أثر التكنولوجيات الحديثة للغاز النظيف في الحد من التلوث البيئي عند المصدر

The impact of modern clean gas technologies in reducing environmental pollution at the source

نصرالدين ساري *

Nassereddine Sari

[1] جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي –تبسة، (مخبر Pieem بجامعة سطيف 1) –الجزائر

nassereddine.sari@univ-tebessa.dz

تاريخ الاستلام: 04-11-2022 تاريخ القبول: 06-03-2023 تاريخ النشر: 31-03-2023

ملخص:

تهدف هذه الورقة البحثية إلى دراسة أثر التكنولوجيات الحديثة للغاز النظيف في الحد من التلوث البيئي عند المصدر، من خلال تحليل آثارها على إنتاج الطاقة وتقنيات التخزين ونزع الغازات الملوثة للبيئة من الغاز الطبيعي والبترول على حد سواء، وتكاليف هذه التكنولوجيات ومدى نجاعتها الاقتصادية، خاصة في الجزائر.

وقد خلصت الدراسة إلى أن استعمال تكنولوجيات الغاز النظيف تساهم بشكل كبير في الحد من التلوث البيئي عند المصدر خاصة في مجال سلسلة صناعة الغاز الطبيعي، وتساهم ايضا في ترقية الكفاءة الاستخدامية للطاقة النظيفة، في مقابل ذلك لها مخاطر ومعوقات كثيرة متعلقة أساسا بفعالية الطاقة وزيادة التكاليف.

كلمات مفتاحية: التكنولوجيات الحديثة، الغاز النظيف، التلوث البيئي عند المصدر.

تصنيفات JEL : Q400, Q410, Q470.

Abstract*:*

This paper aims to study the impact of modern clean gas technologies in reducing environmental pollution at the source, by analyzing their effects on energy production, storage techniques and the removal of environmentally polluting gases from natural gas and petroleum, the costs of these technologies and their economic viability, especially in Algeria.

The study concluded that the use of clean gas technologies contributes significantly to reducing environmental pollution at the source, especially in the field of the natural gas industry chain, and also contributes to upgrading the use efficiency of clean energy, in return for that it has many risks and obstacles related mainly to energy efficiency and increased costs.

Keywords*:* *Modern technologies, clean gas, environmental pollution at the source.*

Jel Classification Codes*:* *Q400, Q410, Q470.*

* **المؤلف المرسل**

1. مقدمة:

في ظل الرهانات الحالية والتحديات المستقبلية للتنمية المستدامة، توجهت أنظار معظم المؤسسات الصناعية الكبرى إلى محاولة إيجاد السبل الكفيلة بالحد من إنتشار غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، المتسبب الرئيسي في ظاهرة الاحتباس الحراري والمكون الأساسي للغازات الدفيئة بنسبة مئوية تقدر بأكثر من 99%، وهذا نظرا للتكاليف الباهظة التي تنجر عن التلوث الذي يسببه هذا الغاز سواء من الناحية البيئية أو حتى من الناحيتين الاقتصادية والاجتماعية. وقد عمدت بعض المؤسسات في هذا الإطار إلى استعمال وتطبيق تقنية إصطياد وتخزين الكربون (CCS) (CO_2 Capture and Storage) التي تعتبر من أحدث التقنيات في مجال الحد من التلوث البيئي الناتج عن الإفراط في استخدام الطاقات الأحفورية بمختلف أنواعها، حيث يتم من خلال هذه التقنية تجميع غاز الكربون من مصادر إنتاجه الصناعية واحتجازه بفصله عن الغازات الأخرى المصاحبة، وبعد ذلك نقله إلى موقع التخزين (والذي عادة يكون تحت سطح الأرض)، لمنع انبعاثه إلى الغلاف الجوي أو التخفيف من التلوث البحري الناتج عن نقل النفط والغازي عالي الكثافة الكربونية، بهدف التخفيف من الغازات الدفيئة والسيطرة على تركيزها في الجو. وبشكل عام، فقد أثبتت هذه التقنية كفاءتها في حماية الممرات البحرية من التلوث، 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.

1.1. إشكالية البحث:

من خلال المنطلق السابق فإن إشكالية بحثنا تتمحور حول السؤال الرئيسي التالي:

ما مدى فعالية تطوير تقنيات إصطياد وتخزين الكربون CCS كآلية للحد من التلوث البيئي وتحسين تنافسية الشركات الطاقوية الكبرى ؟

ويندرج تحت هذا السؤال مجموعة من التساؤلات الفرعية:

- ماهي عناصر أنظمة تقنية (CCS)؟ وماهو ودورها في الحد من التلوث البيئي ؟
- ماهي المعوقات والمخاطر المتوقعة لأنظمة (CCS)؟
- كيف فعلت شركة سوناطراك ومجموعة Stat Oil Hydro النرويجية اعتماد وتطوير تقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS)؟ وهل ساهم ذلك في تقليل التلوث البيئي ؟

2.1. الفرضيات:

لمعالجة إشكالية بحثنا سوف ننطلق من الفرضيات التالية:

- تعتبر تقنية إصطياد وتخزين الكربون CCS ذات فعالية قصوى في الحد من الأثار البيئية لمختلف الانشطة للمؤسسات الطاقوية الكبرى.

– ساهم تبني شركة سوناطراك ومجموعة Stat Oil Hydro النرويجية لتقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS) في تخفيض التلوث البيئي غند المصدر الناتج عن انشطتهما.

3.1. أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحليل وتقييم مدى فعالية الإستثمار في تطوير تقنية إصطياد وتخزين الكربون CCS كآلية مكملة للحد من التلوث البيئي عند المصدر، مع عرض تجربة شركة سوناطراك ومجموعة ستات أويل هيدرو النرويجية في هذا المجال.

4.1. أهمية البحث:

تكمن أهمية هذه الورقة في البحثية في محاولة دراسة وتحليل الأثر المتكامل لتفعيل تقنيات اصطياد وتخزين الكربون على تحسين الاداء البيئي للمؤسسات الطاقوية الكبرى وترقية تنافسيتها من حيث مختلف المنتجات التي تقدمها للشوق الطاقوية العالمية في ظل الإلتزام بمعايير ومبادئ التنمية المستدامة.

وسنحاول في هذه الورقة البحثية معالجة هذا الموضوع من خلال التطرق للمحاور التالية:

- التعريف بتقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS)؛
- عناصر أنظمة تقنية (CCS)، ودورها في الحد من التلوث البيئي وتحسين تنافسية المؤسسات الطاقوية الكبرى؛
- تكاليف عناصر أنظمة تقنية اصطياد وتخزين الكربون وجدواها الاقتصادية في الحد من التلوث البيئي
- المعوقات والمخاطر المتوقعة لأنظمة (CCS)؛
- تجربة شركة سوناطراك ومجموعة Stat Oil Hydro النرويجية في مجال اعتماد وتطوير تقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS).

2. التعريف بتقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS):

تتألف الغازات الدفيئة بشكل رئيسي من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، غاز الميثان CH_4، المكون الرئيسي للغاز الطبيعي، غاز أكسيد النتروز N_2O بالإضافة إلى غاز الكلوروفلورو كربون CFC، وذلك وفق النسب المئوية المبينة في الجدول التالي:

الجدول رقم (01): مكونات الغازات الدفيئة وتركيزها

نوع الغاز	النسبة المئوية (%)
CO_2	99.438
CH_4	0.471
N_2O	0.084
CFC	0.007

المصدر: عمر خالد الحاج، اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، مجلة النفط والتعاون العربي، العدد 130، المجلد 35، منظمة الأوابك، الكويت، صيف 2009، ص 132.

حيث نلاحظ من خلال هذا الجدول أن غاز ثاني أكسيد الكربون هو المكون الرئيسي للغازات الدفيئة بنسبة مئوية تقدر بأكثر من 99%، ولهذا حظي باهتمام عالمي كبير، وتوجهت جميع الأنظار إلى إيجاد السبل التي تحد من تشكله وكذلك الإجراءات والطرق التي تمكن من اصطياده وعدم إطلاقه إلى الجو قدر الإمكان، نظرا للتكاليف الباهظة التي تنجر عن التلوث الذي يسببه هذا الأخير سواءا من الناحية البيئية أو حتى من الناحيتين الاقتصادية والاجتماعية، فهو يؤثر على مستويات الصحة البشرية ويؤدي بالتالي إلى تخفيض القدرات الإنتاجية للأفراد، ويزيد من الأعباء والتكاليف الاستثمارية في مجال محاربته والحد من تأثيراته السلبية.

فقبل بداية الثورة الصناعية كان تركيز غاز الـ CO_2 في الغلاف الجوي ثابتا، وفي نهاية العقد الماضي تبين أن هذا الغاز ناتج أساسا عن عملية حرق الوقود الأحفوري بمختلف أنواعه من بترول وفحم وغاز طبيعي، هذا الأخير وبالرغم من أن نسبة إطلاقه لغاز الـ CO_2 قليلة بالمقارنة بسابقيه أثناء العمليات الصناعية المختلفة التي يدخل فيها كوقود، إلا أنه يجب بالضرورة إدارة هذا الغاز الضار الناتج عن حرق الوقود الأحفوري بغية الوصول إلى ترقية كفاءته الاستخدامية من الناحية البيئية.

وتشير التوقعات إلى أن استهلاك العالم للطاقة الأولية سيزيد سنة 2030 بنسبة 55% عن مستواه سنة 2005. (هار، 2007، صفحة 105).

كما أن الوقود الأحفوري وخاصة الغاز سيظل ولفترة معتبرة من الزمن يسيطر على الميزانية الطاقوية العالمية، وحيث أن التغير المناخي والاحتباس الحراري بدأت تظهر معالمه التدميرية، فإن الحد من انبعاث غاز الـ CO_2 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.

ويتطلب الحد من هذه الانبعاثات للوصول إلى التركيز المسموح به لغاز الـ CO_2 (450 جزء بالمليون)، تطوير العديد من التقنيات بشكل متواز، بما فيها تعميم استعمال الطاقات المتجددة وتحسين كفاءة استخدام الطاقات الأحفورية، وفوق كل شيء تطوير تقنيات اصطياد الكربون وتخزينه. (هار، 2007، صفحة 106)

فصحيح أن التحول الكلي إلى استعمال الطاقات المتجددة قد يساهم في الحد من هذه الانبعاثات، إلا أن ذلك غير ممكن على المدى القريب بالنسبة للكثير من المؤسسات، رغم أنه سيكون أكيدا على المدى البعيد، وعليه فإنه من الضروري اللجوء إلى تقنيات انتقالية يمكنها التعامل مع الانبعاثات الحالية والمتوقعة لغاز الـ CO_2 الناتج عن حرق الوقود الأحفوري (خاصة الغاز الطبيعي باعتباره الوقود الانتقالي من البترول والفحم إلى تعميم استعمال الطاقات المتجددة)، وهذا أصبح أمرا أساسيا وضروريا في الوقت الحالي بالنسبة لجميع المؤسسات الاقتصادية في ظل الرهانات الحالية والتحديات المستقبلية للتنمية المستدامة.

ومن المنتظر أن تلعب تقنية اصطياد الكربون وتخزينه (CCS) المطورة، وتبنيها من طرف المؤسسات الاقتصادية، دورا فاعلا في الحد من انبعاث هذا الغاز وإدارته بشكل أمثل، والمساهمة في حماية المناخ من التغير وتقليل حدة الاحتباس الحراري من جهة، وفي تحسين كفاءة استعمال الوقود الأحفوري من الناحية البيئية والصحية من جهة أخرى. (هار، 2007، صفحة 107)

ومنه فإنه يمكن تعريف تقنية اصطياد الكربون وتخزينه (CCS) (CO_2 Capture and Storage) على النحو التالي:

❖ **تعريف تقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS):**

تقنية اصطياد الكربون وتخزينه (CCS) (CO_2 Capture and Storage)، هي تلك الوسيلة أو العملية التكنولوجية التي يتم من خلالها تجميع غاز الكربون من مصادر إنتاجه الصناعية واحتجازه بفصله عن الغازات الأخرى المصاحبة وبعد ذلك نقله إلى موقع التخزين (والذي عادة يكون تحت سطح الأرض) لمنع انبعاثه إلى الغلاف الجوي بهدف التخفيف من الغازات الدفيئة والسيطرة على تركيزها في الجو. وبشكل عام، فقد أثبتت هذه التقنية 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. (هار، 2007، صفحة 107)

3. عناصر أنظمة تقنية (CCS)، ودورها في الحد من التلوث البيئي عند المصدر وتحسين تنافسية المؤسسات الطاقوية الكبرى:

عند استعمال المؤسسات للطاقة الأحفورية في معظم الصناعات وخاصة في محطات توليد الطاقة الكهربائية وصناعة تسييل الغاز، فإن حرق هذا النوع من الطاقة ينتج عنه كميات معتبرة من غاز ثاني

أكسيد الكربون السام، وبالتالي فإدارة هذا الغاز ومحاولة احتوائه تعد من أهم الضروريات القصوى بالنسبة لمعظم المؤسسات، وذلك في إطار سعييها إلى ترقية الكفاءة الاستخدامية للطاقة الأحفورية من الناحية البيئية.

وكما ذكرنا سابقا فإن تقنية اصطياد وتخزين الكربون تعد الحل الأمثل لإدارة غاز ثاني أكسيد الكربون، وتتكون عناصر هذه التقنية من ثلاثة مراحل، تبدأ بعملية الاصطياد ثم النقل ثم في نهاية المطاف احتواء غاز الكربون وتخزينه.

1.3. تقنيات اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون:

تعني تقنيات اصطياد الـ CO_2 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 نهاية المطاف ترقية 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 الاستعمالية من الناحية البيئية لتفي في نهاية المطاف بمتطلبات التنمية المستدامة. (الأوابك، 2008، صفحة 53).

- **تعتمد الطريقة الأولى، أي الاصطياد قبل الاحتراق** Pre-Combudtion على تقنية تحويل الوقود الأحفوري (غاز أو زيت الوقود الثقيل) إلى هيدروجين عن طريق حرقه بالأكسجين، حيث يتم فصل الـ CO_2 واستخدامه في تقنية الاستخلاص البترولي المعزز EOR، (الأوابك، 2008، صفحة 125)، أو تخزينه وحقنه في المكامن الغازية الناضبة، ويستخدم الهيدروجين الناتج في توليد الكهرباء، بينما يحول الغاز الصناعي الناتج إلى سوائل هيدروكربونية باستخدام تقنية الـ GTL. (قرعيش، 2018، صفحة 114).

- **أما الطريقة الثانية، أي الحرق بالأكسجين** Oxy-Combustion، فتعتمد على إجراء عملية حرق الوقود الأحفوري مباشرة بالأكسجين لتجنب ذوبان الـ CO_2 في النتروجين الموجود في الهواء، وفي هذه الحالة فإن الطاقة الناتجة تحتوي فقط على كمية ضئيلة جدا من الـ CO_2 وبخار الماء، بحيث يتم التخلص من هذا الأخير بتكثيفه. (هورسنيل، 2014، صفحة 67).

- **وتعد الطريقة الثالثة، أي الاصطياد بعد الاحتراق** Post-Combustion، الطريقة الأسهل، حيث يتم حرق الوقود الأحفوري بالطريقة التقليدية. (هورسنيل، 2014، صفحة 67) (سواءا في محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالدورة المركبة، أو في مختلف الصناعات البتروكيماوية، أو الصناعات الأخرى التي

تعتمد على الطاقة الأحفورية كوقود محرك)، ثم بعد ذلك تتم معالجة غاز المداخن لاصطياد الـ CO_2. (Bauby, 1995, p. 112)

2.3. تقنيات نقل الكربون:

بعد أن تتم عملية الاصطياد، 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 اصطياد غاز الكربون من محطات تسييل الغاز الطبيعي أو من محطات توليد الطاقة الكهربائية، أو من طرف المؤسسات المتخصصة في الصناعات البتروكيماوية، أما النقل بالسفن فيكون اقتصاديا أكثر عندما يحتاج الأمر إلى نقل غاز الكربون إلى مسافات بعيدة عبر البحر، كما تعتبر الصهاريج المنقولة عبر السكك الحديدية خيار ممكنا أيضا، لكن بشرط أن يتم نقل غاز الكربون بواسطتها تحت ضغط 2 ميغا باسكال ودرجة حرارة أكبر من أو تساوي 20 درجة مئوية تحت الصفر. (خالد الحاج ، 2009، صفحة 147)

3.3. تقنيات التخزين:

يتم تخزين الكربون الذي تم اصطياده 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 الـ CO_2 في تطبيقات صناعية معينة. (Dasgupta & Heal, 2014, p. 145)

يكون التخزين الجيولوجي بحقن غاز الكربون في مكامن البترول أو الغاز الطبيعي الناضبة، أو في التكوينات الجيولوجية العميقة، ويعتمد في ذلك على تقنيات جد متطورة تساعد على عملية الحقن. ويمكن أيضا تخزين غاز الـ CO_2 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 الـ CO_2 باستخدام مواد قلوية أو أكاسيد المعادن القلوية الترابية مثل CaO أو MgO، حيث تؤدي التفاعلات الكيميائية بين هذه المواد وغاز ثاني أكسيد الكربون إلى تشكيل مركبات كربونية مثل $CaCO_3$ أو $MgCO_3$، وبهذا الشكل فإن الـ CO_2 يكون قد تم ربطه بشكل دائم، وبالتالي لا يمكن له أن ينطلق إلى الغلاف الجوي مجددا. (World.Bank, 2006, p. 123)

كما يمكن استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية حرق الطاقة الأحفورية في معظم المؤسسات الصناعية، بعد اصطياده في بعض الاستخدامات الصناعية التي يدخل فيها هذا الغاز كأحد

أطراف التفاعل، مما يعني تثبيته وعدم انطلاقه إلى الهواء، فحاليا يستخدم ما يقارب 120 ميغاطن سنويا من غاز الـ CO_2 على المستوى العالمي في العديد من التطبيقات الصناعية، حيث يذهب ثلثي هذه الكمية لإنتاج اليوريا التي تدخل في صناعة الأسمدة وغيرها من الصناعات الداعمة للقطاع الزراعي، في حين يستخدم الثلث الباقي في صناعات أخرى متفرقة كالتبريد والصناعات الغذائية وطفايات الحرائق والبستنة... الخ.

4. تكاليف عناصر أنظمة تقنية اصطياد وتخزين الكربون وجدواها الاقتصادية في الحد من التلوث البيئي:

يدور حاليا نقاش حاد بين التقنيين والاقتصاديين وحتى خبراء البيئة بشأن تعميم استعمال تكنولوجيات الـ (CCS) كخيار استراتيجي للحد من الانبعاثات الكربونية الصادرة عن مختلف الصناعات والعمليات التحويلية التي تستخدم الطاقة الأحفورية كوقود مشغل، فمن الناحية الاقتصادية فإن تعميم هذه التقنية ترافقها تكاليف مرتفعة جدا قد تقلل من فعاليتها وجدواها الاقتصادية بالنسبة لمعظم المؤسسات، وقد لا تكون في متناول المؤسسات الاقتصادية في الدول الفقيرة، أو قد تحد من الكفاءة الاقتصادية للطاقة بشكل عام، فعلى سبيل المثال فإن تكلفة اصطياد وتخزين الكربون في محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالغاز الطبيعي بتقنية الدورة المركبة، تتراوح بين 50–100 دولار لكل طن من غاز ثاني أكسيد الكربون، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف الرأسمالية لهذه المحطات بحوالي 30%–100%، ولكن من المتوقع أن تنخفض هذه التكاليف إلى حوالي 25–50 دولار لكل طن من ثاني أكسيد الكربون مع حلول سنة 2030، نتيجة لتوقعات تعميم هذه التقنية من الناحية التجارية وتحسين كفاءتها من الناحية الفنية. (الزيتوني، 2009، صفحة 206)

كما أن هناك منظمات بيئية تميل إلى معارضة الحلول التي تسمح باستمرار استخدام المؤسسات للوقود الأحفوري. ومهما يكن فإن كافة الخبراء يعترفون بأن البدائل قليلة، ويحتمل ألا يكون هناك بديل يستطيع لوحده أن يكون جسر عبور نحو طاقة قليلة الكربون.

والجدول الموالي يبين التكاليف المتعلقة بمختلف عناصر أنظمة تقنية اصطياد وتخزين الكربون.

الجدول رقم (02): تكاليف عناصر أنظمة الـ (CCS)

عناصر أنظمة CCS		مجال التكلفة (دولار/طن CO_2)
الاحتجاز (الاصطياد)	من محطات الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوي.	75-15
	من مركبات معالجة الغاز، مصانع إنتاج الهيدروجين.	55-5
	من المؤسسات الصناعية الأخرى.	115-25
النقل		08-01
التخزين	الجيولوجي.	08-0.5
	في المحيطات.	30-05
	عن طرق تقنية كربنة المعادن.	100-50

المصدر: عمر خالد الحاج، اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، مرجع سبق ذكره، ص 154.

يتبين لنا من خلال هذا الجدول أن تكاليف عناصر تقنية (CCS) باهظة ومتباينة بالنسبة لكل مرحلة من المراحل الثلاث، فتكلفة احتجاز الكربون الناتج أثناء توليد الكهرباء في المحطات التي تعمل بالغاز الطبيعي كوقود تتراوح مابين 15-75 دولار/طن CO_2، ما يؤدي إلى رفع التكاليف الرأسمالية لهذا النوع من المحطات عند احتساب مجمل التكاليف اللازمة لاحتجاز كميات الكربون الضخمة الصادرة عن نشاط مثل هذه المحطات، وتعتبر هذه التكاليف أقل في مركبات معالجة الغاز وتسييله، ومصانع إنتاج الهيدروجين، كما يعد مجالها أكبر خلال التعامل مع المصادر الصناعية الأخرى، ويعود هذا أساسا إلى حداثة هذه التقنية وعدم تعميمها من الناحية التجارية بشكل واسع، ومنه فلو تم تعميمها تجاريا مع ترقية كفاءة استخدامها بطرق تكنولوجية أكثر حداثة سوف تنخفض تكاليفها لا محالة مستقبلا، وبالتالي تصبح ذات جدوى اقتصادية وبيئية في آن واحد. (BONFILS, 1995, p. 58)

وعند الرجوع إلى تقنيات تخزين غاز الكربون المحتجز، نجد أن أكثرها كفاءة هي تقنية التخزين الجيولوجي، نظرا لانخفاض تكلفتها مقارنة بالطرق الأخرى، وبالتالي فاعتمادها هو الأمثل بالنسبة لمختلف التطبيقات الصناعية التي تعتمد على الطاقة الأحفورية، لمحاولة ترقية كفاءتها الاستخدامية في ضوء متطلبات الاستدامة البيئية.

5. المعوقات والمخاطر المتوقعة لأنظمة (CCS):

يتوفر حاليا على المستوى العالمي قدرا كافيا من المعرفة بكيفية إدارة وتطبيق معظم طرق اصطياد وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون، لذلك فإنه لا توجد صعوبات لا يمكن تجاوزها في التطبيق إنما تكمن أهم المعوقات في الجانب الاقتصادي من العملية، أي بعبارة أخرى من ناحية التكاليف المرتفعة لكل مرحلة من مراحل هذه العملية.

ومن الجدير ذكره أيضا أن هناك ميلا واضحا لأن تكون التكلفة الاقتصادية في تناقص مستمر مع مرور الزمن وتطور المعارف وتحسين كفاءة العمليات التكنولوجية.

أما الجوانب القانونية لهذه العملية فإنها لا تزال غير ناضجة بما فيه الكفاية لتنظيم عمليات (CCS)، لكن ذلك يمكن تجاوزه أيضا بإصدار التشريعات اللازمة والمنظمة على مستوى الهيئات الدولية المعنية، الموجودة حاليا أو التي سوف يتم استحداثها لهذا الغرض.

إن الأخطار الناجمة عن كل عنصر من عناصر تقنية الـ (CCS) المطبقة في مجال الصناعات المعتمدة على الطاقة الأحفورية، تظل في إطار الأخطار الناتجة عن التعامل مع هذه الأخيرة سواءا 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 تقنيات الـ (CCS) ، والحد من احتمال حصول كوارث في حال حدوث تسرب ما من أحد عناصر هذه المنظومة في أي مكان.

6. تجربة شركة سوناطراك ومجموعة Stat Oil Hydro النرويجية في مجال اعتماد وتطوير تقنية اصطياد وتخزين الكربون (CCS). للحد من التلوث البيئي:

قامت شركة سوناطراك سنة 2004 ببدء مشروع ضخ الغاز في عين صالح بالتعاون مع شركة البترول البريطانية "بريتش بتروليوم"، ثم انضمت فيما بعد شركة "ستات أويل هايدرو" Stat Oil Hydroالنرويجية، ويضم المشروع استغلال ثمانية حقول غازية في منطقة الصحراء الوسطى من الجزائر. وفي إطار إستراتيجية ترقية كفاءة استخدام الغاز من الناحية البيئية وكذلك الاستثمار في تطوير هذه التقنية للحد من التلوث البحري الناتج عن نقل الغاز المسال المنتج من هذه الحقول وكلك البترول، قامت سوناطراك بالتعاون مع شركة "ستات أويل هايدرو" Stat Oil Hydro النرويجية بوضع تقنية اصطياد وتحزين غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الغاز الطبيعي المنتج من هذه الحقول قيد التنفيذ، تماشيا مع متطلبات الزبائن ومواصفات التسويق، حيث كانت الاعتبارات البيئية هي المحفز والدافع الرئيسي لتنفيذ مثل هذا المشروع، وكذلك الحد من التلوث البحري الناتج عن نقل النفط والغاز عالي الكربون.

وعلى العموم، فمنذ سنة 2004 تم اصطياد وتخزين ما معدله 1.2 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 سنويا، أي بمعدل حقن يتراوح بين 3000–4000 طن CO_2 يوميا، ويتم تخزين هذا الغاز في طبقة محتوية للماء على عمق 1800 متر تحت سطح الأرض، وفي أقص زاوية من حقل "كريشبا" "Kreshba" الغازي بمنطقة عين صالح، وهذا الحجم مخزن في نفس المكمن المنتج للغاز، وعلى مسافة

آمنة تحت مستوى إلتقاء الغاز بالماء، بحيث تعمل صخور الغطاء التي تحفظ الغاز الطبيعي في المكمن على حفظ غاز الـ CO_2 مخزنا بأمان. ويتم نقل الغاز والبترول الصافي عبر ناقلات خاصة ما يحد من تلوث الممرات المائية. (هار، 2007، صفحة 112)

وقد قامت شركة سوناطراك بالتعاون مع شركة "ستات أويل هايدرو" Stat Oil Hydro النرويجية نظرا لخبرتها الواسعة في مجال تطبيق واستعمال تقنية اصطياد وتخزين الكربون CCS، حيث تصنف من ضمن الشركات الرائدة في مجال تطوير تقنيات اصطياد وتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الغاز الطبيعي، ومختلف أنواع الوقود الأحفورية الأخرى، وقد ساعدها في ذلك اهتمام الحكومة النرويجية بالمجال البيئي، 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 مشاريع اصطياد وتخزين الكربون (CCS) 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 اصطياد وتخزين الكربون.

وقد كان مشروع "سلايبنر" (Sleipner) من أهم هذه المشاريع على الإطلاق، حيث ساهمت ضريبة الكربون التي أقرتها السلطات النرويجية في تحفيز شركة "ستات أويل هايدرو" (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 لاصطياد وتخزين غاز الـ CO_2، واعتبرت أول منشأة في مجال تطبيق هذه التقنية في حقول الغاز البحرية، بطاقة تخزين تقدر بحوالي مليون طن من غاز الـ CO_2 سنويا، ما ساهم في تحسين كفاءة الغاز المنتج من حقل سلايبنر وترقيته للإيفاء بالمتطلبات البيئية وبتطلعات الزبائن المختلفة. (Vedura, 2021, p. 165)

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 الـ CO_2، عن طريق اعتماد تقنية اصطياد وتخزين

الكربون (CCS)، حيث يتم احتجاز ما مقداره 0.7 مليون طن سنويا من غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال هذا المشروع. (هار، 2007، صفحة 114)

7. خاتمـــــة:

في الأخير يمكن القول أن تعميم استعمال تقنية إصطياد وتخزين الكربون (CCS) (CO_2 Capture and Storage) وتطبيقها في جميع المؤسسات الطاقوية وخاصة منها المتخصصة في مجال النقل البحري للغاز والنفط، يعتبر امرا هاما وضروريا خاصة في ظل التدهور البيئي الذي يشهده العالم اليوم والناجم عن النقل والاستعمال المفرط واللاعقلاني للمصادر الطاقوية الاحفورية، وما ينتج عنها من غازات دفيئة مضرة بطبقة الاوزون والممرات المائية وبالصحة البشرية عموما، ومنه وفي هذا الصدد فإنه ينتظر ان تلعب تقنية إصطياد وتخزين الكربون (CCS) (CO_2 Capture and Storage) دورا هاما وبارزا في مجال مكافحة التلوث البيئي البحري وتحسين تنافسية المؤسسات الطاقوية الكبرى، وكذلك ترشيد استهلاك الطاقة الأحفورية وترقية كفاءتها الاستخدامية في ظل ظوابط الاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية على حد سواء.

8. الإحالات والمراجع:

- Bauby, P. (1995). *Energie et société.* Paris: Edition Publisud.
- BONFILS, S. (1995). *Energie et société.* Paris: Edition Publisud.
- Dasgupta , P., & Heal, G. (2014). *Economic theory and exhaustible resources.* UK: Herts and Cambridge University press.
- Vedura. (2021). Principes du développement durable. Vedura.
- World.Bank. (2006). *Global Gas Flaring Reduction Group.* USA: Issue Brief, GGFR.
- الأوابك .(2008) .الندوة المشتركة لأوابك والمعهد الفرنسي للبترول :صناعة الغاز الطبيعي الحاضر والمستقبل .*مجلة النفط والتعاون العربي*.78-50 ,(126)*34* ,
- الزيتوني ,ا .(2009) .ورشة عمل واجتماع لجنة "نظم الوقود الأحفوري الأنظف "مجلس الطاقة العالمي .*مجلة النفط والتعاون العربي*.230-200 ,(130)*35* ,
- خالد الحاج ,ع .(2009) .اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه .*مجلة النفط والتعاون العربي*.157-130 ,(130)*35* ,
- قرعيش ,س .(2018) .صناعة الأسمدة والبتروكيماويات في الأقطار العربية :الوضع الحالي والمشاريع المستقبلية .*مجلة النفط والتعاون العربي*.132-109 ,(132)*36* ,
- هار ,غ .(2007) .إدارة غاز ثاني أكسيد الكربون الـ CO2مفتاح التنمية المستدامة .مجلة النفط والتعاون العربي ,(123)33 , 95-120.
- هورسنيل ,ب .(2014) .تحرير صناعة الغاز الطبيعي الأوروبية ومضامينها .أبو ظبي :مركز الإمارات للدراسات والبحوث الإستراتيجية.