)

تُعد ظاهرة التغير المناخي من أبرز التحديات البيئية التي تواجه العالم في الوقت الراهن، نتيجة الارتفاع المستمر في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن الأنشطة البشرية، خاصة المرتبطة بإنتاج الطاقة والنقل والصناعة. وقد أدى ذلك إلى تزايد التأثيرات المناخية السلبية، مثل ارتفاع درجات

الحرارة، وتغير أنماط سقوط الأمطار، وزيادة حدة الظواهر المناخية المتطرفة. يوضح الشكل رقم (3) الخاصة بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري في مصر وجود تزايد مستمر في مستويات الانبعاثات عبر الفترات الزمنية المختلفة، بما يعكس تنامي النشاط الاقتصادي والسكاني وزيادة الطلب على الطاقة والأنشطة الإنتاجية.

الشكل رقم (3): تطور ظاهرة التغير المناخي في مصر خلال الفترة (1990–2024)



المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على بيانات https://ourworldindata.org /

شهدت الفترة (1990–1999) تسجيل متوسط انبعاثات غازات الاحتباس الحراري نحو 160 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون، حيث تصدر قطاع الكهرباء والحرارة القطاعات الأكثر مساهمة في الانبعاثات بحوالي 29.13 مليون طن، يليه قطاع الصناعة والتشييد بنحو 35.52 مليون طن، ثم قطاع النقل بحوالي 21.61 مليون طن. كما ساهمت قطاعات الزراعة والمخلفات والانبعاثات المتسربة بنسب متفاوتة، وهو ما يعكس الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري خلال تلك المرحلة.

ومع بداية الفترة (2000–2009)، ارتفع متوسط الانبعاثات إلى نحو 240 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون، مدفوعًا بالتوسع في الأنشطة الصناعية وزيادة الطلب على الطاقة، حيث ارتفعت انبعاثات قطاع الكهرباء، والحرارة إلى 57.32 مليون طن، كما زادت مساهمة قطاع الصناعة والتشييد إلى 49.89 مليون طن، إلى جانب ارتفاع انبعاثات النقل والمخلفات مقارنة بالفترة السابقة، مما يعكس تسارع النمو الاقتصادي والتوسع العمراني.

وخلال الفترة (2010–2019)، استمر الاتجاه التصاعدي للانبعاثات ليصل المتوسط إلى حوالي 300 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون، نتيجة التوسع الكبير في استهلاك الطاقة والأنشطة الاقتصادية

المختلفة. وقد سجل قطاع الكهرباء والحرارة أعلى مساهمة بحوالي 91.84 مليون طن، يليه قطاع الصناعة والتشييد بنحو 59.61 مليون طن، ثم قطاع النقل بحوالي 53.55 مليون طن، وهو ما يشير إلى تعاظم تأثير القطاعات الإنتاجية والخدمية على مستويات الانبعاثات.

أما خلال الفترة (2020–2023)، فقد ارتفع متوسط انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى نحو 325 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وهو أعلى مستوى خلال فترة الدراسة. واستمر قطاع الكهرباء والحرارة في صدارة القطاعات المسببة للانبعاثات بحوالي 105.63 مليون طن، تلاه قطاع الصناعة والتشييد بنحو 71.73 مليون طن، ثم قطاع النقل بحوالي 64.67 مليون طن، في حين شهدت بعض القطاعات الأخرى مثل المخلفات والزراعة زيادات ملحوظة، بما يعكس استمرار الضغوط البيئية الناتجة عن التوسع الاقتصادي والسكاني.

الجدير بالملاحظة إلى أن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في مصر اتخذت اتجاهًا تصاعديًا واضحًا عبر الفترات الزمنية المختلفة، وهو ما يرتبط بتوسع الأنشطة الاقتصادية وارتفاع الطلب على الطاقة، إلى جانب استمرار الاعتماد بدرجة كبيرة على مصادر الطاقة التقليدية. كما يتبين أن قطاع الكهرباء والحرارة يمثل المصدر الأكبر للانبعاثات، يليه قطاع الصناعة والتشييد ثم قطاع النقل، بما يعكس أن القطاعات الأكثر ارتباطًا بالنمو الاقتصادي هي في الوقت نفسه الأكثر استهلاكًا للوقود الأحفوري والأكثر مساهمة في الانبعاثات. وتؤكد هذه المؤشرات ضرورة تسريع التحول نحو الطاقة النظيفة، ورفع كفاءة استخدام الطاقة، والتوسع في مشروعات الطاقة المتجددة والنقل المستدام، بما يسهم في خفض الانبعاثات وتعزيز قدرة مصر على تحقيق أهداف التنمية المستدامة ومواجهة تداعيات التغير المناخي مستقبلًا.

الجدير بالملاحظة فإن الطاقة الخضراء يمكن أن تسهم في مواجهة تداعيات التغير المناخي في مصر، لكنها في وضعها الحالي تمثل أداة واعدة أكثر من كونها بديلًا كاملًا للطاقة التقليدية. فاستمرار اتساع الفجوة في سوق الطاقة غير المتجددة، وارتفاع الواردات مقارنة بالصادرات، وتزايد الطلب على الكهرباء والوقود، كلها عوامل تُبقي الانبعاثات عند مستويات مرتفعة. لذلك، فإن تحقيق الأثر المناخي للطاقة الخضراء يتطلب تسريع تنفيذ أهداف الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، من خلال رفع نصيب الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة، وتوجيه الاستثمارات نحو الطاقة الشمسية والرياح والهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء. وبذلك تصبح استراتيجية مصر 2050 هي الإطار الذي يحول الطاقة الخضراء من مجرد فرصة طبيعية واستثمارية إلى أداة فعلية لخفض الانبعاثات، وتعزيز أمن الطاقة، والحد من تداعيات التغير المناخي.

5- تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضـــراء وظاهرة التغير المناخي في ضـــوء الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050

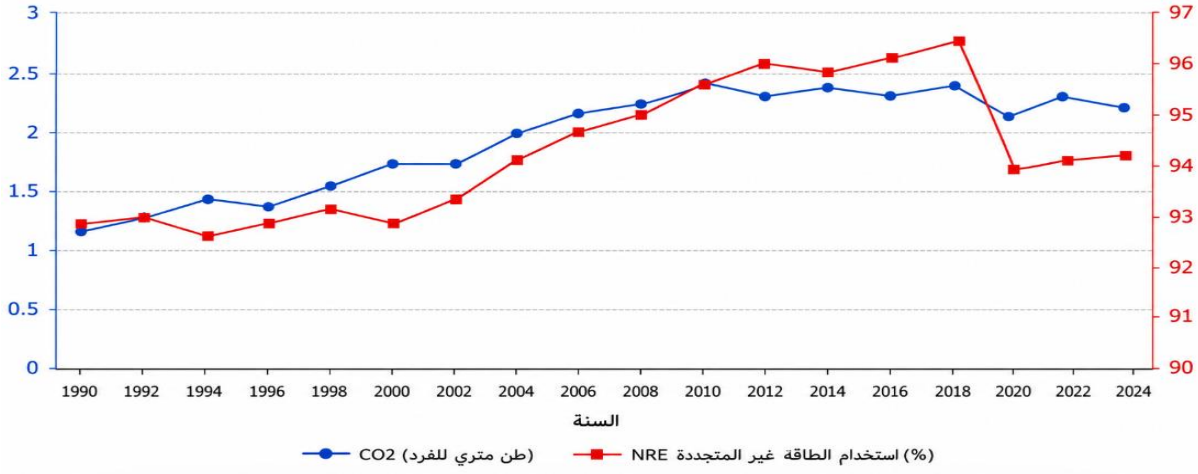
يُعد قطاع الطاقة أحد أهم القطاعات المؤثرة في ظاهرة التغير المناخي، نظرًا لارتباطه المباشـــر بمستويات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وعلى رأسها غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث تعتمد العديد من الاقتصـادات النامية، ومن بينها مصـر، بدرجة كبيرة على مصـادر الطاقة غير المتجددة، مثل النفط والغاز الطبيعي والفحم، لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة في مختلف القطاعات الإنتاجية والخدمية، وهو ما يؤدي إلى زيادة الانبعاثات الكربونية وما يرتبط بها من آثار بيئية ومناخية، في حين يمثل التوسـع في اسـتخدام مصـادر الطاقة المتجددة أو الطاقة الخضـراء أحد المسـارات المهمة للحد من هذه الانبعاثات وتعزيز التحول نحو اقتصـاد منخفض الكربون. وفي ضـوء ذلك، يتناول هذا المبحث تحليل العلاقة بين هيكل مزيج الطاقة وظاهرة التغير المناخي في مصـر خلال الفترة (1990–2024)، من خلال دراسـة العلاقة بين اسـتخدام الطاقة غير المتجددة ومتوسـط نصـيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون، والعلاقة بين التوسـع في اسـتخدام الطاقة الخضـراء ومسـتويات الانبعاثات الكربونية، فضـلًا عن تحليل العلاقة المشتركة بين كل من الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء واتجاهات الانبعاثات الكربونية، مع ربط هذه التطورات بمســـتهدفات الاســـتراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، للوقوف على مدى توافق التحول في مزيج الطاقة المصـــري مع توجهات الدولة نحو خفض الانبعاثات الكربونية، والتوســـع في مصادر الطاقة النظيفة، ودعم مسار التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون وأكثر استدامة.

1.5- تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة وظاهرة التغير المناخي

في إطار تحليل العلاقة بين اسـتخدام الطاقة غير المتجددة وظاهرة التغير المناخي في مصـر، يكتسب تحليل تطور متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أهمية خاصـة، باعتباره أحد المؤشـــرات الرئيســـية الدالة على حجم التأثير البيئي الناتج عن اســـتهلاك الطاقة. إذ ترتبط الانبعاثات الكربونية بدرجة كبيرة بمدى الاعتماد على مصـادر الطاقة الأحفورية، والتي تمثل المكون الأسـاسـي لمزيج الطاقة في العديد من الدول النامية. يمكن توضـيح تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة ومتوسط انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في مصر من خلال الشكل التالي:

الشكل (4): تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة وظاهرة التغير المناخي في مصر

خلال الفترة (1990-2024)



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على https://ourworldindata.org/

في الفترة الأولى (1990–2000)، اتسمت العلاقة بين متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ونسبة الاعتماد على الطاقة غير المتجددة باتجاه تصاعدي ملحوظ. فقد ارتفع متوسط نصيب الفرد من الانبعاثات من نحو 1.2 طن إلى ما يقرب من 1.9 طن للفرد، بزيادة بلغت حوالي 58%، في حين ارتفعت نسبة الاعتماد على الطاقة غير المتجددة من 93.3% إلى 93.7%. ويُعزى هذا الاتجاه إلى مرحلة النمو الاقتصادي التي شهدتها مصر خلال التسعينيات، حيث ارتفع الناتج المحلي الإجمالي من نحو 43 مليار دولار إلى ما يقرب من 99 مليار دولار، بالتزامن مع زيادة استهلاك الطاقة الأولية من 32 إلى 50 مليون طن مكافئ نفط. وقد أدى توسع الأنشطة الصناعية والخدمية وارتفاع الطلب على الكهرباء والنقل إلى زيادة الاعتماد على الوقود الأحفوري، الأمر الذي انعكس في ارتفاع مستويات الانبعاثات الكربونية .

وفي الفترة الثالثة (2010–2020)، بدأ الاتجاه العام يشهد تحولًا نسبيًا، حيث تراجع متوسط نصيب الفرد من الانبعاثات الكربونية من نحو 2.3 طن إلى 2.2 طن للفرد، بانخفاض يقارب 4%، كما انخفضت نسبة الاعتماد على الطاقة غير المتجددة من 95.5% إلى نحو 94%. ويمكن تفسير هذا التراجع النسبي بالإصلاحات التي شهدها قطاع الطاقة، والتي تضمنت إعادة هيكلة دعم الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها، إلى جانب التوسع التدريجي في مشروعات الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وقد ساهمت هذه السياسات، إلى جانب تنفيذ مشروعات كبرى مثل مجمع بنبان للطاقة الشمسية، في تقليل الاعتماد النسبي على الوقود الأحفوري والحد من نمو الانبعاثات الكربونية.

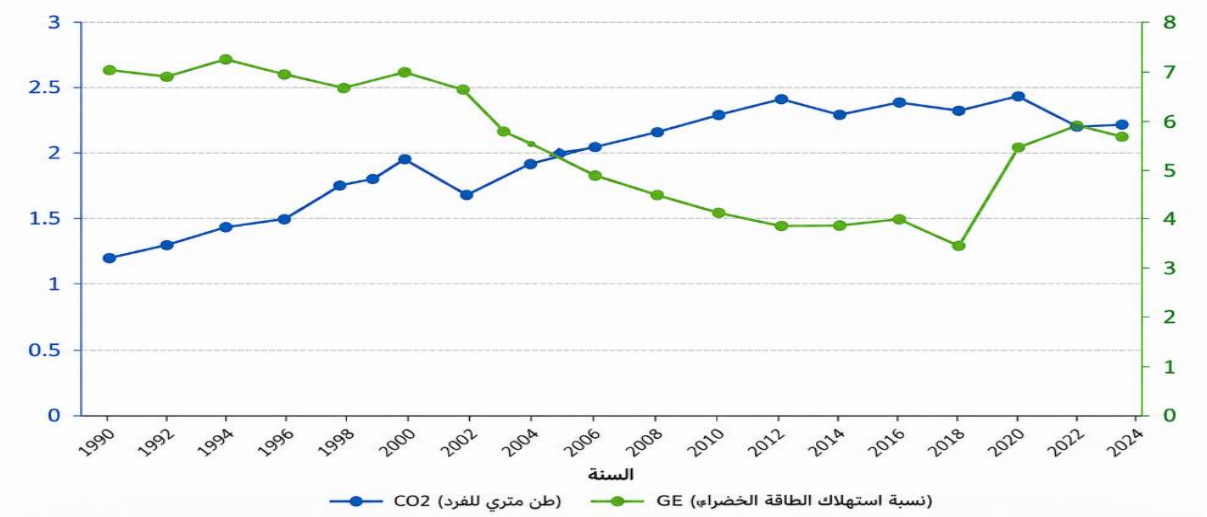
أمـا خـلال الفتـرة الرابعـة (2020–2024)، فقـد اتسـمت العلاقـة بـين المتغيـرين بحالـة مـن الاسـتقرار النسـبي، حيـث اسـتقر متوسـط نصـيب الفـرد مـن انبعاثـات ثـاني أكسـيد الكربـون عنـد نحـو 2.2 طـن للفـرد مـع تقلبـات محـدودة، كمـا اسـتقرت نسـبة الاعتمـاد علـى الطاقـة غيـر المتجـددة عنـد مسـتويات تراوحـت بـين 94% و94.2%. ويعكـس هـذا الاسـتقرار اسـتمرار التوسـع فـي مشـروعات الطاقـة المتجـددة، التـي تجـاوزت قـدرتها المركبـة 6 جيجـاوات، إلـى جانـب تبنـي سياسـات تسـتهدف تنويـع مـزيج الطاقـة وتعزيـز التحـول نحـو مصـادر الطاقـة النظيفـة. وفـي المقابـل، أدى النمـو السـكاني المتواصـل وارتفـاع الطلـب علـى الطاقـة إلـى اسـتمرار الحاجـة إلـى مصادر الطاقة التقليدية، رغم التقدم المحقق في قطاع الطاقة المتجددة.

الجـدير بالملاحظـة أن هنـاك علاقـة طرديـة واضـحة بـين الاعتمـاد علـى الطاقـة غيـر المتجـددة ومتوسـط نصـيب الفـرد مـن انبعاثـات ثـاني أكسـيد الكربـون، حيـث تـؤدي الزيـادة فـي اسـتخدام الوقـود الأحفـوري إلـى ارتفـاع مسـتويات الانبعاثـات الكربونيـة، وهـو مـا يسـاهم بشـكل مباشـر فـي تفـاقم ظـاهرة التغيـر المنـاخي. كمـا يلاحـظ أن الفتـرات التـي شـهدت توسـعًا أكبـر فـي اسـتخدام الطاقـة المتجـددة وسياسـات الحـد مـن الانبعاثـات قـد ارتبطـت بتبـاطؤ أو اسـتقرار نسـبي في مستويات الانبعاثات.

2.5– تحليل العلاقة بين الطاقة الخضراء وبين ظاهرة التغير المناخي

في إطار تحليل العلاقة بين التحول نحو الطاقة الخضراء والحد من آثار التغير المناخي، يبرز متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كأحد المؤشرات الرئيسية التي تعكس حجم الضغوط البيئية الناتجة عن الأنشطة الاقتصادية واستهلاك الطاقة. إذ ترتبط مستويات الانبعاثات الكربونية ارتباطًا وثيقًا بنوعية مصادر الطاقة المستخدمة في توليد الطاقة وتشغيل الأنشطة الإنتاجية، حيث يؤدي الاعتماد المتزايد على الوقود الأحفوري إلى ارتفاع مستويات الانبعاثات، في حين يساهم التوسع في استخدام الطاقة الخضراء في الحد من هذه الانبعاثات. ومن هذا المنطلق، يوضح الشكل التالي تطور العلاقة بين استخدام الطاقة الخضراء ومتوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مصر خلال الفترة (1990–2024)، وذلك بهدف تحليل مدى مساهمة التوسع في مصادر الطاقة النظيفة في الحد من آثار ظاهرة التغير المناخي.

الشكل (5) تحليل العلاقة بين الطاقة الخضراء ومتوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مصر خلال الفترة (1990–2024).



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على https://ourworldindata.org/

الفترة الأولى (1990–2024) تشير بيانات الشكل إلى ارتفاع متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مصر من نحو 1.24 طن للفرد عام 1990 إلى حوالي 1.96 طن للفرد عام 2000، بزيادة بلغت نحو 0.72 طن للفرد، وبمعدل نمو يقارب 58%. وفي المقابل، تراجعت مساهمة الطاقة الخضراء بشكل طفيف من نحو 7% من إجمالي استهلاك الطاقة إلى ما يقارب 6.5% بنهاية الفترة. ويُعزى هذا الاتجاه إلى الزيادة المستمرة في الطلب على الطاقة الكهربائية نتيجة التوسع العمراني والنمو السكاني وارتفاع مستويات الاستهلاك المنزلي للطاقة. فقد ارتفع عدد سكان مصر من نحو 56 مليون نسمة عام 1990 إلى أكثر من 67 مليون نسمة عام 2000، الأمر الذي أدى إلى زيادة الطلب على الكهرباء والوقود. ومع اعتماد قطاع الكهرباء خلال تلك الفترة بصورة رئيسية على الغاز الطبيعي والمنتجات البترولية، انعكس التوسع في استهلاك الطاقة على ارتفاع الانبعاثات الكربونية للفرد، في ظل محدودية مساهمة مصادر الطاقة المتجددة التي انحصرت أساسًا في الطاقة الكهرومائية المرتبطة بالسد العالي.

خلال الفترة (2000–2010) استمر متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الارتفاع خلال هذه الفترة، حيث ارتفع من نحو 1.96 طن للفرد عام 2000 إلى حوالي 2.35 طن للفرد عام 2010، بزيادة قدرها 0.39 طن للفرد، وبمعدل نمو يقارب 20%. وعلى الجانب الآخر، شهدت مساهمة الطاقة الخضراء تراجعًا ملحوظًا، إذ انخفضت من نحو 6.5% إلى ما يقارب 4.5% خلال الفترة نفسها. ويرتبط هذا التراجع بالتغيرات التي شهدها هيكل إنتاج الكهرباء في مصر، حيث اتجهت

الدولة إلى التوسع في إنشاء محطات التوليد العاملة بالغاز الطبيعي عقب زيادة إنتاجه المحلي، الأمر الذي عزز من مكانته كمصدر رئيسي لتوليد الكهرباء. ونتيجة لذلك تراجع الوزن النسبي لمصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، رغم بدء تنفيذ عدد من مشروعات طاقة الرياح في منطقة الزعفرانة على ساحل البحر الأحمر. وقد أسهم الاعتماد المتزايد على مصادر الطاقة التقليدية في استمرار ارتفاع الانبعاثات الكربونية للفرد لتلبية الطلب المتنامي على الطاقة.

الفترة الثالثة (2010–2020) يتضح من الشكل أن متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون اتسم بحالة من الاستقرار النسبي خلال هذه الفترة، حيث تراوح بين 2.3 و2.4 طن للفرد في معظم السنوات، قبل أن ينخفض إلى نحو 2.2 طن للفرد عام 2020. وفي المقابل، انخفضت مساهمة الطاقة الخضراء في بداية العقد لتصل إلى نحو 3.8% عام 2017، ثم عاودت الارتفاع تدريجيًا لتبلغ حوالي 5.5% عام 2020. ويعكس هذا التطور بداية التحول التدريجي في سياسات الطاقة المصرية نحو تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، خاصة في ظل تزايد الاهتمام الدولي بقضايا التغير المناخي. وقد تجسد ذلك في إطلاق عدد من المشروعات الكبرى للطاقة المتجددة، من أبرزها مشروعات طاقة الرياح في خليج السويس ومجمع بنبان للطاقة الشمسية بمحافظة أسوان، الذي يُعد من أكبر مشروعات الطاقة الشمسية على مستوى العالم. وأسهمت هذه المشروعات في الحد من تسارع نمو الانبعاثات الكربونية رغم استمرار زيادة الطلب على الطاقة.

في الفترة الرابعة (2020– 2024) تشير البيانات إلى تحسن نسبي في العلاقة بين الطاقة الخضراء والانبعاثات الكربونية خلال هذه الفترة، حيث ارتفعت مساهمة الطاقة الخضراء من نحو 5.5% عام 2020 إلى ما يقارب 6% عام 2024، في حين انخفض متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من حوالي 2.2 طن للفرد إلى نحو 2.15 طن للفرد خلال الفترة نفسها. ويعكس هذا التحسن بدء ظهور آثار السياسات الحكومية الرامية إلى تعزيز التحول نحو الطاقة النظيفة، من خلال تنفيذ مجموعة من المشروعات التي تستهدف رفع مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة، وذلك في إطار استراتيجية الطاقة المستدامة 2035 والاستراتيجية الوطنية للتغير المناخي 2050. وقد ساهم التوسع في مشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في زيادة حصة الطاقة النظيفة تدريجيًا، بما يدعم جهود خفض الانبعاثات الكربونية والتحول نحو اقتصاد منخفض الكربون.

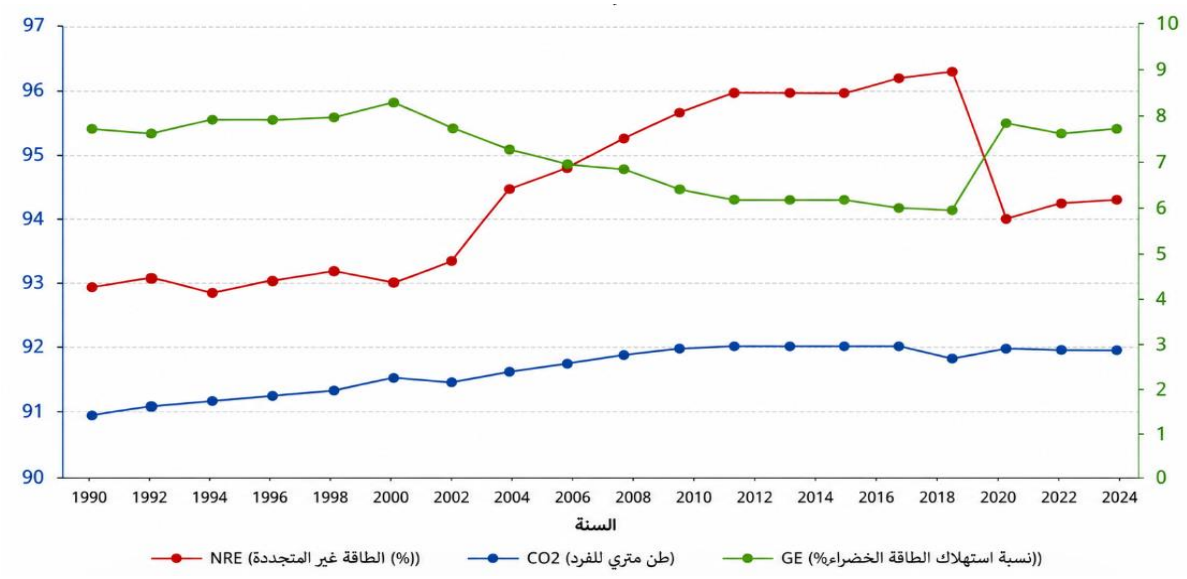
يتضح من تحليل العلاقة بين استخدام الطاقة الخضراء ومتوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مصر خلال الفترة (1990–2024) وجود علاقة عكسية نسبية بين المتغيرين، حيث ارتبط انخفاض مساهمة الطاقة المتجددة بارتفاع الانبعاثات الكربونية نتيجة الاعتماد المتزايد على الوقود

الأحفوري، في حين ساهم التوسع التدريجي في مشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح خلال السنوات الأخيرة في استقرار الانبعاثات ثم انخفاضها نسبيًا. ويشير ذلك إلى أن تعزيز الاعتماد على الطاقة الخضراء يمثل أحد المسارات الأساسية للحد من آثار التغير المناخي في مصر ودعم التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون.

3.5- تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء وظاهرة التغير المناخي

تسعى هذه الدراسة إلى تحليل تطور العلاقة بين مزيج الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال فترة الدراسة، وذلك من خلال تتبع التغير في كل من الطاقة غير المتجددة (NRE) والطاقة الخضراء (GE)، إلى جانب متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) خلال الفترة الممتدة من 1990 إلى 2024 ويهدف هذا التحليل إلى توضيح الكيفية التي تطور بها هيكل مزيج الطاقة بمرور الزمن، ومدى انعكاس ذلك على اتجاهات الانبعاثات الكربونية المرتبطة بقطاع الطاقة. ويوضح الشكل التالي تطور هذه المتغيرات خلال فترة الدراسة، بما يسمح بتحديد الاتجاهات العامة للتغير في مزيج الطاقة وتأثيرها على مستويات الانبعاثات الكربونية.

الشكل رقم (6): تحليل العلاقة بين الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في مصر خلال الفترة (1990 - 2024)



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على https://ourworldindata.org/

تشير بيانات الشكل إلى وجود مرحلتين رئيسيتين في تطور العلاقة بين استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية في مصر خلال الفترة (1990–2024). فقد اتسمت المرحلة الأولى (1990–2010) بتزايد

الاعتماد على مصـــادر الطاقة غير المتجددة وتراجع الأهمية النســبية للطاقة الخضــراء ضــمن مزيج الطاقة. وخلال هذه المرحلة، ارتفعت مساهمة الطاقة غير المتجددة بصورة تدريجية، في حين انخفضت مسـاهمة الطاقة الخضـراء من نحو 7% عام 1990 إلى ما يقارب 4.5% عام 2010. وقد تزامن ذلك مع ارتفاع متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من نحو 1.24 طن للفرد إلى حوالي 2.35 طن للفرد، بما يعكس الأثر المباشـــر للاعتماد المتزايد على الوقود الأحفوري في تلبية الطلب المتنامي على الطاقة.

أما المرحلة الثانية (2010–2024)، فقد شهدت بداية تحول تدريجي في هيكل الطاقة المصري مع التوســع في مشــروعات الطاقة الشــمســية وطاقة الرياح، الأمر الذي أدى إلى زيادة مســاهمة الطاقة الخضـراء من نحو 4.5% عام 2010 إلى ما يقارب 6% عام 2024. وفي المقابل، اتسـمت مسـاهمة الطاقة غير المتجددة بحالة من الاستقرار النسبي مقارنة بالفترات السابقة. وقد انعكس هذا التحول على اتجاه الانبعاثات الكربونية، حيث استقرت عند مستويات تراوحت بين 2.2 و2.4 طن للفرد خلال معظم سـنوات الفترة، قبل أن تسـجل انخفاضًـا طفيفًا في السـنوات الأخيرة. كما سـاهمت جائحة كورونا عام 2020 في تعزيز هذا الاتجاه نتيجة تراجع النشـاط الاقتصـادي وانخفاض الطلب على الطاقة، ولا سـيما الوقود الأحفوري.

وفي ضــوء ما ســبق، يتضــح أن تطور مزيج الطاقة في مصــر خلال فترة الدراســة يعكس ارتباطًا واضحًا بين طبيعة مصادر الطاقة المستخدمة واتجاهات الانبعاثات الكربونية؛ إذ ارتبط استمرار الاعتماد على المصادر غير المتجددة بارتفاع الضغوط الكربونية، في حين صاحب التوسع التدريجي في مصادر الطاقة الخضـراء خلال السـنوات الأخيرة تحسـن نسـبي في مسـار الانبعاثات. وانطلاقًا من ذلك، تبرز أهمية الانتقال من تحليل العلاقات بين متغيرات الدراســـة إلى تقييم دلالاتها في ضـــوء مســـتهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، ولا سيما ما يتعلق بالتحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات، وتحسين حوكمة وإدارة العمل المناخي، وتوفير التمويل المناخي وتعزيز التعاون الدولي. ويوضـح الجدول التالي هذا الربط من خلال الجمع بين اتجاه العلاقات التي أظهرها التحليل والمتطلبات الاســـتراتيجية اللازمة لدعم التحول في مزيج الطاقة المصـري ويوضـح جدول رقم (1) تحليل العلاقة بين مزيج الطاقة والتغير المناخي بمستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050.

الجدول رقم (1): ربط نتائج تحليل العلاقة بين مزيج الطاقة والتغير المناخي بمستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050

العلاقة بين المتغيرات	اتجاه العلاقة	النتيجة المستخلصة من التحليل	الربط بمستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050
الطاقة غير المتجددة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون والطاقة الخضراء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون	NRE ↑ --- CO_2 ↑	زيادة الاعتماد على الطاقة غير المتجددة يرتبط بارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مما يزيد الضغوط المناخية.	**التحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات** خفض الاعتماد على الوقود الأحفوري ↓ التوسع في الطاقة الخضراء ↑ خفض الانبعاثات الكربونية ↓
	GE ↓ --- CO_2 ↓	التوسع في استخدام الطاقة الخضراء يرتبط بانخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مما يدعم التحول نحو مصادر طاقة أكثر استدامة.	
الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء والتغير المناخي	NRE ↓ + GE ↑ --- CO_2 ↓	إعادة هيكلة مزيج الطاقة لصالح الطاقة الخضراء مع خفض الاعتماد على المصادر غير المتجددة، تمثل مساراً للحد من الانبعاثات.	**تحسين حوكمة وإدارة العمل المناخي + تمويل المناخي والتعاون الدولي** توفير الإطار المؤسسي والتنظيمي الفعال تسريع الاستثمارات في مشروعات الطاقة الخضراء تسريع التحول في مزيج الطاقة (خفض الاعتماد على الطاقة غير المتجددة (↓) ↑ التوسع في الطاقة الخضراء (GE ↑) (خفض الانبعاثات الكربونية (CO_2 ↓) التمويل المطلوب: 93.7 مليار دولار التمويل المتاح/المخطط: أكثر من 10 مليارات دولار **الفجوة التمويلية: 83.7 مليار دولار**

يتضح من الجدول السابق أن تحقيق التحول المطلوب في مزيج الطاقة لا يرتبط فقط بتغيير الوزن النسبي لمصادر الطاقة غير المتجددة والخضراء، وإنما يتوقف كذلك على توافر البيئة المؤسسية والتمويلية القادرة على دعم هذا التحول واستدامته. ومن ثم، فإن التحدي الرئيسي لا يتمثل في تحديد الاتجاه المطلوب فحسب، بل في القدرة على تسريع الانتقال إليه، خاصة في ظل استمرار هيمنة المصادر غير المتجددة واتساع الاحتياجات التمويلية اللازمة للتوسع في مشروعات الطاقة النظيفة. وبذلك، تمثل الحوكمة الفعالة والتمويل المناخي والتعاون الدولي أدوات تنفيذية مكملة للتحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات، بما يسمح بتحويل مستهدفات الاستراتيجية من توجهات مستقبلية إلى تغير فعلي ومستدام في هيكل مزيج الطاقة ومسار الانبعاثات الكربونية.

6. النتائج والتوصيات

أولًا: نتائج الدراسة

في ضوء التحليل الوصفي للعلاقة بين الطاقة غير المتجددة والطاقة الخضراء والتغير المناخي في مصر خلال الفترة (1990–2024)، وفي إطار تقييم مدى قدرة الطاقة الخضراء على مواجهة تداعيات

التغير المناخي وفق مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

- تجيب نتائج الدراسة بصورة مباشرة عن التساؤل الرئيسي للبحث، حيث توضح أن الطاقة الخضراء يمكن أن تسهم في مواجهة تداعيات التغير المناخي في مصر، وهو ما يتوافق مع الهدف الأول للاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050 المتعلق بتحقيق نمو اقتصادي مستدام ومنخفض الانبعاثات. فقد أظهرت النتائج وجود علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة الخضراء والانبعاثات الكربونية، بما يؤكد دورها المحتمل في الحد من التلوث البيئي ودعم التحول نحو الاقتصاد الأخضر. إلا أن هذا الدور ما زال محدودًا نتيجة انخفاض مساهمة الطاقة الخضراء في مزيج الطاقة المصري واستمرار الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري.
- أظهرت نتائج التحليل الوصفي استمرار هيمنة الطاقة غير المتجددة على مزيج الطاقة المصري طوال فترة الدراسة، حيث تجاوزت مساهمتها 90% من إجمالي استهلاك الطاقة، في حين ظلت مساهمة الطاقة الخضراء محدودة رغم تحسنها التدريجي في السنوات الأخيرة. كما ارتفعت انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من نحو 160 مليون طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون خلال التسعينيات إلى نحو 325 مليون طن خلال الفترة (2020–2023)، بما يعكس استمرار الضغوط البيئية المرتبطة بالاعتماد على الوقود الأحفوري.
- أظهرت النتائج وجود علاقة عكسية بين استهلاك الطاقة الخضراء والانبعاثات الكربونية، إلا أن هذا الأثر لم يكن معنويًا إحصائيًا خلال فترة الدراسة، بما يعكس أن التوسع الحالي في الطاقة الخضراء لم يصل بعد إلى المستوى الكافي لإحداث تأثير ملموس على مستويات الانبعاثات الكربونية.
- أظهرت النتائج أن مصر تمتلك مقومات طبيعية قوية تؤهلها للتوسع في مشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء، بما يدعم التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون. إلا أن التحدي الرئيسي لا يتمثل في نقص الموارد الطبيعية، وإنما في محدودية الإمكانات التمويلية والتكنولوجية اللازمة لتحويل هذه الإمكانات إلى قدرة إنتاجية واسعة النطاق، وهو ما يتوافق مع أهداف الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050 المتعلقة بتعزيز التمويل المناخي ونقل التكنولوجيا الخضراء.
- خلصت الدراسة إلى وجود توافق واضح بين نتائجها ومستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، حيث أكدت النتائج أن خفض الاعتماد على الوقود الأحفوري، والتوسع في

الطاقة الخضـراء، وتحفيز الاسـتثمار في التكنولوجيا النظيفة، تمثل جميعها متطلبات أسـاسـية لتحقيق التنمية المستدامة والحد من تداعيات التغير المناخي في مصر.

ثانيًا: توصيات الدراسة

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات التي تسهم في تعزيز قدرة الطاقة الخضراء على مواجهة تداعيات التغير المناخي في مصر وتحقيق مستهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، وذلك على النحو التالي:

- تسـريع وتيرة التحول التدريجي من الوقود الأحفوري إلى مصـادر الطاقة الخضـراء، مع إعطاء أولوية لقطاعات الكهرباء والنقل والصـناعة باعتبارها القطاعات الأكثر مسـاهمة في الانبعاثات الكربونية.
- رفع مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة المصري بمعدلات تفوق المستويات الحالية، بما يضمن انتقال أثر الطاقة الخضراء من مجرد تأثير محدود إلى تأثير فعلي وملموس في خفض الانبعاثات الكربونية على المدى الطويل.
- توجيه مزيد من الاسـتثمارات العامة والخاصـة نحو مشـروعات الطاقة الشـمسـية وطاقة الرياح، خاصـة في المناطق ذات الميزة النسـبية المرتفعة مثل العين السـخنة وجبل الزيت وجرجوب، بما يعظم الاستفادة من الموارد الطبيعية المتاحة.
- تبني برنامج وطني متكامل لتوطين تكنولوجيا الطاقة الخضـراء، بما يشـمل تصـنيع مكونات محطات الطاقة الشمسية والرياح، وتطوير سلاسل القيمة المرتبطة بالهيدروجين الأخضـر والأمونيا الخضـراء، بهدف تقليل الاعتماد على التكنولوجيا المسـتوردة وتعزيز القيمة المضافة المحلية.
- العمل على سد فجوة التمويل المناخي من خلال توسيع الشراكات مع المؤسسات الدولية وصـناديق المناخ العالمية وبنوك التنمية متعددة الأطراف، بما يوفر الموارد المالية اللازمة لتنفيذ مشروعات التحول الأخضر.
- تعزيز التوسـع في مشـروعات الهيدروجين الأخضـر والأمونيا الخضـراء باعتبارهما من أهم الأدوات المسـتقبلية لإزالة الكربون، مع ربط هذه المشـروعات باسـتراتيجية وطنية للتصـدير وتعزيز القدرة التنافسية لمصر في الأسواق العالمية للطاقة النظيفة.
- رفع كفاءة اسـتخدام الطاقة في القطاعات الاقتصـادية المختلفة من خلال التوسـع في تطبيقات كفاءة الطاقة وتحديث البنية التحتية الصـناعية والكهربائية، بما يسـهم في خفض استهلاك الوقود الأحفوري وتقليل الانبعاثات الكربونية.

- التوسع في مشروعات النقل المستدام، بما يشمل وسائل النقل الجماعي النظيفة والمركبات الكهربائية والبنية التحتية الداعمة لها، للحد من الانبعاثات المتزايدة الصـــادرة عن قطاع النقل.
- تعزيز الإنفاق على البحث العلمي والابتكار في مجالات الطاقة الخضـــراء والتكنولوجيا منخفضـــة الكربون، مع دعم التعاون بين الجامعات والمراكز البحثية والقطاع الخاص لتطوير حلول محلية تتناسب مع الظروف المصرية.
- تطوير منظومة متكاملة للمتابعة والتقييم لقياس مدى التقدم في تنفيذ مســـتهدفات الاستراتيجية الوطنية لتغير المناخ 2050، وربط مؤشرات الأداء البيئي بمؤشرات التنمية الاقتصادية لضمان تحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي والاستدامة البيئية.

قائمة المراجع

أولًا: المراجع باللغة العربية:

1. إبراهيم، قارة. (2021). أثر استهلاك الطاقات المتجددة وغير المتجددة على البيئة في مجموعة دول البريكس: دراسة قياسية باستخدام نماذج البانل الساكنة والديناميكية. مجلة ASJP، مج(17)، ع(3)، 500-513.

2. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء (2021). تقرير ميزان الطاقة، إصدار مارس 2023، مصر

3. الحسين، مروة. (2021). تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة والنمو الاقتصادي في المغرب باستخدام نموذج الانحدار الذاتي للإبطاء الموزع غير الخطي (NARDL). مجلة كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة.

4. الناقة، أحمد أبو الفتوح، عبده، عبير شعبان، الشرقاوي، رانيا أنيس. (2021). العلاقة بين الطاقة المستهلكة والنمو الاقتصادي والبيئة في مصر خلال الفترة (2017.1980). المجلة العلمية لكلية الدراسات الاقتصادية والعلوم السياسية، مج(6), ع(12)، 94.51.

5. الموســـى، فواز أحمد. (2024). التغير المناخي: أســـبابه ومؤشـــراته. مجلة الأدب العلمي. ع136, 49.35.

المجلس الوطني للتغيرات المناخية. (2022). الاســـتراتيجية الوطنية للتغيرات المناخية 2050. القاهرة: حكومة جمهورية مصر العربية

6. أمين، تمار. (2022). أثر استهلاك الطاقة المتجددة وغير المتجددة على التلوث البيئي في دول شمال إفريقيا للفترة (1990–2018) باستخدام بانل الديناميكي. مجلة أبحاث اقتصادية وإدارية، مج(16)، ع(2)، 423–439.

7. شعبان، غادة سيدعبدالله سيد. (2021). السندات الخضراء ودورها في دعم الاقتصاد المصري . بالإشارة إلى بعض التجارب الدولية. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، مج(12)، ع(4)، 101.135.

8. عبدالفتاح، فاطمة نسيم أحمد. (2023). أثر كل من استهلاك طاقة الوقود الأحفوري والانفتاح التجاري على الجودة البيئية: دراسة قياسية على قطاع الصناعة التحويلية في مصر. المجلة العلمية للدراسات والبحوث المالية والتجارية، كلية التجارة، جامعة دمياط، مج(4)، ع(2)، 213.246.

9. عبدالله، حمدي ربيع أحمد، علي، إيمان حسن، عبد العزيز، رشا سعيد. (2022). دور إنتاج الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة بالتطبيق علي وزارة الكهرباء والطاقة المصرية. رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية التجارة وإدارة الأعمال، جامعة حلوان، مصر.

10. فايزة، سى محمد. (2019). قياس العلاقة السببية بين استهلاك الطاقة المتجددة، انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والنمو الاقتصادي– دراسة قياسية لحالة الاتحاد الأوروبي خلال الفترة 1990–2016– مجلة المستقبل للدراسات الاقتصادية، مج(2)، ع(4)، 9–21.

11. فتح الله، محمود. (2022). التمويل المناخي: المفهوم و الاشكاليات. المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر. مج(4). ع(1)، 26–31.

12. فوزى، أمانى، أحمد، شيماء. (2022). محددات البصمة البيئية لبعض دول شمال أفريقيا: دراسة قياسية. المجلة المصرية للتنمية والتخطيط، مج(30)، ع(1)، 33–68.

13. وزارة البيئة، جهاز شئون البيئة المصري. (2018). التقرير المحدث كل سنتين الأول لجمهورية مصر العربية المقدم إلى اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (BUR1). القاهرة، مصر: وزارة البيئة المصرية.

ثانيًا: المراجع باللغة الانجليزية:

1. Akin, C. S. (2014). The impact of foreign trade, energy consumption and income on CO_2 emissions. International Journal of Energy Economics and Policy, 4(3), 465–475. https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/861

2. Ali, U., Guo, Q., Kartal, M. T., Nurgazina, Z., Khan, Z. A., & Sharif, A. (2022). The impact of renewable and non-renewable energy consumption on carbon emissions intensity in China: Fresh evidence from novel dynamic ARDL simulations. Journal of Environmental Management, 320, Article 115782. https://doi.org/10.1016j.jenvman. 2022.115782

3. Ali, S., Anwar, S., & Nasreen, S. (2017). Renewable and non-renewable energy and its impact on environmental quality in South Asian countries. Forman Journal of Economic Studies, 13, 177–194. https://doi.org/10.32368/FJES.20170009

4. Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. Energy Policy, 38(1), 656–660. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002

5. Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO_2 emissions? Energy Policy, 113, 356–367. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050

6. Belucio, M., Santiago, R., Fuinhas, J. A., Braun, L., & Antunes, J. (2022). The impact of natural gas, oil, and renewable energy consumption on carbon dioxide emissions: European evidence. Energies, 15(14), Article 5263. https://doi.org/10.3390/en15145263

7. Campion, N., Nami, H., Swisher, P. R., Vang Hendriksen, P., & Münster, M. (2023). Techno-economic assessment of green ammonia production with different wind and solar potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 173*, Article 113057. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113057

8. Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO_2 emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. Renewable Energy, 94, 429–439. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078

9. Das, A., & Swain, P. K. (2024). Navigating the sea level rise: Exploring the interplay of climate change, sea level rise, and coastal communities in India. Environmental Monitoring and Assessment, 196, Article 1010. https://doi.org/10.1007/s10661-024-13191-z

10. Dkhili, H., & Ben Dhiab, L. (2020). The impact of renewable energy consumption on carbon dioxide emissions and economic growth in the Kingdom of Saudi Arabia. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 7(12), 127–132. https://doi.org/10.21833/ijaas.2020.12.014

11. El Aimani, S. (2023). Modeling of reverse osmosis water desalination powered by photovoltaic solar energy. Green Energy and Environmental Technology, 2023(2), 1–19. https://doi.org/10.5772/GEET.15

12. El Araby, L., Samak, N., & Ibrahiem, D. M. (2019). The impact of renewable and non-renewable energy on carbon dioxide emissions: An empirical analysis for Euro-Mediterranean countries. International Journal of Energy Economics and Policy, 9(6), 103–108. https://doi.org/10.32479/ijeep.8254

13. Fasihi, M., Weiss, R., Savolainen, J., & Breyer, C. (2021). Global potential of green ammonia based on hybrid PV-wind power plants. *Applied Energy, 294*, Article 116170. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116170

14. Gado, M. G. (2024). Techno-economic-environmental assessment of green hydrogen and ammonia synthesis using solar and wind resources for three selected sites in Egypt. e-Prime: Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 10, Article 100780. https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100780

15. Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. Quarterly Journal of Economics, 110(2), 353–377. https://doi.org/10.2307/2118443

16. Gurbanov, S. (2021). Role of natural gas consumption in the reduction of CO_2 emissions: Case of Azerbaijan. Energies, 14(22), Article 7695. https://doi.org/10.3390/en14227695

17. Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Jaszczur, M., Salman, H. M., Mahmoud, H. A., & Awwad, E. M. (2024). Saudi Arabia energy transition: Assessing the future of green hydrogen in climate change mitigation. International Journal of Hydrogen Energy, 55, 124–140. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.11.117

18. Hasnisah, A., Azlina, A. A., & Taib, C. M. I. C. (2019). The impact of renewable energy consumption on carbon dioxide emissions: Empirical evidence

from developing countries in Asia. International Journal of Energy Economics and Policy, 9(3), 135–143. https://doi.org/10.32479/ijeep.7535

19. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf

20. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). World energy transitions outlook 2022: 1.5°C pathway. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/publications/2022/mar/world-energy-transitions-outlook-2022

21. International Renewable Energy Agency (IRENA), & Global Renewables Alliance (GRA). (2023). Tripling renewable power and doubling energy efficiency by 2030: Crucial steps towards 1.5°C. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Oct/COP28_IRENA_GRA_Tripling_renewables_doubling_efficiency_2023.pdf

22. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). World energy transitions outlook 2023: 1.5°C pathway. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023

23. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable capacity statistics 2024. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2024.pdf

24. International Energy Agency (IEA). (2022). World energy outlook 2022. Paris: IEA. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022

25. International Energy Agency (IEA). (2023). Net zero roadmap: A global pathway to keep the 1.5°C goal in reach: 2023 update. Paris: IEA. https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-c-goal-in-reach

26. IPCC. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

27. Khan, Y., Oubaih, H., & Elgourrami, F. Z. (2022). The effect of renewable energy sources on carbon dioxide emissions: Evaluating the role of governance and ICT in Morocco. Renewable Energy, 190, 752–763. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.140

28. Kirchem, D., & Schill, W. P. (2023). Power sector effects of green hydrogen production in Germany. Energy Policy, 182, Article 113738. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113738

29. Koengkan, M. D. C., & Fuinhas, J. A. (2018). The impact of renewable energy consumption on carbon dioxide emissions: The case of South American countries. Revista Brasileirade Energias Renováveis, 7(2), 280–293. https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/58266/34963/227820

30. Li, H., Li, B., & Lu, H. (2017). Carbon dioxide emissions, economic growth, and selected types of fossil energy consumption in China: Empirical evidence from 1965 to 2015. Sustainability, 9(5), Article 697. https://doi.org/10.3390/su9050697

31. Morgan, E., Manwell, J., & McGowan, J. (2014). Wind-powered ammonia fuel production for remote islands: A case study. *Renewable Energy, 72*, 51–61. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.034

32. Nayak-Luke, R., Bañares-Alcántara, R., & Wilkinson, I. (2018). "Green" ammonia: Impact of renewable energy intermittency on plant sizing and levelized cost of ammonia. Industrial & Engineering Chemistry Research, 57, 14607–14616. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02447

33. Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. Energy Policy, 37(10), 4021–4028. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003

34. Sahoo, M., & Sahoo, J. (2022). Effects of renewable and non-renewable energy consumption on carbon dioxide emissions in India: Empirical evidence from disaggregated data analysis. Journal of Public Affairs, 22(4), Article e2712. https://doi.org/10.1002/pa.2712

35. Salah, S. I., Eltaweel, M., & Abeykoon, C. (2022). Towards a sustainable energy future for Egypt: A systematic review of renewable energy sources, technologies, challenges, and recommendations. *Cleaner Engineering and Technology, 8*, Article 100497. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100497

36. Sasana, H., & Putri, A. K. (2018). The increase of energy consumption and carbon dioxide (CO_2) in Indonesia. *E3S Web of Conferences, 31*, Article 10005. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183110005

37. *Siddik, A., Islam, T., Zaman, A. K. M. M., & Hasan, M. (2021).* Current status and correlation of fossil fuels consumption and greenhouse gas emissions. International Journal of Energy, Environment and Economics, 28*(2), 103–119. https://www.researchgate.net/publication/357323190.*

38. United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *Paris Agreement*. UNFCCC. https://unfccc.int/sites/default/files/english, pdf.

39. Vesce, L. (2023). Novel materials and processes for photovoltaic technology. Energies, 16(1), Article 425. https://doi.org/10.3390/en16010425

40.Zhao, H. (2024). Green ammonia supply chain and associated market structure. Fuel, 366, Article 131216. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131216