WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEIL MONDIAL DE L'ENERGIE

# " إصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون و تخزينه:
# توازن مؤقت - مجلس الطاقة العالمي "

مجلس الطاقه العالمي - لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف

# المحتويات

## تمهيد بقلم

رئيسة المجلس : باربرا نانسي ماك كي
لجنة نظم الوقود الإحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي

الخاتمة
- الوضع الراهن
- الإمكانات
- تحذيرات للمشترين
- الإجراءات العملية

## الملاحق

أ. الأوراق المقدمة في ندوات نظم الوقود الأحفوري الأنظف:
- الوقود الأحفوري الأنظف – حجر زاوية للتنمية البشرية وأمن الطاقة: سيدني – (أستراليا)، 8 سبتمبر 2004
- احتجاز وتخزين الكربون: التطلع نحو إنتاج الوقود الأحفوري الأنظف إيريس (إيطاليا)، 24 أغسطس 2005
- نظم الوقود الأحفوري الأنظف مع احتجاز الكربون وتخزينه: ما فوائده للدول النامية:كولومبو (سيريلانكا) 6 سبتمبر 2005
- الوقود الأحفوري الأنظف للتنمية: نيبتون (رومانيا)، 13 يونيو 2006
- الجهود العالمية والإقليمية لاحتجاز الكربون وتخزينه: تالين (إستونيا)، 4 سبتمبر 2006
- الوقود الأحفوري الأنظف لتوليد الطاقة، موسكو (روسيا)، 8 سبتمبر 2006
- تخفيف المساهمة المتزايدة لدول غرب آسيا في الانبعاثات العالمية، عمان (الأردن)، 25 أبريل 2007

ب. قائمة المشاريع العالمية لاحتجاز الكربون وتخزينه:
- صياغة السياسات
- جمع البيانات وتحليلها
- التنمية التعاونية للتقنيات
- مشاريع تطور وتطوير مختارة
- مشاريع مختارة للبحوث والتطوير ونماذج المحاكاة

ج. الاختصارات

د. الاتصال بالمحرر

هـ. الاتصال بمجلس الطاقة العالمي

## احتجاز الكربون و تخزينه: تقرير "التوازن المرحلي" الصادر عن مجلس الطاقة العالمي

1. الاحتياجات
- الطلب العالمي على الطاقة
- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري
- تمكين التنمية مع الاستمرار في تخفيف المتغيرات المناخية

2. حول هذه التقنية
- احتجاز الكربون
- نقل الكربون
- تخزين الكربون
- البحوث والتطوير ونماذج المحاكاة (التجريب)

3. علم الاقتصاد المقارن
- التكاليف
- القدرة على المنافسة
- الإيرادات
- العوامل الخارجية
- الاستثمارات

4. تطبيق ونشر تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه
- العوامل
- الإمكانيات الكامنة
- توليد الكهرباء بواسطة الفحم
- توليد الكهرباء بواسطة الغاز الطبيعي
- توليد الكهرباء بواسطة النفط
- مسائل خاصة بالإدارة

5. اقتصاديات الدول النامية ودول أوروبا الشرقية (سابقا)
- المأزق
- الاستخلاص المعزز للنفط والغاز
- الكفاءة أولاً
- الخطوات التالية لنظم احتجاز الكربون وتخزينه

6. وجهات نظر
- التوليف
- الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
- وكالة الطاقة الدولية
- المفوضية الأوروبية

7. السياسات
- السياسات المناخية
- سياسات الطاقة
- سياسات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

8. القوانين واللوائح التنظيمية
- تكييف الأطر القانونية والتنظيمية المحلية
- مراجعة الاتفاقيات والمعاهدات الدولية
- تبادل الملكية الفكرية أو حمايتها
- ضمان فرص متكافئة لتكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه كي تتمكن من المنافسة

WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEIL MONDIAL DE L'ENERGIE

**World Energy Council**
Regency House 1-4 Warwick Street
London W1B 5LT United Kingdom
T (+44) 20 7734 5996
F (+44) 20 7734 5926
E info@worldenergy.org
**www.worldenergy.org**

مجلس الطاقه العالمي 2007
دعم إستدامة إمدادات الطاقة و
إستخدامها لتحقيق أكبر فائده للجميع

# لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي

## نبذة عن اللجنة

في عام 1999، أسس المجلس العالمي للطاقة لجنة نظم الوقود الأحفوري[1] الأنظف بغرض مناقشة نظم الوقود الأحفوري وتعريف سائر العالم بها وبالأبحاث الجارية بخصوصها وتطوراتها بالإضافة إلى نشرها وذلك لتلبية الاحتياجات العالمية من الطاقة. وستصل النسبة المتوقعة لازدياد الحاجة العالمية من الطاقة إلى 53% بين 2004-2030. لهذا السبب، يُعتبر الوقود الأحفوري حيويا جداً لتلبية احتياجات العالم من أمن الطاقة والتنمية الاقتصادية. ومن المتوقع أن ترتفع حصة هذه النظم في الاستخدام العالمي للطاقة من 81% في عام 2004 إلى 82% في عام 2030. لذلك، سوف يزداد الإنتاج من جميع أشكال الوقود الأحفوري واستهلاكه لتفي بالاحتياجات العالمية. (وكالة الطاقة الدولية 2006)

بالمقابل، يمكن لاستخدام الوقود الأحفوري أن يخلّف انعكاسات بيئية محلية وعالمية كبيرة بحيث يجد العالم نفسه يواجه تحديا بيئيا كبيراً جداً. من هنا، فإن استخدام نظم الوقود الأحفوري الأكثر نظافة من شأنه أن يخفف من الآثار الضارة الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري العادي وأن يحيدها أيضاً مما يسمح بالاستفادة من المزايا الإيجابية للوقود الأحفوري الأنظف في التنمية الاقتصادية والاجتماعية. إن تقنية هذه النظم تتقدم بسرعة كبيرة.

## تفويض اللجنة

يجب أن تدرك الجهات المعنية تماما القيمة الكبيرة للنظم النظيفة وذلك لضمان استخدام نظم طاقة أحفورية أنظف ولتمكين استدامة نظم الوقود الأحفوري. من هنا، تهدف اللجنة إلى ضمان أن مجموعة واسعة من الجهات المعنية تدرك الإمكانيات الهائلة لهذه النظم لضمان الاستخدام المستدام للوقود الأحفوري. ولتحقيق هذه الرسالة، تعمل اللجنة على:

- توفير منتدى لخبراء الطاقة وصناع القرار والمستهلكين لمناقشة دور تقنيات الوقود الأحفوري الأنظف
- تبادل المعلومات، وإنشاء شبكات معلومات، وتقديم مقترحات وتوصيات لكافة دول العالم، بما في ذلك الدول النامية، كي تتبنى هذه التقنيات
- معالجة المعوقات والمسائل الشائكة التي قد تعيق تقدم نظم الوقود الأحفوري الأنظف، وتشجيع الحكومات والمستثمرين والمؤسسات المالية على استباق تطبيق التقنيات النظيفة والمبتكرة للوقود الأحفوري

## نشاطات اللجنة

في سعيها الدؤوب لتحقيق هذه الأهداف، عقدت اللجنة العديد من الندوات والطاولات المستديرة على نطاق عالمي في كل من: أنقرة – تركيا عام 1999، كراكاو– بولندا عام 1999، داكار– السنغال عام 2000، ريو دي جانيرو– البرازيل عام 2001، بونيوس آيروس– الأرجنتين عام 2001، واشنطن العاصمة: الولايات المتحدة عام 2002، وآرسو- بولندا عام 2002، القاهرة- مصر عام 2002، كييف - أوكرانيا عام 2003، سيدني - أستراليا عام 2004، إيريس - إيطاليا عام 2005، كولومبو- سيريلانكا عام 2005، نيبتون - رومانيا عام 2006، تالين - أستونيا عام 2006، موسكو - روسيا عام 2006، عمان - الأردن عام 2007، كما تجري اللجنة البحوث وتنشر وثائق معلوماتية حول نظم الوقود الأحفوري الأنظف.

## التركيز على احتجاز الكربون وتخزينه

ركزت اللجنة، بين 2004 وحتى 2007، على احتجاز الكربون وتخزينه.

خلال حلقة النقاش بعنوان "الوقود الأحفوري الأنظف – حجر الزاوية للتنمية البشرية وأمن الطاقة" التي انعقدت في سيدني بأستراليا في الثامن من سبتمبر 2004 على هامش المؤتمر التاسع لمجلس الطاقة العالمي، تمت مناقشة احتجاز الكربون وتخزينه ضمن السياق العام للتنمية المستدامة والتخفيف من آثار الافتقار للطاقة.

---

[1]- يطلق مصطلح **الوقود الاحفوري** على عدد من المواد الهيدروكربونية التي تُستخرج من باطن الأرض ويتألف من النفط والفحم الحجري والغاز الطبيعي - المترجم

في السابع من سبتمبر 2005، قامت لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف بتنظيم حوار تحت عنوان "نظم الوقود الأحفوري الأنظف باستخدام احتجاز الكربون وتخزينه – ما هي فوائده للدول النامية؟" في مدينة كولومبو- سيريلانكا- وذلك بمناسبة انعقاد الجمعية العمومية التنفيذية لمجلس الطاقة العالمي.

كما نظمت لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف بالتعاون مع مجمع كريوفا للطاقة ورشة عمل بعنوان "الوقود الأحفوري الأنظف من أجل التنمية المستدامة" وذلك بتاريخ 13 يونيو 2006 بمناسبة انعقاد المنتدى الإقليمي لمجلس الطاقة العالمي في مدينة نيبتون: رومانيا.

كما ألقيت "محاضرات مركزة حول الجهود الإقليمية والعالمية لاحتجاز الكربون وتخزينه" ضمن ورشة عمل نظمتها لجنة الوقود الأحفوري الأنظف في مدينة تالين بأستونيا في 4 سبتمبر 2006 بمناسبة انعقاد المجلس التنفيذي لمجلس الطاقة العالمي.

وجرت مناقشة "استخدام الوقود الأحفوري الأنظف لتوليد الكهرباء" ضمن ورشة عمل نظمتها لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف بالتعاون مع المعهد الروسي للهندسة الحرارية في مدينة موسكو بروسيا بتاريخ 3 سبتمبر 2006

بتاريخ 25 أبريل 2007، عقدت لجنة الوقود الأحفوري الأنظف، بالتعاون مع الاتحاد العربي لمنتجي وناقلي وموزعي الكهرباء، ورشة عمل في مدينة عمان بالأردن عنوانها "تخفيف المساهمة المتزايدة لدول غرب آسيا في الانبعاثات العالمية"

وبمناسبة انعقاد المؤتمر العشرين لمجلس الطاقة العالمي في روما، انعقد منتدى تحت عنوان "الوقود الأحفوري يقود ثورة الطاقة النظيفة"، وذلك في 12 نوفمبر من عام 2007

وأخيراً، يجري البحث حالياً لعقد ورشة عمل في إحدى الدول الأفريقية بعنوان "تسهيل إعداد وإدارة مشاريع الوقود الأحفوري".

### التواصل الإعلامي

تُعتبر هذه النشرة الثانية في سلسلة نشرات ستصدرها لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف حول احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وذلك إيماناً من اللجنة بضرورة نشر المعلومات الهائلة التي تراكمت لديها من جراء الندوات وورش العمل المذكورة أعلاه، وإبلاغها لأوسع قاعدة من الجمهور، مع تقييمها للحالة الراهنة لموضوع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه المستند إلى حاجة العالم للحد من المتغيرات المناخية وحاجته لتحقيق تقدم في مجال التنمية الاقتصادية للقضاء على الفقر. ومع تطور موضوع احتجاز الكربون وتخزينه، تحصل لدينا "توازنات مرحلية" دون أن نتوصل بعد إلى استنتاجات نهائية.

تركز اللجنة بشكل طبيعي على ورقات العمل المعدة تحت رعايتها والواردة في الملحق ( أ ) هنا، ونورد المراجع الرئيسية في نهاية كل فصل. ويمكن للقراء المهتمين الاطلاع على هذه الأوراق بمساعدة هذا الملحق.

### شكر وتقدير

أتقدم بالشكر إلى أعضاء اللجنة والكتاب. والسيد باري ويرثنغتون، وهيئة الطاقة الأمريكية، والمحرر السيد كلاوس برنداو لإسهاماتهم القيّمة في إعداد هذه النشرة.

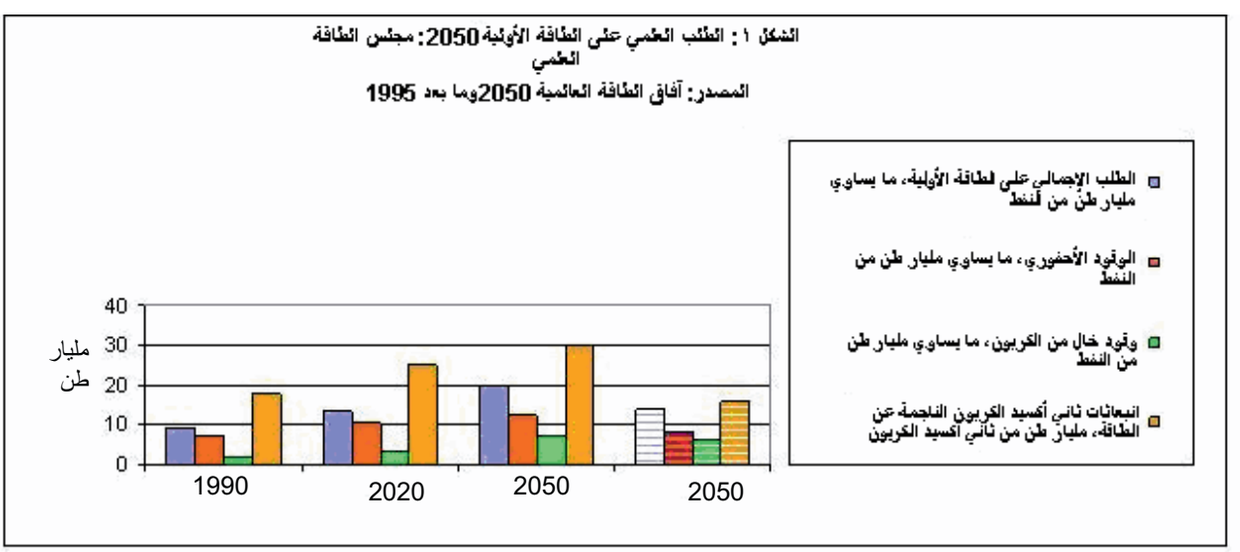
باربرا نانسي ماك كي
رئيسة لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف، مجلس الطاقة العالمي

# احتجاز الكربون وتخزينه
# تقرير التوازن المرحلي الصادر عن مجلس الطاقة العالمي – نسخة عام 2007

## 1. الاحتياجات

يتحقق التقدم في تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من الحاجة إلى تخفيف المتغيرات المناخية الناشئة عن التنمية الاقتصادية [2].

**الطلب العالمي على الطاقة** : أمّن الوقود الأحفوري بكافة أشكاله تقريباً كل احتياجات العالم من الطاقة بين 1900- 1970 وما زال يمدنا بهذه الطاقة بنسبة 85% حتى عام 2007. ومن المتوقع أن يستمر في تلبية احتياجاتنا من الطاقة بنسبة 82% في عام 2030 و 64% عام 2050. وتعكس هذه التوقعات ازدياد أهمية إنتاج الوقود الأحفوري واستخدامه. يبين الشكل 1 أنه ضمن السياسات الحالية سيزيد الطلب على الوقود الأحفوري بنسبة 80% بين 1990 - 2050 (الشكل 1، العمود الأول 2050). ولكن بوجود سياسات بديلة، وازدياد الكفاءات، واستبدال الفحم بالغاز الطبيعي وتطوير مصادر غير باعثة (لثاني أكسيد الكربون) أو بتوفير تقنيات جديدة يمكن الحدّ من الطلب على الوقود الأحفوري وانبعاث ثاني أكسيد الكربون الناشئ عن احتراقه. في هذا السيناريو، يمكن كبح نمو الطلب على الوقود الأحفوري بين: 1990 – 2050 بنسبة تتراوح من 60% - 80% وبالتالي التخفيف من نسبة انبعاث ثاني أكسيد الكربون بنسبة 2% (الشكل 1، العمود الأخير 2050).




لاشك أن نظام الطاقة العالمي هائل، إلا أن استخدام تقنيات ونظم جديدة سنوياً من شأنه إحداث تغيير متراكم في هذا النظام إذ سيحتاج تغيير مصادر الطاقة واستخدام التقنيات الجديدة من 25 إلى 50 سنة لتغيير هذا النظام.

والسبب في استغراق التغيير لهذه الفترة الطويلة حاجته لرأس مال ضخم جداً ولمنشآت ومعدات معمرة. مثلاً، معدل منخفض لدوران رأس المال. ويتم التعويض جزئياً عن الحاجة لرأس المال الضخم بزيادة الكفاءات المتقدمة في مجال إنتاج الطاقة، وعمليات تحويلها ونقلها.

---

[2] - مجموعة الخبراء الحكوميين حول التغييرات المناخية – المؤتمر العالمي الأول،: المتغيرات المناخية 2007: قواعد العلوم الفيزيائية: ملخص لصانعي السياسة، فبراير 2007، صفحة 2 و 5: "إن ازدياد تركيز ثاني أكسيد الكربون ناتج في المقام الأول عن استخدام الوقود الأحفوري والتغييرات في استغلال الأراضي.... لقد تحسن فهمنا لدور تطور البشرية في ارتفاع حرارة الأرض وبرودتها مما زاد من تفاعلنا (أكثر من 90%) إن معدل تأثير النشاط الإنساني في العالم منذ عام 1750 كان يضاعف عملية ارتفاع حرارة الأرض"

ويبدو أنه تتوفر الآن بدائل عملية وقابلة للتطبيق للوقود الأحفوري من شأنها أن تحقق التطلعات التنموية والبيئية للأمم على أقل تقدير حتى 2050، إذ أن أي انخفاض حاد في نسبة استخدام الوقود الأحفوري قد يمتص الموارد التي لا تستطيع معظم الدول، إن لم يكن قاطبتها، حشدها وتجميعها.

**انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري :**خلال 250 سنة الماضية، ساهم الوقود الأحفوري بكافة أشكاله في بناء 75 – 80% من تكثفات ثاني أكسيد الكربون في العالم. ومن المتوقع ارتفاع المعدل السنوي من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من 23.5 جيجا طن عام 1990 إلى 26.1 جيجا طن بين 2000 – 2005 حسب تقديرات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام 2007 – وعلى ضوء حقيقة أن الكثافة الكربونية لاستخدام الطاقة (تقدر حالياً 2.3 طن من ثاني أكسيد الكربون/لكل طن من النفط) ستنخفض بشكل طفيف، فإنه من المتوقع ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتعلقة بالنفط إلى 40.4 جيجا طن بحلول عام 2030 وذلك في ظل السياسات الحالية (بما فيها تطبيق بروتوكول كيوتو) أو إلى 34.1 جيجا طن في ظل سياسية بديلة صارمة (وكالة الطاقة الدولية 2006) وهذا يعني أنه من غير المحتمل أن يسفر بروتوكول كيوتو عن أي تأثير ذي أهمية على استخدام الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. والسبب الوحيد لذلك هو أنه في العشرينات من هذا القرن ستفوق انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الدول النامية (التي لا تخضع لشروط التقليل من هذه الانبعاثات التي ينص عليها بروتوكول كيوتو) على انبعاثات دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية لتصل إلى ما نسبته 60%- 70% من مجمل الانبعاثات العالمية لعام 2050. لذا من الأهمية بمكان وفي مرحلة ما بعد كيوتو، أن نحاول إيجاد الطرق والسبل لإشراك هذه الدول النامية ضمن برنامج السيطرة على المناخ مع الحرص على التقدم في مسيرة التنمية لهذه الدول. لكل هذه الأسباب، يعتبر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه خيار العديد من الدول النامية التي لديها مصادر الوقود الأحفوري (راجع الفصل 5).

***تمكين التنمية مع الاستمرار في تخفيف المتغيرات المناخية:*** إن الزيادة المفرطة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من شأنها أن تنسف بشدة أية سياسة تهدف إلى تقليل الآثار السيئة للمتغيرات المناخية. هذه الحقيقة تفسر حاجتنا إلى اتخاذ إجراءات احترازية كلما كان ذلك عملياً وفعّالا بالقياس إلى التكلفة. وخاصة إذا أدركنا أن تقليل الآثار السيئة للوقود الأحفوري يمكن تحقيقه عبر أربعة طرق، أولاً من خلال تحسين عملية الاحتراق، ثانياً، ضمان كفاءة استخدامه. ثالثاً، استبدال الاستخدام المباشر للوقود بالكهرباء التي تعدّ أكثر كفاءة وأقل تلويثاً. وأخيراً تطبيق تقنيات نظم احتجاز الكربون وتخزينه.

*تتمتع نظم تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بقدرات كامنة لتخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الطاقة في العالم كله بشكل كبير إذا ما قمنا بتطبيقها على نطاق واسع وفي الوقت المناسب وبتكلفة تنافسية تستقطب الاستثمارات في هذه التقنية. ومع مرور الوقت ستزداد مساهمة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في عملية تقليل انبعاث ثاني أكسيد الكربون لأن نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم سوف تتجاوز الطلب العالمي على الطاقة وذلك نظراً للانخفاض المتوقع في حصص الطاقة النووية والمائية. رغم ذلك تظل التكلفة المرتفعة لتطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه العقبة الهامة التي تعترض تطبيق هذه النظم، وهذا يتطلب العمل على تقليل تكلفتها.*

لمزيد من القراءة :ورشة عمل إيريس: هشام الخطيب: ورشة عمل في تالين: باربران. ماك كي، مصادر أخرى: وكالة الطاقة الدولية: مجلس الوكالة الدولية 2004 و 2006، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2007، تقرير ملخص لصانعي السياسة.

## 2. حول هذه التقنية

تقوم تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون على احتجاز الكربون ومن ثم ضغطه وتسييله وأخيراً نقله بواسطة خطوط الأنابيب أو الشاحنات إلى موقع تخزين آمن ودائم في التشكيلات الجيولوجية بباطن الأرض. وقد أثبتت بعض جوانب هذه التقنية نجاحها وجرى استخدامها من قبل الصناعة النفطية من أجل الاستخلاص المعزز للنفط، ولكن لم يتم تجريب هذه الجوانب كجزء من نظم الطاقة النظيفة بشكل كافٍ وعلى نطاق واسع داخل محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم. إن أفضل مكان لاستغلال إمكانيات نظم احتجاز الكربون وتخزينه تكون في محطات جديدة وكبيرة لتوليد الطاقة. كما يمكننا استخدام نظم احتجاز الكربون وتخزينه للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن أحد المصادر الثابتة والكبرى للتطبيقات الصناعية.

تجدر الإشارة هنا إلى أنه، إضافة إلى إمكانية تخزين ثاني أكسيد الكربون في التكوينات الجيولوجية، تجري الآن أبحاث لإمكانية تخزينه في طبقات الأرض وكربنة المعادن[3] ، وخيارات تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات نافعة.

[3]- إشباع المعادن بغاز ثاني أكسيد الكربون - المترجم

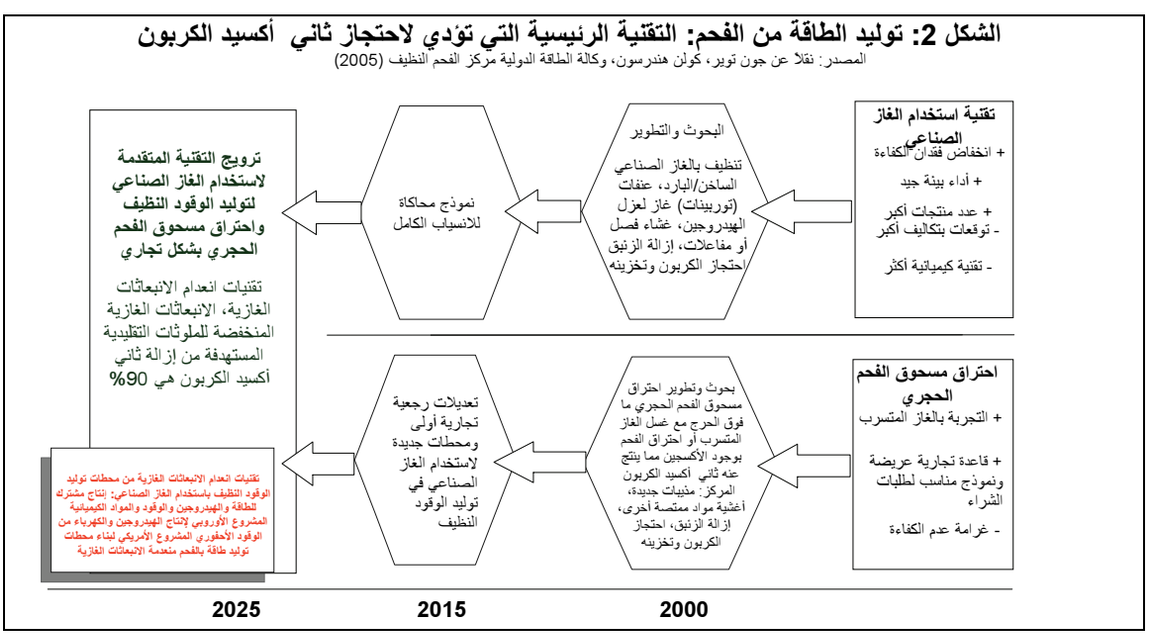
**احتجاز الكربون:** إن استخدام الوسائل التكنولوجية في محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم من شأنه أن يقلل من الانبعاثات بنسبة تتراوح من 80% - 85%، بينما، تتطلب تقنيات احتجاز الكربون طاقة إضافية، مما يقلل من الكفاءة العامة. وحسب تقديرات وكالة الطاقة الدولية – 2007 – فإن الطاقة الضائعة عند تحويلها تصل إلى 13%، بينما تصل إلى 8% في محطات توليد الطاقة بالفحم، ومن المتوقع أن تنخفض مستقبلاً إلى 4% في محطات توليد الطاقة التي تستخدم الغاز الصناعي كمصدر للوقود النظيف.

- يتم استخدام تقنيات ما قبل الاحتراق لتحويل الفحم أو الغاز الطبيعي إلى هيدروجين و/أو وقود ديزل فائق النظافة بينما تزيل ثاني أكسيد الكربون. لذلك، تبشر تقنية استخدام الغاز الصناعي لتوليد الطاقة بنتائج جيدة لأنها تولد الكهرباء والوقود والمواد الكيميائية مجتمعة.

- يتم استخدام تقنيات ما بعد الاحتراق لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات المنصرفة ضمن العمليات الكيميائية. ومن الخيارات الأخرى التوقد الأكسجيني والذي يبسط عملية الاحتراق باستخدام غاز مشبع بالأكسجين بدلاً من الهواء وبذلك نحصل على ثاني أكسيد الكربون نقي جداً. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك، محطات التوليد البخارية ما فوق الحرج التي تستخدم الأكسجين الصافي لعزل ثاني أكسيد الكربون والمستخدم في احتراق مسحوق الفحم الحجري.

**نقل الكربون:** إن عملية نقل ثاني أكسيد الكربون من المصدر إلى موقع التخزين ليست رخيصة نسبيا، ولكنها تتطلب بناء بنية تحتية رئيسية. إن طريقة نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الأنابيب أو البواخر أو الشاحنات أو السفن سواء في حالته الغازية أو السائلة أو ما فوق الحرجة، تعتمد أساساً على الضغوط والكميات التي يراد نقلها وعلى بُعد منطقة التخزين. إن بناء شبكة نقل تصل عدة مصادر بمواقع التخزين تكون ميزة في المناطق التي يكون موقع التخزين فيها غير قريب من موقع المصادر. ويبقى أن يتقرر كيفية اختيار موقع هذه الشبكات وعملية تمويلها وتشغيلها. حالياً يتم تشغيل شبكة نقل طولها 3.000 كلم من الأنابيب لنقل ثاني أكسيد الكربون (وكالة الطاقة الدولية 2004).

**الشكل 2: توليد الطاقة من الفحم: التقنية الرئيسية التي تؤدي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون**
المصدر: نقلاً عن جون توير، كولن هندرسون، وكالة الطاقة الدولية مركز الفحم النظيف (2005)




**تخزين الكربون:** إن المستودعات المحتملة لثاني أكسيد الكربون في جوف الأرض كثيرة، كما تقدر السعة التخزينية في التشكيلات الصخرية الملحية في العالم حوالي 1.000 – 10.000 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون، أما في حقول النفط والغاز الجافة، فتصل هذه السعة إلى 1.100 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون، وهذا يوازي من 90- 480 سنة من الانبعاثات في عالمنا اليوم والتي تبلغ 23 – 24 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً. أضف إلى ذلك أنه يمكن تخزين ثاني أكسيد الكربون في طبقات الفحم المستنفذة أو المجهورة أو في تجويفات الأنهار الجليدية. في الوقت الراهن يتم احتجاز أكثر من 33 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون وتخزينها في أكثر من 70 مشروعاً (وكالة الطاقة الدولية 2004).

وبالرغم من أن أكثر هذه المشاريع لازالت في طور التجربة، إلا أن هناك مشاريع تجارية على نطاق واسع وقيد التشغيل في حقل صلاح بالجزائر وويبورن (كندا)، وفي بحر الشمال (سليبنر) ومتوقعة في بحر بيرنتس، وجورجون في (أستراليا) وقاسي الطويل في (الجزائر) وحقول أخرى. وكما أوردنا سابقاً، يتم حقن ثاني أكسيد الكربون تجارياً في خزانات النفط لغرض الاستخراج المعزز للنفط وذلك في مناطق عديدة من العالم.

من المسائل المتعلقة بالتخزين نذكر التقييم المعتمد للسعة التخزينية، وزيادة فهمنا لحجز ثاني أكسيد الكربون وترحيله وأثره على المياه الجوفية، ومنع أية تسربات ومراقبتها ومعالجتها. لذلك يجب أن نعالج قلق عامة الناس من مخاطر التسرب في مرحلة مبكرة وذلك من خلال تعريفهم بالمخازن الآمنة الحالية لملايين الأطنان من ثاني أكسيد الكربون وبالدراسات الموسعة التي تجري حول اللوائح التنظيمية التي تخضع لها هذه العملية. أضف إلى ذلك ضرورة مناقشة مسألة المسؤولية عن هذه العملية والبث فيها على المدى القريب والبعيد.

إن عملية تعدين/ امتزاز (تكثيف جزيئات الغاز) ثاني أكسيد الكربون في طبقات مسامية مستقرة حرارياً مثل (الصخور السليكانية والزيتية والملحية) مازالت في مرحلة النظرية والتصورات، رغم أن أسلوب هذه الطريقة لتخزين الكربون قد تسفر عن نتائج واعدة.

**البحوث والتطوير ونماذج العرض التجريبي:** تهدف عمليات البحوث والتطوير والعرض التجريبي إلى تحقيق عدة أهداف: تخفيض التكلفة الحالية لكل طن من ثاني أكسيد الكربون والبالغة 50- 100 دولار أمريكي بنسبة 50% ، والمساعدة في إدخال نظم احتجاز الكربون وتخزينه ضمن تصاميم محطات الطاقة، وزيادة كفاءة احتجاز الكربون، وزيادة حجم المنشآت إلى المقاييس التجارية والتجريبية، ولتحقيق الجدوى الفنية والاعتمادية التشغيلية، والأمان ومنع التسرب والصلاحية التجارية والقبول الجماهيري لهذه التقنية. ونظراً لازدياد الانبعاثات الغازية، يجب تسريع عمليات البحوث والتطوير. وفي هذه المرحلة، يتم تطوير نظريات مختلفة، إلا أنه من غير الممكن والمحبذ إعطاء الأولوية لأحدها على الأخرى، لذلك فإن الهدف الأقرب هو تحقيق محفظة متنوعة من التقنيات المتطورة. أما الرؤية بعيدة المدى فتتلخص في تشغيل محطات كيميائية لتوليد الكهرباء ومتعددة الإنتاج بدون أدنى انبعاثات غازية.

حالياً، تعمل عدة دول في العالم على حوالي 110 مشروع للبحوث والتطوير ونماذج المحاكاة ويشمل ذلك المشروع الأمريكي لبناء محطة توليد طاقة تعمل بالفحم وبدون انبعاثات غازية، والمشاريع الأوروبية لإنتاج الهيدروجين والكهرباء من الوقود الأحفوري (وكلاهما ينتجان الهيدروجين لاستخدامه كوقود مواصلات أو مادة أولية صناعية) إضافة إلى تحالف كندا للطاقة النظيفة وغيرها من البرامج في كل من أستراليا وألمانيا (كويتك) والمملكة المتحدة والنرويج وفرنسا وإيطاليا واليابان ودول أخرى (راجع الملحق ب)

يهدف التعاون الدولي إلى تبادل المعلومات والتنسيق من خلال منتدى القيادات لمشروع عزل الكربون، وفريق وكالة الطاقة الدولية الذي يعمل على الوقود الأحفوري، وأطر العمل الأوروبية للبحوث والتطوير التكنولوجي، والهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ولجنة مجلس الطاقة العالمي الخاصة بنظم الوقود الأحفوري الأنظف. ومن الضروري جداً اشراك الصناعة في هذه الجهود، مثلا في أمريكا، تمول الصناعة ثلث تكلفة ستين مشروع دراسات و أبحاث إضافة إلى مبلغ 200 مليون دولار أمريكي تدفعها الحكومة الإتحادية الأمريكية لهذا الغرض.

إن الإنتهاء من بناء محطات العرض التجريبي على مساحات أوسع وباستطاعة أكبر (250 ميجاواط أو أكثر) بحلول عام 2015 أمر غاية في الأهمية لنظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لاكتساب حصة من مبيعات السوق ولتطبيقها على نطاق واسع بين 2020 - 2030

لمزيد من القراءة :ورشة عمل إيريس، جيمس إيكمان؛ جاك بودكانسكي، ديفيد سيفير، أولاف كارشتاد، كلاوس لاكنر، سوزان هيرتر، ورشة عمل نيبتون، أيونيل إلي، هينريك نوبناو، روبرت جنتايل، جورجن أولكوفسكي، ورشة عمل في تالين: م.أوس، ورشة عمل في موسكو: أ.تومانوفسكي، أ.سيلين، ج.توبر، ر.جنتايل، ب.كاميرو، أ.ناكانيشي ، ومصادر أخرى: وكالة الطاقة الدولية حول آفاق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه باريس 2004، صفحة 13 – 21 ، 55 ؛ جون توبر، كولن هندرسون – وكالة الطاقة الدولية مركز الفحم النظيف: تقنيات متطورة نحو انبعاثات غازية معدومة من محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم وإدخالها إلى دول السوق الأوروبية المشتركة: المحاضرة المقدمة في المؤتمر الدولي حول سياسة واستراتيجية تطوير طاقة مستدامة في دول أوروبا الشرقية والوسطى حتى عام 2030 – وارسو، 23/22 نوفمبر 2005، لأخطار التخزين وعلاجها – راجع: ولفجانج هايدوج، جيولوجية ثاني أكسيد الكربون، إمكاناته، الحقائق، الجهود العالمية في مجالات الوقود الأحفوري 123، المجلد 1.

حددت وزارة الطاقة الأمريكية هدفاً لها يتمثل بإعداد نظم لتحويل الطاقة باستخدام الوقود الأحفوري التي يمكنها احتجاز 90% من ثاني أكسيد الكربون وتخزين 99% من الناتج وبتكلفة أقل من 10% من الزيادة في تكلفة خدمات الطاقة الحالية وذلك في عام 2012.

## 3. علم الاقتصاد المقارن

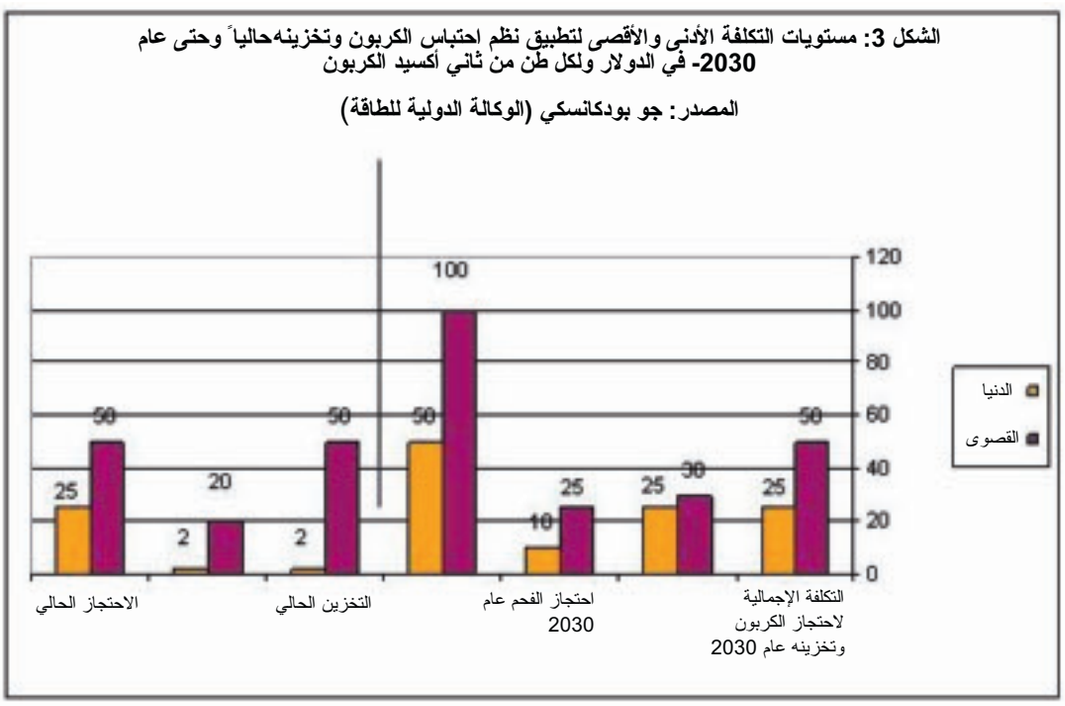
**التكاليف**: ستكلف الكهرباء التي تولدها محطات تعمل بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه بالتأكيد أكثر من الكهرباء التي تولدها المحطات الحالية التي تعمل بالفحم. ستظل هذه الحقيقة قائمة بغض النظر إن قمنا بتجهيز المحطات الحالية أو الجديدة بهذه التقنيات أم لا. حالياً، تفيد وكالة الطاقة الدولية (2004) بأن التكلفة التقديرية لاستخدام نظم احتجاز الكربون وتخزينه تتراوح ما بين 50 – 100 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون. كما أن هذه النظم ستزيد من تكلفة رأس مال محطات توليد الطاقة من 30 – 100% وستزيد تكلفة توليد الكهرباء بين 25 – 100%. ولكن من الممكن بحلول عام 2030 أن تنخفض هذه التكلفة بقيمة 25- 50 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون (الشكل 3) ويتوقع بعض الخبراء أن تمثل هذه الزيادة على تكلفة المستهلك بقيمة سنت أمريكي واحد أو اثنين لكل كيلو واط بالساعة أي ما يعادل زيادة تقريبية تبلغ بين 10 و 20 % وهذه الزيادة أقل بكثير من تكلفة المحطات التي تستخدم الغاز الصناعي لتوليد الوقود النظيف (المفوضية الأوروبية) (وكالة الطاقة الدولية 2009)

**القدرة على المنافسة**: تتسم تكلفة تطبيق تقنيات نظم احتجاز الكربون وتخزينه بمقدار من عدم الدقة، مما يجعل القدرة التنافسية لهذه التقنيات مقارنة بالخيارات الأخرى لخفض الانبعاثات الغازية محط تخمين. وبقدر ما تُعتبر هذه الحقيقة أحد عوامل عدم دقة تكاليف تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه فإنها تشير أيضاً إلى عدم دقة تشمل تكلفة الخيارات الأخرى.

الشكل 3 والصادر عن وكالة الطاقة الدولية يشرح تكاليف تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه الآن وفي عام 2030 والذي يفترض أن تنخفض تكلفتها بشكل كبير. أن نسبة التكلفة الحالية، ونسبة التكلفة في عام 2030 تعتبر على درجة من الأهمية.

**الشكل 3: مستويات التكلفة الأدنى والأقصى لتطبيق نظم احتباس الكربون وتخزينه حالياً وحتى عام 2030- في الدولار ولكل طن من ثاني أكسيد الكربون**

**المصدر: جو بودكانسكي (الوكالة الدولية للطاقة)**




غالباً ما تتم مقارنة تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه بتكلفة توليد الطاقة النووية أو المتجددة. وقد قام خبراء بتحديد المستويات الواسعة من التكاليف المتوقعة لهذه الخيارات (راجع الجدول 1) وليس مستغرباً أن نرى أن تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون تحتل المستوى المنخفض للتكلفة، بينما تقع الخيارات البديلة في وسط هذه النسب وتصل حتى أعلاها، لذا تبدو تكلفة نظم احتجاز الكربون وتخزينه تنافسية. ولكن لو نظرنا إلى أقصى مستويات التكلفة لتطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه والمستوى المنخفض لقائمة النظم البديلة لبدت تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتطبيقه مرتفعة جداً.

تنصب الجهود حالياً على تخفيض تكلفة كافة هذه التقنيات. وبناءً على نجاح هذه الجهود، سيتم تقرير التقنيات التي يجب تطبيقها بسرعة وعلى نطاقٍ واسع. وتبقى الحقيقة أنه ينبغي على كافة دول العالم استغلال كافة التقنيات المتوفرة وضمن أقصى قدراتها الاقتصادية لتقليص الانبعاثات الغازية، وعلى الأخص، تركيز مستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو إلى المستويات التي يتوقع العلماء بأن تكون مستدامة.

ستتأثر القدرة التنافسية لنظم احتجاز الكربون وتخزينه بقرب المصادر من مواقع التخزين وظروف محلية محيطة أخرى. أضف إلى ذلك خيارات التوجهات التي تحبذ تقنية على أخرى، وهذا قد ينعكس بشكل ملحوظ على اقتصاد نظم احتجاز الكربون وتخزينه. في الوقت الراهن لا تتمتع نظم احتجاز الكربون وتخزينه بنفس المزايا التي تتمتع بها المصادر المتجددة بموجب بعض الاتفاقات الدولية.

ربما أن أهم شيء في هذا الأمر، كما أوردنا سابقاً، هو أن أهم خيار اقتصادي وتنافسي لتطوير كفاءة الطاقة سيكون الخيار القادر على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات توليد الطاقة، ومحطات إنتاج النفط ومصافي التكرير وتصفيته ومن عوادم وسائل النقل والمرافق الصناعية.

الجدول 1 – مقارنة تكاليف تخفيض انبعاث ثاني أكسيد الكربون لمجموعة من المصادر المتجددة، والوقود الأحفوري وتقنيات توليد الطاقة النووية في عام 2010

| التقنية | تكلفة تخفيض ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالفحم (دولار أمريكي/طن الكربون)، من الأدنى إلى الأعلى | تكلفة تخفيض ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالغاز الطبيعي (دولار أمريكي/طن الكربون)، من الأدنى إلى الأعلى |
|---|---|---|
| رياح البر | 63 - إلى 125 | 61 - إلى 291 |
| الرياح البحرية | 11 إلى 287 | 265 إلى 592 |
| الطاقة العضوية من محاصيل نباتية | 108 إلى 200 | 240 إلى 447 |
| الطاقة النووية | 44 إلى 80 | 89 إلى 164 |
| الأمواج | 277 إلى 597 | 572 إلى 1168 |
| تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على المحطات التي تستخدم الغاز الصناعي | 24 إلى 45 | 101 إلى 188 |
| تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على المحطات الجديدة التي تستخدم الغاز الصناعي | 54 إلى 101 | 151 إلى 282 |
| تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على الفحم | 66 إلى 122 | 195 إلى 362 |
| تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على الفحم الجديد | 92 إلى 221 | 243 إلى 566 |

المصدر: المعهد العالمي للفحم، يوليو 2005، ص 6، مصدر مشابه: يوراكول، صناعة الفحم عبر أوروبا 2005 صفحة 7

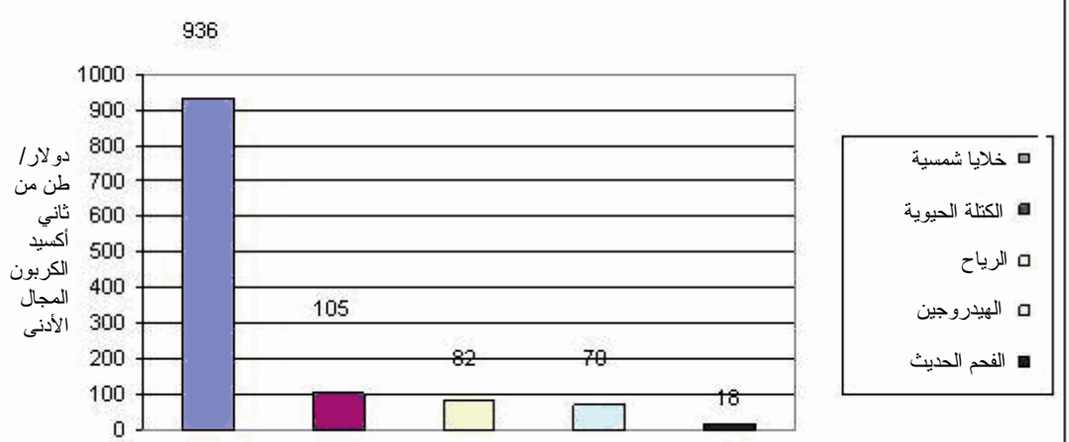
**الإيرادات:** إن تطبيق معظم نظم احتجاز الكربون وتخزينه وإدخال التقنيات الحديثة عليها للاستفادة منها في محطات كبيرة تعمل بالفحم لتوليد الطاقة، كل ذلك يفرض تكاليف رأسمالية وتشغيلية وصيانة على أصحاب مثل هذه المحطات. رغم ذلك، تمثل بعض الظروف فرص إيرادات يمكن لها أن تخفض صافي النفقات أو ربما في ظروف معينة تغطي مجمل تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه. مثلاً، لو تواجدت محطة التوليد بالقرب من حقل النفط عندها يمكن بيع ثاني أكسيد الكربون إلى شركة تشغيل حقل النفط لاستخدامه في عملية الاستخلاص المعزز للنفط. وتبلغ تقديرات قيمة ثاني أكسيد الكربون في هذا التطبيق ما يزيد على 55 دولار أمريكي (وكالة الطاقة الدولية) بينما يمكن أن يصل السعر في نظم أخرى بين 40 – 200 دولار أمريكي (ز. الخطيب).

توجد استخدامات صناعية أخرى لثاني أكسيد الكربون، ومن المتوقع مستقبلاً أن يتم تطوير تطبيقات أخرى. وقد تشمل فرص العمل المستقبلية إدارة تطبيقات نظم احتجاز الكربون وتخزينه لصناعات أخرى، مثل إنتاج الهيدروجين وخلايا الوقود/وتطبيقات البطاريات ومقايضة الانبعاثات وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

وخلال عملية تنفيذ تقنيات لتخفيض انبعاثات الكبريت والنيتروجين، وجد الباحثون ومطورو التقنيات طرقاً يمكن من خلالها الحصول على منتجات مفيدة عن طريق احتجاز هذه المواد الملوثة (الكبريت والنتروجين) في المحطات العاملة بالفحم عوضاً عن تخزينها في مقالب دفن النفايات. من الأكيد أن علماء العالم سيقومون بتطوير استخدامات للكربون لم نتصورها بعد وبما فيها تخزينه في صورة مواد صلبة.

**الشكل 4: تكاليف خفض تأثير ثاني أكسيد الكربون**

**المصدر: في جي بي 2004**




**العوامل الخارجية**: من شأن نظم احتجاز الكربون وتخزينه، مثل أية تقنية متطورة، أن تعود بفوائد عديدة لا يمكن حصرها على المجتمع. ومن أهم تلك الفوائد مساهمة هذه النظم في الاقتصاد العالمي وذلك من خلال الإبقاء على الفحم الحجري كخيار صالح لتوليد الطاقة وللاستخدامات الصناعية. إن قابلية نجاح الفحم في هذا المجال لا تمثل مورداً قليل التكلفة فقط، وإنما أيضاً في خلق فرص عمل ذات دخل مرتفع (رغم أن ذلك ليس عالمياً) إضافة إلى ذلك، يمثل استغلال الفحم أمن الطاقة للدول الغنية بمصادر الفحم وللدول التي تستورده من شركات توريد مستقرة. وفي بعض الظروف، من شأن نظم احتجاز الكربون وتخزينه أن تقلل من الملوثات الجوية مثل النوبليوم المشع وثاني أكسيد الكبريت والزئبق، وهذا من شأنه تحقيق تحسن في جودة الهواء وتقليل الآثار الصحية السلبية وزيادة خصوبة التربة وغيرها من الفوائد. إن الاحتفاظ بخيار الفحم يساعد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في المساهمة مباشرةً في تحقيق الأهداف الرئيسية الثلاثة لمجلس الطاقة العالمي وهي: قدرة الوصول إلى هذه التقنية، وقدرة الحصول عليها وشرائها وإمكانية القبول بها.

**الاستثمارات** :تُقدر قيمة الاستثمارات المطلوبة لتمويل الجيل الأول من محطات عالية الكفاءة وتعمل بالفحم لتوليد طاقة تبلغ 250 ميغاواط باستخدام نظم احتجاز الكربون وتخزينه (استناداً إلى الدورات البخارية ما فوق الحرجة أو استخدام الغاز الصناعي)، ما بين 500 مليون ومليار دولار أمريكي لكل محطة. وعلى أقل تقدير يتوجب بناء عشر محطات محاكاة للمحطات الحقيقية بحلول عام 2015 وذلك لتطوير هذه التقنية وتقليص تكلفتها وتمكينها من أن تصبح قابلة للتسويق بحلول 2030 (وكالة الطاقة الدولية). إن تزويد محطات توليد الطاقة الجديدة العاملة بالغاز الصناعي وذات الاستطاعة 250 ميجاواط في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال الثلاثين سنة القادمة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه من شأنه أن يزيد نسبة الاستثمار من 20-25% أي 350 – 440 مليار دولار أمريكي. أما بالنسبة لمحطات التوليد العاملة بالعنفات (التوربينات) الغازية ذات الدورات المفتوحة والتي تبلغ استطاعتها 500 جيجا واط، ستكون زيادة التكلفة من 200-250 مليار دولار أمريكي مما سيزيد من الاستثمار في محطات توليد الطاقة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بنسبة 20% - 25% (وكالة الطاقة الدولية 2003 صفحة 417).

وبهدف جذب المستثمرين من القطاع الخاص أو التمويل الحكومي في مرحلة المحاكاة، يجب أن تتوفر عدة شروط، منها أن لا تكون هناك أية سياسة تمييزية ضد الوقود الأحفوري، وعدم وجود سياسة غير متأكدة من العائدات، أو ما يتعلق بآفاق التخطيط وتحديد مسؤوليات ما بعد مرحلة تفكيك هذه المحطات التجريبية. كما لابد من وجود دوافع وحوافز في السوق تشجع نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وتطبيقها. في الوقت الراهن هذه المتطلبات الأولية غير متوفرة كما يرافقها وجود عدد من الشكوك

التجارية والتقنية والقانونية والسياسية فيما يتعلق بمستقبل تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه. وربما تتوفر محطات محاكاة بحلول 2015 أو حولها، إلا أن الانطلاق الحقيقي لمثل هذه المحطات يعتمد على القيمة التجارية لنظم احتجاز الكربون وتخزينه وعلى الحوافز الفعلية إذا كانت تلك القيمة السوقية منخفضة.

لمزيد من القراءة :ورشة عمل في أيريس: جاك بودكانسكي، إلينا نيخانيف، ميشيل لوكولو، ورشة عمل في نيبتون: مايكل مور، زارا الخطيب مصادر أخرى: وكالة الطاقة الدولية، احتمالات احتجاز الكربون وتخزينه، باريس 2004 صفحة 20، مجلة وكالة الطاقة الدولية 2006، صفحة 75، يوراكول: صناعة الفحم عبر أوروبا 2005، صفحة 6 و 7، باري ورثنجتون: تمويل تقنيات الفحم النظيف: www.usea.org لتكاليف التخزين، راجع وولفجانج هايدوج، التكلفة والمزايا الصحية: مستند موظفي المفوضية الأوروبية: حول توليد طاقة مستدامة من الوقود الأحفوري: السعي إلى إنعدام الانبعاثات الغازية من الفحم بعد 2020، مركز البيئة الفضائية 2006، 1722، صفحة 39-42، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تقرير خاص عن احتجاز الكربون. وتخزينه 2005، صفحة 358، وكالة الطاقة الدولية، كتاب تمويل الطاقة الدولية توجهات: 2003، الشكل 8.1

## 4. تطبيق ونشر تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه

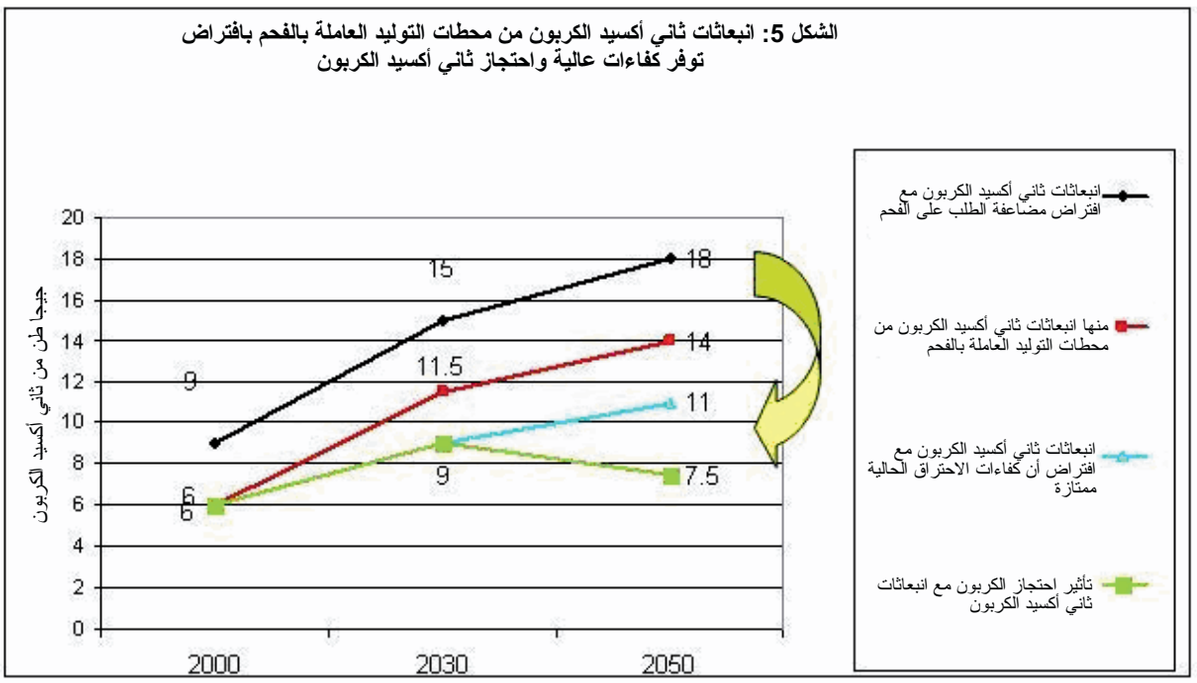
**العوامل:** يعتمد تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه على العديد من العوامل، منها: بناء نماذج تجريبيةتحاكي هذه التقنية على نطاق واسع، وقدرة هذه النظم على منافسة البدائل الأخرى لتخفيف الانبعاثات الغازية، وإطار السياسة العامة والإطار القانوني/التنظيمي (راجع الفصل السابع والثامن)، ومساندة الإدارة التنفيذية ومجلس الإدارة لها، بالإضافة إلى الوقت الكافي لبناء محطات عرض تجريبي مماثلة لهذه النظم المتكاملة. وبما أن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه قابلة من حيث المبدأ للتطبيق في كافة القطاعات الرئيسية المستهلكة للوقود الأحفوري والتي تتسبب بالانبعاثات، فإنه من المتوقع أن تُطبق هذه االتقنية أولاً في محطات توليد الطاقة المستخدمة للفحم أو الغاز الطبيعي وذات تركيز عالٍ لثاني أكسيد الكربون ومن الغاز المنساب وذلك في الدول المتطورة وفي مرافق جديدة. تشير الحسابات النموذجية إلى أنه سيجري تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق واسع عندما يصبح سعر طن ثاني أكسيد الكربون تقريباً 25-30 دولاراً أمريكياً (الميثاق الدولي لحماية كوكب الأرض) وبشرط أن تكون تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه قد انخفضت على الأقل إلى هذا المستوى. قد تساهم السياسات اللاسوقية في التعجيل بتطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه كما أشرنا في الفصل 2.

**الإمكانيات الكامنة :**هناك إمكانية على درجة كبيرة من الأهمية لتطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه، بينما قد تقل هذه الأهمية إذا ما أردنا تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على جميع النظم المستخدمة لتوليد الطاقة، كما يمكن أن يحد من تطبيقها دورة استبدال النظم بنظم أخرى ومنافسة البدائل الأخرى لها. تقترح وكالة الطاقة الدولية (2004) أنه بحلول 2050، وبافتراض وجود غرامة الكربون أو وصل سعر طن الكربون إلى 50 دولار، تستطيع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه تقليل كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى النصف وذلك مقارنة بالسيناريو الذي لا يحتوي على مثل هذه الغرامة (فصل 6).
لو نظرنا إلى جميع أنواع الانبعاثات الكربونية فقط وليس إلى جميع أنواع الانبعاثات بشكل عام فستكون نسبة التخفيض أكثر بكثير. وما لم نسرع بتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، فقد يستغرق تطبيقها على مستوى العالم. عدة عقود. الخبر السار هنا أن معظم مرافق توليد الطاقة العاملة خلال 2000 ستتقاعد أو ستكون خاضعة لبرامج تحسينات بحلول 2050. وعلى المدى المنظور، هناك خطورة أن 86% من محطات التوليد الجديدة العاملة بالفحم والمتوقع بناؤها عالمياً باستطاعة 1.391 جيجا واط بحلول 2020 سيتم بناؤها وفق تقنيات تقليدية (هوكينز) ومن المتوقع أن تظل هذه المحطات تعمل لغاية عام 2050.

**توليد الكهرباء بواسطة الفحم :** يشرح الشكل 5 التأثير المركب لنظم احتجاز الكربون وتخزينه وتحسينات الكفاءة على السيطرة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات توليد الطاقة بالفحم المنتشرة في العالم، حيث تولد هذه المحطات 80% من كمية الانبعاثات البالغة 18 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون من مجمل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات الطاقة العاملة خلال 2050، في هذا السيناريو، ستساهم الكفاءة الصافية بتخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم بنسبة 22% ، ويساهم تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بنسبة 30% بحيث تنخفض هذه الانبعاثات من 14.4 إلى 7.5 جيجا طن ثاني أكسيد الكربون عام 2050. رغم ذلك، تبقى الانبعاثات الكربونية فوق المستويات الحالية بشكل كبير.

هناك إمكانيات أخرى لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تتمثل في زيادة كفاءة الاحتراق، وإحراز تقدم أسرع في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، والتطبيق الدولي المبكر لهذه التقنية، وتحديث كبير لمحطات توليد الطاقة، وتحسن كفاءة تحول نظم احتجاز الكربون وتوزيعه، وتغلغل أسرع في الأسواق، والاحتراق المزدوج للفحم والكتلة الحيوية (المواد العضوية النباتية). بالمقارنة سيكون تخفيض ثاني أكسيد الكربون أقل لو وصلت التخفيضات في التكلفة النسبية لاحتراق الفحم ونظم احتجاز الكربون وتخزينه إلى أقل من التوقعات المتدنية والتي يمكن أن تنجم عن تأخير في عمليات البحث والتطوير والمحاكاة. بالتأكيد هناك الكثير من العمل الذي يجب القيام به. وبالاعتماد على التوافق الدولي حول الكمية "المستدامة" من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون غير المنخفض في هذا السيناريو (7.5 ميجا طن) أو أي جزء منها، ربما تعتبر غير مقبولة من وجهة نظر سياسة التخفيف من المتغيرات المناخية.

**الشكل 5: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات التوليد العاملة بالفحم بافتراض توفر كفاءات عالية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون**




يفترض الشكل 5: تضاعف الطلب العالمي على الفحم بحلول 2050، وتمثل هذه الزيادة نسبة سنوية بواقع 1.4% مقارنة بالنسبة السائدة في السنوات الماضية ومقدارها 2% وبالتالي ومن المتوقع أن تزداد نسبة الانبعاثات الناشئة عن محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم خلال الفترة من 2000 -2050 بنسبة 1.8% سنوياً. وسوف يزيد معدل كفاءة احتراق الفحم داخل محطات التوليد الحالية والمحطات فائقة التقنية والحديثة من 32% لتصبح 43% عام 2050. ومن المتوقع أن تنخفض خسائر عملية تحويل نظم احتجاز الكربون وتخزينه، إلى 4 نقاط مئوية، مما يحدد نسب نمو الكفاءة إلى 39% في عام 2050 (وكالة الطاقة الدولية 2004). ويتوقع أن تبلغ نسبة انتشار نظم احتجاز الكربون وتخزينه في الأسواق، 30% عام 2050 (وكالة الطاقة الدولية 2004).

**توليد الكهرباء بواسطة الغاز الطبيعي :**يحظى الغاز الطبيعي بميزة إيجابية تنافسية على الفحم وذلك في موضوع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ولكن الاعتماد على الغاز الطبيعي المستورد يزيد من قلق الدول المستوردة حول أمن الطاقة الخاص بها، كما أنه يساهم بشكل جزئي في تهدئة القلق حول المتغيرات المناخية بالإضافة إلى هواجس أخرى منها:

- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون خلال الاحتراق أقل ولكن يجب أن لا ننسى انبعاثات محتملة لغاز الميثان.
- تبقى كفاءات الاحتراق أعلى، حتى لو أخذنا بعين الاعتبار خسارة الكفاءة خلال عملية الاحتجاز.
- يتم استخدام نظم احتجاز الكربون لإنتاج الغاز الطبيعي: يتم فصل ثاني أكسيد الكربون عن تدفقات الغاز الطبيعي المنتج ويعاد حقنه في الطبقات الأرضية لغرض تخزينه الدائم. وحالياً تجري عمليات تخزين لثاني أكسيد الكربون في حقل "سليبنر" النرويجي للغاز الطبيعي.

إن التحويل من الفحم إلى الغاز الطبيعي لإنتاج الطاقة، بغض النظر عن حجم الكميات المستهلكة، سيظل يساهم في عملية التخفيف من الانبعاثات الصادرة عن الطاقة. إذ أثبتت التجربة في المملكة المتحدة (التي أدى تحرير أسواق الكهرباء فيها إلى توسع كبير في استخدام الغاز الطبيعي لتوليد الطاقة) انخفاضاً في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بينما في الولايات المتحدة، يتوجب ربط السياسات المناخية بزيادة الاستخدام للاحتياطات المحلية والتي تبدو حاليا ممنوعة على الإنتاج.

حتى لو خفت حدة هذا التوجه في التحول من الفحم إلى الغاز بسبب ارتفاع أسعار الغاز، وازدياد قدرة أسعار الفحم على منافسة أسعار الغاز، سيظل هذا التوجه محفزاً هاماً لبناء نظام عالمي لتوليد الطاقة الأحفورية أكثر نظافة خاصة قبل أن تصبح نظم احتجاز الكربون متوفرة على نطاق واسع للتطبيق. وترى وكالة الطاقة الدولية أن استهلاك الغاز الطبيعي دولياً سيزداد بنسبة 68% بين 2004 – 2030 (الفحم بنسبة 60%) (2006). هذا يعني توقع نمو أسرع لمحطات توليد الطاقة باستخدام الغاز (3.2% سنوياً)، مقارنة بالمحطات المعتمدة على الفحم (2.9% سنوياً). مع هذا يبقى الفحم الأول في مجال قدرته الإنتاجية (33%) مقارنة بالغاز (31%) والنفط (5%). يفترض هذا السيناريو أن نظم احتجاز الكربون وتخزينه لن تلعب دوراً هاماً في إنتاج الطاقة قبل حلول عام 2030 (وكالة الطاقة الدولية). وبالمقابل، فإن غرامة 50 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون كغرامة أو كسعر لثاني أكسيد الكربون، قد تؤثر إيجاباً في دخول نظم احتجاز الكربون وتخزينه للأسواق وازدياد عملية احتراق الفحم. وبهذا المعنى، ستصبح بحلول 2050 ما نسبته 69% من الطاقة الإنتاجية لكافة المحطات المجهزة بنظم

احتجاز الكربون وتخزينه معتمدة على وحدات الفحم، ونسبة 23% على وحدات الغاز ونسبة 8% على الكتل الحيوية المخصصة لهذا الغرض (وكالة الطاقة الدولية 2004).

**توليد الكهرباء بواسطة النفط:** في عام 2004، ساهم النفط بنسبة 7% من إنتاج الكهرباء عالمياً. ومن المتوقع أن يساهم بنسبة 3% في عام 2030 (وكالة الطاقة الدولية). وبعبارة قاطعة، ليس في هذا الانخفاض ما يبعث على الدهشة إذ أنه انخفاض من 1161 مليون طن من النفط (تقنية معزولة) في 2004 إلى 940 مليون طن مساوي من النفط بحلول 2030. كما أن هناك دولاً عديدة لا يزال استخدام النفط هاماً فيها. مثلاً في المكسيك، يشكل النفط 40% من توليد الطاقة من الوقود الأحفوري بعدما كان استخدام النفط يصل إلى 90% في وقت ماض. وبوجه عام. تُعتبر محطات توليد الطاقة العاملة بالنفط في معظم دول العالم أقدم المحطات وأقلها كفاءة. والمنافس الوحيد لهذه المحطات هو الغاز الطبيعي، إذ تتميز بعض وحدات الغاز بالقدرة على الإنتاج المزدوج للوقود، كما تستخدم بعض المولدات الصغيرة البنزين، الديزل أو الكيروسين. لا تقدم هذه المولدات أية خيارات لنظم احتجاز الكربون وتخزينه، لذا تتمثل الاستراتيجية الوحيدة للتخفيف من المتغيرات المناخية في عدم استخدام هذه المولدات.

**مسائل خاصة بالإدارة:** تفيد تجربة الشركات الرائدة في السيطرة على الانبعاثات الغازية أن نظم احتجاز الكربون وتخزينه يجب أن تصبح جزءاً كاملاً من الاستراتيجيات متوسطة المدى وبعيدة المدى للسيطرة على انبعاث الغازات المسببة لظاهرة البيوت البلاستيكية (الانبعاثات الدفيئة). تنظر بعض الشركات إلى نظم احتجاز الكربون وتخزينه على أنها خطوة على طريق الاقتصاد القائم على استخدام الهيدروجين[4]. يتطلب مثل هذا التوجه مشاركة من الإدارة المركزية ودمج نظم احتجاز الكربون وتخزينه في خطط أعمال الشركات.

كما تمثل الشركات التي لديها شركاء آخرين محليين أو دوليين نوعاً أخراً من مساهمة الإدارة في تثقيف الجمهور وتوضيح المسائل التي تشكل عائقاً يحول دون تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى واسع. كما أن علاقات هذه الشركات مع السلطات أو صانعي السياسة أمر حيوي لنقل الرسالة بأن نظم احتجاز الكربون وتخزينه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار الصفة الخاصة بمشروع تركيب هذه النظم. وأن يكون بالإمكان وضع توقعات لهذه السياسات وأن تتسم بالشفافية وبرد التكلفة، وأن تسهم في البحوث والتطوير ونماذج المحاكاة وتقليل الشكوك مثل عملية تفكيك منشآت المحاكاة (مسؤولية ما بعد الإقفال).

كما يتوجب على الإدارة دراسة فرص الأعمال المترافقة مع خطط الأعمال الخاصة بنظم احتجاز الكربون وتخزينه (الاستخلاص المعزز للنفط، مقايضة الانبعاثات، الهيدروجين، خلايا الوقود وخدمات التخزين) يجب تسجيل النتائج الخاصة بتقليص حجم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وإعادة حقنه في الطبقات السفلى من الأرض في نظم موحدة لحساب الانبعاثات الدفيئة وذلك لتدعم عملية المقارنة الفعلية والمصداقية. ومن المتوقع أن تخضع في النهاية كافة الاستراتيجيات الخاصة بتخفيف انبعاث الغازات الدفيئة إلى التدقيق من قبل طرف ثالث.

لمزيد من القراءة :ورشة عمل في إيريس: ايلينا نيكابيف؛ ديفيد د. هاوكنز، آرثر؛ جاك بودنسكي؛ ورشة عمل في نيتون: دوميترو مانيا؛ مصادر أخرى: وكالة الطاقة الدولية: أفاق احتجاز الكربون وتخزينه 2004، الوكالة الدولية للطاقة: مجلة الطاقة الدولية. 2006، صفحة 258، 492، 493)، التقرير الخاص للميثاق الدولي لحماية كوكب الأرض حول احتجاز الكربون وتخزينه، صفحة 11، ك برنداو: الاستغلال المستدام للفحم واستخداماته: اقتراح لعام 2030، محاضرة ألقيت في المؤتمر الدولي للسياسة والاستراتيجية الخاصة بتطوير الطاقة المستدامة لدول أوروبا الوسطى والشرقية وحتى 2030، وارسو، 22-23 نوفمبر 2005؛ عن الفحم ونظم احتجاز الكربون وتخزينه، راجع: وثيقة موظفي المفوضية الأوروبية حول الطاقة المستدامة لمحطات توليد الطاقةالعاملة بالوقود الأحفوري: بهدف تقليص كامل للانبعاثات من الفحم بحلول 2020، 2006، 1722.

## 5. اقتصاديات الدول النامية ودول أوروبا الشرقية[5] (سابقا)

يعاني، في الوقت الراهن، 1.6 بليون نسمة من مجمل عدد سكان العالم (6.2 بليون) من عدم وصول الكهرباء إليهم بعد. إن عدم توفر الطاقة بأسعار تجارية يؤدي إلى انخفاض في معدل العمر، ويخفض من نسب الالتحاق بالمدارس، ويقلص من فرص التعليم وسوء الصحة العامة، وخاصة لدى الأطفال، كما يؤدي إلى اتساخ مياه الشرب، "إن انعدام الطاقة في الدول والمناطق النامية، تمثل حالة طوارئ تخص كوكب الأرض" (ويلسون).

**المأزق :**إن تطبيق إجراءات تأديبية صارمة لمكافحة الكربون وتطوير أنظمة طاقة بديلة يجب أن يسبقها وجود وعي جماهيري عريض بمخاطر المتغيرات المناخية، بالإضافة إلى دعم سياسات التخفيف من هذه المخاطر. كما أنها تستوجب وجود قدرات على المستويين الحكومي والصناعي لتفهم هذه القضايا، بالإضافة إلى التفكير عميقاً لإيجاد حلول لهذه القضايا وتحمل جزء من تكاليفها. وهذه هي المعوقات التي تعترض اقتصاديات الدول النامية ودول أوروبا الشرقية السابقة (انظر الصندوق). كما لم

[4]- اقتصاد يتم فيه توليد الطاقة اللازمة له من تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين بهدف تقليص الاعتماد على الوقود الأحفوري المولدة في محطات تعمل بالفحم وينبعث منها ثاني أكسيد الكربون - المترجم

[5]- يجب التنويه إلى أنه تمت الإشارة لهذه الدول في النص الأصلي "Transition Economies" – وقد تمت ترجمتها هكذا لأن اقتصاديات تلك الدول شهدت انتقالا لنظام السوق بعد تفكك الكتلة الشرقية بدءا من عام 1990 - المترجم

تلتزم الدول النامية بأهداف تقليص نسبة انبعاث ثاني أكسيد الكربون على خلاف دول أوروبا الشرقية السابقة. رغم ذلك، ستبقى الانبعاثات الغازية في الدول النامية دون السقف الأعلى المسموح به لسنوات قادمة وذلك اعتماداً على معدل نموها الاقتصادي.

وبالنسبة للعالم، بشكل عام، تتفاقم المشكلة بحقيقة أن الدول النامية ستكون مصدر معظم الزيادة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مستقبلاً، وستتعدى نسبة مساهمة هذه الدول في زيادة الانبعاثات من 39% في عام 2007 لتصبح 52% في عام 2030. وابتداءاً من 2012 ستتعدى هذه الانبعاثات مثيلاتها في الدول الصناعية.

**الصندوق: تمويل انتشار نظم احتجاز الكربون وتخزينه في الدول النامية**

من وجهة النظر الدولية الخاصة بتخفيف آثار المتغيرات المناخية، يُعتبر تمويل انتشار نظم احتجاز الكربون وتخزينه في الدول النامية أولوية نظراً للمساهمات المتنامية لتلك الدول في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمي. ولكن كيف يمكن تمويل انتشار هذه النظم في الدول النامية؟

**كم يتكلف ذلك؟** بين 2015 – 2030 ستزداد قدرة الدول النامية لتوليد الطاقة من الوقود الأحفوري بمقدار 592 جيجا واط. وطبقاً للسيناريو البديل الذي أعدته وكالة الطاقة الدولية (مجلس الطاقة العالمي 2006)، ستولد هذه المحطات 1.4 جيجاطن من ثاني أكسيد الكربون وهو ما يوازي 56% من نسبة الزيادة المتوقعة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والبالغة 2.48 جيجا طن.

وعلى افتراض أن تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه في المحطات التي تعمل بالوقود الأحفوري في الدول النامية، ستبلغ 20-30 دولار أمريكياً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون اعتباراً من 2015، فإن تكلفة تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه لتخفيف آثار كمية 1.4 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون المذكورة أعلاه، ستبلغ 28-42 مليار دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون خلال 15 سنة. ونتيجة لذلك ستنخفض قليلا نسبة زيادة انبعاث ثاني أكسيد الكربون في العالم من 31.6 جيجا طن في 2015 إلى 32.7 جيجا طن فقط في 2030 بدلاً من 34.1 جيجا طن. لا يوجد أي خيار تقني آخر يمكن أن يخفض حجم نمو الانبعاثات الغازية على النطاق الدولي إلى أكثر من نصفها مع المحافظة في الوقت ذاته على دعم العملية التنموية وأمن الطاقة.

**كيف يتم ذلك؟** هل يستطيع المجتمع الدولي ضخ معدل 2-3 مليار دولار أمريكي سنوياً ثمناً لنقل تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه إلى الدول النامية؟ تجمع كل الآراء على الموافقة، وأكثر من ذلك، إذا ما لاقت برامج مقايضة الكربون الإقليمية والمحلية تشجيعاً وكانت متوافقة فإنها ستخلق مؤشراً هاماً على أسعار الكربون العالمية[1]، وإذا ما كانت مشاريع تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه في البرنامج الأوروبي الموسع لمقايضة الكربون وفي مرحلة ما بعد كيوتو صالحة لآليات التنمية النظيفة ولمشاريع التنفيذ المشترك، وهذا غير موجود في الوقت الراهن. في هذه الحالة، يمكن خفض مبالغ التمويل العامة المذكورة أعلاه.

ومن طرفها، يجب أن تعدّ الدول النامية "نظماً وسياسات قانونية حول حقوق التأليف والملكية الفردية وتسوية النزاعات، وأن توفر حوافز جديدة لجذب الاستثمارات من القطاع الخاص" (بيان مجلس الطاقة الدولي 2007: صناعة الطاقة تزيح الستار عن خطة لمعالجة المتغيرات المناخية، لندن 2007)

[1]- نشرة شتيرن ، "تأثير المتغيرات المناخية. ملخص تنفيذي، لندن 2007، تقدر تكلفة "عدم القيام بأي عمل" فيما يتعلق بتغييرات المناخ وخلال القرنين القادمين وبمعدل انخفاض في استهلاك الفرد بالعالم بنسبة من 5-20% وخاصة في الدول النامية. وهذا يقابله تكلفة تخفيض الانبعاثات المتماشية مع عملية الاستقرار عند 550 جزء بالمليون (نسبة عدد جزيئات ثاني أكسيد الكربون من مجموع جزئيات الهواء الجاف) أي بمعدل 1% من إجمالي الناتج الوطني (صفحة viii) (http://www.hm-treasury.gov.uk/media/8AC/F7/Executive_Summary.pdf)

تقف عدة عوامل وراء هذا التوجه، منها النمو الاقتصادي وتزايد عدد السكان والازدياد في الاستهلاك الفردي من الطاقة وارتفاع كثافة الكربون في مزيج الوقود. وهذا يؤكد بأن فرض سياسة عالمية للحد من الكربون سوف لن تحقق هدفها المتمثل في التخفيف من آثار المتغيرات المناخية بدون إشراك الدول النامية في هذه السياسة. ولكن تستطيع الدول النامية استخدام نظم احتجاز الكربون وتخزينه حالما تصبح هذه التقنيات مكتملة وقابلة للنجاح. طبعا، سيمر وقت طويل حتى تتبنى الدول النامية نظام احتجاز الكربون وتخزينه، ولكن بحلول 2050 ستكون نصف أعمال احتجاز الكربون مطبقة في هذه الدول، خاصة في الصين والهند (وكالة الطاقة العالمية 2004).

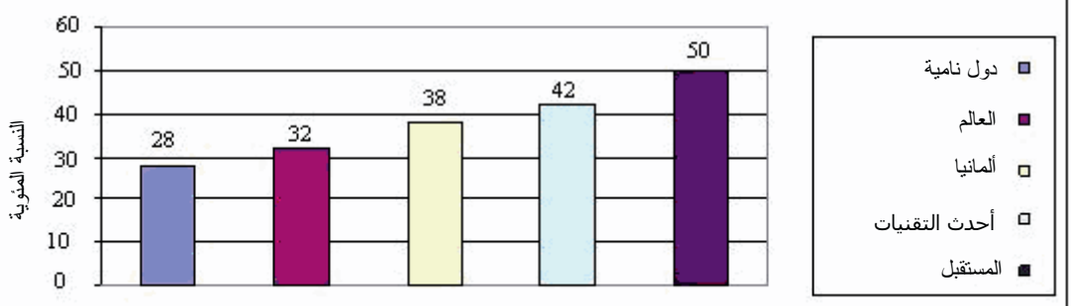
**الاستخلاص المعزز للنفط والغاز:** سيكون تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه لتخفيف آثار المتغيرات المناخية أسهل للدول التي تنتج النفط والغاز. إذ يمكن لهذه الدول تقليص حجم انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال احتجازه وحقنه في بعض حقول النفط والغاز، وهذا من شأنه أن يزيد إنتاجية الآبار والربحية لأن سعر ثاني أكسيد الكربون بالنسبة للاستخلاص المعزز للنفط قد يصل إلى مستوى 40- 200 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون. أضف إلى ذلك، أن عملية حقن ثاني أكسيد الكربون قد تطلق الغاز خلال عملية الاستخلاص المعزز للغاز المستخدم داخل المنازل، الغاز الطبيعي، أو من الغاز الطبيعي المسيّل أو خلال عملية تكرير الغاز وتحويله إلى هايدروكربونات. في الوقت الراهن، تسهم عملية الاستخلاص المعزز للنفط في 4% أو ما يوازي 160 مليون طن معادل من الإنتاج العالمي من النفط، 7% منها أو ما يساوي 11 مليون طن من النفط يأتي من خلال حقن ثاني أكسيد الكربون (بشكل أكبر في الولايات المتحدة) (زهرة الخطيب).

سيلحظ الشرق الأوسط تطوراً إيجابياً عندما تنخفض كمية الغاز المنبعث من آبار النفط والتي تحترق في الهواء، ورغم عدم علاقة هذا بنظم احتجاز الكربون وتخزينه، إلا أنه، سيخفض من الانبعاثات الدفيئة من غاز الميثان. كما يتوقع إزدياد عمليات توليد الطاقة من مولدات تعمل بالوقود الأحفوري خلال الفترة الزمنية من 2004- 2030 بنسبة 150%، بينما ستزداد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 108% فقط. يعكس هذا الاختلاف التوقعات حول الدور المتنامي الذي سيلعبه حقن ثاني أكسيد الكربون. ويجري حالياً إعداد عدة دراسات جدوى في دبي وأبوظبي وقطر وليبيا حول العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون وعملية الاستخلاص المعزز للنفط والتي من المتوقع بناء محطات المحاكاة الأولى لها بحلول 2015. ويجري وضع مخطط لشبكة ثاني أكسيد الكربون على المستوى الإقليمي تغطي قطر والإمارات العربية المتحدة والسعودية والبحرين والتي ما زالت في قيد الإعداد على أن يتم تشغيلها بحلول 2020.

إن الحافز الئيسي وراء اللجوء إلى عملية الاستخلاص المعزز للنفط/الغاز بواسطة احتجاز ثاني أكسيد الكربون لا ينبع من مخاوفنا إزاء التغيرات المناخية، وإنما من محدودية الموارد. بالطبع، يجب أن لا يقلل ذلك من دور هاتين العمليتين في خفض زيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

أضف إلى ذلك يمكن لعملية الاستخلاص المعزز للنفط أو للغاز أن تساعد في بناء قدرات نظم احتجاز الكربون وتخزينه فيما يتعلق بالمهارات والبنية التحتية التي تهدف في النهاية إلى حبس ثاني أكسيد الكربون من محطات الوقود الأحفوري بكميات كبيرة ومن ثم تخزينه لمدة طويلة. إن التطور التدريجي من الاستخلاص المعزز للنفط/للغاز إلى تقنية احتجاز الكربون وتخزينه يتطلب من الدول النامية ودول أوروبا الشرقية السابقة أن تعدّ طريقة تقوم أولاً على رفع كفاءة عملية توليد الطاقة،

**الشكل 6: كفاءة محطات الطاقة العاملة بالفحم الصلب2000**
**(محطات كهرباء فقط )**
**المصدر: شتاكنيكول 2004**




وثانياً القيام بجميع التحضيرات لتطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه. ومن مصلحة المرافق الكهربائية ومنتجي الهيدروكربون أن يتولوا القيادة في عملية تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه.

**الكفاءة أولاً:** من شأن زيادة كفاءة الاحتراق وكفاءة محطات توليد الطاقة الحرارية أن تسفر عن إمكانيات في توفير الوقود وتقليل الانبعاثات الغازية والتكلفة بشكل عام. وهذا ينطبق على العالم ككل وبشكل خاص في محطات الطاقة التي تعمل بالفحم في الدول النامية حيث يشكل الفحم فيها ما نسبته 36% والنفط 15% والغاز الطبيعي 21% من قدرات التوليد المركبة(2004)

في الوقت الراهن، تبلغ نسبة كفاءة جيل محطات توليد الطاقة المعتمدة على الفحم في الدول النامية ربما 28% في أفضل الأحوال (تم تسجيل معدلات أدنى من ذلك)، بيد أن كفاءة المحطات الأكثر تقنية تبلغ بين 42-45% (الشكل 6). إن رفع كفاءة محطات توليد الطاقة في الدول النامية إلى مستوى المحطات المتمتعة بأفضل ما جاء به العلم خلال العقدين أو الثلاثة القادمين من شأنه أن يسهم في تخفيض انبعاث ثاني أكسيد الكربون بشكل خاص من محطات التوليد المعتمدة على الفحم ربما بنسبة 40-45% (مع الأخذ بعين الاعتبار خسائر تحويل احتجاز الكربون وتخزينه) ويأتي هذا كمساهمة هامة للتخفيف من آثار المتغيرات المناخية، وهو وفي الواقع، الخيار الأكثر فعالية بالقياس إلى التكلفة والأكثر تخفيفاً للطلب.

**الخطوات التالية لنظم احتجاز الكربون وتخزينه:** وفي الوقت ذاته، يتوجب على الدول النامية ودول أوروبا الشرقية السابقة، وبمساعدة قوية من الدول المتقدمة والمجموعة الدولية التي تستخدم نظم احتجاز الكربون وتخزينه[6]، أن تهيئ نفسها لتبني خيارات نظم احتجاز الكربون وتخزينه من خلال:

- بناء قاعدة معلومات وتكنولوجيا لتكون أساساً لنقل التكنولوجيا إليها
- الانضمام إلى الشبكات والشراكات الدولية الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه
- تأسيس صندوق دولي جديد للتقنية النظيفة
- تكوين تحالفات إقليمية وأبحاث للطاقة وصناديق استثمار
- البحث عن المساعدات المالية لغرض:
  - إجراء الأبحاث والتطوير ونماذج المحاكاة الخاصة بالطاقة وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه
  - إجراء دراسات على مفهوم التقنية التطبيقية لاحتجاز الكربون وتخزينه لصالح الدول النامية
  - تخفيض تكلفة الكهرباء النظيفة للدول الأكثر فقراً بهدف تقليل جاذبية المصادر "الأقل نظافة" مثل روث الحيوانات لهذه الدول.
- تصميم نظم ومحطات طاقة جديدة لتسهيل عملية تزويد هذه المحطات بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه (الاحتجاز الجاهز)
- وضع خريطة للطاقة الاستيعابية للمخازن الجوفية
- المشاركة في في ترخيص وتصنيع مكونات قليلة الكلفة لمعدات نظم احتجاز الكربون وتخزينه
- دراسة إمكانية قيام مشاريع مشتركة لتنفيذ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

---

[6] - نود التذكير (راجع المقدمة) بأن لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف في مجلس الطاقة العالمي قد عقدت ورش عمل في كل من كولومبو والأردن، وتدرس الآن عقد ورشة عمل في أفريقيا.

- تشجيع آليات التنمية النظيفة، والبنك الدولي للتعمير والتنمية ومرفق البيئة العالمي من أجل تمويل الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه ومقايضة الانبعاثات
- حماية الملكية الفكرية والأسرار التجارية وذلك بتوقيع اتفاقيات المحافظة على السرية
- إجراء دراسات حول ردود الفعل العامة تجاه نظم احتجاز الكربون وتخزينه ومعالجته مواطن القلق الخاصة بوجود تقنيات مختلفة لعزل الكربون والاستخدامات البديلة للتخزين الجوفي (تخزين الغاز الطبيعي...الخ) وخطورة تسرب ثاني أكسيد الكربون من مواقع التخزين الجوفية، وتوفر القوانين واللوائح لحماية الصحة والأمان.
- التأكيد على القدرة الكامنة في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه كخيار مهم إلى جانب خيارات أخرى للتنمية الاقتصادية وتقليص الافتقار للطاقة. الرسالة: المطلوب هو عالم قليل بالكربون أو بشكل أفضل "عالم تقل فيه الانبعاثات الغازية. "وليس عالم بوقود أحفوري قليل".

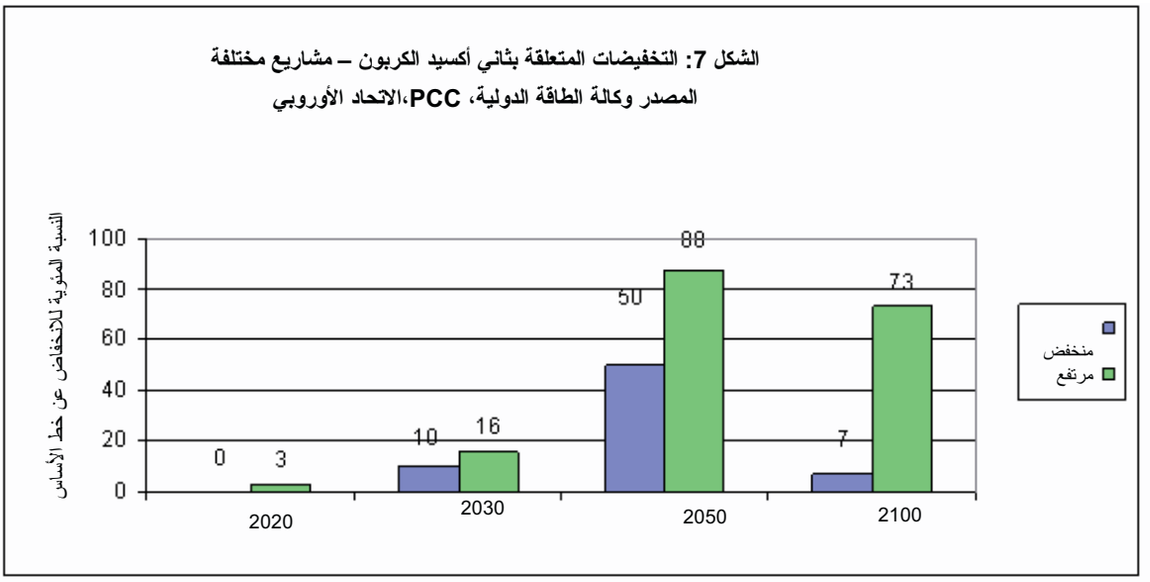
قراءات أخرى :حلقة عمل في ايريس: باربرا ماكي هشام الخطيب. ف.زانكان، هلال رضا، ريتشارد ولسون، إيلينا نيجائين: ورشة عمل في تالين: أنيتا كفيسكو، ك.بريندلو: مصادر أخرى: مجلس الطاقة الدولي: تنمية الطاقة الدولية المستدامة – مسألة الفحم، لندن 2004، صفحة 8، وكالة الطاقة الدولة: مجلة الطاقة الدولية 2006، صفحة 81، زهرة الخطيب: فرص تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا: دور مجلس الطاقة العالمي في تسريع تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وتنفيذها محاضرة في اجتماع لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي المنعقد في لندن في 2006/12/12، جورج روزنباور في مجلس الطاقة العالمي: كتاب الطاقة العالمي. الإصدار 3، وكالة الطاقة الدولية، مجلة الطاقة الدولية 2006، صفحة 513.

## 6. وجهات نظر

**التوليف:** تشير توقعات السياسات الراهنة (والسيناريوهات البديلة) إلى أن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ستلعب دوراً عالمياً بارزاً في المسائل المتعلقة بالمناخ بعد عام 2020. ويعتمد دخول هذه التقنية إلى الأسواق على محاكاة التكنولوجيا بشكل مناسب، وعلى تجاوز سعر الكربون (أو الحوافز) لتكلفة نظم احتجاز الكربون وتخزينه، وعلى تكلفة الخيارات الأخرى لتخفيف آثار المتغيرات المناخية. تقدر المقارنات الحالية هذه الأسعار من 25-30 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون أو (19-23 يورو لكل طن) وهذا يقتضي تخفيض كلفة نظم احتجاز الكربون وتخزينه إلى النصف. كلما ازداد الفرق بين نظم احتجاز الكربون وتخزينه وأسعار الكربون، كلما ازدادت أهمية الدور الذي تلعبه هذه النظم. وعندها يصبح أقصى تأثير لها بحلول 2050 حوالي 50% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الطاقة العالمية (وكالة الطاقة الدولية 2004). هذا أدنى هدف للإتحاد الأوروبي. ويمكن تحقيق أكثر من ذلك بالنسبة لمحطات توليد الطاقة العاملة بالفحم (92% من دول الاتحاد الأوروبي) (الشكل 7). إن تخفيض 50% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من شأنه أن يؤدي إلى تثبيت كمية هذه الانبعاثات الصادرة عن توليد الطاقة على المستوى العالمي، وفي مرحلة لاحقة، تخفيض تركيز ثاني أكسيد الكربون، وبذلك تستقر زيادة درجة حرارة الأرض عند درجتين مئويتين. ومهما كانت أهمية هذا التخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، يجب ألا تغفل الإجراءات التي تتخذها دول العالم لتخفيف آثار المتغيرات المناخية عن انبعاثات الغازات الدفيئة وخاصة غاز الميثان، كما يجب أن تكون هناك محفظة من إجراءات متعددة لتخفيف الآثار المناخية والتي يُعدّ احتجاز الكربون وتخزينه عنصرا هاما فيها – ولكنه ليس كافياً بمفرده.

**الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ** : تقدر الحسابات النموذجية أن إمكانيات الخفض المتراكم الاقتصادي لاحتجاز الكربون وتخزينه بين عامي 2000- 2100 تبلغ بين 220- 2200 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون مقارنة بمجمل الانبعاثات البالغ مقدارها 3000 جيجا طن. يعكس مدى التخفيض (70% - 73%) الاختلاف في صرامة السياسات المزعومة لتخفيف آثار المتغيرات المناخية، حيث يشكل خفضا بمقدار 50% بحلول 2050هدفا بعيد المدى لتلك السياسات. أما التقديرات الأكثر ارتفاعا، فتقضي بتثبيت تركيز ثاني أكسيد الكربون عند حدود 450 جزء بالمليون. تقترح الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بأن تطبيق نظم احتجاز الكربون وتخزينه ستبدأ حثيثاً عندما يصل سعر ثاني أكسيد الكربون إلى ما يقارب 25- 30 دولار أمريكي لكل طن. وفي معظم هذه السيناريوهات، يزداد دور نظم احتجاز الكربون وتخزينه مع مرور الوقت.

**الشكل 7: التخفيضات المتعلقة بثاني أكسيد الكربون – مشاريع مختلفة**
**المصدر وكالة الطاقة الدولية، PCC،الاتحاد الأوروبي**




الشكل 7: التفسيرات والمصادر: 2020 : تشير إلى منطقة دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية = العالم، تقرير خاص بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، حول احتجاز الكربون وتخزينه 2005، صفحة 358، 2030 و 2050، منخفض: تخفيض الانبعاثات الصادرة عن مصادر توليد الطاقة على المستوى العالمي ومقارنتها بنفس خط أساس التقييم بدون وجود نظم احتجاز الكربون وتخزينه (وكالة الطاقة الدولية، مجلس الطاقة العالمي، 2006، صفحة 288 ووكالة الطاقة الدولية 2004 صفحة 101) 2030 و 2050، مرتفع: تخفيض الانبعاثات من محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم مقارنة بعام 2005 (توليد الطاقة الأوروبية المستدامة من الوقود الأحفوري، مركز بيئة الفضاء 2006، صفحة 71): 2100: متوسط 2000-2100 تخفيض الانبعاثات من توليد الطاقة عالميا مقارنة بخط أساس التقييم بدون نظم احتجاز الكربون وتخزينه (2005 مجموعة الخبراء الحكوميين – صفحة 350، 354).

وتصبح نظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه خياراً منخفض التكلفة ويكون مسؤولاً عن من 15-85% من استراتيجية تخفيف الغازات المنبعثة بالحد الأدنى من التكلفة. ومن المتوقع أن يخفض احتجاز الكربون وتخزينه من تكلفة تثبيت تركيز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 30% أو أكثر (انظر أيضاً الشكل 3، الجدول 1).

**وكالة الطاقة الدولية**: لا تتوقع وكالة الطاقة الدولية أن تسهم نظم احتجاز الكربون وتخزينه بشكل كبير في سيناريوهات المرجعية والبديلة التي أعدتها لعام 2030. وحتى في "سيناريو ما وراء السياسة البديلة" الأكثر صرامة الذي أعدته وكالة الطاقة الدولية، تدرس الوكالة الشروط التي يتسنى لنظم احتجازالكربون وتخزينه من الإسهام في تقليل كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية في عام 2030 (26.1 جيجا طن) إلى المستوى الذي كان عليه في عام 2004. وفي هذه الحالة تستطيع وكالة الطاقة الدولية أن تعزو لنظم احتجاز الكربون وتخزينه (دون أن نذكر فوائد تحسين كفاءة المحطات التي ستؤدي بدورها إلى انخفاض كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة) إمكانية توفير في عملية توليد الطاقة تبلغ 2 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون أو 11% من كمية الانبعاثات من محطات التدفئة والطاقة العالمية (وكالة الطاقة الدولية 2006). بيد أن ذلك يستثني جيجا طن واحدا نظراً لتحسين الكفاءة في محطات توليد الطاقة. وفي مجال الصناعة، يتوقع "سيناريو ما وراء السياسة البديلة" تخفيضاً يبلغ جيجا طن واحدا بسبب عوائد كفاءة نظم احتجاز الكربون وتخزينه. وبما أنه سيتم تطبيق نظم احتجاز الكربون فقط في المرافق ذات الكفاءة العالية، فإنه يمكن تقدير التأثير المزدوج لعوائد الكفاءة ونظم احتجاز الكربون وتخزينه في محطات الطاقة وفي المجالات الصناعية بتخفيض الانبعاث بحوالي 4 جيجا طن في عام 2030 أو 10% من مجمل الانبعاثات العالمية من مصادر الطاقة مقارنة بالسيناريوهات البديلة والمرجعية (وكالة الطاقة الدولية 2006).

يمكن أن يكون التخفيض في عام 2030 بما يعادل 4.6 جيجا طن أو 18% من "سيناريو ما وراء السياسة البديلة" في حال فرض غرامات على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو فرض سعر سوقي يبلغ 50 دولار لكل طن ثاني أكسيد الكربون. وبهذا الافتراض ومقارنة بالسيناريو حيث لا يتم فرض غرامة، تستطيع نظم احتجاز الكربون وتخزينه تخفيض نسبة الانبعاث في عام 2050 بواقع 27-33 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون أي تخفيض نسبة 50% من النسبة التي كانت عليها في عام 2000 وبهذا نكون قد ثبتنا الانبعاثات الغازية وتركيزها 550 جزء من المليون أي بمثابة أقصى ما يكن الحصول عليه من نظم احتجاز الكربون وتخزينه بخصوص الانبعاثات العالمية من محطات الطاقة (وكالة الطاقة العالمية 2004) وستكون نسبة الانخفاض هذه أعلى في النظم التي تستخدم الفحم (الشكل 7).

**المفوضية الأوروبية :** لو أنه جرى تطبيق السياسات المساندة لنظم احتجاز الكربون وتخزينه في دول الاتحاد الأوروبي، لكان بالإمكان استخدام هذه النظم بشكل منهجي في محطات جديدة تعمل بالفحم ومحطات يتم تعديلها لتعمل بالفحم وذلك بحلول عام 2020. وبحلول عام 2030 ستعتمد 25% من إمكانات توليد الطاقة الناشئة عن استخدام الفحم على نظم احتجاز الكربون وتخزينه، وسينتج عن ذلك تقليص لحجم انبعاث ثاني أكسيد الكربون من محطات التوليد العاملة بالفحم بنسبة 16% مقارنة بعام 2005. وبحلول 2050، سيتم دعم 100% من المحطات العاملة بالفحم بنظم احتجاز الكربون وتخزينه مما سيؤدي إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 88%. وتهدف سياسات الاتحاد الأوروبي إلى الحد من زيادة الاحتباس الحراري ليصبح أقصاه 2 درجة مئوية، وهذا يقتضي تقليل الغازات الدفيئة في عام 2050 بما يعادل 60-80% في الدول المتقدمة مقارنة بعام 1990(المفوضية الأوروبية).

لمزيد من القراءة: تقرير خاص لمجموعة الخبراء الحكوميين – تم ذكره في الصفحة www.ipcc.ch354 المعهد الدولي للفحم نشرة أخبارية، أكتوبر 2005، الوكالة الدولية للطاقة الدولية 2006، صفحة 258 والملحق ، ص. 493، وكالة الطاقة الدولية في مجالات احتجاز الكربون وتخزينه، باريس 2004، صفحة 101، 108، 120، مصادر أخرى: بوراكول: الحوار الثالث حول الفحم - روكسل، 18 أكتوبر 2006، ورقة عمل مقدمة من قبل أيونيس جالانيس (السوق الأوروبية، لجنة الطاقة والنقل) وعنوانها: الاتصالات حول الفحم المستدام: تقييم التأثيرات ومخطط هذه الاتصالات، صفحة 12 و صفحة 71، حول مقايضة الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي:
: http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm

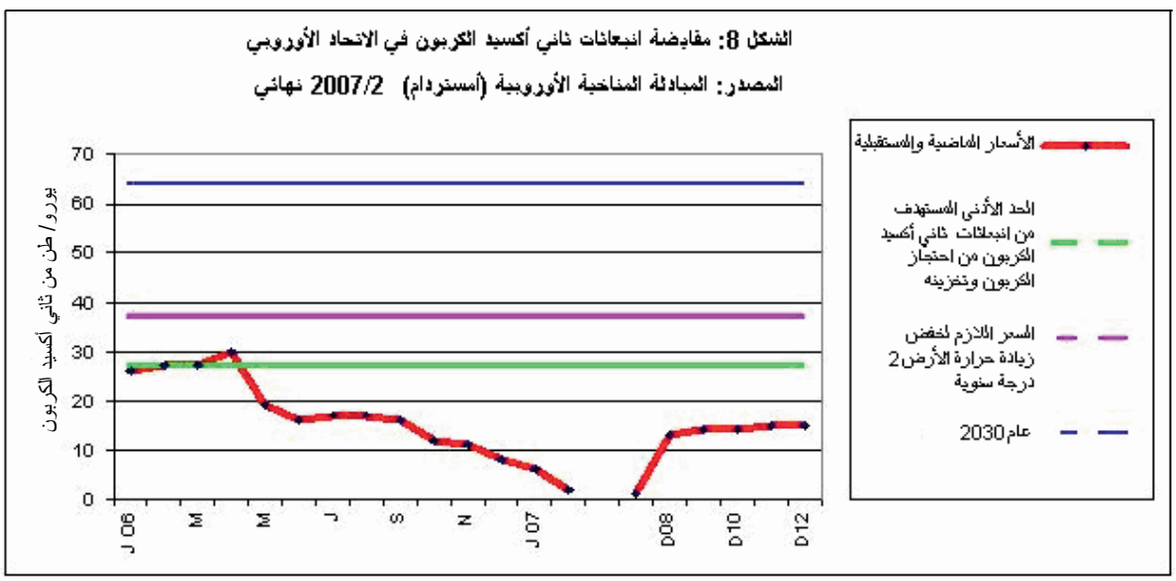
## 7. السياسات

يمكن مساندة استخدام تقنية احتجاز الكربون و تخزينه بدرجة كبيرة من خلال تطبيق سياسات إيجابية و غير تمييزية.

**السياسات المناخية :** سيعتمد تنفيذ تقنية احتجاز الكربون و تخزينه في النهاية على الإجماع العام بشأن الضرورة الملحّة لسياسات حماية المناخ. ورغم وجود بعض الاتفاق على مبادئ العمل العلاجي ( تعزيز كفاءة الطاقة و الترويج لمصادر الطاقة غير الكربونية واستبدال الوقود)، إلا إنّ وجهات النظر تختلف بشأن الإطار الزمني والإجراءات والوسائل المؤسسية ( الحوافز و الغرامات)

تنعكس هذه الشكوك حول نطاق سياسات التحكم بالمناخ وضرورتها الملحّة و توقيتها ومساندتها المؤسسية، في الإنخفاض الذي طرأ مؤخراً على سعر طن ثاني أكسيد الكربون في سوق مقايضة الانبعاثات بالاتحاد الأوروبي ( الشكل 8). و لابد من تقليل هذه الشكوك من أجل تشجيع المستثمرين.

و في هذه المرحلة المبكرة من تطور تقنية احتجاز الكربون و تخزينه، يجب أن تتركز السياسات على التطوير الفني أكثر من تركيزها على التدخل في خيارات الأسواق و العملاء.
لا تتوازن السياسات المناخية الحالية بشكل كاف في ناحيتين اثنتين، من ناحية أولى، تركز هذه السياسات على ثاني أكسيد الكربون، بينما لم يساهم ثاني أكسيد الكربون في الواقع بين عامي 1980-1990 سوى بنسبة 55% فقط من التأثير الإشعاعي الناجم عن بقاء الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي. أما الجانب الثاني فهو التركيز على توليد الطاقة، ولكن توليد الطاقة لا يسبّب سوى 29% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم و 41 % من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة في العالم (20% من وسائل النقل و 18% من الصناعة و 13% من القطاع السكني والخدمات السكانية و 8% من قطاعات أخرى). و يجب إصلاح هذا الخلل من خلال النظر إلى جميع الغازات الدفيئة وجميع القطاعات المستهلكة للطاقة وأخذها في الاعتبار من أجل تجنب التشويه في العلاقات البينية الوقودية والقطاعية.



**الشكل 8: مقايضة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الاتحاد الأوروبي**
**المصدر: المبادلة المناخية الأوروبية (أمستردام) 2007/2 نهائي**

وعلاوةً على ذلك، لا يأخذ التركيز على الانبعاثات في مرحلة توليد الكهرباء في الحسبان سوى جزء من الانبعاثات الإجمالية، حيث يتجاهل الانبعاثات السابقة و اللاحقة لتلك المرحلة. ولا بّد من إجراء تحليل شامل لدورة الانبعاثات من أجل تحديد التأثير العالمي لكلّ مشروع من مشاريع الطاقة. وإذا ما تم إجراء هذا التحليل الشامل وأخذنا الغازات الدفيئة الأخرى في الحسبان، ستبيّن النتائج أن توليد الكهرباء من الفحم أو الغاز أو النفط يصدر مستويات مماثلة لانبعاثات الغازات الدفيئة. و تعتبر الزيادة المتوقعة لهذه الانبعاثات الدفيئة من الفحم بين عامي 2001 و 2025 بمقدار 1.1 مليار طن من معادل الكربون، وهي أقل من الزيادة المتوقعة بالنسبة للغاز الطبيعي (1.3 مليار طن) و بالنسبة للنفط (1.5 مليار طن ).

- يجب ضم خيار احتجاز الكربون و تخزينه إلى سياسات الطاقة وخطط مقايضة الانبعاثات و موازيين الطاقة و سيناريوهاتها ونماذجها من أجل تجنب التحيّز ضد استخدام الوقود الأحفوري النظيف. ويجب أن يشكّل احتجاز الكربون و تخزينه جزءاً من محفظة التكنولوجيا والإستراتيجيات. ومن المعروف أنّه من الصعب في هذه المرحلة تحديد مدى إمكانية دخوله في السوق وخفض الانبعاثات، كما أنّه من الصعب تحديد مدى مساهمة خيارات التخفيف من الانبعاثات الأخرى.

- يخلق التعاون المؤسسي على نطاق واسع بين جميع أصحاب العلاقة ( الحكومة والقطاع الاقتصادي وعامة الناس) تفاهماً وثقة متبادلة، مما يعزز الحلول.

- يجب أن تستغل اقتصاديات الدول النامية ودول أوروبا الشرقية السابقة الإمكانيات الهائلة لتقنية الاحتراق المتطورة و كفاءة المحطات المتزايدة كخيار أول .

على المستوى العالمي، يجب أن تكون هذه الاقتصاديات جزءاً من شبكات يتم إنشاؤها بهدف تطوير تقنية احتجاز الكربون و تخزينه، والترويج لصلاحية مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه لأن تكون آليات للتنمية النظيفة، و تمويل مرفق البيئة العالمي. أما على المستوى الوطني، فيجب تطّوير القدرات البشرية و الفنية من أجل أن تكون قادرة على التعامل مع تقنية احتجاز الكربون و تخزينه، وأن تأخذ في الاعتبار الإجراءات الانتقالية كتصميم المحطات الذي يتيح تزويد هذه المحطات بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه فيما بعد (انظر إلى الفصل الخامس).

يجب كسب ثقة الناس و مساندتهم والمحافظة عليها، ويجب الاهتمام بمخاوف الناس من حدوث تسرب من خزانات ثاني أكسيد الكربون وغيرها من المسائل التي تقلقهم. و يجب أيضاً إدراك فوائد تقنية احتجاز الكربون و تخزينه من حيث التخفيف من آثار المتغيرات المناخية والسماح للوقود الأحفوري بتسهيل المزيد من التنمية الاقتصادية والتقليل من الافتقار للطاقة. و أظهر استبيان الاتحاد الأوروبي حول قبول الناس لتقنية احتجاز الكربون و تخزينه أنّه حتى الآن لم يسمع بهذه التقنية سوى أقل من 10% من سكان أوروبا، منهم 13% فقط أعطوا رأياً إيجابياً حولها، وارتفعت هذه النسبة إلى 55% بعد شرح الفكرة (الجمعية الأوروبية للفحم و الليجنيت، من العمل المذكور).

**سياسات الطاقة:** في المنظور المتوازن لكافة أشكال الطاقة، يجب اعتبار الوقود الأحفوري بمثابة المحرك الرئيسي للتنمية الاقتصادية على مدى العقود القادمة من الزمن، كما يجب إدراك إمكانيات نظم الوقود الأحفوري الأنظف، كما يجب عدم النظر إلى أيّ مصدر للطاقة بإعجاب مفرط أو كراهية مفرطة، فسنكون بحاجةٍ لجميع هذه المصادر. وهذا يقتضي منا التعامل مع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على قدم المساواة مع خيارات التخفيف من آثار الانبعاثات الأخرى (حسب ما سبق ذكره في آليات التنمية النظيفة ومقايضة الانبعاثات و تمويل مرفق البيئة العالمي).

**سياسات تقنية احتجاز الكربون و تخزينه:** إنّ التأخّر المتأصّل في استخدام التقنيات الحديثة كأجزاء من نظم الطاقة يستدعي التحديد المبكر لدور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، ويجب أن تغطي الخطط المتعلقة بهذه التقنية النظام بأكمله، أي الانبعاثات والانخفاضات والمقايضة. و يجب أن تحقق سياسات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه التوازن بين المصالح العامة و الخاصة في السلامة والصحة والاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية وإمكانية تحقيق الأرباح من عمليات احتجاز الكربون وتخزينه.

- يجب أن تتسم سياسات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بقدرتها على كسب الثقة الاستثمارية بمشاريع هذه التقنية، وإمكانية التنبؤ بها، والشفافية وانخفاض التكلفة، بالإضافة إلى تمكن قوى السوق من الانفتاح. ومن الضروري توفير المرونة في تنفيذ هذه التقنية ولكن ضمن إطار محدد، حيث تعتمد مشاريع احتجاز الكربون و تخزينه على المواقع التي تقام فيها.

- يجب أن تكون سياسة تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ذات نهاية مفتوحة، و أن تتجنب الاختيار المبكر "للفائزين"، وأن تكون ذات توجه طويل الأمد، بما في ذلك نحو تطوير اقتصاد الهيدروجين.

- يجب أن تأخذ السياسات واللوائح التنظيمية في الاعتبار دورة الحياة الكاملة لاستثمارات احتجاز الكربون وتخزينه التي تشمل:
  - تقييم مشاريع احتجاز الكربون و تخزينه و اعتمادها
  - حقوق الحصول والملكية (ملكية ثاني أكسيد الكربون)
  - تشغيل منشآت احتجاز الكربون وتخزينه
  - المسائل المتعلقة بالنقل، بما فيها النقل عبر الحدود
  - مراقبة التخزين والتحقق منه
  - تفكيك المنشآت
  - المشاركة في المسؤوليات بعد تفكيك المنشآت

- يجب أن يتم تبادل أفضل الممارسات على مستوى العالم.

- يجب إعادة النظر في إمكانية تطبيق الإتفاقيات التجارية البحرية على تخزين ثاني أكسيد الكربون وغيرها من الجوانب القانونية

- في ضوء التغيرات الطارئة، يجب إعادة النظر في المصاريف العامة لأبحاث الطاقة وتطويرها وتجريبها، والتي تم تخفيضها إلى النصف فى الدول الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية خلال السنوات القليلة الماضية.

نظراً لأهمية الوقود الأحفوري بالنسبة للتنمية والبيئة، يجب العمل على تسريع إجراء البحوث والتطوير ونماذج المحاكاة في مجال نظم الوقود الأحفوري الأنظف، وخصوصاً تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، وتنسيق هذه الأعمال على مستوى العالم.

- إدراك دور كلّ من منتدى قيادة عزل الكربون ووكالة الطاقة الدولية ومجلس الطاقة العالمي.
- يجب أن تستكشف الدراسات التجريبية التصميم "الجاهز للاحتجاز" للمحطات التقليدية.
- إذا تبيّن في المرحلة الأولى للاستخدام أنّ قيمة الكربون، وبالتالي القيمة التجارية لمشاريع أو مكوّنات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، غير كافية، عندئذٍ يجب النظر في الحوافز (كحوافز الشركات الناشئة المنافسة ومعدلات الاستهلاك الأسرع وغيرها).
- تتطلب المقارنة العادلة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في قوائم انبعاثات الغازات الدفيئة إحصائياتٍ موحدة.

لمزيد من الإطلاع :ورشة عمل في إيريس: ستيف تانتالا، آرثر لي: جاك بودكانسكي، ديفيد هوكينز، إيلينا نينجاييف، كلاوس لاكنر، ورشة عمل في نيبتون: بيتر مالكن مصادر أخرى: الجوانب القانونية لتخزين ثاني أكسيد الكربون حسب وكالة الطاقة الدولية: باريس 2005، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ: المتغيرات المناخية – التقييم العلمي لمجموعة الخبراء الحكوميين، 1990، الشكل 7، موقف وكالة الطاقة الدولية بالنسبة للطاقة في العالم 2004، الجدول 2-3، موقف وكالة الطاقة الدولية بالنسبة للطاقة في العالم 2006، الجمعية الأوروبية للفحم والليجنيت، من العمل المذكور، تحديد المفوضية الأوروبية المتغيرات المناخية في العالم بدرجتين مئويتين، كوم (2007) 2 نهائية، نيكولاس ستيرن، مراجعة ستيرن لاقتصاديات المتغيرات المناخية www.hm-treasury.gov.uk

## 8. القوانين واللوائح التنظيمية

يرتبط التطبيق الملائم لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى العالم بالأطر القانونية والتنظيمية المحلية الإيجابية، وتحديث الاتفاقيات والمعاهدات الدولية، والترتيبات التعاقدية (الخاصة) الموثوقة، والتكافؤ في استخدام هذه التقنيات.

ثمّة حلول تظهر في الدول المتقدمة والمنتجة للهيدروكربون، إلا أنها لا تتعدّى كونها حلولاً جزئية ومتناقضة. وتسعى هذه الحلول لتحقيق التوازن بين الأهداف الخاصة والمجتمعية، وآليات السوق وتدخلات السياسة، وتجنب المخاطر وإدارتها، والسيادة الوطنية والتقارب الدولي. ويتم التركيز حالياً على تمكين فهم مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وقبولها، وخصوصاً المشاريع التي تتمتع بميزة إضافية وهي استخلاص الهيدروكربون المعزز.

المناقشات الحالية:

- إدراك دور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، والنظر في تكييف الاتفاقيات والأطر القانونية المحلية والدولية (إزالة عوائق التقنيات والتكاليف، واتخاذ إجراءات مسبقة)؛
- الاهتمام بالمخاوف على المدى الأبعد (التخزين، ملكية المواقع وثاني أكسيد الكربون بعد التشغيل، والمسؤولية عن التسرّب)؛
- الاهتمام بحماية الملكية الفكرية،
- دراسة التكافؤ في المعاملة بين مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وخيارات التخفيف من آثار الانبعاثات الأخرى فيما يتعلق بمقايضة الانبعاثات وآليات التنمية النظيفة والتنفيذ والتمويل المشترك لمرفق البيئة العالمي؛
- تشجيع خلق الظروف الملائمة لاستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (لاحقاً) في الدول النامية؛و
- تعزيز القبول الاجتماعي لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

بحلول عام 2008، يجب أن تكون المسائل قد توضّحت تماماً، حيث كلّفت قمة الثمانية الكبار (غلين إيجلز 2005) وكالة الطاقة الدولية ومنتدى قيادة عزل الكربون بتقديم التوصيات إلى قمة الثمانية الكبار التي ستعقد في اليابان في عام 2008، وبشكل عام، يبدو هذا التوقيت والتركيز للجهود ملائماً للرزنامة الأبعد مدىً لإطلاق محطات الطاقة الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه لفترات طويلة. وفي جميع الأحوال، لا بدّ من الربط بين التقدّم الفني في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه والتقدّم في مجال القوانين واللوائح التنظيمية الخاصة بهذه التقنية.

**تكييف الأطر القانونية والتنظيمية المحلية:** قامت بعض الدول التي يُرجّح أن تستخدم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه قريباً بإعداد أفضل الأنظمة القانونية والتنظيمية للصناعات الهيدروكربونية والمعدنية، ولحماية البيئة والتخلص من النفايات. وقد لا تضطر هذه الدول إلى إجراء تغيير جوهري في هذه الأنظمة ليتم تطبيقها على مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. ويمكن للدول الأخرى التي لا تملك مثل هذه الأنظمة القانونية والتنظيمية أن تستفيد من التجارب المنّفذة في أماكن أخرى.

يوجد هدفان اثنان لكل واحدة من هذه اللوائح هما: حماية الناس من ناحية المخاطر التي تهدّد الصحة والسلامة والمخاطر المالية والبيئية المرتبطة باحتجاز الكربون وتخزينه، وفي نفس الوقت تمكين تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه كجزء من مجموعة وسائل تخفيف المتغيرات المناخية. وتشمل هذه المسائل ما يلي:

- تعريف ثاني أكسيد الكربون كسلعة صناعية (تستخدم في الاستخلاص المعزز للنفط/الغاز) أو كمادة يتم تخزينها بصورة دائمة. ويحدّد ذلك نوع ونطاق اللوائح التي تحكم عمليات حقن ثاني أكسيد الكربون؛
- وضع معايير لاختيار مواقع الحقن والتخزين واستخدامها، وخصوصاً تقييم خطر التسرّب وإدارة المخاطر المتعلقة به. ويجب أن يتم جمع البيانات ومراقبتها والتحقق منها بدقة كافية وفق المعايير الدولية لقوائم البيانات.
- ترخيص نشاطات الحقن والتخزين ومواقعه؛
- ملكية مواقع الحقن والتخزين في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه والدخول إلى هذه المواقع؛ والتحكيم في الحقوق المتضاربة بين احتجاز الكربون وتخزينه والصناعات الهيدروكربونية والمعدنية؛
- المسؤوليات القانونية والمالية خلال فترة تنفيذ المشروع وبعد انتهائه وتفكيكه؛ وملكية ثاني أكسيد الكربون ومواقع التخزين والمسؤولية بعد انتهاء المشروع؛و
- تنظيم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود الدولية أو المحلية أو البحر وتخزينه.

تظهر حالياً أطر قانونية وطنية دائمة في دولٍ مثل أستراليا وكندا وهولندا والنرويج والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية للاهتمام بالمسائل ذات الصلة المباشرة، ويبدو أنّ الأولوية التالية أيضاً من وجهة نظر القبول العام هي مراقبة تدفقات ثاني أكسيد الكربون وتحديد المسؤوليات بعد إغلاق موقع التخزين. وقد تفيد النماذج المطبّقة على مواد أخرى يتم حقنها في التكوينات الجيولوجية كأمثلة على ذلك، وقد تضطر الحكومات على المدى البعيد لتحمّل مسؤولية التخزين لفترات طويلة.

**مراجعة الاتفاقيات والمعاهدات الدولية:** تخضع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه للقانون الدولي عندما تعبر الحدود أو يتم تنفيذها في المياه الدولية. وينص القانون الدولي أن تتجنب هذه المشاريع إلحاق الضرر بالبيئة عبر الحدود، وأن تحمي البيئة البحرية. وقد تمّ تحديد هذه الالتزامات في عدد من الوثائق الدولية العالمية والإقليمية والملزمة قانونياً، والتي وضعت قبل أن تصبح تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من خيارات تخفيف الأضرار البيئية والمناخية.

- اتفاقية الأمم المتحدة حول قانون البحار في عام 1982، والتي لا تنظم أو تحظر بشكل محدّد نشاطات احتجاز الكربون وتخزينه، إلا أنها تدعو الدول إلى حماية البيئة البحرية من النشاطات البشرية كالتخلص من النفايات؛
- تحظر اتفاقية لندن لمنع التلوث البحري الناتج عن إلقاء النفايات وغيرها من المواد في عام 1972، إلقاء النفايات في البحر؛
- يسمح بروتوكول لندن الملحق بالاتفاقية المذكورة أعلاه في عام 1996، بحقن تدفقات ثاني أكسيد الكربون الناتجة من عمليات احتجازه وحقن المواد الثانوية المرافقة في التكوينات الجيولوجية تحت قاع البحر؛ اعتباراً من 10 فبراير 2007
- اتفاقية بازل حول التحكم بنقل النفايات الخطرة عبر الحدود في عام 1989، والتي يمكن تطبيقها إذا احتوى ثاني أكسيد الكربون على مواد سامة؛
- اتفاقية إطار الأمم المتحدة حول المتغيرات المناخية في عام 1994، والتي يمكن بموجبها اعتبار احتجاز الكربون وتخزينه كخيارٍ لتخفيف آثار المتغيرات المناخية؛

- يستثني بروتوكول كيوتو لعام 2005، تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من آليات التنمية النظيفة؛ و
- المعاهدات والاتفاقيات الإقليمية لحماية البيئة البحرية في شمال شرق المحيط الأطلسي (اتفاقية أوسبار) 1992؛ والبحر الأسود 1994؛ ومنطقة الكاريبي الأوسع 1983؛والبحر الأبيض المتوسط 1976؛ والخليج 1978؛ ومنطقة غرب ووسط أفريقيا 1981؛ وجنوب المحيط الهادئ 1981 و 1986؛ واتفاقية باماكو حول خطر الاستيراد إلى أفريقيا والتحكم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود وإدارتها ضمن قارة إفريقيا 1991.

في الوقت الراهن، تتم إعادة النظر في الاتفاقيات الهامة المذكورة أعلاه لتمييز عمليات حقن ثاني أكسيد الكربون عن إلقاء النفايات. وفي الثاني من نوفمبر 2006، حدّدت الدول الموقعة على بروتوكول لندن الحالات التي يمكن فيها تخزين ثاني أكسيد الكربون في التكوينات الجيولوجية تحت قاع البحر (انظر إلى ما سبق)، حيث رأت هذه الدول أنّ تحمّض (التأكسد) المحيط بسبب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتصاعدة يستدعي مجموعة من خيارات تخفيف آثار التلوث، ومنها وضع ثاني أكسيد الكربون في تشكيلات تحت قاع البحر. وقد تحفّز هذه التعديلات إعادة النظر في المعاهدات الأخرى.

**تبادل الملكية الفكرية أو حمايتها:** يرغب بعض مستثمري احتجاز الكربون وتخزينه (مثل شركة ستاتويل لمشروعي سليبنر وسنوفيت) بنشر معلوماتهم للعموم، ولكن بشكل عام لا يمكن توقع التزام مستثمري احتجاز الكربون وتخزينه بهذا الأمر إلا إذا تمت حماية حقوقهم للملكية الفكرية (وخصوصاً براءات الاختراع وأسرار المهنة). وتهدف حماية الملكية الفكرية إلى ما يلي:

- حماية ملكية الأراضي والمحطات والمعدات ومواقع التخزين وثاني أكسيد الكربون المخزّن بتقنية الاحتجاز التي تتميّز بحساسيتها، وحماية الوصول إليها، و
- تمكين نقل المعرفة والتكنولوجيا إلى الدول المستقبلة، وبناء القدرات المتعلقة بذلك.

إنّ الطريقة المفضّلة للتعامل مع هذه المسائل هي من خلال العقود الخاصة القابلة للتنفيذ، بدلاً من القوانين والأنظمة التي لا تلائم ظروفاً معيّنة، ولكنّ قانون الملكية الفكرية يجب أن يدعم مثل هذه الأحكام التعاقدية. ويمكن أن تستفيد حماية الملكية الفكرية لمحطات وعمليات احتجاز الكربون وتخزينه من البروتوكولات المعدّة جيداً في الصناعات الكيميائية والهندسية والبترولية، بينما يحتاج مزوّدو الخدمات لإعداد وسائل معيّنة لحماية الملكية الفكرية على الأرجح من خلال أسرار المهنة وليس براءات الاختراع. وفي كلتا الحالتين، يجب أن يساعد القانون على حماية الملكية الفكرية.

الجدول 2: حماية حقوق الملكية الفكرية
(المؤشر: 0 = الأداء الأضعف، 10 = الأداء الأقوى)

| | |
|---|---|
| العالم | 5.3 |
| أمريكا الشمالية | 6.4 |
| أمريكا اللاتينية | 4.0 |
| أفريقيا | 4.2 |
| الشرق الأوسط/شمال أفريقيا | 5.0 |
| أوروبا الغربية | 7.4 |
| أوروبا الشرقية والوسطى وروسيا | 4.2 |
| أستراليا ونيوزيلندا واليابان | 9.7 |
| الهند والصين والفيلبين | 6.0 |
| باكستان وكينيا وإثيوبيا | 3.7 |
| المصدر: مؤشرات حقوق الملكية الفكرية في العالم 2007 (http://internationalpropertyrightsindex.org) | |

يتضمن دور الحكومات بشكل رئيسي في إنشاء نظام وطني قوي لحماية الملكية الفكرية كشرط مسبق للاستثمارات الخاصة، وينطبق ذلك بشكل خاص على اقتصاديات الدول النامية ودول أوروبا الشرقية السابقة حيث يؤدي حالياً غياب الأطر التنظيمية الصارمة من ناحية التنفيذ والعقوبات إلى منع استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (انظر إلى الجدول 2). من شأن الجهود المتواصلة لتوحيد نظم براءات الاختراع وغيرها من أنظمة حماية الملكية الفكرية على صعيد العالم (منظمة التجارة العالمية والمنظمة العالمية للملكية الفكرية) أن تفيد لاستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، ولكنّ التقدم ربما يكون أسرع في حالة القانون المتساهل أكثر منه في حالة القانون الصارم، وعلى المستوى الإقليمي (اتفاقية منح البراءة الأوروبية). ويمكن أن تقلل المشاركة الحكومية في تمويل احتجاز الكربون وتخزينه أو مشاريعه من المخاطر التي تهدد المستثمرين، إلا أنّ هذه المشاركة تجعل ملكية هذه التقنية أو المشاريع وتنفيذها أكثر تعقيداً. ومن المفيد أيضاً توفّر القدرة على التنبؤ بشروط الترخيص أو

معاييره، ولكن بالمجمل "من غير المتوقع أن تمنع مسألة الملكية الفكرية استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أو تعرّضها للخطر" (وكالة الطاقة الدولية/منتدى قيادة احتجاز الكربون).

**ضمان فرص متكافئة لتكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه كي تتمكن من المنافسة:** نظراً لأنّ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه قد أضيفت مؤخراً إلى خيارات تخفيف المتغيرات المناخية، فهي لا تستفيد من الحوافز المقدّمة للتقنيات الأخرى قليلة الكربون، مثل مقايضة الانبعاثات (الاتحاد الأوروبي) وآليات التنمية النظيفة والتنفيذ المشترك (بروتوكول كيوتو) والتمويل من مرفق البيئة العالمي.

وقد تم إدراك التحيّز التنافسي الناجم للإساءة إلى مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. وبدأت الجهود بموجب الاتفاقيات الآنفة الذكر ضمن مرفق البيئة العالمي والهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، للنظر في إمكانية تطبيق تلك الاتفاقيات على تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وكيفية تطبيقها. والصعوبة في هذا الأمر هي أنّ مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه – بعكس خيارات التخفيف الأخرى – لا تزيل ثاني أكسيد الكربون بالكامل. يجب إعداد برامج حسابية لقياس الخفض الصافي للانبعاثات من مشروع احتجاز الكربون وتخزينه بالمقارنة مع الانبعاثات التي تحدث في غياب مثل هذا المشروع (التقييم)، ويجب أخذ الانبعاثات الناتجة عن الاستخدام الأقصى للطاقة أثناء احتجاز الكربون في الحسبان. ويجب أيضاً أن تضمن الإرشادات الدولية التكافؤ في المعاملة بين تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وغيرها من خيارات تخفيف المتغيرات المناخية للحدّ من شكوك المستثمرين تجاه المشاريع التي تستخدم هذه التقنية.

بدلاً من ذلك، يمكن للحكومات أن توفر التكافؤ في المعاملة لاستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من خلال وسائل أخرى، كالحوافز الضريبية والمنح وتمويل الأبحاث والتطوير والضمانات السيادية، أو من خلال تحمّل المسؤولية طويلة الأمد عن التسرّب بعد انتهاء المشروع. وفي جميع الأحوال يبقى تمويل استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه مسألة صعبة ومعلّقة حتى الآن، رغم توقع انخفاض تكاليف هذه التقنية مستقبلاً، فالتمويل صعبٌ خصوصاً إذا كانت أرصدة مقايضة الانبعاثات أقل من التكلفة الأعلى للتقنيات المتقدمة وإذا بقيت الحوافز وسياسات التخفيف طويلة الأمد غير محدّدة.

لمزيد من القراءة : ورشة العمل الثانية لوكالة الطاقة الدولية/منتدى قيادة احتجاز الكربون حول الجوانب القانونية لاحتجاز الكربون وتخزينه، باريس 17 أكتوبر 2006؛ هاري أودوس، مستجدات احتجاز الكربون وتخزينه: آخر التطورات؛ محاضر ألقيت خلال ورشة العمل الثانية لوكالة الطاقة الدولية/منتدى قيادة احتجاز الكربون، من العمل المذكور؛ باري وورثينغتون، تمويل تقنيات الفحم النظيف (www.usea.org)

## الخاتمة

تتيح ورشات العمل التي عقدت في إيريس وكولومبو ونيبتون وتالين وموسكو والأردن حول نظم الوقود الأحفوري الأنظف، الإدراك المرحلي للإمكانيات التي تعد بها تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

**الوضع الراهن:** يتم حالياً احتجاز أكثر من 33 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً في العالم، وهي مخزّنة في 70 مشروعاً على الأقل، وتبلغ حصة مشروع سليبنر وحده منها ما يزيد على 6 مليون طن. ويبلغ طول خطوط الأنابيب البرية المخصّصة لنقل ثاني أكسيد الكربون 3000 كيلو متر. وبعكس الاستخلاص المعزّز للنفط والغاز، لا تُعتبر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه حتى الآن وسيلة تجارية حقيقية لتوليد الكهرباء بسبب تكاليفها والسعي المتواصل لتحقيق النضج التكنولوجي. وبحلول عام 2015 أو قبل ذلك، سيكون هنالك عدد من مشاريع العرض التجريبي ، وذات تأثير محدود على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم.

**الإمكانيات**: بحلول عام 2020 تقريباً، يمكن أن تتطور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه إلى خيار هام ومنافس لإبطاء نمو أنبعاثات ثاني أكسيد الكربون وفي نفس الوقت تعزيز التنمية الاقتصادية وأمن الطاقة وجودة الهواء في العديد من الدول على مدى عقود قادمة من الزمن. ويعتمد الاستخدام التجاري لهذه التقنية على أن تتجاوز قيمة الكربون التجارية تكلفة نظم احتجاز الكربون وتخزينه، ويعتمد بشكل افتراضي على الحوافز إذا لم يتوفر ذلك الشرط أولاً.

إذا ما افترضنا أنّ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ستصل إلى أقصى إمكانياتها خلال 30- 40 سنة من الآن، فإنه يمكن لهذه التقنية أن تقلل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة في العالم بمقدار يصل إلى النصف بحلول عام 2050، بالمقارنة مع حالات العمل الاعتيادية. وإذا ما تم استخدام محطات الطاقة العاملة بالفحم إلى جانب تقنية الاحتراق المتطورة والكفاءات العالية للمحطات، عندئذٍ سيتعاظم تأثير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في تخفيف المتغيرات المناخية. وخلال الفترة الممتدة بين عامي 2000 و 2100، يمكن أن تقلل هذه التقنية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم من الناحية الاقتصادية بمقدار 220 -2200 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون، أي ما يعادل 15% -55% من جهود التخفيف ذات التكلفة الدنيا في العالم. ولذلك يمكن لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، مع غيرها من خيارات التخفيف الأخرى، أن تشكّل جسراً لتحقيق اقتصاد مستدام للطاقة ونوعية أفضل للهواء في المستقبل.

**تحذيرات للمشترين:** يعتمد الدور الهام لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه على انخفاض تكلفتها بمقدار النصف لتصل إلى حوالي 25- 30 دولار أمريكي للطن الواحد من ثاني أكسيد الكربون، ولكن حتى في هذه الحالة لا يعتبر احتجاز الكربون وتخزينه علاجاً عالمياً شاملاً رغم كونه خياراً منخفض التكلفة، فهو أولاً يقتصر على المحطات الكهربائية والصناعية الجديدة ذات القدرة والكفاءة العالية في الدول المتقدمة. من ناحية ثانية، ترتبط مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه بالمواقع التي تنفذ فيها وتعتمد على الظروف والفرص المحلية ولذلك فمن المستبعد أن تكون قابلة للتكرار بدقة. ويجب اعتبار تقنية احتجاز الكربون وتخزينه جزءاً هاماً من مجموعة إجراءات تتضمن تعزيز كفاءة إنتاج الطاقة واستخدامها والمصادر المتجددة والتقنيات النووية الحديثة.

من شأن استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أن يبطئ نمو انبعاثات أكسيد الكربون وفي النهاية يقلل منها، ولكنّ تثبيت الانبعاثات وتركيزها في مستويات مقبولة يتطلب تحقيق تقدّم في كفاءة تقنية الاحتراق، وتطوراً أسرع لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، وتطبيقاً مبكراً على مستوى العالم، والتحديث الجذري للمحطات، وتطور كفاءة التحول في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، والدخول الأسرع إلى السوق، والاحتراق المشترك للكتلة الحيوية والفحم. وتعتمد هذه الإجراءات على السياسات التي يجب أيضاً تحديد مدى صرامتها. في مجال النقل، قد يشكّل الاختلاف (المحتمل) بين مصدر الانبعاثات وموقع التخزين عاملاً مقيّداً بالنسبة للكميات الصغيرة والمسافات الطويلة جداً.

تتحدّد إمكانيات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أيضاً من خلال ضرورة التخزين الآمن لمليارات الأطنان من ثاني أكسيد الكربون ولمدة قرون من الزمن، ومن شأن الفشل في منع التسرّب أو ضبطه أو معالجته (وطمأنة الناس بهذا الخصوص) أن يقلل بشدّة من إمكانيات هذه التقنية. ولكن رغم ذلك، تعتبر الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أنّ الخزّانات المختارة والمدارة بشكل ملائم " مرجّحة جداً" (بنسبة 90% -99%) لأن تحتفظ بـ 99% من ثاني أكسيد الكربون المخزّن لمدة تتجاوز مائة عام، و"مرجّحة" ( بنسبة 66% - 90%) لأن تحتفظ بـ 99% من ثاني أكسيد الكربون لمدة تتجاوز ألف عام.

**الإجراءات العملية:** يعتمد التنفيذ الناجح لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه على الآتي:

- أن تتعامل السياسات المحلية والاتفاقيات والمعاهدات الدولية مع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على أنها واحدة من خيارات تخفيف المتغيرات المناخية؛
- صياغة سياسات إيجابية ويمكن التنبؤ بها وغير تمييزية وذات جدوى اقتصادية للطاقة واحتجاز الكربون وتخزينه؛
- دمج خيار تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في هذه السياسات كجزء من مجموعة إجراءات لتخفيف المتغيرات المناخية؛
- اعتماد الأطر والقوانين واللوائح التنظيمية المحلية لتوعية المستثمرين بشأن ترخيص مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وتفكيك منشآتها والسلامة والمسؤوليات المتعلقة بها؛
- التواصل بين الحكومة والمؤسسات الصناعية والبحثية بشأن مسار تطور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وتسلسله؛

- صلاحية مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ضمن آليات التنمية النظيفة والتنفيذ المشترك وأنظمة مقايضة الانبعاثات والتمويل من البنك الدولي للتعمير والتنمية ومرفق البيئة العالمي؛
- الآليات المالية لتحديد قيمة للكربون على المستوى العالمي وتحديد الحوافز إذا كانت الأسعار الأولية للكربون منخفضة جداً؛
- تكييف المعاهدات والاتفاقيات الدولية بشأن البيئة البحرية والنقل عبر الحدود ؛
- تسريع عجلة التعاون المحلي والدولي في البحوث والتطوير ونماذج المحاكاة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، وخصوصاً بشأن خفض التكاليف والتخزين الدائم وزيادة القدرات " الجاهزة للاحتجاز"؛
- بناء عدة محطات محاكاة ضخمة وذات جدوى اقتصادية؛
- إشراك جميع أصحاب المصلحة ؛
- يجب إشراك الدول النامية، نظراً لدورها المتنامي كجهات متسببة بالانبعاثات، في شبكات احتجاز الكربون وتخزينه (بناء القدرات) ومقايضة الانبعاثات وتمويل المشاريع؛ و
- التعاون في إبلاغ المعلومات المسبقة من خلال الاتصالات المبكرة. والرسالة هي:

**" تُعتبر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه جسراً أساسياً نحو مستقبل مستدام ومضمون للطاقة"**

**الملاحق**

**أ. الأوراق المقدمة في ندوات نظم الوقود الأحفوري الأنظف**

**1.** جلسة نقاش لجنة الوقود الأحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي خلال المؤتمر العالمي للطاقة التاسع عشر بعنوان" **الوقود الأحفوري الأنظف- حجر الزاوية للتنمية البشرية وأمن الطاقة**"،
سيدني (أستراليا) 8 سبتمبر 2004 الموقع الإلكتروني:
http://www.worldenergy.org/news__events/world_energy_congress/sydney_2004/default.asp

- مقدمة
  باربرا نانسي ماك كي، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
  رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
  البريد الإلكتروني: Barbara.Mckee@hq.doe.gov
- أمن الطاقة ونظم الوقود الاحفوري الأنظف.
  أحمد وقار وكيل وزارة النفط والمصادر المعدنية - باكستان
  البريد الإلكتروني : hdip@apollo.net.pk
- الإستثمار في نظم الوقود الاحفوري الأنظف.
  فرناندو زانكان، المدير التنفيذي. سيسيك، البرازيل.
  البريد الإلكتروني :zancan@siecesc.com.br
- التحولات في تقنية الطاقة
  روبرت جينتيل، رئيس، شركة ليوناردو تيكنولوجيز - الولايات المتحدة
  البريد الإلكتروني :RHGentile@aol.com
- التنمية البشرية ونظم الوقود الإحفوري الأنظف.
  جوانا ديسانو، مديرة، سكرتارية قسم التنمية المستدامة، وزارة الاقتصاد والشؤون الاجتماعية- الولايات المتحدة، نيويورك

**2.** الاتحاد العالمي للعلماء ولجنة الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي، ورشة عمل مشتركه عن : احتجاز الكربون وتخزينه – الطريق إلى وقود إحفوري أنظف إيريس (صقلية)، 24 أغسطس 2005.
الموقع الإلكتروني: http://www.usea.org/CFFS/CFFSErice.htm; http://energypmp.org;
http://www.worldenergy.org/focus/ccs/default.asp

- ملاحظات افتتاحية والترحيب
  ريتشارد ويلسون، قسم الفيزياء، جامعة هارفرد، رئيس أخصائي إدارة المشاريع التابعة للاتحاد العالمي للعلماء، الولايات المتحدة
  البريد الإلكتروني :wilson5@fas.harvard.edu
- تعريف ونظرة عامه
  باربرا نانسي ماك كي ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
  رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
  البريد الإلكتروني :Barbara.mckee@hq.doe.gov
- الاحتياجات
  هشام الخطيب نائب رئيس مجلس الإدارة الفخري لمجلس الطاقة الدولي - الأردن
  البريد الإلكتروني :Khatib@nets.com.jo
- التقنيات
  جيمس إيكمان، المدير المساعد، المختبر الوطني لتقنية الطاقة – وزارة الطاقة الأمريكية، الولايات المتحدة
  البريد الإلكتروني :James.Ekmann@netl.doe.gov

- علم الاقتصاد :
جاسيك بودكانسكي، خبير تكنولوجيا الطاقة الأول، قسم التعاون لتقنيات الطاقة، وكالة الطاقة الدولية، فرنسا.
البريد الإلكتروني :jacek.podkanski@iea.org
- مسائل بيئية
ديفيد هوكنز، مدير، مركز المناخ، مجلس الدفاع عن المصادر الطبيعية، الولايات المتحدة.
البريد الإلكتروني :dhawkins@nrdc.org
- تمويل الاحتياجات والفرص
إلينا نيكايف، مديرة البرامج، مجلس الطاقة العالمي، المملكة المتحدة
البريد الإلكتروني :nekhaev@worldenergy.org
- آفاق الصناعة
آرثر لي، المستشار الأول،قسم السياسة والاستراتيجية الدولية ، مؤسسة شيفرون - الولايات المتحدة.
البريد الإلكتروني :rlas@chevron.com
- التطبيق
فرناندو زانكان، المدير التنفيذي ، سيسك، البرازيل
البريد الإلكتروني :zancan@siecesc.com.br
- الأمور التنظيمية والقانونية
ستيف تنتالا، مدير، البيئة وسياسة احتجاز الكربون وتخزينه، وزارة الصناعة والسياحة والمصادر، استراليا
البريد الإلكتروني :steve.tantala@industry.gov.au
- طرق جديدة ومبتكرة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه
كلاوس لاكنر، بروفيسور الجيوفيزيا وهندسة البيئة، جامعة كولومبيا، الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني :Kl2010@columbia.edu
سوزان هيرتر، شركة شل انترناشيونال للتنقيب والإنتاج، هولندا
اولاف كارستاد، إدارة ثاني أكسيد الكربون، ستاتويل، النرويج.
البريد الإلكتروني :okaa@statoil.com
ديفيد سيفير، العضو المنتدب، أكوياس لوجيك، المملكة المتحدة
البريد الإلكتروني: david.s@aqueouslogic.co.uk
- مناقشات وحوار
روبرت جنتيل، المدير الشريك، أتلانتيك بارتنرز- الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني :RHGentile@aol.com

**3**. حوار لجنة أنظمة الوقود الاحفوري الأنظف: التابعة لمجلس الطاقة العالمي حول**: نظم الوقود الأحفوري الأنظف مع احتجاز الكربون وتخزينه: ماذا يفيد الدول النامية؟**
كولومبو سيريلانكا 6 سبتمبر 2005

- المقدمة، وفكرة عامة عن الجلسة:
باربرا نانسي ماك ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
البريد الإلكتروني :Barbara.mckee@hq.doe.gov
- الحاجة والتكنولوجيات
هشام الخطيب، نائب الرئيس الفخري، مجلس الطاقة الدولي – الأردن
البريد الإلكتروني :Khatib@nets.com.jo
- الاقتصاد
ميشال لوكولو، نائب مدير منتجات النفط، وزارة المناجم والمياه والطاقة، الكاميرون
البريد الإلكتروني :mclokolo@yahoo.com

- وضع الطاقة ودور الوقود الاحفوري في جنوب آسيا
هلال رضا، العضو المنتدب، والرئيس التنفيذي بمعهد تطوير الهايدروكاربون، إسلام أباد، الباكستان
البريد الإلكتروني :hilalraza2007@gmail.com

**4.** ورشة عمل مشتركة للجنة نظم الوقود الاحفوري التابعة لمجلس الطاقة العالمي مع مجمع كارايوفا للطاقة، بعنوان **الوقود الأحفوري الأنظف للتنمية المستدامة**، نيبتون ( رومانيا) 13 يونيو 2006
الموقع الإلكتروني : http://www.usea.org/cffs/cffsneptun.htm

- الجلسة الأولى: النظم الحالية للوقود الأحفوري الأنظف
  - نظم السيطرة على التلوث
دوميترو مانا، مدير خدمة العملاء، قسم المبيعات بشركة ألسنون للطاقة العالمية، رومانيا
البريد الإلكتروني:dumitru.manea@power.alstom.com
  - تحسين الكفاءات
ليونيل إيلي، مجمع كارايوفا للطاقة، رومانيا
البريد الإلكتروني:ilie@termo.oltenia.ro
  - الإحتراق المشترك للفحم والكتلة الحيوية
هنريك بوبينو، نائب الرئيس، تطوير نظم المنتج ، اينرجي ي 2، دانمارك
البريد الإلكتروني:hno@e2.dk
  - استراتيجية شركة رويال هولسيل إلكتريك حول طاقة الفحم النظيفة في الشبكة الأوروبية
هينينج جوسويج – شركة رويال هولسيل إلكتريك للطاقة – ألمانيا

- الجلسة 2 : النظم المستقبلية للوقود الاحفوري الأنظف
  - رئيسة الجلسة :
باربرا نانسي ماك كي، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية، رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
البريد الإلكتروني :Barbara.mckee@hq.doe.gov
- نظم توليد الطاقة المتعددة الجديدة (الطاقة، الهايدروجين، احتجاز الكربون وتخزينه ودمج النظم)
روبرت جنتيل ، المدير الشريك، أتلانتيك بارتنرز – الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني :RHGentile@aol.com
  - التطبيق والانتشار ( التمويل، الشراكة، والمسؤولية الاجتماعية للشركات)
زارا الخطيب، مديرة قسم التكنولوجيا، شل أي بي إنترناشيونال ليمتد، الإمارات العربية المتحدة
البريد الإلكتروني :Zara.z.khatib@shell.com
- القوى المحركة لسوق احتجاز الكربون وتخزينه، (النواحي التجارية والبيئية، مقايضة بالانبعاثات والمعايير)
مايكل مور، المدير التجاري، فالكون إيسترن جاز ستوريج كومباني إنك. الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني:mmoore@falcongasstorage.com
  - المتطلبات المسبقة للبحوث والتطوير
جورجي ألخوفسكي، العضو المنتدب، معهد كل روسيا للهندسة الحرارية ، روسيا
البريد الإلكتروني :vti@cnt.ru

- سياسة لجنة التنمية المستدامة حول مستقبل الوقود الاحفوري
بيتر ماك، رئيس، فرع الطاقة والنقل، قسم الاقتصاد والشؤون الاجتماعية، الأمم المتحدة، نيويورك
البريد الإلكتروني :makk@un.org

**5.** المحاضرات المركزة للجنة نظم الفحم الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي حول: **الجهود الإقليمية والدولية لاحتجاز الكربون وتخزينه .**
تالين (إستونيا) ، 4 سبتمبر 2006
البريد الإلكتروني للموقع:http://www.usea.org/CFFS/CFFSTallinn.htm

- ملاحظات افتتاحية
باربرا نانسي ماك ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
البريد الإلكتروني :barbara.mckee@hq.doe.gov
- احتجاز الكربون وتخزينه: تقرير التوازن المرحلي الصادر عن مجلس الطاقة الدولي: ما هي الرسالة لدول بحر البلطيق؟
كلاوس برنادو، المستشار الأول، مجلس الطاقة العالمي، سويسرا
البريد الإلكتروني :kbrendow@compuserve.com
- النواحي العملية للطاقة من الزيت الحجري في إستونيا
ماتي دوس، مدير التطوير، نارفا لمحطات التوليد المحدودة.
- ما هي الخيارات المتاحة لأوروبا ودول البلطيق لتلطيف آثار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون؟
أنيتا كفيسكو، خبيرة البيئة الأولى، لاتفينجرو.

**6.** ورشة عمل للجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي، ومعهد كل روسيا للهندسة الحرارية، بعنوان: **وقود أحفوري أنظف لتوليد الكهرباء**، موسكو ( روسيا) ، 8 سبتمبر 2006 .
البريد الإلكتروني للموقع: http://www.usea.org/cffs/cffsmoscow.htm

- ملاحظات إفتتاحية
سيرجي مازورينكو، الوكالة الاتحادية للعلوم والاختراعات، روسيا في. بي. مزونين، اوين جوينت سلوك ماركت كومباني، يوس روسيا، روسيا،
البريد الإلكتروني:
باربرا نانسي ماك ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
رئيسة لجنة نظم الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي.
البريد الإلكتروني :barbara.mckee@hq.doe.gov
جورجي أوكوفسكي، المدير العام، معهد كل روسيا للهندسة الحرارية، روسيا
البريد الإلكتروني :vti@cnt.ru
- الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة
إلينا نيكايف، مديرة البرامج، مجلس الطاقة الدولي، المملكة المتحدة
البريد الإلكتروني :nekhaev@worldenergy.org
- إستخدام الوقود الأحفوري في صناعة الطاقة في روسيا
اناتولي تومانوفسكي، معهد كل روسيا للهندسة الحرارية ، روسيا
البريد الإلكتروني :vti@cnt.ru
- محطات توليد الطاقة بالغاز الطبيعي ذات الدورة المركبة
اليكساندر سيلين، جنرال إليكتريك – الولايات المتحدة
- نظم الحماية البيئية لمحطات الطاقة العاملة بالفحم الإحفوري
جون توبر، وكالة الطاقة الدولية، مركز الفحم النظيف
البريد الإلكتروني :john.topper@iea-coal.org.uk

- نتائج تطبيق محطات المحاكاة (التجريبية) التابعة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في الولايات المتحدة والتطوير المستقبلي لهذه التقنية
روبرت جنتيل، شركة ليوناردو للتقنيات إنك ، الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني :rhgentile@aol.com
- تجربة تطبيقية مع تشغيل محطات المحاكاة التابعة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في بوتالامو وآفاق هذه التقنية
بيدرو سيسارد، إلكاجاس – إسبانيا
- تجربة تطبيقية مع تشغيل محطات توليد ذات دورات مركبة على قاعدة مميعة مضغوطة وإمكانات استخدام هذه التقنية في محطات توليد الطاقة
آكيو تاكا نيشي – اليابان
- احتجاز وعزل ثاني أكسيد الكربون الناتج في محطات الطاقة – أفكار وإنجازات
جون توبير، وكالة الطاقة الدولية، مركز الفحم الأنظف
البريد الإلكتروني :john.topper@iea-coal.org.uk

**7.** حوار لجنة الوقود الاحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي حول: **تخفيف المساهمة المتنامية لدول جنوب شرق آسيا في الإنبعاثات العالمية.**
البحر الميت (الأردن) 25 أبريل 2007
البريد الإلكتروني للموقع: http://www.usea.org/cffs/cffsamman.htm

- ملاحظات افتتاحية وكلمة ترحيب ونظرة عامة
هشام الخطيب، نائب الرئيس الفخري، مجلس الطاقة العالمي- الأردن .
البريد الإلكتروني :khatib@nets.com.jo
- احتجاز الكربون وتخزينه- نبذة عالمية
باربرا نانسي ماك ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
رئيسة لجنة التابعة لمجلس الطاقة العالمي لنظم الوقود الاحفوري الأنظف.
البريد الإلكتروني :barbara.mckee@hq.doe.gov
- وضع الطاقة في الاردن
غالب معابره، المفوض العام، اللجنة التنظيمية للكهرباء، الأردن
البريد الإلكتروني:gmaabreh@erc.gov.jo
- آلية التنمية النظيفة
مصطفى عتيلي، مدير دائرة جودة البيئة والسلامة، قسم التطوير والتخطيط، الشركة المركزية لتوليد الكهرباء، الأردن
البريد الإلكتروني :mattili@cegco.com.jo
- وجهة نظر قطاع الطاقة:
رشيد سليمان، قسم مبيعات البرامج الهندسية، جنرال اليكتريك للطاقة، الشرق الأوسط وإفريقيا
البريد الإلكتروني:rasheed.sulaiman@ge.com
- وجهة نظر قطاع النفط والغاز
زارا الخطيب، المديرة الفنية، شركة شل أي بي إنترناشيونال المحدودة، الإمارات العربية المتحدة
البريد الإلكتروني :zara.z.khatib@shell.com
- تقليل إحتراق الغاز
فرانسوا موتون، مستشار، تقليل احتراق الغاز العالمي، البنك الدولي.
البريد الإلكتروني :fmouton@worldbank.org
- آثار احتراق وقود النفط الثقيل لتوليد الكهرباء على البيئة
فؤاد م. السعيدي، مهندي توليد الكهرباء، الدائرة الفنية العامة ، السعودية
البريد الإلكتروني :falsaeedi@se.com.sa
- التقنية للتنمية المستدامة
ميلتون كايتلين، الرئيس التنفيذي مجلس الفحم الدولي، المملكة المتحدة
البريد الإلكتروني:mcatelin@wci-coal.com
- وجهة نظر تنظيمية حول تخفيف الإنبعاثات الدولية
سيرجيو جاريبا، العضو المنتدب السابق وزارة النشاطات الإنتاجية، إيطاليا
البريد الإلكتروني:s.garribba@hotmail.it

- احتجاز الكربون وتخزينه: الفرص والتحديات
كلاوس برنداو، المستشار الرئيسي، مجلس الطاقة العالمي ، سويسرا
البريد الإلكتروني:kbrendow@compuserve.com

**8.** جلسة لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف التابعة لمجلس الطاقة العالمي خلال المؤتمر العالمي للطاقة العشرين حول: **هل يقود الوقود الإحفوري ثورة الطاقة النظيفة؟**
روما – إيطاليا 12 نوفمبر 2007

- بيان الافتتاح ولماذا يجب أن يقود الوقود الاحفوري ثورة الطاقة النظيفة
باربرا نانسي ماك ، مديرة: مكتب تعاون الطاقة الأنظف، وزارة الطاقة الأمريكية،
رئيسة لجنة التابعة لمجلس الطاقة العالمي لنظم الوقود الاحفوري الأنظف.
البريد الإلكتروني :Barbara.mckee@hq.doe.gov
- فرص وتحديات التقنيات الجديدة وتطبيقها بما فيها احتجاز الكربون وتخزينه.
فيكتور در، نائب السكرتير المساعد للفحم النظيف، وزارة الطاقة الأمريكية
البريد الإلكتروني:Victor.Der@hq.doe.gov
- الطاقة الأحفورية والبيئية في عالم تعتمد دوله على بعضها البعض:
بيتر جاروشو، العضو المنتدب: فيرست فيليبينز هولدنج كوربوريشن، رئيس مجلس الإدارة،
عضو لجنة الفلبين المنبثقة عن مجلس الطاقة العالمي
البريد الإلكتروني:pdgarrucho@fphc.com
- عوامل تنشيط الأسواق أمام نظم الوقود الأحفوري الأنظف
مايكل مور، مدير التسويق، إيسترن ريجون فالكون ستورج كومباني، إنك، الولايات المتحدة
البريد الإلكتروني:mmoore@falcongasstorage.com
- المراهنة الدولية على نقل التكنولوجيا
بريستون شيارو، المدير التنفيذي للطاقة، ريو تنو العامة
رئيس مجلس الإدارة، معهد الفحم الدولي، المملكة المتحدة
البريد الإلكتروني: preston.chiaro@riotinto.com
- مناقشة مفتوحة
رئيس الجلسة :
هشام الخطيب، رئيس مجلس الإدارة، اللجنة التنظيمية للكهرباء، الأردن
**البريد** الإلكتروني: khatib@nets.com.jo

## ب- قائمة المبادرات الدولية الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه

### أ) صياغة السياسات

- وافقت مجموعة الثمانية في غلين إيفلز (اسكتلندا) في عام 2005 (www.g8.gov.uk) ضمن خطة العمل التي وضعتها مع أشياء أخرى على تسريع تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وإعطائها صفة تجارية. وكلّفت المجموعة وكالة الطاقة الدولية ومنتدى قيادة عزل الكربون بتنظيم ورشة عمل حول الفرص المتاحة على المدى القريب. وستنظر في تقرير حول المتغيرات المناخية والطاقة النظيفة والتنمية المستدامة خلال اجتماعها الذي سيعقد في اليابان في عام 2008.
- قامت وكالة الطاقة الدولية (www.iea.org ) بتوسيع مشاركتها التي بدأت منذ زمن طويل في تقنيات الوقود الأحفوري النظيف لتشمل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.
- يسعى منتدى قيادة احتجاز الكربون www.cslforum.org إلى توفير تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق واسع، وهو يرعى التعاون في الأبحاث والتنمية ونماذج المحاكاة، واستجابةً للطلب المذكور أعلاه من مجموعة الثمانية يتحرّى الفرص المتاحة على المدى القريب في مجال احتجاز الكربون وتخزينه جنباً إلى جنب مع وكالة الطاقة الدولية خلال ورشات العمل (سان فرانسيسكو 2006، أوسلو 2007، كندا 2007 )
- تهدف اتفاقية إطار الأمم المتحدة حول المتغيرات المناخية ( http://unfccc.org ) وبروتوكول كيوتو ( http:unfccc.int/Kyoto ) إلى تخفيف المتغيرات المناخية، وينظران في أهليّة مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه حالياً لآلية التنمية النظيفة والتنفيذ المشترك.

لا يدعم برنامج مقايضة الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي
http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.ht حالياً تقنية احتجاز الكربون وتخزينه؛ ولكنّ برنامج الإطار السادس http://ec.europa.eu/research/fp6/index.html وبرنامج الإطار السابع للأبحاث والتطوير التكنولوجي http://ec.europa.eu/resear ch/fp7/index.html يدعوان إلى إطلاق المشاريع المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه.

### ب) جمع البيانات وتحليلها

- منشورات وكالة الطاقة الدولية (www.iea.org )
  إمكانيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، 2004 ؛
  الجوانب القانونية لتخزين ثاني أكسيد الكربون، 2005 ؛
  الجوانب القانونية لاحتجاز الكربون وتخزينه ، 2006 ؛
- هيئات وكالة الطاقة الدولية :
  برنامج البحوث والتطوير حول الغازات الدفيئة (www.ieagreen.org )
  مركز الفحم النظيف في وكالة الطاقة الدولية (www.iea-coal.org )
  مجموعة عمل وكالة الطاقة الدولية حول الوقود الأحفوري (انعدام الانبعاثات، الجوانب القانونية)؛
  الهيئة الاستشارية لصناعة الفحم في وكالة الطاقة الدولية (www.iea.org/ciab )
- المفوضية الأوروبية: مجموعة عمل البرنامج الأوروبي لمتغيرات المناخية حول احتجاز الكربون وتخزينه في التكوينات الجيولوجية (http://europa.eu.int/comm./environment/climat/stake_wg.htm )
- مجموعة العمل الأولى للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في المنظمة العالمية للأرصاد الجوية/ برنامج الأمم المتحدة للبيئة حول أساس العلوم الفيزيائية، ومجموعة العمل الثانية حول تأثيرات المتغيرات المناخية والتكيّف وإمكانية التضرّر، ومجموعة العمل الثالثة حول تخفيف المتغيرات المناخية ( ) www.ipcc.ch؛ وتقرير خاص حول احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (2005)
- المجلس العالمي للطاقة ( www.worldenergy.org)
  لجنة نظم الوقود الأحفوري الأنظف: كتيّب حول احتجاز الكربون وتخزينه – تقرير التوازن المرحلي للمجلس العالمي للطاقة، لندن 2006 و 2007 ؛
  لجنة أداء محطات توليد الطاقة: دراسة حول الطاقة والمتغيرات المناخية ؛
  البرنامج التجريبي حول خفض الانبعاثات الدفيئة (انتهى)؛
  والمشاريع التجريبية لاحتجاز الكربون وتخزينه في البرازيل والصين وجنوب إفريقيا ( بدأت) .

### ج) التطوير المشترك للتقنيات

- تهتم الاتفاقيات التنفيذية في وكالة الطاقة الدولية أيضاً باحتجاز الكربون وتخزينه؛ ويتولى مركز أبحاث الفحم والفحم النظيف في وكالة الطاقة الدولية برنامجاً حول تقنيات الفحم النظيف، (www.iea-coal.org) وتقدّم المسوحات في مجال احتجاز الكربون وتخزينه؛
- يساند منتدى قيادة احتجاز الكربون 17 مشروعاً من المشاريع المشتركة لاحتجاز وتخزين الكربون www.cslforum.org/projects.htm
- يدعو برنامج الإطار السادس ( http://ec.europa.eu/research/fp6/index.html) وبرنامج الإطار السابع للاتحاد الأوروبي للأبحاث والتطوير التكنولوجي ( http://ec.europa.eu/resear ch/fp7/index.html ) إلى إطلاق المشاريع المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه .

### د) الأطر القانونية والتنظيمية الدولية

- لا تنظم اتفاقية الأمم المتحدة حول قانون البحار (www.unclos.com )، 1982، بشكل محدّد نشاطات احتجاز الكربون وتخزينه أو تحظرها، إلا أنهّا تدعو الدول إلى حماية البيئة البحرية من النشاطات البشرية كإلقاء النفايات في البحر.
- تحظر اتفاقية لندن حول منع التلوث البحري الناتج عن إلقاء النفايات والمواد الأخرى، 1972 (www.londonconvention.org ) إلقاء "النفايات" في البحر؛

يسمح بروتوكول لندن حول منع تلوث البحار، 1996، إبتداءاً من 10 فبراير 2007 بدفن تدفقات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن عمليات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والمواد التي اختلطت به في التكوينات الجيولوجية تحت قاع البحر؛

- لا تعتبر اتفاقية بازل حول السيطرة على حركة النفايات الضارة عبر الحدود www.basel.int1989 ثاني أكسيد الكربون "نفايات ضارة" ولكن ربما اعتبرت كذلك عند احتواءه على مواد سامه.
- المعاهدات والاتفاقيات الإقليمية لغرض حماية البيئة البحرية التي قد تنطبق على موضوع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه: شمالي شرقي المحيط الإطلنطي (اوسبار)، 1992، بحر البلطيق : 1992، البحر الأسود، 1994، منطقة الكاريبي الكبرى، 1983، البحر الأبيض المتوسط، 1976، منطقة الخليج، 1978، منطقة غرب ووسط أفريقيا، 1981، جنوب الباسيفي (المحيط الهادئ) 1981، ومؤتمر باماكو حول حظر استيراد المواد الضارة إلى أفريقيا وحركة هذه المواد عبر حدود الدول الأفريقية 1991.

### ي) مشاريع مختارة للأبحاث والتطوير والمحاكاة

جرى تنفيذ حوالي 110 مشروعاً لأبحاث احتجاز الكربون وتخزينه وتطويره وبناء نماذج محاكاة لهذه التقنية، ويوجد وصف لهذه المشاريع في قواعد البيانات الخاصة ببرنامج الأبحاث والتطوير حول الغازات الدفيئة التابع لوكالة الطاقة الدولية http://www.co2captureandstorage.info/search.php إضافة إلى مشاريع عامة لنظم احتجاز الكربون وتخزينه والتي تعنى بتقنيات جديدة للاحتراق والتخزين (ولا تشمل عملية الاستخلاص المعزز للنفط)

1. التخزين :

- سليبنر (حقل نرويجي – بحر الشمال) www.statoil.com/ أول مشروع على نطاق صناعي لتخزين ثاني أكسيد الكربون الناجم من معالجة الغاز منذ 1996 وما زال مستمراً
- خزان ثاني أكسيد الكربون www.CO2store.org متابعة لمشروع سليبنر حول تخزين ومراقبة ثاني أكسيد الكربون في الطبقات الصخرية.
- بدأ في حقل صلاح (الجزائر) (www.bp.com) مشروع محاكاة لنموذج تخزين ثاني أكسيد الكربون جيولوجياً منذ 2004.
- قاسي طويل (الجزائر: مشروع مشترك للغاز بين ريبسول ( إسبانيا) وسونا طراك – (الجزائر) ويتضمن نظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. تم توقيع عقده منذ 2004، وسيعمل بحلول 2010 .
- ويبرن 2، (كندا) www.ptrc.ca/ تخزين ثاني أكسيد الكربون إلى جانب الاستخلاص المعزز للنفط على المستوى التجاري وذلك منذ 2001
- جورجن (أستراليا) www.co2crc.com.au حقن ثاني أكسيد الكربون الناتج عن معالجة الغاز الطبيعي في تشكيلات ملحية بحرية بحلول 2011 بطاقة مستهدفة تبلغ 120 مليون طن.
- امتصاص ثاني أكسيد الكربون (www.cosink2.org ) عملية اختبار احتجاز وتخزين 60 طن من ثاني أكسيد لكربون في طبقات صخرية ملحية في كينتون بالقرب من برلين.
- كاستور www.co2castor.com محطة تجريبية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من محطة السام لتوليد الطاقة في الدنمارك
- هالتن ( وسط النرويج ) – مشروع احتجاز 2.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون ناتجة من عمليات استكشاف الغاز الطبيعي ومن محطات توليد الطاقة لعملية الاستخلاص المعزز للنفط الدائم في خزانات دراوجن وهايلدوم.
- ستانويل (استراليا) – محطة محاكاة تعمل بالغاز الصناعي لتوليد الوقود النظيف ( 2007 – 2010) بطاقة 1800 طن يومياً، وعزل الكربون (4100 طن يومياً) وتخزينه (بدون احتجاز الكربون تساوي 40%، ومع احتجاز الكربون تساوي 34.3% ).
- جيونت (www.co2geonet.com) مشروع أوروبي لتخزين ثاني أكسيد الكربون جيولوجياً.

2. توليد الطاقة باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه .

- فيوتشرجين: www.futuregenalliance.org مشروع عالمي بقيادة أمريكية لبناء محطة محاكاة تعمل بالفحم لتوليد الوقود النظيف دون انبعاثات غازية وتقوم على استخدام الغاز الصناعي واحتجاز الكربون قبل عملية الاحتراق
- منصة تقنية لبناء محطة توليد الطاقة باستخدام الوقود الأحفوري وعديمة الانبعاثات الغازية- مبادرة الاتحاد الأوروبي للاستفادة من مشروع هايبوجن- داينامس المماثل للمشروع الأمريكي فيوتشرجن عديم الانبعاثات وتطويره، بالإضافة إلى مشاريع أخرى. تؤكد هذه المنصة الحاجة لبناء 10 مشاريع لاحتجاز الكربون وتخزينه تغطي كافة سلسلة هذه العملية. (http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/zero_emission_ffpp_en.pdf)

فاتنفول : محطة توليد تعمل بوقود الاكسجين في شفارس بومه (ألمانيا) ( www.vattenfall.de )

- جرينجن : مشروع حكومي صيني لبناء محطة توليد طاقة باستطاعة 400 ميجا واط وبدون إنبعاثات غاز كربون، بحلول 2020
- توتال: مشروع تجريبي لمولد بوقود الأكسجين في لاك (فرنسا)
- كوورتيك- كوريغا www.cooretec.de مشروع رائد يستخدم تقنية احتراق الغاز الصناعي إضافة إلى تخفيض انبعاث ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (ألمانيا)
- كانمت : مشروع تجريبي لمركز التقنية، ويتضمن نظم احتجاز الكربون وتخزينه (كندا) (www.nrcan.gc.ca )
- إنكاب : ( www.encapco2.org) مشروع مبرمج يستخدم التقنيات الحديثة ما قبل الاحتراق برعاية 33 هيئة حكومية بما في ذلك الاتحاد الأوروبي.
- كومتيس www.comtes700.org 700 إجراء التجارب على العناصر التي تمكن تخفيض انبعاث ثاني أكسيد الكربون من محطة توليد الطاقة باستطاعة 400 ميجاواط 700° مئوية (ألمانيا)
- مشروع احتجاز ثاني أكسيد الكربون www.co2captureproject.org مبادرة من شركات الطاقة الكبرى لتخفيض الانبعاثات باستخدام الكشط ما بعد الاحتراق وإزالة الكربون ما قبل الاحتراق، وإحراق الأكسجين والعزل الجيولوجي.
- زيروجين www.zerogen.com.au محطة توليد الطاقة بالغاز الصناعي وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الطبقات الصخرية الملحية (أستراليا)
- بروجرسف إنيرجي (الطاقة المتطورة) www.dti.gov.uk/files/file30865pdf محطة توليد تعمل بالغاز الصناعي مع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في عملية الاستخلاص المعزز للنفط (المملكة المتحدة)
- ساسك باور: www.saskpower.com محطات توليد ذات معدل منخفض من كبريت الفحم الحجري، مستخدمة لتقنية وقود الأوكسجين في عملية الاستخلاص المعزز للنفط (كندا)
- باور فيول: محطة توليد تعتمد الغاز الصناعي ونظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (المملكة المتحدة)
- ي . أون www.eon-uk.com/883.aspx مشروع يعتمد الغاز الصناعي وتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المراحل النهائية (المملكة المتحدة)
- آر.دبليو.إي www.rwe.com/generator.aspx محطة توليد الغاز الصناعي لفصل الهايدروجين لإنتاج الوقود الصناعي (ألمانيا) " راجع (إنكاب) بعاليه"
- آر.دبليو.إي www.npower.co تقنية ما فوق الحرجة مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بعد عملية الاحتراق

3. الاستخلاص المعزز للميثان المنبعث من الفحم :

- ريكو بول : http//recopol.nitg.tno.nl مشروع تمويل أوروبي للإبحاث والتطوير حول تخزين ثاني أكسيد الكربون في قاع مناجم الفحم تحت الأرض (الامتزاز "تكثيف جزئيات الغاز") وبالتالي ينبعث الميثان تلقائياً ويتم بيعه ( سيليسيا، بولندا)
- المنتدى الثاني لعزل الفحم : www.coal-seq.com مشروع تعاوني بقيادة أمريكية حول تخزين ثاني أكسيد الكربون في حواف مناجم الفحم المستنفذة، وبالتالي دفع غاز الميثان واحتجازه.
- مجلس ألبيرتا للبحوث (كندا) (ARC) مشروع للاستخلاص المعزز للميثان من الفحم بواسطة حقن ثاني أكسيد الكربون www.arc.ab.ca وبالتعاون مع التقنية الصينية لمصادر الفحم وتقنية الميثان / مشروع التوحد / إعادة الكربون، شانكسي ( الصين)
(www.arc.ab.ca/Index.aspx/ARC/4517)
- مشروع أبحاث حالياً قيد الدرس حول التحليل الغازي للفحم داخل طبقات الأرض، باستخدام نظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ( مع الاستخلاص المعزز للميثان أو عدمه ) www.ucgp.com

### اختصارات الكربون

| | |
|---|---|
| C | (Carbon) كربون |
| CCS | (Carbon Capture and Storage) احتجاز الكربون وتخزينه |
| CCGT | (Combined cycle gas turbine)عنفة (توربين) غازية مركبة الدورات |
| CDM | (Clean Development Mechanism) آلية التنمية النظيفة |
| CFFS | (Cleaner Fossil Fieils Systems committee) لجنة نظم الوقود الاحفوري |
| $CO_2$ | (Carbon dioxide) ثاني أكسيد الكربون |
| CSLF | (Carbon Sequestratiojn Leadership Forum) منتدى القادة لعزل الكربون |
| EOR | (Enhanced Oil Recovery) الاستخلاص المعزّز للنفط |
| EGR | (Enhanced Gas Recovery) الاستخلاص المعزّز للغاز |

| | |
|---|---|
| GEF | (Global Environmental Facility) مرفق البيئة العالمي |
| GHG | (Greenhouses Gas) الغازات الدفيئة (غازات البيوت البلاستيكية) |
| Gt | (Gigaton) جيجا طن (1طن × $10^9$ ) |
| GW | (Gigawatt) جيجا واط (1 واط × $10^9$ ) |
| IEA | (International Energy Agency) وكالة الطاقة الدولية |
| IGCC | (Integrated Gasification combined cycle) محطة تستعمل الغاز الصناعي لتوليد الوقود النظيف |
| IPCC | (Intergovernmental Panel on Climate Change) الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ |
| JI | (Joint Implementation) التنفيذ المشترك ( بروتوكول كيوتو ) |
| LNG | (Liquefied Natural Gas) الغاز الطبيعي المسال |
| MW | (Megawatt) ميغاواط ( 1 واط × $10^6$ ) |
| PCC | (Pluverized coal combustion) احتراق مسحوق الفحم |
| PPM | (parts per million) جزء بالمليون (نسبة عدد جزئيات ثاني أكسيد الكربون في العدد الإجمالي لجزئيات الهواء الجاف) |
| RD&D | (Research, Development and Demonstration) الأبحاث والتنمية ونماذج المحاكاة |
| SCSC | (Super-critical steam cycle) الدورة البخارية ما فوق الحرجة |
| WEC | (World Energy Council) مجلس الطاقة العالمي |
| WIPO | (World International Property Organization) المنظمة العالمية للملكية الفكرية |
| WTO | (World Trade Organization) منظمة التجارة العالمية |
| ZET | (Zero Emission Technology) تقنية انعدام الانبعاثات |

### د – للاتصال بالمحرّر

د. كلاوس برندو
مستشار أول، مجلس الطاقة العالمي
البريد الإلكتروني:Kbrendow@compuserve.com

### هـ - للاتصال بمجلس الطاقة العالمي

إيلينا نيخاييف
مديرة البرامج
البريد الإلكتروني: Nekhaev@worldenergy.org