العلاقة بين الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة (2000-2020)

the relationship between renewable energies and CO2 emissions in Saudi Arabia during the period (2000-2020)

خروبي حبيبة[1]، موهوني مليكة[2]

Khrroubi habiba[1], mouhouni malika[2]

[1] مخبر العولمة و السياسات الاقتصادية، جامعة الجزائر 03 ، kharroubi.habiba@univ-alger3.dz

[2] جامعة الجزائر 03، mohouni_m@yahoo.fr

تاريخ الاستلام: 31 /2023/10 تاريخ القبول: 21 /2024/01 تاريخ النشر: 2024/01/23

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو قياس أثر إنتاج الطاقة المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، في المملكة العربية السعودية خلال الفترة الممتدة ما بين (2000-2020) ، و ذلك باستخدام نموذج الانحدار الخطي المتعدد لتحليل العلاقة بين المتغيرات الثلاث التالية: غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الوقود الاحفوري، توليد الطاقات المتجددة، وإنتاج الطاقة الاحفورية ، باستخدام نموذج الانحدار الخطي المتعدد بطريقة المربعات الصغرى

و من أبرز النتائج المتوصل إليها أن إنتاج الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية خلال فترة الدراسة، يؤدي إلى انخفاض نسبة 0.13 ملون طن من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون سنويا. على عكس إنتاج الطاقة من مصادر الوقود الاحفوري التي تساهم و بنسبة كبيرة في زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة؛ الوقود الاحفوري؛ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون؛الانحدار الخطي المتعدد

تصنيفات JEL : C23 , Q35, C320,C3

Abstract:

The main objective of this study is to measure the impact of renewable energy production on CO2 emissions in Saudi Arabia over the period between (2000-2020), using the multiple linear regression model to analyse the relationship between the following three variables: CO2 from fossil fuels, renewable energy generation and fossil energy production, using the multiple linear regression model in a micro-square.

One of the most notable findings is that the production of renewable energies in Saudi Arabia during the study period results in a decrease in the proportion of 0.13 tonnes of carbon dioxide emissions per year. Unlike the production of energy from fossil fuels, which contributes significantly to increasing CO2 emissions.

Keywords: Renewable energy; fossil fuels; Carbon dioxide emissions; multiple linear regression

JEL Classification Codes: C23 , Q35, C320,C3

المؤلف المرسل: خروبي حبيبة، **الإيميل:** kharroubi.habiba@univ-alger3.dz

1.مقدمة:

إن عملية الإسراف في استخدام مصادر الوقود الاحفوري في عملية إنتاج الطاقة و مختلف الاستخدامات الأخرى، و تعدد الأنشطة البشرية المتمثلة في الاستخدام المكثف لوسائل النقل الغير مستدام، و إتلاف سطح الأرض عن طريق حرق الغابات و تعرية التربة من الغطاء النباتي. كل هذه الممارسات من شأنها أن تؤدي إلى انبعاث كميات ضخمة من الملوثات، و الغازات الدفيئة إلى الغلاف الجوي، و من ثم حدوث تداعيات وخيمة على طبقة الأوزون .

و سعيا خلف إيجاد حلول للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري، و التخفيض من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، حثت الأمم المتحدة في مسار أهدافها الإنمائية العالمية لتحقيق التنمية المستدامة بأبعادها الثلاث و على رأسها البعد البيئي، بضرورة تكثيف الاستثمار في الطاقات المتجددة باعتبارها تولد طاقة نظيفة و مستدامة، تساعد في التقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة التي تعتبر المسبب الرئيسي و الأول في ظاهرة الاحتباس الحراري.

وعليه، تأتي أهمية هذه الورقة البحثية في تسليط الضوء على العلاقة بين الطاقة البديلة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المملكة العربية السعودية، التي تسعى إلى تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050

❖ **مشكلة الدراسة:**

إن المملكة العربية السعودية و كغيرها من الدول النفطية الأخرى، هي مطالبة بالحفاظ على المناخ و ذلك بالتخفيض من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، من خلال استغلال مصادر طاقوية نظيفة و بديلة تقوم مقام الطاقة التقليدية باعتبارها من الدول الغنية بمصادر الطاقات المتجددة، و على أساس هذا الطرح تتمحور إشكالية البحث حول السؤال التالي: **ما طبيعة العلاقة بين إنتاج الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة ما بين 2000 و 2020؟** و التي تتفرع إلى السؤالين التاليين:

- ✓ كيف يؤثر إنتاج الطاقة المتجددة على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في المملكة؟
- ✓ ما طبيعة العلاقة بين إنتاج الطاقة من مصادر الوقود الاحفوري و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون؟

❖ **فرضيات الدراسة:**

- ✓ توجد علاقة عكسية بين إنتاج الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في السعودية
- ✓ زيادة إنتاج الطاقات المتجددة يساهم في تخفيض كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ زيادة إنتاج الطاقة من مصادر الوقود الاحفوري من شانه أن يساهم في زيادة انبعاث ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير.

❖ **أهمية الدراسة:** حظي موضوع الطاقات المتجددة في الآونة الأخيرة باهتمام كبير على الساحة الدولية، باعتبارها أحد المحاور الرئيسية التي يمكن الاعتماد عليها في الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري، وذلك عن طريق توليد طاقة نظيفة و مستدامة، تساعد و بشكل كبير في التخلي تدريجيا عن مصادر الطاقة الناضبة، و بالتالي التقليل من مخاطر تلوث الجو.

❖ **أهداف الدراسة:** تهدف الدراسة إلى معرفة العلاقة بين متغيرات الدراسة الثلاث، و ذلك من خلال:

- ✓ معرفة اثر إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ قياس اثر إنتاج الطاقة من مصادر الوقود الاحفوري على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

❖ **منهجية الدراسة**

اعتمدنا في دراستنا للإشكالية المطروحة أعلاه على المنهج الوصفي من خلال التطرق إلى أهم و ابرز المفاهيم المتعلقة بمتغيرات الدراسة،و على المنهج الإحصائي من خلال التطرق إلى قياس اثر كل من الطاقة المتجددة و التقليدية على انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون باستخدام نموذج الانحدار الخطي المتعدد.

2. ضبط المفاهيم المتعلقة بالطاقات المتجددة:

1.2الطاقة:

تعرف الطاقة على أنها كمية فيزيائية، تكون في شكل حرارة أو حركة ميكانيكية، أو طاقة ربط في انويه الذرة أو البروتونات و النيترونات، و تعرف أيضا على أنها قدرة المادة على إعطاء قوة قادرة على انجاز عمل معين (طنجاوي، 2023، صفحة 243).

و تعرف الطاقة أيضا على أنها المقدرة على القيام بشغل، حيث تتواجد بأشكال كبيرة و مختلفة فمنها الطاقة الكيميائية ،الطاقة الحرارية و الطاقة الكهربائية التي تعد شكل من أشكال الطاقة حيث يتم فيها تدفق الالكترونات لانجاز عمل بواسطة محرك كهربائي (روبرت ل، 2011، صفحة 17)، و يتم إنتاج الطاقة الكهربائية من المصادر التقليدية باستخدام الوقود الاحفوري و من مصادر متجددة

2.2الوقود الاحفوري:

يتمثل الوقود الاحفوري في تركيبة تتكون من النفط و الغاز و الفحم،التي يتم استخراجها من باطن الأرض بغرض توليد و إنتاج الطاقة، و هو يعتبر مصدر لطاقة غير متجددة تكونت خلال ألاف السنين، حيث اقترن وجوده بمشاكل اقتصادية تهدد العالم بأسره كونه مصدر غير متجدد و آيل إلى النضوب، و أخرى بيئية تتمثل في إلحاق الضرر بالكائنات الحية و كوكب الأرض ككل من خلال نواتج اختراقه التي تؤدي إلى انبعاث أول و ثاني أكسيد الكربون، و ثاني أكسيد الكبريت . (رأفت، رمضان، و جمعات، 1988، الصفحات 21-26)

3.2 الطاقة المتجددة:

تعرف الطاقة المتجددة على أنها تلك الطاقة التي تتجدد في الطبيعة على نفس المستوى من الوتيرة، أو بوتيرة أعلى من نسبة استعمالها. و تتولد من مصادر طبيعية كالطاقة الشمسية و طاقة الكتلة الحيوية، و طاقة باطن الأرض بالإضافة إلى حركة المياه و طاقة المد و الجزر في المحيطات، و كذلك طاقة الرياح، و بالتالي يمكن القول بان الطاقة المتجددة هي طاقة لا يكون مخزونها محدودا في الطبيعة، و إنما تتجدد بصفة دورية و بوتيرة أسرع من استهلاكها (يهياني، 2018، صفحة 43)

1.3.2مصادر الطاقة المتجددة

تتعدد مصادر الطاقة المتجددة بتعدد أنواعها، و لعل أبرزها ما يلي:

- **الطاقة الشمسية:** تعتبر الطاقة الشمسية من الطاقات المتجددة النظيفة التي لا تنضب ما دامت الشمس موجودة،و تتمثل الاستخدامات الرئيسية للطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية و الحرارة، حيث أن تطبيقات الطاقة الشمسية الأكثر استخداما حاليا تتمثل في مجال تسخين المياه و توليد الطاقة، و من بين التقنيات المستعملة في هذا المجال:
  - ✓ الخلايا الفتوفولطية و التي تعمل على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية، عن طريق استخدام المادة شبه الموصلة لتحويل أشعة الشمس التي تمتصها تلك المادة بصفة مباشرة عن طريق ظاهرة التأثير الضوئي.
  - ✓ الأنظمة الحرارية الشمسية و التي تحتوي على ألواح أو صحون مسطحة شمسية، تكون باتجاه ثابت لالتقاط أشعة الشمس و توليد الحرارة.
  - ✓ أنظمة التركيز الحرارية الشمسية و هي تستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية بصفة غير مباشرة من خلال استغلال أشعة الشمس لتسخين المياه و توليد البخار الذي بدوره يقوم بتدوير توربينات بخارية تقوم بتوليد الكهرباء
- **الطاقة المائية:** يعود اكتشاف الطاقة المائية إلى القرن الثامن عشر، أين كان الإنسان يستخدم مياه الأنهر في تشغيل بعض النواعير التي كانت تستخدم في إدارة آلات النسيج و مطاحن الدقيق، و بعد ظهور الكهرباء بدأ

استخدام الماء في توليد الطاقة الكهربائية، و على هذا الأساس يتم بناء محطات توليد الطاقة من مساقط الأنهار.

- **الطاقة الهوائية:** هي الطاقة المستمدة من حركة الهواء والرياح، واستخدمت طاقة الرياح منذ أقدم العصور، سواء في تسيير السفن الشراعية، وإدارة طواحين الهواء لطحن الغلال والحبوب، وتستخدم وحدات الرياح في تحويل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية تستخدم مباشرة أو يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية من خلال مولدات وقد بدأت الاستفادة من طاقة الرياح في الدول العربية حديثا على شكل وحدات صغيرة لرفع المياه الجوفية على السواحل الشمالية (ساحل و طالبي، 2008، صفحة 203)
- **طاقة الكتلة الحيوية:** تتكون الكتلة الحيوية من مخلفات الحيوانات و المحاصيل و غيرها، و هي تعد أحد مصادر الطاقة التي استخدمت في القرون الماضية، و مع ظهور الفحم نجد أن معظم الدول انتقلت من استخدام هذا المصدر إلى مصادر الوقود الأحفوري، و بالرغم من هذا التحول يوجد قرابة 2 مليار نسمة أغلبهم من سكان جنوب أسيا و أواسط إفريقيا يعتمدون على الكتلة الحيوية كمصدر وحيد للطاقة (زواوية، 2013، صفحة 172)

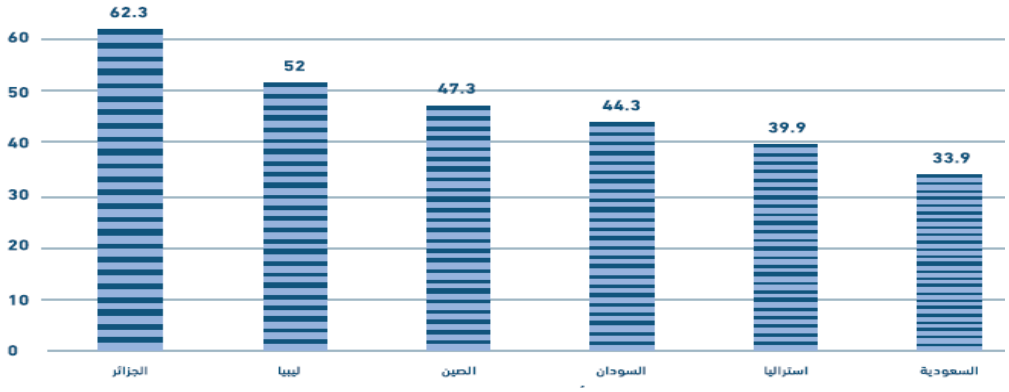
2.3.2 الطاقات المتجددة في المملكة العربية السعودية

تأتي المملكة العربية السعودية على رأس الدول المصدرة للطاقة عالميا و ذلك منذ عام 1939م ، و في ظل النمو السكاني السريع و تزايد الطلب على الطاقة، تسعى جاهدة إلى إيجاد بدائل طاقوية أخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية، كاستغلال مصادر الطاقة البديلة، فهي تتمتع بموقع جغرافي مميز، مما يجعل مسالة الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة، مسالة مجدية من جميع النواحي كونها تقع في نطاق الحزام الشمسي العالمي، و ابرز المصادر التي تعتمدها في توليد الطاقة المتجددة هي الشمس و طاقة الرياح.

- **-الطاقة الشمسية:** تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية، حيث تستعمل في محطات توليد الكهرباء من أجل تحويلها إلى طاقة كهربائية (صنهات العتيبي، 2019، صفحة 314). و يتم الحصول عليها عن طريق امتصاص الألواح الشمسية لأشعة الشمس .

و صنفت المملكة العربية السعودية في المرتبة السادسة عالميا من بين الدول التي تتمتع بأعلى إمكانات متاحة لإنتاج الطاقة الشمسية، كما هو مبين في الشكل رقم (01) أدناه.

الشكل01: أهم الدول المصنفة بأعلى إمكانيات متاحة لإنتاج الطاقة الشمسية

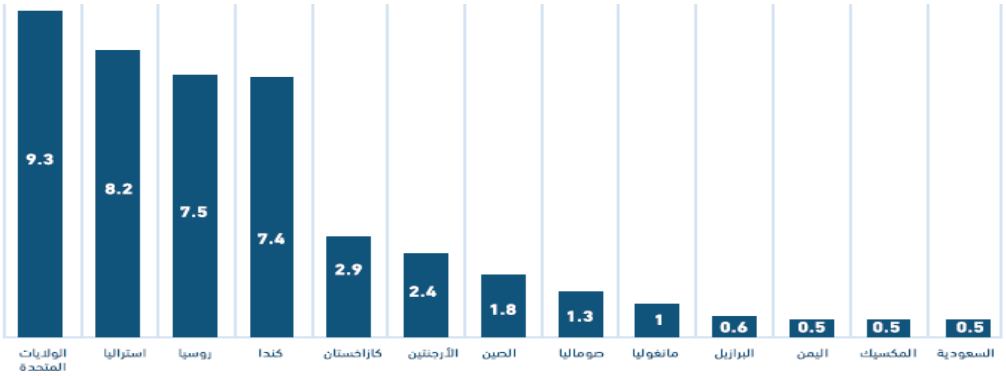


المصدر: (غرفة الرياض، 2021، صفحة 16)

- **طاقة الرياح:** تتضمن المملكة العربية السعودية عدة مناطق يمكن الاستفادة من رياحها في توليد الطاقة الكهربائية كمناطق العقبة و جاهد و الطائف، حيث تتوفر على سرعة رياح عالية و التي تتيح بناء مشاريع عالية

الكفاءة. و على هذا الأساس تهدف السعودية إلى إنتاج 10 جيغاواط من الطاقة الكهربائية من مصادر طاقة الرياح و ذلك بحلول عام 2025 (أكواباور، 2018). و صنفت السعودية على أنها تحتل المرتبة الثالثة عشر من بين الدول التي تتمتع بإمكانيات عالية في إنتاج الرياح البرية كما هو موضح أي الشكل رقم (02) أدناه

الشكل 02: أهم الدول المصنفة بأعلى إمكانيات متاحة لإنتاج طاقة الرياح



المصدر: (غرفة الرياض، 2021، صفحة 20)

3. أساسيات حول غاز ثاني أكسيد الكربون

يعد الكربون من أهم المكونات الأساسية للمركبات العضوية الضرورية لحياة الكائنات الحية ككل، كالدهون و البروتينات و الحمض النووي، إذ تحصل النباتات عن طريق عملية التحليق الضوئي على ثاني أكسيد الكربون من الهواء، و تعتبر هذه العملية الكيميائية هي الأكثر أهمية على سطح الأرض، و التي يتم من خلالها إنتاج الأكسجين و الغذاء الضروريين لحياة الكائنات الحية، حيث يبقى جزء في المادة الحية و الجزء الآخر يتم إطلاقه في شكل ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التنفس الخلوي، بحيث تتم إعادته إلى الجو. (سبيلمان و واينتغ، 2012، صفحة 80)

1.3تعريف غاز ثاني أكسيد الكربون:

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات الطبيعية الموجودة في الغلاف الجوي، إذ أن الزيادة الكبيرة في انبعاث هذا الغاز في الجو من شأنها أن تعود بأضرار وخيمة على الغلاف الجوي و كيان الكائنات الحية الموجودة على سطح الأرض، حيث أن زيادة هذا الغاز بنسبة تتراوح ما بين 1.5 درجة مؤوية و 3 درجة مؤوية من شأنها أن تؤثر في حرارة الغلاف الجوي، مؤدية إلى مزيد من السحب و الأعاصير و تغير حرارة الشمس. (معاش و فردية، صفحة 4)

2.3خصائص غاز ثاني أكسيد الكربون:

يتميز غاز ثاني أكسيد الكربون بجملة من الخصائص لعل أبرزها ما يلي(INSPQ, 2021, p. 3) :

- ✓ غاز ثاني أكسيد الكربون هو مركب غير عضوي، مشتق من مزيج عنصرين الكربون و الأكسجين.
- ✓ هو غاز عديم اللون و عديم الطعم و الرائحة أيضا.
- ✓ قابل للذوبان في الماء و غير قابل للاشتعال، و مستقر كيميائيا في ظل ما يسمى بالظروف الطبيعية.

3.3مصادر غاز ثاني أكسيد الكربون:

تختلف و تتعدد المصادر و المسببات المؤدية إلى انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون و لعل أبرزها ما يلي (مراد، 2021، صفحة 243):

- ✓ **تحلل المركبات العضوية**: تتحلل المركبات العضوية المتمثلة في الكربوهيدرات، البروتينات و الدهون الموجودة في أجسام الكائنات الحية و الميتة و فضلاتها بفعل الإنزيمات التي تفرزها البكتيريا ، و ينتج عن هذه العملية إطلاق كميات هائلة من غاز ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ **الوقود الاحفوري**: يأتي الوقود الأحفوري في المرتبة الأولى من ناحية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، و ذلك كون أن محطات توليد الطاقة الكهربائية تعتمد اعتماد شبه كلي على الوقود الأحفوري (فحم، بترول، غاز) ، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة معدلات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو.
- ✓ **الاستخدامات المنزلية**: الحجم المتزايد لعدد سكان الكرة الأرضية يؤدي بالضرورة إلى زيادة الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية لتوليد الطاقة الكهربائية التي أصبحت أمرا ضروريا لتلبية حاجياتهم اليومية من خلال التدفئة و الطبخ ....و غيرها من الاحتياجات.
- ✓ **وسائط النقل:** يعتبر النقل أحد المسببات الرئيسية لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث أن نسبة الانبعاثات الناجمة عن السكك الحديدية و وسائل النقل الجوية و البرية تفوق 24% من الانبعاثات الكربونية العالمية (محمد فرحات، 2021)
- ✓ **البراكين:** تعد من أهم المصادر المساعدة على زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون بحوالي 15 % والتي تؤدي إلى حدوث ظاهرة التغير المناخ.

4. دراسة العلاقة بين إنتاج الطاقة المتجددة و انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون

من أجل معرفة طبيعة العلاقة بين إنتاج الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي يعتبر المسبب الرئيسي لمشكلة تلوث الجو و خاصة ظاهرة الإحتباس الحراري التي تؤثر سلبا على طبقة الأوزون ، سنقوم بتقدير نموذج الإنحدار الخطي المتعدد باستخدام طريقة المربعات الصغرى وفقا للنموذج التالي:

1.4متغيرات الدراسة:

من أجل معرفة طبيعة العلاقة بين إنتاج الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يعتبر المسبب

الرئيسي لمشكلة تلوث الجو و خاصة ظاهرة الاحتباس الحراري التي تؤثر سلبا على طبقة الأوزون ، سنقوم بتقدير نموذج الانحدار الخطي المتعدد باستخدام طريقة المربعات الصغرى .

و يتم بناء هذا النموذج وفقا لجملة من المتغيرات و المتمثلة في:

- ✓ **غاز ثاني أكسيد الكربون:** متغير تابع، نرمز إليه بالرمز (CO_2)، وحدة قياسه مليون طن ، و هو عبارة عن كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في الجو، و المتعلقة باستغلال مصادر الوقود الأحفوري في إنتاج الطاقة الكهربائية ، تم الحصول على المعطيات المتعلقة بهذا المتغير من قاعدة بيانات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA، 2023)
- ✓ **توليد الطاقة المتجددة : متغير مستقل، نرمز إليه بالرمز (REP)**، وحدة قياسه جيغا واط ساعي، و هو عبارة عن الطاقة الكهربائية المنتجة من مختلف مصادر الطاقات المتجددة، تم الحصول على المعطيات المتعلقة به من قاعدة بيانات الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. (IRENA، 2023)

- ✓ **إنتاج الطاقة التقليدية متغير مفسر، نرمز إليه بالرمز (REP)**، وحدة قياسه تيرا واط ساعي، و هو عبارة عن الطاقة الكهربائية المنتجة من مصادر الوقود الأحفوري، تم الحصول عليه من قاعدة بيانات إدارة معلومات الطاقة. (EIA، 2023)

من خلال المتغيرات الثلاث السالفة الذكر، و بناء على بيانات إحصائية خلال الفترة الممتدة ما بين (2000-2020)، وبافتراض وجود علاقة خطية بين المتغيرات، سنقوم بصياغة النموذج الخطي التالي:

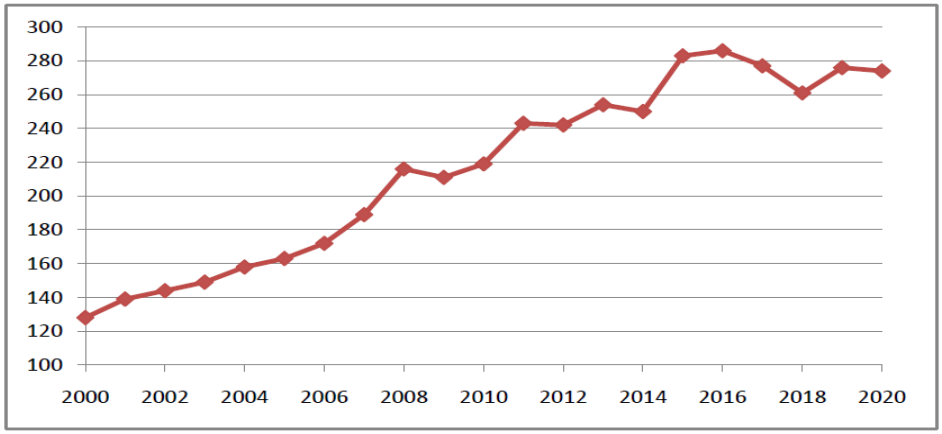
$$CO2_t = \beta_0 + \beta_1 REP_t + \beta_2 FEP_t + \varepsilon_t$$

حيث: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ تمثل معالم النموذج، وε_t المتغير العشوائي الذي يحقق الفرضيات الكلاسيكية لطريقة المربعات الصغرى.

2.4عرض متغيرات الدراسة:

قبل البدء في عملية التقدير، سنحاول تقديم عرض موجز لمتغيرات الدراسة، والتي هي: الطاقة المتجددة، انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

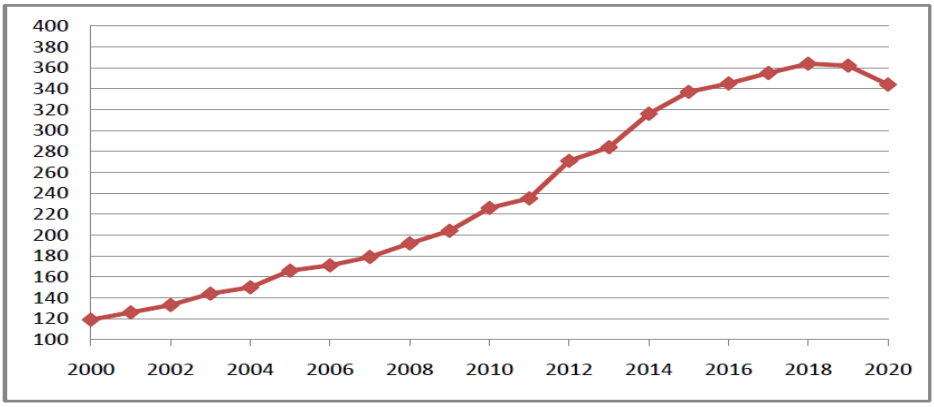
الشكل 03: تطور انبعاث ثاني أكسيد الكربون خلال الفترة (2000-2020)



المصدر: من إعداد الباحثتين استنادا على معطيات: (EIA، 2023)

نلاحظ من الشكل أعلاه أن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO2) الناتجة عن إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الوقود الاحفوري عرفت زيادة مرتفعة و متتالية في المملكة العربية السعودية، حيث بلغت كمية الانبعاثات الكربونية سنة 2000 ما قيمته 128 مليون طن سنويا لتصل إلى زيادة قدرها 286 مليون طن سنة 2016 بمعدل زيادة سنوي يصل إلى 5 % ثم انخفضت نسبة الانبعاثات بشكل نسبي سنة 2018 لتصل إلى 261 مليون طن، و ذلك راجع إلى المسار الذي انتهجته للاستثمار في الطاقات النظيفة، و نلاحظ أيضا أنه ارتفع بنسبة قليلة سنتي 2019 و 2020 نتيجة تداعيات أزمة كوفيد 19

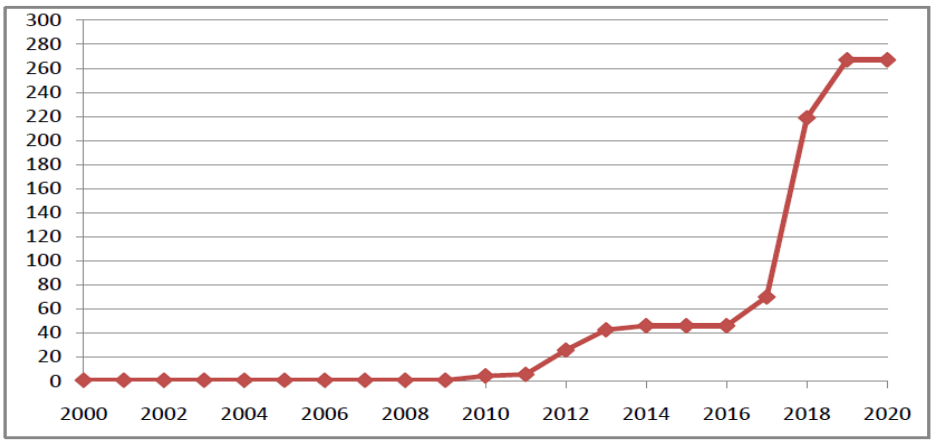
الشكل04: تطور إنتاج الطاقة الكهربائية مصادر الوقود الاحفوري في السعودية خلال الفترة (2000-2020)



المصدر: من إعداد الباحثتين استنادا على معطيات : (EIA، 2023)

يتضح من الشكل رقم(04) أن إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الوقود الاحفوري في زيادة مطردة من سنة إلى أخري، حيث بلغت سنة 2000 كمية الإنتاج 119 تيرا واط ساعي، لتستمر في الزيادة بوتيرة ثابتة إلى غاية سنة 2018، حيث بلغت ذروتها بقدرة إنتاجية وصلت إلى 364 تيراواط ساعي، لتبدأ في الانخفاض بمعدل ضئيل سنة 2019 و 2020 حيث بلغت قدرتها 344 تيراواط/سا.

الشكل 05: تطور إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة متجددة في السعودية (2000-2020)



المصدر: من إعداد الباحثتين استنادا على معطيات : (IRENA، 2023)

من الشكل رقم(05) نلاحظ أن إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر متجددة في المملكة العربية السعودية كان ثابت و ضئيل جدا بالرغم من الإمكانيات الهائلة التي يملكها البلد في مجال الطاقات المتجددة و لا سيما طاقة الرياح و الطاقة الشمسية، حيث قدرت بنسبة 0.6 ميغا واط ساعي ،و ذلك منذ سنة 2000 إلى غاية سنة 2009. أما بالنسبة لسنة 2010 بدأ الإنتاج في هذا المجال ينتعش قليلا حيث بلغ نسبة 4.089 ميغا واط /سا و تطورت هذه النسبة بوتيرة متباطئة

إلى غاية 2017، ثم تسارعت وتيرة توليد الطاقة من مصادر متجددة إلى أن وصلت ذروتها سنة 2018 بقدرة إنتاجية تعادل 218.7 جيغا واط/سا ، و حافظت على هذا المستوى من النتاج خلال سنتي2019 ،2020.

3.4 تقدير النموذج و تحليل النتائج

بالاستعانة ببرنامج **Eviews10** تم تقدير النموذج باستعمال طريقة المربعات الصغرى الاعتيادية (**OLS**) وتم التوصل إلى النتائج التالية:

$$\mathbf{CO2_t = 60.722 + 0.675REP_t - 0.127FEP_t + \varepsilon_t}$$

(5.936) (14.164) (-2.624)

$$\mathbf{R^2\ adjused=0.940}$$

الجدول02: نتائج التقدير بطريقة OLS

Dependent Variable: CO2
Method: Least Squares
Date: 10/16/23 Time: 11:01
Sample: 2000 2020
Included observations: 21

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	60.72245	10.22835	5.936683	0.0000
FFP	0.675240	0.047670	14.16483	0.0000
REP	-0.127321	0.048504	-2.624960	0.0172
R-squared	0.946437	Mean dependent var		215.9048
Adjusted R-squared	0.940486	S.D. dependent var		54.00084
S.E. of regression	13.17379	Akaike info criterion		8.125900
Sum squared resid	3123.879	Schwarz criterion		8.275117
Log likelihood	-82.32195	Hannan-Quinn criter.		8.158284
F-statistic	159.0271	Durbin-Watson stat		1.107764
Prob(F-statistic)	0.000000			

المصدر: مخرجات Eviews 10

2.3.4.تحليل النتائج

❖ **اختبار معنوية المعلمات الفردية:**

✓ قيمة معامل التحديد تقدر بـ R^2=94% ، و هذا يدل على أن المتغيرات التفسيرية فسرت جزء كبير من سلوك المتغير التابع co2، و بمعنى آخر فإن أغلب التغيرات التي تحدث في غاز ثاني أكسيد الكربون هي بفعل المتغيرات التي تضمنها هذا النموذج، أما النسبة الباقية و المتمثلة في 5.36% فهي ترجع إلى عوامل أخرى غير مدرجة في النموذج، مثل التغيرات في الطقس أو الاقتصاد.

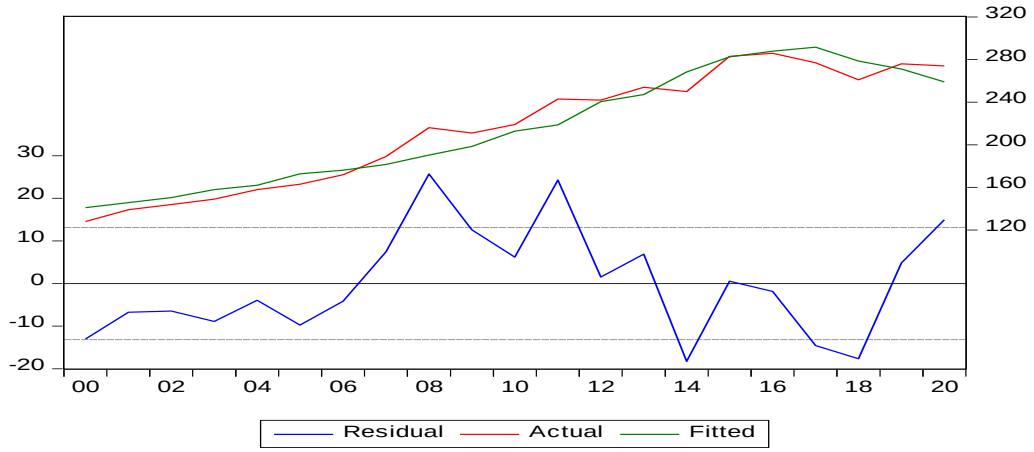
✓ الإشارة الموجبة للثابت β_0 ، هذا يعني انه حتى في حالة توقف إنتاج كل من الطاقة الاحفورية و الطاقات المتجددة، فإن تلوث الجو لن يتوقف، حيث أن هناك قطاعات أخرى تؤدي أنشطتها إلى انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، و هو معنوي في النموذج و ذلك كون قيمته الاحتمالية p-value=0.000 و هي أقل تماما من حد الخطأ المعمول به و المقدر بـ 5% و بالتالي فهي معنوية،

- ✓ الإشارة الموجبة لمعامل(FFP) تعني وجود علاقة طردية بين إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الوقود الاحفوري وغاز ثاني أكسيد الكربون أي أن زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الوقود الاحفوري يؤدي إلى زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. وهي ليست مخالفة للنظرية الاقتصادية، فكما هو معلوم الوقود الأحفوري، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، هو مصدر رئيسي لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. عند حرق الوقود الأحفوري، يتم إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. كما أن قيمته الاحتمالية (p-value=0.000) أقل تماما من 5% و بالتالي فهو معنوي في النموذج، حيث أنه إذا زادت قيمة إنتاج الطاقة التقليدية بنسبة 1 % فان انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون ستزيد بنسبة 0.67 مليون طن مع بقاء المتغير الآخر ثابت، و هذه النسبة توضح الأثر الكبير لإنتاج الطاقة الأحفورية على انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ قيمة إحصائية الاحتمال المقابل للمتغير إنتاج الطاقة المتجددة (prob(t-stat)=0.017) أقل تماما من 5% و بالتالي هي الأخرى معنوية جدا في النموذج ، حيث إذا زاد إنتاج الطاقات المتجددة بنسبة 1% فان انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون سينخفض بنسبة 0.12 مليون طن مع بقاء المتغير الآخر ثابت، و هي تدل على الأثر المتوسط لقطاع الطاقة البديلة على غاز ثاني أكسيد الكربون. فوجود العلاقة العكسية بين إنتاج الطاقة الكهربائية من مختلف مصادر الطاقات المتجددة (REP) وغاز ثاني أكسيد الكربون (CO2) يعني أن زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية من مختلف مصادر الطاقات المتجددة يؤدي إلى انخفاض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. هذه الإشارة ليست مخالفة للنظرية الاقتصادية، فالطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية، لا تنتج انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عند توليدها للطاقة الكهربائية.
- ✓ القيمة الاحتمالية المقابلة لإحصائية فيشر (prob(f-stat)=0.000)، و هي أقل من 5% و هي تدل على معنوية النموذج ككل.

❖ **فحص جودة النموذج**

من خلال ما تقدم يمكن القول بان النموذج قيد الدراسة هو مقبول من الناحية الاقتصادية و من الناحية الإحصائية، ومن أجل ضمان جودة النموذج تم تشخيص البواقي وتأكيدها لخضوعها للفرضيات الكلاسيكية الأساسية لطريقة المربعات الصغرى، ممثلة بفرضية تجانس تباين الخطأ، فرضية عدم ارتباط الأخطاء وفرضية التوزيع الطبيعي .

الشكل 04: فحص البواقي

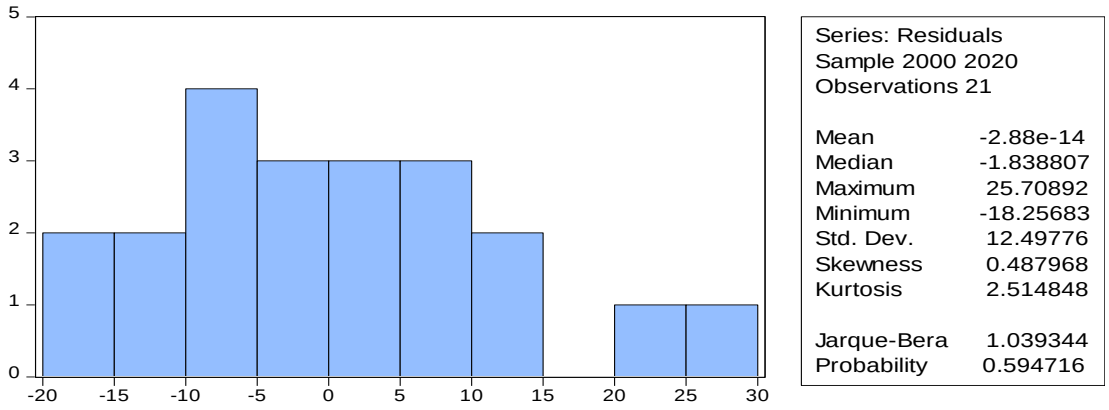


المصدر: مخرجات Eviews 10

يتضح من الشكل أعلاه أنه يوجد تقريبا تطابق بين القيم الفعلية المستخدمة لتقدير النموذج و بين القيم التي قدرناها من خلال برنامج eviews للواحد و العشرين مشاهدة من المشاهدات، أما البواقي فهي تتوزع بشكل جيد و يمكن حسابها من خلال طرح القيم المقدرة من القيم الحقيقية

✓ **اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي**

الشكل 05: نتائج اختبار JARQUE-BERA



المصدر: مخرجات Eviews 10

يتضح من الشكل أعلاه أن القيمة الاحتمالية لاختبار JARQUE-BERA أكبر من 0.05، P-valeu=0.59 و هذا يعني أن البواقي تتوزع بشكل طبيعي .

✓ **الارتباط الذاتي للأخطاء**

بالنسبة لفرضية الارتباط الذاتي للأخطاء فإن قيمة DW تقع في المنطقة الحرجة لذلك لا يمكننا الحسم بقبول أو رفض فرضية الارتباط الذاتي للأخطاء، لذلك اعتمدنا في هذه الحالة على نتائج اختبار (Breusch-Godfrey LM Test)، هذا الأخير يعتمد على اختبار الفرضيتين التاليتين:

$H0$: لا يوجد ارتباط ذاتي للأخطاء

$H1$: يوجد ارتباط ذاتي للأخطاء

الجدول03: نتائج اختبار Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test

F-statistic	1.892785	Prob. F(2,16)	0.1829
Obs*R-squared	4.017927	Prob. Chi-Square(2)	0.1341

Test Equation:
Dependent Variable: RESID
Method: Least Squares
Date: 10/16/23 Time: 21:13
Sample: 2000 2020
Included observations: 21
Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.068788	10.37624	0.488499	0.6318
FFP	-0.028326	0.049461	-0.572702	0.5748
REP	0.042988	0.054202	0.793107	0.4393
RESID(-1)	0.447328	0.259474	1.723981	0.1040
RESID(-2)	0.117759	0.278815	0.422355	0.6784

R-squared	0.191330	Mean dependent var	-2.88E-14
Adjusted R-squared	-0.010838	S.D. dependent var	12.49776
S.E. of regression	12.56530	Akaike info criterion	8.104012
Sum squared resid	2526.188	Schwarz criterion	8.352708
Log likelihood	-80.09212	Hannan-Quinn criter.	8.157985
F-statistic	0.946393	Durbin-Watson stat	1.964904
Prob(F-statistic)	0.462809		

المصدر: مخرجات Eviews 10

وحسب القيمة الاحتمالية لـ F-Statistic التي تقدر بـ 0,1829 و هي أكبر من مستوى الدلالة 0.05، فإننا نقبل فرضية العدم التي تنص على عدم ارتباط بواقي النموذج.

.

✓ **اختبار ثبات التباين**

من أجل التحقق من ثبات تباين حد الخطأ، سنعتمد على اختبار Breusch-Pagan-Godfrey

$H0$: يوجد ثبات للتباين

$H1$: لا يوجد ثبات للتباين

من خلال الجدول رقم (04) أدناه المتعلق بنتائج اختبار Breusch-Pagan-Godfrey، اتضح لنا بان القيمة الاحتمالية Prob. Chi-Square(2)=0.92لهذا الاختبار هي أكبر تماما من 0.05، و عليه نقبل الفرضية الصفرية التي مفادها ثبات تباين الخطأ

جدول 04: نتائج اختبار Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

F-Statistic	0.067387	Prob. F(2,18)	0.9351
Obs*R-squared	0.156067	Prob. Chi-Square(2)	0.9249
Scaled explained SS	0.086847	Prob. Chi-Square(2)	0.9575

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	99.36021	152.9705	0.649538	0.5242
FFP	0.218452	0.712934	0.306413	0.7628
REP	-0.057451	0.725402	-0.079198	0.9377

R-squared	0.007432	Mean dependent var	148.7562
Adjusted R-squared	-0.102854	S.D. dependent var	187.6092
S.E. of regression	197.0213	Akaike info criterion	13.53606
Sum squared resid	698713.0	Schwarz criterion	13.68528
Log likelihood	-139.1287	Hannan-Quinn criter.	13.56845
F-statistic	0.067387	Durbin-Watson stat	2.423288
Prob(F-statistic)	0.935068		

المصدر: مخرجات Eviews 10

5.خاتمة

بالرغم من أن المملكة العربية السعودية تعتبر أحد أسرع الدول من ناحية نمو معدلات الانبعاثات الكربونية الناتجة عن استغلال مصادر الوقود الاحفوري كونها تأتي في مقدمة الدول المصدرة للطاقة عالميا، و ذلك منذ سنة 1939،و بالرغم من مساعيها الكبيرة المتمثلة في التوجه تدريجيا إلى تخفيض هذه الانبعاثات من أجل تحقيق رؤيتها لسنة 2050 المتمثلة في الحياد الكربوني، و ذلك من خلال الاعتماد على الطاقة البديلة و تنويع مصادر الطاقة. غير أن هذه الانبعاثات شهدت انخفاضا محسوسا سنة 2018، و هو ما يترجم مساعي السعودية للانتقال نحو استراتيجيه التحول الطاقوي من خلال التوجه للاستثمار في مجال الطاقات المتجددة و تنويع مصادر الطاقة.

❖ نتائج الدراسة

و من خلال الدراسة القياسية التي قمنا بها توصلنا إلى النتائج التالية:

- ✓ توجد علاقة عكسية بين إنتاج الطاقات المتجددة و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في السعودية، ثبتت صحة هذه الفرضية من خلال وجود علاقة سالبة بين إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة، و انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون
- ✓ زيادة إنتاج الطاقات المتجددة يساهم في تخفيض كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، ثبات صحة هذه الفرضية حيث أن زيادة إنتاج الطاقة من مصادر متجددة بـ 1% يؤدي إلى تخفيض ما قيمته 0.13 مليون طن من كمية الانبعاثات الكربونية في المملكة العربية السعودية خلال فترة الدراسة.
- ✓ زيادة إنتاج الطاقة من مصادر الوقود الاحفوري من شأنه أن يساهم في زيادة انبعاث ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير، و تبين صحة ذلك إذ أنه كلما زاد إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الوقود الاحفوري في المملكة العربية السعودية، زادت انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 0.67 مليون طن.

❖ **الإقتراحات:**

بناءا على النتائج المتوصل إليها يمكننا تقديم بعض الاقتراحات و التوصيات :

- ✓ زيادة الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة: فزيادة الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، يمكن أن يساعد في الحد من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.
- ✓ تحسين كفاءة استخدام الطاقة: يمكن تحقيق ذلك من خلال تحسين كفاءة الأجهزة والمعدات الكهربائية، وترشيد استهلاك الطاقة في المباني والمنازل والشركات.
- ✓ تحسين وتطوير سياسة لخفض الانبعاثات: يمكن أن تشمل هذه السياسة فرض ضرائب على الوقود الأحفوري، ودعم الاستثمار في الطاقة الخضراء، وتشجيع ترشيد استهلاك الطاقة.
- ✓ تحديد القطاعات الاقتصادية التي تساهم بشكل كبير في انبعاثات غاز أكسيد الكربون ، ووضع خطة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في هذه القطاعات.
- ✓ تطوير نظام لقياس ورصد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وتقييم فعالية الإجراءات المتخذة للحد منها.

بالتأكيد، يمكن أن تشمل الأعمال المستقبلية توسيع هذا العمل عن طريق إضافة متغيرات أخرى تؤثر في دالة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، أو استعمال نماذج قياسية أكثر تطورا.

6.قائمة المراجع

المؤلفات

– سبيلمان فرانك ر، و واينتغ نانسي إ. (2012). علم و تقانة البيئة المفاهيم و التطبيقات، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت

– محمد رأفت و آخرون،(1988)، الطاقة المتجددة، دار الشروق، القاهرة.

–روبرت ل، إفانز،(2011)، شحن مستقبلنا بالطاقة"مدخل الى الطاقة المستدامة"،المنظمة العربية للترجمة، بيروت

الرسائل

– زواوية أحلام،(2013)،دور الطاقات المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة دراسة مقارنة بين الجزائر، المغرب و تونس، كلية العلوم الاقتصادية و الاجتماعية و علوم التسيير، جمعة فرحات عباس، سطيف، الجزائر

المقالات العلمية

- رضا يهياني. (2018). صناعة الطاقة المتجددة و دورها في تجسيد التنمية المستدامة في الجزائر مع الإشارة إلى البرنامج الوطني للطاقات المتجددة (2011-2030). مجلة الاقتصاد و البيئة ، المجلد01 (العدد01)، الصفحات 41-62.

- طنجاوي لندة. (2023). أثر إنتاج الطاقات المتجددة على النمو الاقتصادي في الدول النامية خلال الفترة (2006-2020). مجلة دراسات اقتصادية ،المجلد 23 (العدد01)، الصفحات 240-256

- ليلى صنهات العتيبي،(2019)، دور الطاقات المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة في مشروع نيوم في ظل رؤية المملكة العربية السعودية2030، الجمعية المصرية للقراءة و المعرفة،الصفحات 304-346

- مراد مصطفى، تحليل و قياس العوامل المسببةلانبعاثات غاز ثاني اكسيد الكربون دراسة قياسية للفترة (1980-2018)، مجلة مجاميع المعرفة، المجلد07،(العدد01)،الصفحات 230-246

المداخلات

- فتحي معاش، و اسماعيل فردية. التجارب الدولية الناجحة في مجال الشراكة الأجنبية في الطاقات المتجددة. يوم دراسي حول:المخاطلر البيئية للاستثمار الأجنبي المباشر في الدول النامية،. أم البواقي،الجزائر.

مواقع الانترنت

- محمد فرحات (2021)، قائمة تضم أبرز مسببات الكربون عالميا، متاح على الموقع: https://al-ain.com/article/list-prominent-carbon-emissions-globally-know-them ، تاريخ الاطلاع:2023/10/16

- غرفة الرياض،(2021)، مؤشرات تطور قطاع الطاقة المتجدد بالمملكة العربية السعودية في ظل رؤية 2030، متاح على الموقع:

https://marsad.chamber.sa/ResearchAndStudies/EconomicIndicators.pdf، تاريخ الاطلاع:2023/07/05

- أكواباور (2018)، المملكة العربية السعودية تطلق العنان لطاقة الرياح، متاح على الموقع:

https://www.acwapower.com/news/ar-ae ، تاريخ الاطلاع 2023/10/06

-NSPQ, (2021), *Concept de base concernant le dioxyde de carbone co2,*Disponible sur:

https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/3146-dioxyde-carbone-mesure-batiments.pdf

consulté le 02/10/2023

IRENA .(2023). Statistics time series.is available on : http://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT. accessed on10/10/2023

Us energy information administration. (2023).Indipendent statisics and Analysis. is available on:

https://www.eia.gov/international/data/country/DZA. accessed on 08/10/2023.