نظم اقتناص الكربون وتخزينه (CCS) كأحد مرتكزات الإدارة البيئية في المؤسسات الطاقوية: عرض تجربة مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية

Carbon Capture and Storage systems (CCS) as an environmental management pillar of energy enterprises: Presentation of the experience of Norway's Stat Oil Hydro Group

زرقين عبود [1]، عبد الحليم الحمزة [2]

[1] جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي، zargo_d16@hotmail.com

[2] جامعة العربي التبسي تبسة، a.elhamza@univ-tebessa.com

تاريخ النشر: 2020/04/01

ملخص:

هدفت الدراسة إلى إبراز النظم الرئيسية المكونة لعملية اقتناص الكربون وتخزينه، وعرض تجربة النرويج في مجال تطوير نظم اقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون.

توصلت الدراسة إلى أن تعميم استعمال نظم اقتناص وتخزين الكربون (CCS) وتطبيقها في جميع المؤسسات الاقتصادية وخاصة منها المتخصصة في مجال الطاقة، يعتبر أمرا هاما وضروريا خاصة في ظل التدهور البيئي الذي يشهده العالم اليوم والناجم عن الاستعمال المفرط للطاقات الأحفورية، وفي هذا الصدد ينتظر أن تلعب نظم اقتناص وتخزين الكربون دورا هاما وبارزا في مجال مكافحة التلوث البيئي وترشيد استهلاك الطاقات الأحفورية وترقية كفاءتها الاستخدامية في ظل مبادئ وأهداف التنمية المستدامة.

كلمات مفتاحية: اقتناص الكربون، تخزين الكربون، الطاقة، الإدارة البيئية، مجموعة (Stat Oil Hydro).

تصنيفات JEL : Q4 ؛ Q57 .

Abstract:

The study aimed at highlighting the main systems of carbon capture and storage, and the experience of Norway in the development systems of carbon capture and storage.

المؤلف المرسل: زرقين عبود، الإيميل: zargo_d16@hotmail.com

The study concluded that the widespread use and application of carbon capture and storage systems (CCS) in all economic institutions, especially those specialized in the field of energy, is important and necessary, especially in view of the environmental degradation that the world is witnessing today, resulting from the excessive use of fossil energies. Carbon capture and storage systems play an important and prominent role in combating environmental pollution, rationalizing the consumption of fossil energies and enhancing their efficiency under the principles and objectives of sustainable development.

Keywords: Carbon Capture; Carbon Storage; Energy; Environmental Management; Stat Oil Hydro Group.

JEL Classification Codes: Q4 ; Q57 .

1. مقدمة

لقد أكد بروتوكول كيوتو سنة 1997 في المادة 10 منه أن تضع جميع الأطراف في اعتبارها مسؤولياتها المشتركة، وأن تصوغ متى كان ذلك مناسبا وقدر الإمكان برامج وطنية، وإذا اقتضى الأمر ذلك برامج إقليمية فعالة من حيث التكلفة لتحسين نوعية عوامل الانبعاثات المحلية، وعلى أن تتضمن تدابير لتخفيف تغير المناخ، وتدابير لتسهيل التكيف مع تغير المناخ تكيفا مناسبا.

وبالرغم من أن الجزائر كغيرها من البلدان العربية لا تتحمل سوى قدرا ضئيلا جدا من المسؤولية التاريخية في ظهور مشكلة تغير المناخ، فلقد أصبح من المرجح علميا أن المنطقة العربية ستكون من المناطق الأشد تعرضا للآثار المحتملة لتغير المناخ، لذلك أصبح من المفيد مشاركة البلدان العربية في الجهود العالمية لمكافحة تغير المناخ، لاسيما تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

وضمن إطار التوعية المسبقة بمخاطر تغير المناخ ووضع سياسات لتخفيف حدته، يتوقع أن تكون نظم اقتناص الكربون وتخزينه، كوسيلة لتخفيف تغير المناخ، أمرا مفيدا للبلدان النامية المنتجة للبترول والغاز، حيث يمكن أن تقلص جزءا كبيرا من انبعاثاتها المتزايدة من غاز ثاني أكسيد الكربون بعزله وحقنه في المكامن النفطية، كما ستؤدي تصميمات المحطات الطاقوية

المتقدمة، التي تصل إلى مدى أبعد في تخفيض الاحتياجات من الطاقة لنظم اقتناص الكربون وتخزينه، إلى الحد أيضا من التأثيرات البيئية الشاملة للمحطات ومن كلفتها.

1.1. إشكالية البحث:

تتبلور إشكالية البحث فيما يلي: ما هي ملامح تجربة مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية في مجال اعتماد نظم اقتناص وتخزين الكربون؟

2.1. فرضيات البحث:

للإجابة على إشكالية البحث تم وضع الفرضيات التالية:

- زيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي الأرضي تساهم في تغير المناخ العالمي؛
- تعتبر نظم اقتناص الكربون وتخزينه ذات جدوى اقتصادية مرتفعة؛
- تعتبر نظم اقتناص الكربون وتخزينه ذات جدوى بيئية مرتفعة؛
- مجموعة (**Stat Oil Hydro**) النرويجية تشكل إحدى الشركات الطاقوية الرائدة في مجال تطوير نظم اقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون.

3.1. أهداف البحث:

تتمثل أهداف البحث فيما يلي:

- إبراز دور غاز ثاني أكسيد الكربون في الاحتباس الحراري العالمي؛
- بيان النظم الرئيسية المكونة لعملية اقتناص الكربون وتخزينه؛
- عرض تجربة مجموعة (**Stat Oil Hydro**) النرويجية كإحدى الشركات الطاقوية الرائدة في مجال تطوير نظم اقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الغاز الطبيعي، ومختلف أنواع الوقود الأحفورية الأخرى نظرا لخبرتها الواسعة في هذا المجال.

4.1. منهج البحث:

للإجابة على إشكالية البحث واختبار الفرضيات تم إنجاز البحث بالاعتماد على المنهجين الوصفي والتحليلي الذين يتلاءمان وطبيعة الموضوع، وهذا بسرد مختلف المفاهيم المتعلقة بنظم اقتناص الكربون وتخزينه، وعرض وتحليل تجربة مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية في مجال اعتماد نظم اقتناص وتخزين الكربون.

5.1. تقسيم البحث:

انطلاقا من ذلك سيتم معالجة هذا الموضوع من خلال المحاور التالية:

- دور غاز ثاني أكسيد الكربون في إحداث ظاهرة التغير المناخي؛
- مفهوم نظم اقتناص الكربون وتخزينه؛
- تجربة مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية في مجال اعتماد نظم اقتناص وتخزين الكربون؛
- آفاق تطبيق نظم اقتناص وتخزين الكربون في الدول العربية.

2. دور غاز ثاني أكسيد الكربون في إحداث ظاهرة التغير المناخي

تعتبر قضية تغير المناخ من أخطر التحديات البيئية التي واجهها العالم طوال تاريخه، كما تعد أيضا تحديا أساسيا لعملية التنمية المستدامة، تلك التنمية التي تهتم بتحقيق الجوانب الاقتصادية والاجتماعية دون إغفال البعد البيئي، حفاظا على الموارد الطبيعية لخدمة أهداف التنمية الحاضرة، وأيضاً المحافظة على الموارد الطبيعية لخدمة أجيال المستقبل، وهى التنمية التي تحرص على العدالة الاجتماعية والتي تحلم شعوب العالم كله بتحقيق أهدافها.

تشير الدراسات إلى أن تغير المناخ الناجم عن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، هو نتيجة لزيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية، حيث لاحظ العلماء زيادة في تركيزات تلك الغازات بلغت 30% بالنسبة لغاز ثاني أكسيد الكربون، و100% بالنسبة لغاز الميثان خلال المائة سنة الماضية، ومن المعروف أن حرق كافة أشكال الوقود الأحفوري (الفحم، البترول، الغاز الطبيعي) هو المصدر الرئيسي لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، كما أن بعض الأنشطة الزراعية والحيوانية هي مصدر أساسي لانبعاثات غاز الميثان للغلاف الجوي، وقد أدى زيادة تركيز تلك الغازات إلى ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بنسبة 0,6 درجة مئوية منذ بدأت عمليات القياس لهذه الغازات عام 1860، وتنبئ النماذج الرياضية المستخدمة في توقيع الآثار الناشئة عن ارتفاع درجة حرارة الأرض بآثار بيئية واقتصادية مدمرة حيث سيؤدى هذا الارتفاع في درجات الحرارة إلى التأثير على النحو السائد لتوزيع الأمطار فوق سطح كوكب الأرض، وبالتالي سوف يتأثر توزيع الموارد المائية في العالم، وسوف تكون النتيجة،

إما فيضانات عالية مدمرة في بعض المناطق أو موجات جفاف مهلكه في مناطق أخرى، كما يتسبب ارتفاع درجة الحرارة في ذوبان الجليد في القطب الشمالي مما يؤدى إلى ارتفاع سطح البحر، حيث تتعرض مناطق منخفضة كثيرة في العالم إلى الغرق، كما تتعدد أشكال تلك التهديدات الخطيرة على الزراعة والثروة المائية والصحة العامة والتنوع الحيوي وشتى ضروب الحياة وسبلها (وزارة الدولة لشئون البيئة، 2007، ص 13).

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون غاز الاحتباس الحراري الرئيسي، وتتوقف تركيزاته في الهواء على الكميات المنبعثة من نشاطات الإنسان، خاصة احتراق الوقود الأحفوري (الفحم البترول والغاز الطبيعي) وصناعة الأسمنت وإزالة النباتات، خاصة الغابات الاستوائية التي تعتبر مخزنا هائلاً للكربون، إذ يُقدر أن أشجار الغابات تثبت نحو2 كغ/ كربون في المتر المربع في اليوم، وإزالتها يعنى إما تحويل الأرض إلى حالة قاحلة أو بور أو زراعتها بمحاصيل حقلية ذات قدرة تثبيت أقل (نصف كيلوغرام) كما أن معظم الأشجار التي يتم إزالتها تحرق أو تحلل بفعل الكائنات الدقيقة، وفى كلتا الحالتين ينتج ثاني أكسيد الكربون، كما تتوقف تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الهواء على معدلات إزالته وامتصاصه في البحار وفى الغطاء النباتي على سطح الأرض، فيما يعرف بالدورة الجيوكيميائية للكربون والتي تحدث توازنا في تركيزات الكربون في الهواء، ولقد أوضحت الدراسات المختلفة أن هذا التوازن قد اختل نتيجة لنشاط الإنسان المتزايد، ففي عصر ما قبل الصناعة (1750 – 1800) كان تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء نحو280 جزءا في المليون، أما في عام 2000 فكان 368 جزءاً في المليون (محمد السيد، 2009، ص 6).

وتقدر كمية ثاني أكسيد الكربون التي انبعثت في الغلاف الجوي في العالم عام 1900 بنحو 1960 مليون طن متري، ارتفعت إلى 5961 مليون طن متري في عام 1950 ثم إلى 16902 مليون طن متري في 1975 ووصلت إلى 23172 مليون طن متري في عام 1999، ثم إلى نحو 30647 مليون طن متري سنة 2007، وتعتبر الدول المتقدمة مسئولة عن نحو 50 % من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الولايات المتحدة الأميركية وحدها مسئولة عن نحو 24 % من إجمالي الانبعاثات في العالم، تليها الصين بنحو 13,2% ودول الاتحاد الأوروبي بنحو 8 % وروسيا بنحو 7% واليابان بنحو 5%، أما العالم العربي ككل فهو مسئول عن 3,4 % فقط من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم (World Bank, 2010, p 146) .

بالإضافة إلى غاز ثاني أكسيد الكربون، هناك عدة غازات أخرى مسببة للاحتباس الحراري، وأهم هذه الغازات الميثان الذي يتكون من تفاعلات ميكروبية في حقول الأرز وتربية الحيوانات المجترة ومن حرق الكتلة الحيوية (الأشجار والنباتات ومخلفات الحيوانات)، ويقدر أن تركيزات الميثان في الغلاف الجوي قد ارتفعت من 700 جزء في المليار في عام 1800 إلى نحو 1750 في عام 2000، وكانت انبعاثات الميثان في العالم عام 1999 نحو 6340 مليون طن ثاني أكسيد كربون مكافئ، ثم وصلت إلى نحو 7135 مليون طن ثاني أكسيد كربون مكافئ سنة 2007 وتعتبر الصين مسئولة عن 15 % من هذه الانبعاثات والولايات المتحدة الأمريكية عن 13 % والعالم العربي ككل مسئول عن 3,7 % (World Bank, 2010, p 147) .

ويعتبر غاز أكسيد النيتروز، الذي يتكون أيضاً من تفاعلات ميكروبية تحدث في المياه والتربة، من غازات الاحتباس الحراري، ويقدر أن تركيزاته في الغلاف الجوي قد ارتفعت من 270 جزءاً في المليار عام 1800 إلى نحو 306 أجزاء في المليار عام 2000، وكانت انبعاثات أكسيد النيتروز في العالم عام 1999 نحو 2570 مليون طن ثاني أكسيد كربون مكافئ، ثم وصلت إلى نحو 2852 مليون طن ثاني أكسيد كربون مكافئ سنة 2007، وكانت الصين مسئولة عن 15 % من هذه الانبعاثات والولايات المتحدة الأمريكية عن 13,2 % والعالم العربي ككل مسئول عن 4,1 %، وبجانب هذه الغازات هناك غاز الكلور و الفلورو كربون الذي يتسبب في تآكل طبقة الأوزون والذي توقف إنتاجه واستخدامه في معظم الدول طبقا لبروتوكول مونتريال (World Bank, 2010, p 147) .

وتتوقف مساهمة كل من هذه الغازات في الاحتباس الحراري على كمية الغاز المنبعثة، وتركيزه النهائي في الغلاف الجوي، وطول فترة بقائه (عمره)، وقوته الإشعاعية، وهذا يعنى أن القدرة على التدفئة العالمية تختلف من غاز إلى آخر، ويعتبر ثاني أكسيد الكربون أقل الغازات إحداثا للتدفئة، مقارنة بالوزن نفسه من الميثان أو أكسيد النيتروز على مدى فترة زمنية متساوية (50 أو100 سنة مثلاً)، ولكن لأن كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة في العالم تفوق كميات جميع غازات الاحتباس الحراري الأخرى، فهو يعد الغاز الرئيسي الفاعل في التدفئة العالمية، والجدول التالي يبين نسبة كل غاز إلى إجمالي الغازات الدفيئة سنة 2007.

الجدول 1: نسبة كل غاز إلى إجمالي الغازات الدفيئة

نوع الغاز	النسبة المئوية (%)
غاز ثاني أكسيد الكربون	75

غاز الميثان	16
غاز أكسيد النيتروز	7
غازات أخرى	2

Source: World Bank, 2010, p 149.

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن نسبة ثاني أكسيد الكربون تشكل النسبة العظمى من إجمالي الغازات الدفيئة المنبعثة في الهواء، يليه غاز الميثان ثم غاز أكسيد النيتروز، ويساهم في تلك الانبعاثات معظم القطاعات الاقتصادية من الصناعة والزراعة والطاقة وغيرها، إلا أن قطاع الطاقة يساهم بحصة كبرى في إجمالي تلك الانبعاثات خاصة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تصل إلى نحو 60 % على المستوى العالمي.

وتشير التوقعات إلى أن استهلاك العالم للطاقة الأولية سيزيد سنة 2030 بنسبة 55 % عن مستواه سنة 2005 كما أن الوقود الأحفوري وخاصة الغاز سيظل ولفترة معتبرة من الزمن يسيطر على الميزانية الطاقوية العالمية، وحيث أن التغير المناخي ظهرت معالمه التدميرية فإن الحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي أصبح أمرا ضروريا بالنسبة لجميع المؤسسات الاقتصادية وخاصة الصناعية والطاقوية منها وذلك عن طريق اتخاذ إجراءات فعالة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة الأحفورية وخاصة الغاز الطبيعي الذي تشير التوقعات إلى أنه سوف يسيطر ولفترة غير وجيزة على الطلب والعرض العالمي من الطاقة.

وضمن إطار التوعية المسبقة بمخاطر التغير المناخي ووضع سياسات لتخفيف حدته، يتوجب وجود قدرة عالية للجهات الحكومية خاصة الصناعية والطاقوية منها على وضع الحلول المناسبة، كما تصبح الحاجة ملحة لهذه الحلول نتيجة للطلب المتزايد على الطاقة، حيث يقدر أن يرتفع إنتاج البلدان العربية المصدرة للنفط بمعدل 40 % بين عامي 2004 و2030 ليصل إلى 43 مليون برميل يوميا، ويتوقع أن كون نظم اقتناص الكربون وتخزينه، كوسيلة لتخفيف تغير المناخ أمرا مفيدا للبلدان النامية المنتجة للبترول والغاز، حيث يمكن أن تقلص جزءا كبيرا من انبعاثاتها المتزايدة من ثاني أكسيد الكربون بعزله وحقنه في المكامن النفطية والغازية، ويرفع ذلك كلا من الإنتاجية والربحية في آن معا، كما ستؤدي تصميمات المحطات المتقدمة التي تصل إلى مدى أبعد في تخفيض الاحتياجات من الطاقة لنظم اقتناص الكربون وتخزينه، إلى الحد أيضا من التأثيرات البيئية الشاملة للمحطات ومن كلفتها، ورغم أن العديد من البلدان العربية لم

تُحصر الانبعاثات الكربونية فيها، فإن مجموعة من البلدان العربية قد أتمت هذا الحصر من خلال تقارير الإبلاغ الوطنية تحت مظلة الاتفاقية الإطارية للأمم المتحدة المعنية بتغير المناخ.

3. مفهوم نظم اقتناص الكربون وتخزينه

لقد برزت نظم اقتناص الكربون وتخزينه كإحدى الوسائل للإسهام في زيادة إنتاج آبار النفط بجانب تخفيض معدلات انبعاث هذا الغاز نتيجة استخدام النفط كوقود.

1.3 تعريف نظم اقتناص الكربون وتخزينه :

نظم اقتناص الكربون وتخزينه (CO_2 Capture and Storage) واختصارها (CCS) هي مجموعة من المراحل والعمليات التكنولوجية يتم من خلالها تجميع غاز الكربون من مصادر إنتاجه الصناعية واحتجازه بفصله عن الغازات الأخرى المصاحبة وبعد ذلك نقله إلى مواقع التخزين (والتي عادة تكون تحت سطح الأرض)، لمنع انبعاثه إلى الغلاف الجوي بهدف التخفيف من الغازات الدفيئة والسيطرة على تركيزها في الجو، وبشكل عام، فقد أثبتت هذه النظم كفاءتها بالنسبة للعديد من المؤسسات الاقتصادية حتى وإن ظلت بعض عناصرها بحاجة إلى تحسين نوعي، إلا أنها لا تزال بحاجة إلى اعتراف دولي ومبادرات تجارية تمكنها من الانتشار على نطاق واسع (نصر الدين ساري، 2011، ص 122).

وقد بات من المعروف أن حقن ثاني أكسيد الكربون في مكامن النفط يقلص لزوجة الزيت ويزيد حجمه ويزيد من تدفقه، وهي أمور تتيح استخراج كمية أكبر من النفط من باطن الأرض، ولكن جهود الاقتناص التي تجمع بين عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون من خلال حقن تيارات من الغاز في باطن الأرض لم تبدأ إلا في عام 1997، فقد بدأت مشاريع عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون على نطاق تجاري في مختلف أنحاء العالم في المشاريع الثلاثة التي يلي ذكرها (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2009، ص 4):

- المشروع الأول في حقل سليبنر (Sleipner) للغاز الطبيعي في بحر الشمال سنة 1996 حيث يتم عزل ثاني أكسيد الكربون من الغاز الطبيعي لاحتوائه على 9 % من ثاني أكسيد الكربون أكثر مما تسمح به معدلات الجودة التجارية، تتم عملية العزل باستخدام المحاليل الأمينية (Amine Solvents) ويعتبر ثاني أكسيد الكربون من مخلفات هذا المشروع حيث تقوم شركة (Stat Oil Hydro) النرويجية بحقن وتخزين حوالي مليون طن سنويا في بعض الطبقات الأرضية المحتوية على المياه المالحة على جزيرة ببحر الشمال؛

- المشروع الثاني هو مشروع واي بيرن لثاني أكسيد الكربون في جنوب سسكتشوان، بكندا سنة 1997 ويتم فيه عزل ثاني أكسيد الكربون في محطة تغويز للفحم بولاية داكوتا الشمالية بالولايات المتحدة الأمريكية حيث يجري منذ ثلاثين عاما إنتاج غاز الميثان، ويتم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر 204 أميال إلى حقل وايبيرن ليتم استعماله في عملية استخلاص النفط المعزز وذلك بحقن ما يقارب 1,5 مليون طن من الغاز سنويا، وقد قدر استخلاص حوالي 130 مليون برميل نفط إضافية من ذلك الحقل في خلال عمر المشروع (25 عاما)؛
- المشروع الثالث يقع في حقل صلاح للغاز الطبيعي في الصحراء الجزائرية سنة 2004 ويشابه مشروع حقل سليبنر حيث يجري عزل ثاني أكسيد الكربون من الغاز الطبيعي ويتم حقنه في الطبقات الجوفية بمعدل 1,2 مليون طن سنويا.

2.3 عناصر نظم اقتناص الكربون وتخزينه:

هناك ثلاثة نظم رئيسية لاقتناص الكربون وتخزينه والناتج عن المصادر الأولية للوقود الأحفوري يمكنها احتجاز ما بين 85 و95 % من ثاني أكسيد الكربون المنتج، وفيما يلي تفصيل لهذه النظم ومراحلها التي تبدأ بعملية الاقتناص ثم النقل ثم في الأخير احتواء غاز الكربون وتخزينه وذلك حسب التقنيات المختلفة المستخدمة في محطات الطاقة:

أ- نظم اقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون: تعني نظم اقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن العمليات الصناعية في معظم المؤسسات الاقتصادية، فصله عن غيره من الغازات الأخرى باستخدام المذيبات الفيزيائية أو الكيميائية، أو الأغشية أو مواد الامتصاص الصلبة أو التبريد، ويتم ذلك إما بعد عملية احتراق الوقود الأحفوري، أو قبل الاحتراق، أو باستخدام الوقود الأكسجيني، وكلها تقنيات معقدة تمكن في الأخير من رفع كفاءة استخدام الطاقة، أو من تنقية مخلفاتها أثناء عملية الإنتاج، أو في الصناعات التحويلية، أو في مختلف الصناعات الأخرى التي تدخل فيها كمادة طاقوية أولية، حيث تنقى من غاز الكربون السام، وبالتالي الرفع من كفاءتها الاستخدامية من الناحية البيئية تماشيا مع متطلبات التنمية المستدامة، وفيما يلي شرح لتلك الطرق كالآتي (منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول، صيف 2008 ، ص 125):

- تعتمد الطريقة الأولى (الاقتناص قبل الاحتراق) (Pre-Combudtion) على تقنيات تحويل الوقود الأحفوري (غاز أو زيت الوقود الثقيل) إلى هيدروجين عن طريق حرقه بالبخار والهواء

أو الأكسجين لإنتاج خليط يتألف بصفة رئيسية من أكسيد الكربون الأحادي والهيدروجين، حيث يتم فصل أكسيد الكربون الأحادي واستخدامه في تقنية الاستخلاص البترولي المعزز أو تخزينه وحقنه في المكامن النفطية والغازية الناضبة، ويستخدم الهيدروجين الناتج في توليد الكهرباء، بينما يحول الغاز الصناعي الناتج إلى سوائل هيدروكربونية باستخدام تقنية (GTL)؛

- أما الطريقة الثانية (الحرق بالأكسجين) (Oxy-Combustion) فتعتمد على إجراء عملية حرق الوقود الأحفوري مباشرة بالأكسجين لتجنب ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون في النتروجين الموجود في الهواء، وفي هذه الحالة فإن الطاقة الناتجة تحتوي فقط على كمية ضئيلة جدا من غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، بحيث يتم التخلص من هذا الأخير بتكثيفه؛
- وتعد الطريقة الثالثة (الاقتناص بعد الاحتراق) (Post-Combustion) الطريقة الأسهل، حيث يتم حرق الوقود الأحفوري بالطريقة التقليدية (سواء في محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالدورة المركبة، أو في مختلف الصناعات البتروكيمائية، أو الصناعات الأخرى التي تعتمد على الطاقة الأحفورية كوقود محرك)، ثم بعد ذلك تتم معالجة غاز المداخن لاقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون.

ب- نظم نقل الكربون: بعد أن تتم عملية الاقتناص، يجب أن ينقل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى موقع التخزين، ويتم ذلك إما عبر خطوط الأنابيب أو النقل بالسفن أو عن طريق الصهاريج أو عن طريق السكك الحديدية، ويشكل خيار النقل بالأنابيب خيار جيدا في حالة ما إذا تم اقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون من محطات تسييل الغاز الطبيعي أو من محطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من طرف المؤسسات المتخصصة في الصناعات البترو كيمائية، أما النقل بالسفن فيكون اقتصاديا أكثر عندما يحتاج الأمر إلى نقل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى مسافات بعيدة عبر البحر، كما تعتبر الصهاريج المنقولة عبر السكك الحديدية خيار ممكنا أيضا، لكن بشرط أن يتم نقل غاز ثاني اكسيد الكربون بواسطتها تحت ضغط 2 ميغا باسكال، ودرجة حرارة أكبر من أو تساوي 20 درجة مئوية تحت الصفر (عمر خالد الحاج، صيف 2009، ص 147).

ج- نظم تخزين الكربون: يتم تخزين الكربون الذي تم اقتناصه من المؤسسات المتخصصة كمعامل تسييل الغاز أو محطات توليد الكهرباء، أو من شتى العمليات الصناعية التي تستعمل الطاقة الأحفورية كوقود للتشغيل، عبر إحدى الخيارات التالية: التخزين الجيولوجي، التخزين في

أعماق المحيطات، التخزين بالكربنة (التثبيت الصناعي على هيئة كربونات)، أو يتم استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون في تطبيقات صناعية معينة (عمر خالد الحاج، صيف 2009، ص 151).

التخزين الجيولوجي هو وضع ثاني أكسيد الكربون في مستودع على النحو الذي يبقى فيه محتجزا لمئات الآلاف من السنين، وقد قدرت سعة المستودعات العالمية في الطبقات الجوفية بحوالي 1000 إلى 10000 جيغا طن من ثاني أكسيد الكربون، وفي حقول النفط والغاز الناضبة بحوالي 1100 جيغا طن، وهو ما يناظر 90 إلى 480 سنة من الانبعاثات العالمية الراهنة التي بلغت بين 23 و24 جيغا طن من ثاني أكسيد الكربون/سنة، حيث يحقن غاز ثاني أكسيد الكربون في مكامن البترول أو الغاز الطبيعي الناضبة، أو في التكوينات الجيولوجية العميقة، ويعتمد في ذلك على تقنيات جد متطورة تساعد على عملية الحقن (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2009، ص 6).

ويمكن أيضا تخزين غاز ثاني أكسيد الكربون في المحيطات نظرا لسهولة ذوبانه في الماء، لكن هناك مخاطر بيئية قد تنجم عن ذلك في المدى البعيد، وإذا تم التخزين بكميات ضخمة قد تؤدي إلى تغيير حموضة المحيطات وبالتالي إمكانية إلحاق الضرر بالكائنات البحرية، وبالتالي فهذه الطريقة تحتاج للمزيد من الدراسة والتطوير أما التخزين بطريقة الكربنة فتتلخص في إمكانية تثبيت جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون باستخدام مواد قلوية أو أكاسيد المعادن القلوية الترابية مثل: (MgO أو CaO) حيث تؤدي التفاعلات الكيميائية بين هذه المواد وغاز ثاني أكسيد الكربون إلى تشكيل مركبات كربونية مثل: ($MgCO_3$ أو $CaCO_3$) وبهذا الشكل فان جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون يكون قد تم ربطها بشكل دائم وبالتالي لا يمكن لها أن تنطلق إلى الغلاف الجوي مجددا، كما يمكن استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية حرق الطاقة الأحفورية في معظم المؤسسات الصناعية، بعد اقتناصه في بعض الاستخدامات الصناعية التي يدخل فيها هذا الغاز كأحد أطراف التفاعل، مما يعني تثبيته وعدم انطلاقه إلى الهواء، فحاليا يستخدم ما يقارب 120 ميغا طن سنويا من غاز ثاني أكسيد الكربون على المستوى العالمي في العديد من التطبيقات الصناعية، حيث يذهب ثلثي هذه الكمية لإنتاج اليوريا التي تدخل في صناعة الأسمدة وغيرها من الصناعات المساندة للقطاع الزراعي، في حين يستخدم الثلث الباقي في صناعات أخرى متفرقة كالتبريد والصناعات الغذائية والبستنة وغير ذلك (عمر خالد الحاج، صيف 2009، ص 152).

4. الجدوى الاقتصادية والفنية لنظم اقتناص الكربون وتخزينه

مازال الجدل قائما بين الاقتصاديين ونظرائهم البيئيين وحتى التقنيين بشأن تداول استعمال تكنولوجيات (CCS) كضمان للحد من الانبعاثات الكربونية الصادرة عن مختلف الصناعات والعمليات التحويلية التي تستخدم الطاقة الأحفورية كوقود، فمن الناحية الاقتصادية فإن تعميم هذه التكنولوجيا يرافقه تكاليف مرتفعة جدا قد تقلل من فعاليتها وجدواها الاقتصادية بالنسبة لمعظم المؤسسات، وقد لا تكون في متناول المؤسسات الاقتصادية في الدول النامية، أو قد تحد من الكفاءة الاقتصادية للطاقة بشكل عام، فعلى سبيل المثال فإن تكلفة اقتناص وتخزين الكربون في محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالغاز الطبيعي بتقنية الدورة المركبة، تتراوح بين 50 و100 دولار لكل طن من غاز ثاني أكسيد الكربون، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف الرأسمالية لهذه المحطات بحوالي 30 إلى 100 %، ولكن من المتوقع أن تنخفض هذه التكاليف إلى ما بين 25 و50 دولار لكل طن من ثاني أكسيد الكربون مع حلول سنة 2030 نتيجة لتوقعات تحسين كفاءة تلك التقنية من الناحية الفنية (الطاهر الزيتوني، صيف 2009، ص 206).

كما أن هناك منظمات بيئية تسعى إلى دعم الحلول التي تسمح بتحول المؤسسات عن استخدام الوقود الأحفوري، ومهما يكن فإنه لا مجال للتردد أو الانتظار مع التغيرات المناخية التي تهدد كوكب الأرض إضافة إلى أن كافة الخبراء يعترفون بأن البدائل قليلة، ويحتمل ألا يكون هناك بديل يستطيع لوحده أن يكون جسر عبور نحو طاقة نظيفة أو حتى منخفضة الكربون.

الجدول 2: التكاليف المتعلقة بمختلف عناصر نظم اقتناص وتخزين الكربون

عناصر نظم (CCS)		التكاليف (دولار/ طن CO_2)
الاقتناص	من محطات الطاقة العاملة بالوقود الأحفوري	75 - 15
	من مركبات معالجة الغاز، مصانع إنتاج الهيدروجين	55 - 5
	من المؤسسات الصناعية الأخرى	115 - 25
النقل	كافة طرق الاقتناص	8 - 1
التخزين	الجيولوجي	8 - 0,5
	في المحيطات	30 - 5
	عن طريق تقنيات الكربنة	100 - 50

المصدر: عمر خالد الحاج، صيف 2009، ص 154.

5. الجدوى البيئية لنظم اقتناص الكربون وتخزينه

إن الأخطار البيئية التي يمكن أن تنتج عن كل عنصر من عناصر نظم اقتناص الكربون وتخزينه المطبقة في مجال الصناعات المعتمدة على الطاقة الأحفورية، تظل في إطار الأخطار البيئية الناتجة عن التعامل مع هذه الأخيرة سواء من حيث النقل أو التخزين، ولا توجد خصوصيات تذكر عدا تلك المخاطر المتوقعة الحدوث إن تم تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيطات، وكذلك الآثار البيئية التي قد تنجم من جراء تطبيق عملية الكربنة والمتمثلة بظهور مخلفات معدنية يجب التخلص منها إما باستنباط صناعات تستهلك هذه المواد أو التخلص منها على شكل نفايات، وما عدا ذلك فإن قواعد السلامة المهنية والأمن الصناعي بمستواها الحالي تعتبر ناضجة بما فيه الكفاية للتعامل مع نظم اقتناص الكربون وتخزينه والحد من احتمال حصول كوارث في حال حدوث تسرب ما من أحد عناصر هذه المنظومة في أي مكان (عمر خالد الحاج، صيف 2009، ص 154).

6. تجربة مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية في مجال اعتماد نظم اقتناص وتخزين الكربون

تعتبر مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية من ضمن الشركات الطاقوية الرائدة في مجال تطوير نظم اقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الغاز الطبيعي، ومختلف أنواع الوقود الأحفورية الأخرى نظرا لخبرتها الواسعة في هذا المجال، وقد ساعدها في ذلك اهتمام الحكومة النرويجية بالمجالات البيئية، فقد كانت النرويج من بين أولى دول العالم التي أقرت بخطورة ظاهرة الاحتباس الحراري وعملت على محاربتها بشكل جدي ومتواصل، ففي سنة 1992 أقرت الحكومة النرويجية أول ضريبة على الكربون تقدر حاليا بحوالي 40 أورو لكل طن كربون منبعث طبقت على الشركات العاملة في مجال إنتاج الطاقة ومن بينها شركة (Stat Oil Hydro) فكانت هذه الضريبة بمثابة الحافز الأساسي لتطوير نظم اقتناص وتخزين الكربون التي تهدف إلى تحسين الكفاءة الاستخدامية للطاقة بصفة عامة، وقد ساهم ذلك في الحد من الانبعاثات الخطيرة لغاز ثاني أكسيد الكربون الناتج أساسا عن صناعة الغاز والنفط، وقد التزمت الحكومات المتعاقبة على إدارة شؤون دولة النرويج على وضع ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي ضمن أهم أولوياتها الإستراتيجية، وبالتالي بدأت في العمل بالشراكة مع شركة (Stat Oil Hydro) على تجسيد العديد من مشاريع اقتناص وتخزين الكربون (نصر الدين ساري، 2011، ص 126).

وقد كان مشروع سلايبنر (Sleipner) من أهم هذه المشاريع على الإطلاق، حيث ساهمت ضريبة الكربون التي أقرتها السلطات النرويجية في تحفيز شركة (Stat Oil Hydro)على العمل بهذه التقنية، فقد كان الغاز الطبيعي المستخرج من حقل سلايبنر النرويجي يحتوي على ما يقارب 9% من غاز ثاني أكسيد الكربون، ما يخل بالطلبات المتوقعة من طرف الزبائن، وعندما دخل الحقل في مرحلة الإنتاج سنة 1996 جهزت المنصة البحرية له بمعمل لاقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون واعتبرت أول منشأة في مجال تطبيق هذه التقنية في حقول الغاز البحرية بطاقة تخزين تقدر بحوالي مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويا، ما ساهم في تحسين كفاءة الغاز المنتج من حقل سلايبنر وترقيته للإيفاء بالمتطلبات البيئية وبتطلعات الزبائن المختلفة (نصر الدين ساري، 2011، ص 127).

كما يعد مشروع سنوفيت (Snohvit) مثله مثل مشروع سلايبنر، فقد ساهمت ضريبة الكربون المفروضة من طرف السلطات النرويجية والتي اعتمدت كسياسة عامة لمحاولة الحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون قدر الإمكان، ساهمت في قيام شركة (Stat Oil Hydro) بمثل هذا المشروع، حيث كان الغاز المنتج من حقل سنوفيت الواقع في الشمال الغربي للنرويج يصدر على شكل غاز طبيعي مسال (LNG) إلى كل من الو.م.أ والدول الأوروبية، لهذا كان لابد من ترقية هذا الغاز المنتج عن طريق عملية التسييل من خلال التخلص من كافة آثار غاز ثاني أكسيد الكربون عن طريق اعتماد نظم اقتناص وتخزين الكربون حيث يتم احتجاز ما مقداره 0,7 مليون طن سنويا من غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال هذا المشروع (نصر الدين ساري، 2011، ص 128).

7. آفاق تطبيق نظم اقتناص وتخزين الكربون في الدول العربية

تتجمع في أفق تطبيق نظم اقتناص وتخزين الكربون فرص ضخمة للبلدان العربية المنتجة للنفط لاستخدامه في تعزيز استخلاص النفط، وتبرز تقنيات تخزين ثاني أكسيد الكربون كأحد الحلول المتاحة لقطاع البترول العربي للمساهمة في تخفيف حدة تغير المناخ.

وتكشف خريطة احتمالات التخزين التي أوردها التقرير الخاص للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) عن توافر احتمالات كبيرة لاقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث يظهر فيها أن الجزيرة العربية والمنطقة العربية بأسرها تحظى بعدد كبير من التكوينات الجيولوجية المناسبة، مع وجود مصادر كبرى لثاني أكسيد الكربون إما فوق المناطق ذات إمكانات التخزين الجيولوجي مباشرة، وإما في حدود مسافات معقولة (أقل من 300 كلم)، وهذه التكوينات الجيولوجية تنتشر

في المنطقة كلها تقريبا مما يجعل من اقتناص الكربون تقنية ممكنة التطبيق، بغض النظر عن الإمكانية الراهنة للاسترجاع المعزز للنفط (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2009، ص 7).

ولا شك أن تطوير بيانات قرب مصادر غاز ثاني أكسيد الكربون من مواقع التخزين الملائمة ووضع الدراسات الاقتصادية لكلفة اقتناص ونقل وتخزين هذا الغاز سوف ييسران عملية صنع القرار بشأن نشر تطبيق نظم اقتناص الكربون في البلدان العربية على نطاق واسع.

ويبدو بأن مساندة دول الاتحاد الأوروبي لتطبيق نظم اقتناص وتخزين الكربون سيتم من خلال شراكة مع قطاعه الخاص، حيث تجري تنمية قدرات هذه الشركات الأوروبية في مجال تكنولوجيات اقتناص وتخزين الكربون وتطويرها تقنيا منذ عام 1996، ويتضح هذا من خلال الدعم المالي الذي تقدمه بعض الحكومات الأوروبية لهذه الشركات من خلال تبني السياسات اللازمة والقوانين المساندة مثل فرض ضريبة الكربون، وكما رأينا فإن فرض الحكومة النرويجية ضرائب الكربون على كل طن ثاني أكسيد الكربون يطلق في الغلاف الجوي، كان له أبلغ الأثر في جعل مشاريع تطبيق نظم اقتناص وتخزين الكربون عملية مربحة للشركات الخاصة الأوروبية التي أصبحت اليوم ذات خبرة في هذا المجال (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2009، ص 8).

وكإستراتيجية أكثر فعالة فإنه من الضروري بمكان توجه البلدان العربية إلى مواكبة البحوث التطويرية وتنفيذ مشاريع ريادية جادة لكسب الخبرة المطلوبة لتطوير وامتلاك هذه التقنيات وبناء القدرات الوطنية القادرة على إمكانية تطبيق هذه التقنيات بالمنطقة، كما يقع على عاتق الدول المتقدمة تحمل المسؤولية التاريخية والمساهمة في نقل هذه التكنولوجيات إلى البلدان العربية، وإذا ما تقرر اعتماد هذه التقنيات كمنهجية في إطار آلية التنمية النظيفة، فستكون شركات النفط في البلدان العربية تقنيا في المقدمة ومهيأة لَتنفيذ مشاريع وطنية وإقليمية في هذا المجال، وسيكون لها نتائج إيجابية على المستوى العالمي.

وتجدر الإشارة في هذا السياق، إلى وعي الجهات العربية المسئولة، والمساعي المبذولة في هذا الإطار، وقد تضمنت قرارات مجلس الوزراء العرب المسؤولين عن شؤون البيئة في دورته العشرين في مقر الأمانة العامة لجامعة الدول العربية يومي 21 و22 ديسمبر2008 بذل المساعي لمتابعة

إصدار قرار بشأن اعتماد نظم اقتناص غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ضمن مشاريع آلية التنمية النظيفة (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2009، ص 9).

كما تجدر الإشارة هنا إلى أهمية إعادة نظر بلدان الخليج العربي بصفة خاصة في استغلال شبكات خطوط نقل الغاز الطبيعي الحالية كبنية تحتية لأكبر شبكة اقتناص وتخزين ثاني أكسيد الكربون في العالم، وذلك عبر إعادة تصميم تلك الخطوط بالصورة المطلوبة وإجراء التعديلات اللازمة لها لتصلح لتجميع غاز ثاني أكسيد الكربون من مصادر إنتاجه المتعددة في تلك المنطقة ونقله إلى التكوينات الجيولوجية حيث يتم الاتفاق على تخزينه، وبذلك تعطي هذه البلدان متعاونة المثال الإنساني والأخلاقي في المساهمة في حماية البيئة.

8. تحليل النتائج

من خلال القراءة الواضحة لموضوع الدراسة توصلنا إلى النتائج التالية:

- تشير الدراسات إلى أن تغير المناخ الناجم عن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، هو نتيجة لزيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية، حيث لاحظ العلماء زيادة في تركيزات تلك الغازات بلغت 30% بالنسبة لغاز ثاني أكسيد الكربون، و100% بالنسبة لغاز الميثان خلال المائة سنة الماضية، ومن المعروف أن حرق كافة أشكال الوقود الأحفوري (الفحم، البترول، الغاز الطبيعي) هو المصدر الرئيسي لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، كما أن بعض الأنشطة الزراعية والحيوانية هي مصدر أساسي لانبعاثات غاز الميثان للغلاف الجوي؛
- إن تعميم تكنولوجيا نظم اقتناص وتخزين الكربون من الناحية الاقتصادية يرافقه تكاليف مرتفعة جدا قد تقلل من فعاليتها وجدواها الاقتصادية بالنسبة لمعظم المؤسسات، وقد لا تكون في متناول المؤسسات الاقتصادية في الدول النامية، أو قد تحد من الكفاءة الاقتصادية للطاقة بشكل عام، ولكن من المتوقع أن تنخفض هذه التكاليف نتيجة لتوقعات تحسين كفاءة تلك التقنية من الناحية الفنية؛
- تظل الأخطار البيئية الناتجة عن تكنولوجيا نظم اقتناص وتخزين الكربون يمكن التعامل معها والتحكم فيها خاصة مع قواعد السلامة المهنية والأمن الصناعي بمستواها الحالي التي تعتبر ناضجة بما فيه الكفاية للتعامل مع نظم اقتناص الكربون وتخزينه والحد من احتمال حصول كوارث في حال حدوث تسرب ما من أحد عناصر هذه المنظومة في أي مكان؛

- تمتلك مجموعة (Stat Oil Hydro) النرويجية خبرة واسعة في مجال نظم اقتناص وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون التي تهدف إلى تحسين الكفاءة الاستخدامية للطاقة بصفة عامة، وقد ساهم ذلك في الحد من الانبعاثات الخطيرة لغاز ثاني أكسيد الكربون الناتج أساسا عن صناعة الغاز والنفط، وقد عملت على تجسيد العديد من مشاريع اقتناص وتخزين الكربون.

9. خاتمة

في نهاية هذا البحث يمكن القول أن تعميم استعمال نظم اقتناص وتخزين الكربون (CCS) وتطبيقها في جميع المؤسسات الاقتصادية وخاصة منها المتخصصة في مجال الطاقة، يعتبر أمرا هاما وضروريا خاصة في ظل التدهور البيئي الذي يشهده العالم اليوم والناجم عن الاستعمال المفرط واللاعقلاني للطاقات الأحفورية، وما نتج عنها من الغازات الدفيئة التي ألحقت أضرارا جسيمة بطبقة الأوزون وبالصحة البشرية عموما، وفي هذا الصدد ينتظر آن تلعب نظم اقتناص وتخزين الكربون دورا هاما وبارزا في مجال مكافحة التلوث البيئي وترشيد استهلاك الطاقات الأحفورية وترقية كفاءتها الاستخدامية في ظل مبادئ وأهداف التنمية المستدامة.

وفي ضوء ما سبق يمكن صياغة بعض التوصيات منها:

- تعزيز استخدام الطاقة المتجددة التي تزيد من الكفاءة والسعي إلى ترشيد استهلاك الوقود الأحفوري بحيث يمكن الاستفادة منه لفترات أطول؛
- تحضير الجزائر والبلدان العربية عموما لخيار اقتناص الكربون وتخزينه ببناء القدرات الفنية كدعامة لنقل التقنيات وإقامة الشراكات الفاعلة بين الدول الصناعية المتقدمة والبلدان المنتجة للنفط لعزل الكربون وتخزينه، وإيجاد تجمعات إقليمية للاستفادة من آليات التمويل المتاحة لذلك، مع وضع خرائط السعات التخزينية في جوف الأرض، ودراسة سبل المشاركة في تصنيع مكونات قليلة التكلفة للمعدات اللازمة لذلك؛
- النظر في إعادة تصميم شبكات خطوط نقل الغاز الطبيعي لتصبح أكبر مشروع إقليمي لعزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون، ليصبح التركيز على إمكانات اقتناص الكربون وتخزينه أحد الخيارات الهامة للتنمية الاقتصادية والبيئية؛
- العمل على تصميم وتنفيذ المحطات الكهربائية الجديدة بحيث تتضمن نظم اقتناص الكربون وتخزينه مستقبلا.

10. قائمة المراجع

- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، تغير المناخ وتقنيات اقتناص الكربون واحتجازه وتخزينه، (نيويورك، 2009).
- الطاهر الزيتوني، نظم الوقود الأحفوري الأنظف لمجلس الطاقة العالمي، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد 35، العدد 130، منظمة الأوابك، الكويت، صيف 2009.
- وزارة الدولة لشئون البيئة، التغيرات المناخية وموقف مصر منها، (مصر، 2007) .
- محمد محمد السيد، التغيرات المناخية واحتمالات تأثيراتها المستقبلية على الوطن العربي، الملتقى السادس لمنظمات المجتمع المدني (التغير المناخي)، 2009، المنظمة العربية للتنمية الإدارية، لبنان.
- منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول، صناعة الغاز الطبيعي: الحاضر والمستقبل، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد 34، العدد 126، الأوابك، الكويت، صيف 2008.
- نصر الدين ساري، إستراتيجية ترقية الكفاءة الاستخدامية للثروة الغازية في إطار مبادئ وأهداف التنمية المستدامة، رسالة ماجستير، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة سطيف، 2011 .
- عمر خالد الحاج، اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد 35، العدد 130، منظمة الأوابك، الكويت، صيف 2009 .
- World Bank, World development indicators, Washington, 2010.