

الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

2020

CCS.

VITAL TO ACHIEVE

NET-ZERO



المقدمة

1-0 المقدمة

2-0 الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

3-0 الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020

3-1 مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية

3-2 السياسة والتنظيم

3-3 نظرة عامة على التخزين العالمي

4-0 لمحات عامة إقليمية

4-1 الأمريكيتان

4-2 أوروبا

4-3 آسيا والمحيط الهادئ

4-4 مجلس التعاون الخليجي

5-0 التقنية والتطبيقات

5-1 الصناعة

5-2 الهيدروجين

5-3 الغاز الطبيعي

5-4 احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة

5-5 تقنيات الانبعاثات السلبية

5-6 الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

6-0 الملحقات

7-0 المراجع

BRAD PAGE

الرئيس التنفيذي،
معهد احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمي
(Global CCS Institute)



سيظل عام 2020 باقياً في الذاكرة لفترة طويلة باعتباره أكثر الأعوام صعوبة بسبب ظهور جائحة كوفيد-19 وانتشارها، حيث كانت الخسائر البشرية فظيعة، كما وسيستغرق التغلب على التأثير الاقتصادي عقوداً من الزمان. وقد كانت حدثاً لا يمكن التنبؤ به وغير متوقع ولكنه الحق عند حلوله أضراراً صحية واجتماعية واقتصادية على نطاق لم يسبق له مثيل. لا يزال العالم يبحث عن طريقة للتحكم في الجائحة وتظل الحاجة إلى تعلم كيفية العيش في عالم بشكل واقعه الفعلي مرض كوفيد-19 تمثل تحدياً رئيسياً للحكومات والشركات والمجتمعات في ظل عدم توفر اللقاح.

فكما لاحظ الكثيرون، لدينا فرصة لا تتكرر إلا مرة واحدة كل الجيل لتغيير المسار وإعادة نمو الاقتصاد العالمي بطريقة صديقة للمناخ ومستدامة بيئياً مع حاجة الحكومات إلى وضع حزم التحفيز الاقتصادي وتنفيذه لإخراج الشعوب من الانحسار الاقتصادي وإعادة الناس إلى العمل. وفي الوقت الحالي، أمامنا فرصة لتبني نقلة في إنتاج الطاقة والعمل على تسريع ذلك بهدف توفير طاقة جديدة ونظيفة ووظائف في الصناعات النظيفة ستقوم بدعم الاقتصاد لعقود عديدة قادمة.

هناك أدلة على الاختيار المتزايد في كلا القطاعين الخاص والعام لمسارات تتجه نحو السياسات والاستثمارات غير الضارة بالمناخ، فقد التزم عدد متزايد من البلدان ببلوغ صافي الانبعاثات الصفرية في منتصف القرن تقريباً. وإلى جانب التزامات الحكومات الوطنية، كان من اللافت للنظر أن نرى تعهدات من كبرى شركات الطاقة متعددة الجنسيات بتحقيق نتائج محايدة كربونياً بحلول منتصف القرن على الرغم من الظروف التجارية الصعبة خلال العام 2020. وشمل ذلك بالنسبة للبعض انبعاثات النطاق الثالث وهي تلك الناتجة عن استهلاك عملائها (على هيئة الاحتراق غالباً) لمنتجاتها. وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن حكومات لها أهميتها قد أدرجت في ميزانياتها طموحها المتزايد لخفض الانبعاثات وتم ذكر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مرات عديدة، وهو أمر مرحب به وضروري. فمنذ فترة لا بأس بها اتضح أن تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية في منتصف القرن تقريباً والحد من ارتفاع درجة الحرارة إلى أقل من درجتين مئويتين سوف يتطلب الانتشار السريع لجميع التقنيات المتاحة للحد من الانبعاثات بالإضافة إلى إيقاف عمل بعض المرافق كثيفة الانبعاثات مبكراً وإعادة تأهيل مرافق أخرى بتقنيات من أمثال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. ومن الواضح أيضاً أن هناك ضرورة لتوسيع نطاق إزالة ثاني أكسيد الكربون إذ أن تجاوز ميزانيات ثاني أكسيد الكربون يكاد أن يكون مضموناً.

تتفق نتائج "تقرير الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون" لهذا العام مع هذه التطورات. وكما أظهرنا في تقاريرنا على مدار العامين الماضيين، فإن عدد المرافق المخطط لها وتلك قيد التطوير الخاصة باحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون عاود ازدياده عالمياً، ويواصل هذا العام مساره التصاعدي. بعد تنوع الصناعات والعمليات التي تطبق تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه دليلاً مستمراً على مرونة تلك التقنية في إزالة الانبعاثات من الصناعات التي تصنع المنتجات التي ستظل ضرورية للحياة اليومية في جميع أنحاء العالم ويصعب التخلص من استعمال الكربون فيها.

يعتبر الارتفاع المستمر في النشاط المحيط بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وزيادة الاستثمار في المرافق الجديدة أمراً مثيراً ومشجعاً، ولكن لا زال هناك الكثير مما يجب القيام به.

فمجرد التفكير في دور احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه المتضمن في النسخة 1.5 من التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، يبين أنه سيتعين احتجاز وتخزين ما بين 350 و1200 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون في هذا القرن. بينما في الوقت الحالي لا يتم احتجاز وتخزين سوى ما يقارب 40 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، ويجب أن تزيد هذه الكمية 100 ضعف على الأقل بحلول عام 2050 لاستفاء سيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. من الواضح أن زيادة نشاط وضع السياسات والتزام القطاع الخاص بشكل كبير أمران ضروريان لتسهيل الاستثمار المالي الضخم المطلوب لبناء عدد كاف من المرافق القادرة على الوفاء بهذه الأحجام.

وكما يوضح تقريرنا هذا العام، يتم إحراز تقدم كبير في كل جزء من سلسلة القيمة الخاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، إذ تعمل تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون الجديدة والأكثر كفاءة والأقل تكلفة عبر مجموعة من التطبيقات على تغيير النظرة المستقبلية لواحد من أهم مكونات التكلفة في سلسلة القيمة تلك. ويواصل مويبدو نموذج محور احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مسيرتهم المثيرة للإعجاب نحو جعله واقعا، ومن الأمور الملحوظة في هذا المجال تشغيل خط أنابيب Alberta Carbon Trunk Line. كما ويشتمل الاستثمار ونشاط المشاريع المتزايد على تقنيات إزالة ثاني أكسيد الكربون بينما تعزز السياسات الجديدة والمواتية في العديد من البلدان، بما في ذلك الولايات المتحدة الأمر بكية والمملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي وأستراليا، من عدد المشاريع قيد البحث والتطوير الفعّال.

ولقد كانت المشاركة والاهتمام المتزايدة من قبل القطاعات المالية وقطاع الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية تشكل أهمية خاصة، حيث يتم فهم فرص استثمارية كبيرة، في حين تعني الحاجة للانتقال إلى عالم صافي انبعاثاته صفرية في المستقبل للعديد من الشركات تطلع مستشاري الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية إلى التقنيات التي يمكن أن تقدم ذلك التغيير الضروري.

وعلى الرغم من أن الطريق أمامنا مليء بالتحديات إلا أن مكانة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون تتحسن باستمرار لنقدم مساهمتها الهامة والضرورية في تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية في منتصف القرن تقريباً.

وعلى الرغم من أن الطريق أمامنا مليء بالتحديات إلا أن مكانة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون تتحسن باستمرار لتقدم مساهمتها الهامة والضرورية في تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية في منتصف القرن تقريباً.

اللورد نيكولاس شتيرن (LORD NICHOLAS STERN)

بروفسور كرسي إندراباساد غورهاباي باتيل في الاقتصاد والحكومة،
كلية لندن للاقتصاد،
ورئيس معهد جرانثام للبحوث



فمن خلال تطبيق ما نعرفه، والاستمرار في اكتساب المعرفة من عملنا، يمكننا بناء المسار إلى اقتصاد خالٍ من ثاني أكسيد الكربون وهو أمر حاسم لازدهار هذا الجيل والأجيال القادمة.

في هذا العام الذي يشهد تحديات واضطرابات غير متوقعة، استمر التهديد الناتج عن تغير المناخ كما استمرت الحاجة الملحة لخفض الانبعاثات وتحقيق الاستقرار في درجات الحرارة العالمية، ولم تقل ضرورة التصرف العاجل حيال الأمر إلخًا. ورغم أن التأثيرات المأساوية واسعة النطاق لأزمة كوفيد-19 الصحية تسببت في إحداث اضطرابات هائلة، إلا أن الكثيرون يعتقدون أنها نجحت في خلق منحني زمني من شأنه أن يؤدي إلى تغيير جوهري، بل وقد يشكل نقطة تحول في كفاحنا ضد تغير المناخ. أنها لحظة في تاريخنا ندرك فيها أن ماضيها هش وخطير، وغير منصف من نواح كثيرة. لحظة يمكن أن توفر الزخم لتعزيز الالتزامات بخفض الانبعاثات وتضعنا ليس على طريق التعافي فحسب، بل وعلى مسار التحول والنمو والتنمية بشكل جديد ومستدام وأكثر جاذبية.

إذا أردنا أن نتاح لنا أي فرصة لتثبيت درجة الحرارة العالمية، يجب علينا تثبيت تركيز الانبعاثات، أي بلوغ صافي الانبعاثات الصفورية للغازات الدفينة. كلما انخفضت الانبعاثات، وكلما أسرعنا في تحقيق صافي الانبعاثات الصفورية، كلما انخفضت درجة الحرارة التي يمكننا تثبيت التركيز فيها. لقد تعلمنا بالفعل أننا يجب أن نهدف إلى الاستقرار عند درجة ونصف مئوية لأن أعلى من هذه الحرارة يهدد أسلوب حياتنا. فإذا ارتفعت درجات الحرارة العالمية أكثر من ذلك بات من غير الممكن تقريبًا تصور التأثير الناجم عن ذلك.

شاهدت السنوات الأخيرة توجهها في الحديث عن تغير المناخ وإجراءاته نحو هذا الهدف الحيوي المتمثل في صافي الانبعاثات الصفورية، توازيه الحاجة إلى الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز وتخزينه. ونحن نعرف منذ فترة طويلة أن تقنية الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز وتخزينه ستلعب دورًا أساسيًا في الحد من الانبعاثات، لذلك يجب الآن تسريع نشرها في مجموعة واسعة من قطاعات الاقتصاد. تشير التقنيات منخفضة الكربون، بما في ذلك مصادر الطاقة المتجددة والاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز وتخزينه، إلى مسار قابل للتطبيق لتحقيق صافي الانبعاثات الصفورية للغازات الدفينة بحلول عام 2050، حتى في القطاعات التي كانت إزالة ثاني أكسيد الكربون منها تعتبر قبل بضعة سنوات أصعب من أن تنفذ، مثل صناعات الفولاذ والأسمنت وقطاعات الطيران والنقل لمسافات بعيدة.

وإلى جانب ذلك، تستمر معرفتنا بتغير المناخ وفهمنا له في التحسن، وتوضح وتيرة تغير المناخ المتسارعة وأخطاره الهائلة أكثر من أي وقت مضى. وبشكل بالغ الأهمية نعلم الآن أن علينا أن نحقق صافي الانبعاثات الصفورية بحلول منتصف القرن، ونفهم الكثير مما يجب أن ننجزه لتحقيق ذلك. ومع ذلك، حتى لو تسلحنا ببصيرة عميقة ومعرفه محسنة، فقد كان اتخاذنا للإجراءات التي تحد من الانبعاثات بطيئًا كمجتمع عالمي،

لذا صار علينا الآن أن نتصرف على وجه السرعة. يجب علينا أن نضمن عدم عودتنا إلى ما كان عليه "الوضع المعتاد" سابقًا بعد انتهاء أزمة كوفيد-19. فنحن اليوم نشاهد أخطار الجائحة، وشاهدنا المخاطر التي تواجه النسيج الاجتماعي الهش في جميع أنحاء العالم والتي نشأت جزئيًا عن بطء التعافي وعدم المساواة اللذان اتسم بهما العقد الماضي، تتوجهما المخاطر الناجمة عن عدم التحكم في تغير المناخ.

لذا يجب علينا تغيير هذا المسار المثير للقلق الذي نسير فيه والتحرك بسرعة لمعالجة تغير المناخ. لدينا على أهبة الاستعداد أساليب قوية تم تطويرها، سواء في شكل سياسات أو تقنيات يمكن تنفيذها بسرعة، فإذا التزمنا بها يمكن لها المساهمة بشكل كبير وحيوي في تحقيق صافي انبعاثات الانبعاثات الصفورية حان الوقت للتوسع. فمن خلال تطبيق ما نعرفه، والاستمرار في اكتساب المعرفة من عملنا، يمكننا بناء المسار إلى اقتصاد خالٍ من ثاني أكسيد الكربون وهو أمر حاسم لازدهار هذا الجيل والأجيال القادمة.

اللورد نيكولاس شتيرن،

بروفسور كرسي إندراباساد غورهاباي باتيل في الاقتصاد والحكومة،
كلية لندن للاقتصاد

، ورئيس معهد جرانثام للبحوث

جيد هامايستر، الحائزة على وسام الشرف الأسترالي برتبة فارسمة

مستكشفة قطبية



- أصغر شخص سنا تزلج إلى القطب الشمالي (في سن الرابعة عشر)
- أصغر امرأة سنا تكمل اجتياز مسافة الكيلومترات الخمسمائة والخمسين من الغطاء الجليدي على جزيرة جرينلاند (في سن الخامسة عشر)
- أصغر شخص سنا يتزلج من ساحل القارة القطبية الجنوبية إلى القطب الجنوبي (في سن السادسة عشر)
- واحدة من ثلاث نساء فقط في التاريخ أنشأنا طريقًا جديدًا بالتزلج إلى القطب الجنوبي
- نالت لقب المغامرة الشابة للعامين 2016 و2018 من الجمعية الجغرافية الأسترالية
- نالت وسام الشرف الأسترالي (في سن الثامنة عشر) عن مساهمتها في الاستكشاف القطبي

كانت جميع حملات جيد الاستكشافية للقطب غير مدعومة ماليًا وبدون مساعدة.

بينما يحارب العالم الجائحة العالمية الحالية، لا زال هناك تحد أكبر بكثير مستمر في مساره نحو تغيير الحياة كما نعرفها.

في عام 2020، تناسينا تغيّر المناخ بسهولة ولكنه لم يغادرنا. كما لا زالت هناك حاجة ملحة للتصدي للانبعاثات المتزايدة، وتحقيق أهداف اتفاقية باريس وطموحات بلوغ صافي الانبعاثات الصفريّة.

ولقد رأينا بالفعل كيف بدأت آثار تغير المناخ تتسرخ، ففي الصيف الماضي، شاهدنا في موطني أستراليا حرائق غير مسبوقّة ومدمرة، وشاهدنا طوال هذا العام استمرار ابيضاض المرجان على الحاجز المرجاني العظيم بوتيرة لم نراها من قبل.

يجب أن نبدأ على وجه السرعة في قبول التحدي الذي ينتظرنا وضرورة الاستجابة له. يجب علينا أيضًا إعادة صياغة موقفنا تجاه الاحتباس الحراري واعتباره محفّرًا للابتكار الرامي إلى تحقيق النمو وخلق مستقبل أكثر استدامة وازدهارًا لنا جميعًا.

الالتزامات الأخيرة تجاه صافي الانبعاثات الصفريّة من المنظمات والدول حول العالم تبعث الأمل في أننا سنقبل التحدي ولكن ما في الأمر هو الشروع في العمل. الالتزامات لا تعني شيئًا من دون عمل حقيقي لإحداث تغيير حقيقي.

في التاسعة عشر من عمري لست خبيرة في علم الاحتباس الحراري، ولست خبيرة في كيفية دعوة قادة العالم للتصرف ومحاربة أكبر تهديد عرفناه على الإطلاق.

ولكنني على الأرجح الشخص الوحيد من أبناء جيلي الذي حظي باكتساب خبرة مباشرة في مناطقنا القطبية الرئيسية الثلاث الناجمة عن الرحلات التي سافرت خلالها لمسافة حوالي 1 300 كيلومتر خلال 80 يومًا.

لقد أكدت لي رحلاتي إلى القطب أن الاحتباس الحراري حقيقة لا يمكن إنكارها، حيث رأيت تأثيرات ذلك على كوكبنا في بعض أكثر بيئاتنا جمالًا وهشاشة.

غيرتني هذه الرحلات إلى الأبد وأشعر الآن بعلاقة عاطفية عميقة مع كوكب الأرض وبإحساس قوي بمسؤولية لعبي لدور في حمايتها.

يجب أن نتبنى جميع الحلول المتاحة لنا لتقليل الانبعاثات وتحقيق هدف صافي الانبعاثات الصفريّة بحلول عام 2050 - كما نحتاج إلى تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

ليس هناك شك في أن لدينا العلم والمعرفة والحلول لإنقاذ أنفسنا من العواقب الكارثية لتغيّر المناخ،

لذا نحن الآن بحاجة إلى إجراءات ضخمة وعاجلة.

يجب أن نتبنى جميع الحلول المتاحة لنا لتقليل الانبعاثات وتحقيق هدف صافي الانبعاثات الصفريّة بحلول عام 2050 - كما نحتاج إلى تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

جيد هامايستر، الحائزة على وسام الشرف الأسترالي برتبة فارسمة، مستكشفة قطبية

الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

1-0 المقدمة

2-0 الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

3-0 الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020

- 3-1 مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية
- 3-2 السياسة والتنظيم
- 3-3 نظرة عامة على التخزين العالمي

4-0 لمحات عامة إقليمية

- 4-1 الأمريكيتان
- 4-2 أوروبا
- 4-3 آسيا والمحيط الهادئ
- 4-4 مجلس التعاون الخليجي

5-0 التقنية والتطبيقات

- 5-1 الصناعة
- 5-2 الهيدروجين
- 5-3 الغاز الطبيعي
- 5-4 احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة
- 5-5 تقنيات الانبعاثات السلبية
- 5-6 الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

6-0 الملحقات

7-0 المراجع

2-0 الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

في الكفاح ضد تغير المناخ، يعتبر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS) من أحد أهم العوامل القادرة على تغيير الوضع بشكل جذري. إن قدرة هذه العملية على تجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مصدرها وتقليلها على نطاق واسع لكميات ثاني أكسيد الكربون الموجود بالفعل في الغلاف الجوي عبر تقنيات إزالة ثاني أكسيد الكربون، تجعلها جزءًا أساسيًا من الحل.

سلط التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن الاحترار العالمي بمقدار درجة مئوية ونصف الضوء على أهمية الوصول إلى صافي الانبعاثات الصفرية بحلول منتصف القرن لتجنب أسوأ نتائج تغير المناخ. ويقدم التقرير أربعة سيناريوهات للحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية بمقدار درجة مئوية ونصف، وتتطلب جميعها إزالة ثاني أكسيد الكربون وثلاثة منها تتضمن استخدامًا رئيسيًا لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (انظر الشكل 1). يتطلب السيناريو

الذي لا يستخدم عملية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إجراء تغييرات جذرية للغاية على السلوك البشري.

لتحقيق الانبعاثات الصفرية بتكلفة مجدية، يمكن أن يساعد الاستثمار في احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون بأربع طرق رئيسية:

تحقيق إزالة ثاني أكسيد الكربون بشكل عميق من القطاعات التي يصعب الحد من نشاطها

ينبعث ثاني أكسيد الكربون من قطاعات صناعة الأسمنت والحديد والصلب والمواد الكيميائية بسبب طبيعة عملياتها الصناعية والتي تتطلب درجة حرارة عالية، وهي الصناعات الأصعب من حيث تخليصها من ثاني أكسيد الكربون. خلصت عدة تقارير - منها الصادر عن مفوضية الانتقال إلى الطاقة والوكالة الدولية للطاقة - إلى أن تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية في مثل هذه القطاعات قد يكون مستحيلًا، بل وأنه في أفضل الأحوال يكلف أكثر في غياب عملية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو أحد الخيارات الأكثر نضجًا وجدوى من الناحية المالية.

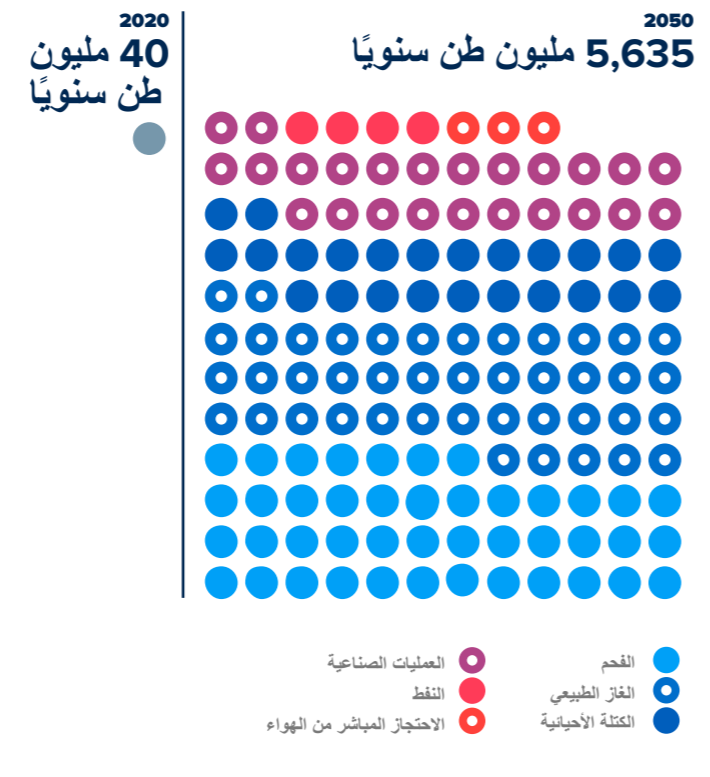
- تمكين إنتاج الهيدروجين ذو محتوى منخفض من الكربون على نطاق واسع من المرجح أن يلعب الهيدروجين دورًا رئيسيًا في إزالة ثاني أكسيد الكربون من القطاعات التي يصعب الحد من نشاطها، وقد يشكل أيضًا مصدرًا مهمًا للطاقة التي تستعمل في تدفئة المساكن وتوليد الطاقة بمرونة. يعتبر استخدام الفحم أو الغاز الطبيعي مع عملية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه حاليًا الطريقة الأرخص لإنتاج الهيدروجين ذو محتوى كربون منخفض. وسيظل هذا الخيار الأقل تكلفة في المناطق التي لا تتاح فيها كميات كبيرة من الكهرباء من المصادر المتجددة بأسعار معقولة لإنتاج الهيدروجين عبر استخدام التحليل الكهربائي، وأيضًا المناطق التي تتسم بأسعار وقود أحفوري منخفضة. لإزالة ثاني أكسيد الكربون من القطاعات التي يصعب الحد من نشاطها والوصول إلى صافي الانبعاثات الصفرية، يجب أن ينمو إنتاج الهيدروجين عالميًا بشكل كبير، من 70 مليون طن سنويًا المنتجة حاليًا إلى ما بين 425 و650 مليون طن سنويًا بحلول منتصف هذا القرن.

توفير طاقة قابلة للتوزيع ذات محتوى كربون منخفض

إن إزالة ثاني أكسيد الكربون من توليد الطاقة أمر بالغ الأهمية لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية. توفر محطات توليد الطاقة المجهزة بنظام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون كهرباء قابلة للتوزيع وذات محتوى منخفض من ثاني أكسيد الكربون، فضلًا عن خدمات تثبيت الشبكة، مثل القصور الذاتي والتحكم في التردد والتحكم في الجهد الكهربائي. لا يمكن توفير خدمات تثبيت الشبكة بواسطة الخلايا الفلطاينية الضوئية العاملة بالطاقة الشمسية أو المولدة بواسطة الرياح. احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون مكمل لمصادر الطاقة المتجددة، مما يساعد في جعل شبكة المستقبل منخفضة الكربون مرنة ومضمونة.

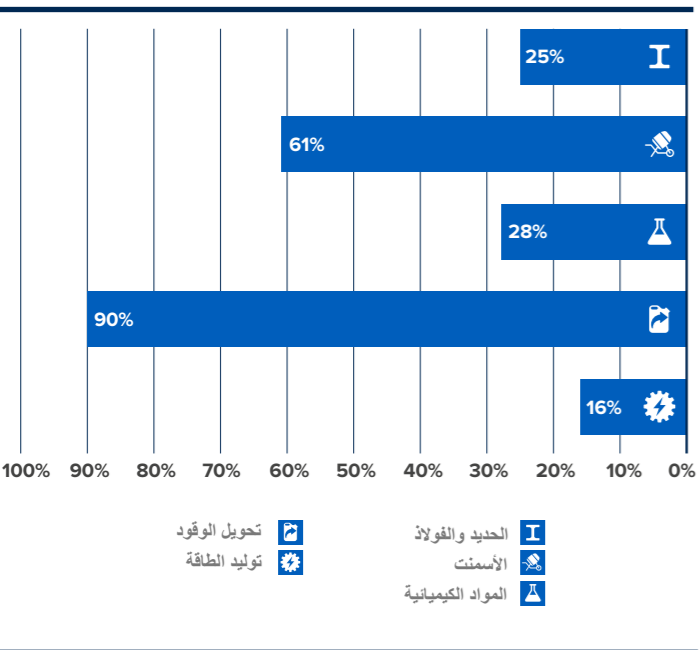
تحقيق الانبعاثات السلبية

يجب التعويض عن الانبعاثات الناجمة عن مخلفات القطاعات التي يصعب الحد من نشاطها. يوفر احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الأساس لإزالة ثاني أكسيد الكربون بواسطة التقنية، بما في ذلك الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (BECCS) الاحتجاز المباشر لثاني أكسيد الكربون من الهواء وتخزينه (DACCS). في حين أن إزالة ثاني أكسيد الكربون ليس حلًا سريعًا وسهلاً، فإن كل عام يمر دون حدوث انخفاض كبير في انبعاثات ثاني



الشكل 2 قدرة احتجاز ثاني أكسيد الكربون في عامي 2020 و2050 حسب نوع الوقود والقطاع في سيناريو الوكالة الدولية للطاقة (IEA) للتنمية المستدامة^٥

يشمل ثاني أكسيد الكربون المحتجز للاستخدام (369 مليون طن سنويًا) وللتخزين (266 5 مليون طن سنويًا) في عام 2050



الشكل 3 مساهمة استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون حتى عام 2070 في سيناريو الوكالة الدولية للطاقة (IEA) للتنمية المستدامة^٥

يشمل تحويل الوقود قطاعات مثل التكرير والوقود الأحيائي وإنتاج الهيدروجين التجاري والأمونيا

أكسيد الكربون (CO₂) يزيد من ضرورة الأمر.

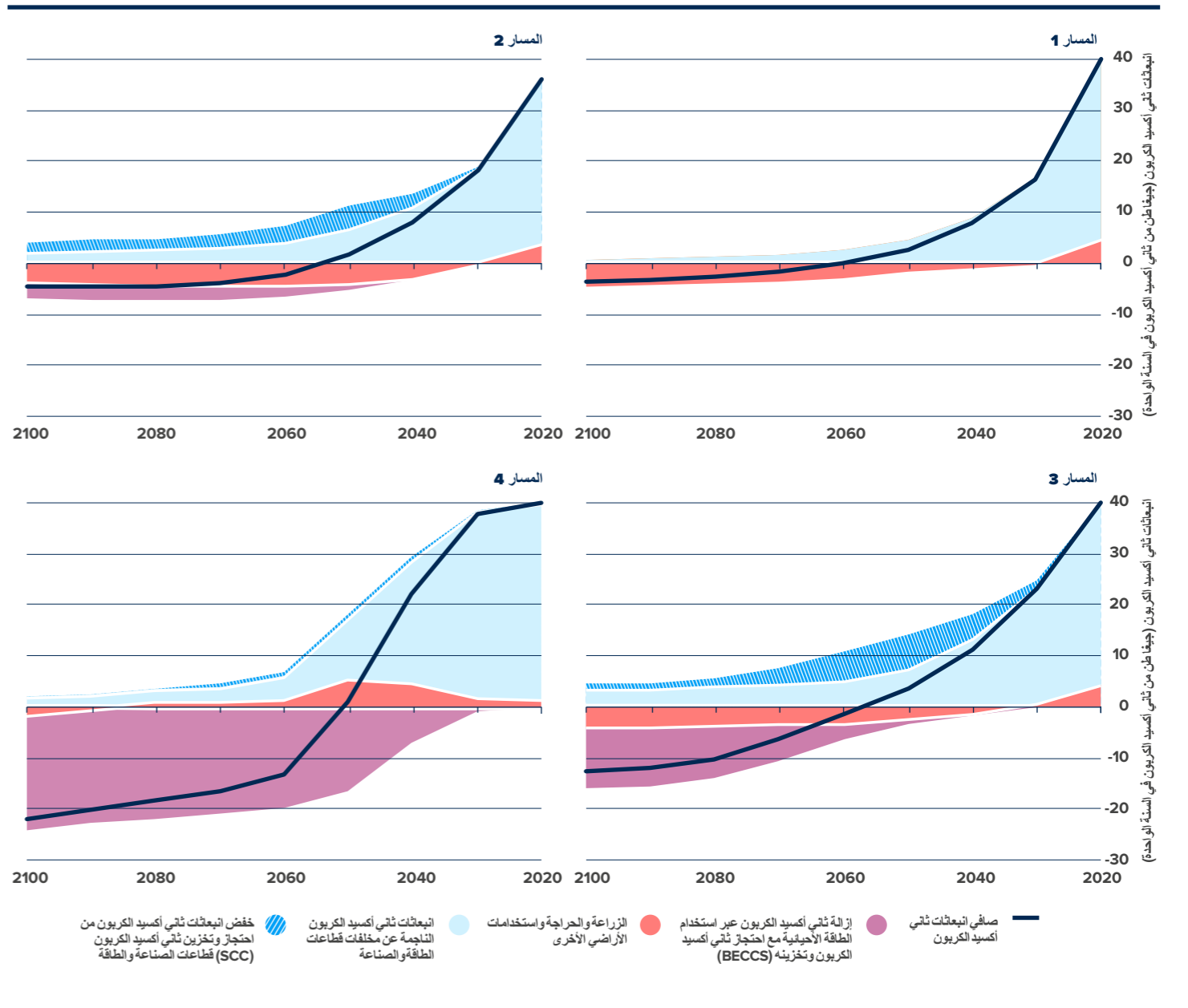
يصف سيناريو التنمية المستدامة للوكالة الدولية للطاقة^٢ مستقبلًا يتم فيه تلبية أهداف منظمة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة المتعلقة بالطاقة في مجال الانبعاثات والحصول على الطاقة وجودة الهواء. سترتفع كتلة ثاني أكسيد الكربون التي تم التقاطها باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من 40 مليون طن تقريبًا سنويًا حاليًا إلى حوالي 5.6 جيجا طن في عام 2050، أي بزيادة أكثر من مائة ضعف (الشكل 2). وتعتبر مساهمته كبيرة، حيث تمثل ما بين 16 و90 بالمائة من خفض الانبعاثات في قطاعات صناعة الحديد والصلب والأسمنت والمواد الكيميائية وتحويل الوقود وتوليد الطاقة (الشكل 3). إن تعدد استخدامات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وأهميته الاستراتيجية في تحقيق مستقبل ذو صافي الانبعاثات الصفرية أمر واضح.

للاستثمار في احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الضروري للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العديد من الفوائد الاقتصادية:

- استحداث وظائف رفيعة القيمة والحفاظ عليها
- دعم النمو الاقتصادي من خلال القطاعات والابتكارات الرامية إلى الانبعاثات الصفرية
- تمكين إعادة استخدام البنية التحتية وتأجيل تكاليف الإغلاق

والأهم من كل ذلك، يعمل برنامج احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون أيضًا على تسهيل "الانتقال العادل"³. أحد التحديات الرئيسية لتحقيق الانتقال العادل هو احتمال تركيز الوظائف المفقودة من الصناعات ذات الانبعاثات المرتفعة في مكان واحد، في حين يتم استحداث وظائف في صناعات منخفضة الكربون في مكان آخر. وحتى عندما لا تشكل الجغرافيا عائقًا، فمن النادر أن يتبع الخسائر الجماعية للوظائف استحداث سريع وواسع النطاق لفرص عمل جديدة. يعمل احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون على تسهيل الانتقال العادل من خلال السماح للقطاعات بتقديم مساهمات مستدامة للاقتصادات المحلية تتزامن مع التحرك نحو صافي الانبعاثات الصفرية.

بدأ الوقت ينفد لبلوغ صافي الانبعاثات الصفرية والحد من ارتفاع درجة الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية، فعلى الرغم من أن أزمة جائحة كوفيد-19 أدت إلى انخفاض الانبعاثات والطلب على الطاقة بشكل غير مسبوق، إلا أن الوضع المستقبلي على المدى الطويل لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون لم يتغير. وحتى نحصل على أكبر فرصة لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية من الضروري أن يتم استخدام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون على نطاق واسع ويسرعة. لقد حان الوقت لتسريع الاستثمار في احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.



الشكل 1 المسارات التوضيحية في التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) عن حد ارتفاع الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية^٤

الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020

| | |
|-----|---|
| 1-0 | المقدمة |
| 2-0 | الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون |
| 3-0 | الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020 |
| 3-1 | مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية |
| 3-2 | السياسة والتنظيم |
| 3-3 | نظرة عامة على التخزين العالمي |
| 4-0 | لمحات عامة إقليمية |
| 4-1 | الأمريكتان |
| 4-2 | أوروبا |
| 4-3 | آسيا والمحيط الهادئ |
| 4-4 | مجلس التعاون الخليجي |
| 5-0 | التقنية والتطبيقات |
| 5-1 | الصناعة |
| 5-2 | الهيدروجين |
| 5-3 | الغاز الطبيعي |
| 5-4 | احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة |
| 5-5 | تقنيات الانبعاثات السلبية |
| 5-6 | الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه |
| 6-0 | الملحقات |
| 7-0 | المراجع |

3-1 مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية

قطاع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الناضج بحاجة إلى نظام تصنيف مُحدث

وضع المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه نظام تصنيف محدثاً عام 2020 ليعكس بشكل أفضل تطور قطاع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. قبل صدور هذا التقرير عن الوضع العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لعام 2020، حددنا فئتين من المرافق بناءً على قدرتها السنوية على احتجاز ثاني أكسيد الكربون:

1. مرافق كبيرة الحجم لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه:
 - المنشآت التي تحتجز ثاني أكسيد الكربون من المصادر الصناعية بسعة 400 كيلو طن سنوياً أو أكثر
 - المرافق التي تحتجز ثاني أكسيد الكربون من توليد الطاقة بسعة 800 كيلو طن سنوياً أو أكثر
 - مشاريع البنية التحتية لنقل ثاني أكسيد الكربون ومحاور التخزين بسعة 400 كيلو طن سنوياً أو أكثر.
2. منشآت تجريبية وإيضاحية
 - المرافق التي تحتجز ثاني أكسيد الكربون من المصادر الصناعية أو من توليد الطاقة، والتي لا تلي الحد الأدنى لسعة مرافق كبيرة الحجم لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

هدف المعهد عند وضعه بداية لنظام فئة احتجاز ثاني أكسيد الكربون السنوي لتطوير مرافق كبيرة بما يكفي لتوضيح احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على نطاق معقول تجارياً، أي مرافق بحجم يكفي لتطبيق الدروس المستفادة من الانتشار التجاري، ولكن دون تصعيد المخاطر بشكل كبير. وبالتالي، كان يُطلق على أعلى تصنيف لمرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مرفق كبير الحجم، وتم تحديد عتبات التأهيل وفقاً لذلك.

وخلال العام الماضي ونيف قلت فائدة نظام التصنيف هذا، فيما أن مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون الأصغر حجماً يمكن أن تكون مجدبة تجارياً - إذ توفر مراكز احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الآن وفورات الحجم في النقل والتخزين لمصادر عديدة أصغر حجماً لثاني أكسيد الكربون- لم تعد سعة الاحتجاز هي الطريقة الأفضل لتصنيف المرافق. ويظل عرض التقنيات الجديدة مهماً في هذا القطاع كما في غيره، ولكن الهدف الأساسي الآن هو نشر تقنيات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الناضجة والمتاحة تجارياً لتلبية الأهداف المناخية الطموحة.

نظام تصنيف مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الجديدة

بدءاً من هذا التقرير العالمي عن حالة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون لعام 2020 فصاعداً، سيتم تصنيف مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون على النحو التالي:

1. مرافق تجارية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه:
 - يتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون للتخزين الدائم كجزء من عملية تجارية مستمرة
 - قد يتم التخزين بواسطة طرف ثالث أو من قبل مالك مرفق الاحتجاز
 - يكون لها بشكل عام ديمومة اقتصادية مماثلة للمنشأة المضيفة لها التي يتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون منها
 - يجب أن تدعم عائد الاستثمار التجاري أثناء التشغيل و/أو تفي بشرط تنظيمي.

2. منشآت تجريبية وإيضاحية

- يتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون لاختبار تقنيات أو عمليات تتعلق باحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون أو تطويرها أو إيضاحها
- قد يتم أو لا يتم تخزين ثاني أكسيد الكربون المحتجز بشكل دائم
- تكون ديمومتها بشكل عام قصيرة مقارنة بالمرافق التجارية الكبيرة ويتم تحديدها حسب الوقت اللازم لإكمال الاختبارات وعمليات التطوير أو تحقيق المعالم التوضيحية
- لا يتوقع منها أن تدعم عائد استثمار تجاري أثناء تشغيلها.

تأثير نظام التصنيف الذي وضعه المعهد

نتجت التغييرات التالية عن نظام التصنيف الجديد:

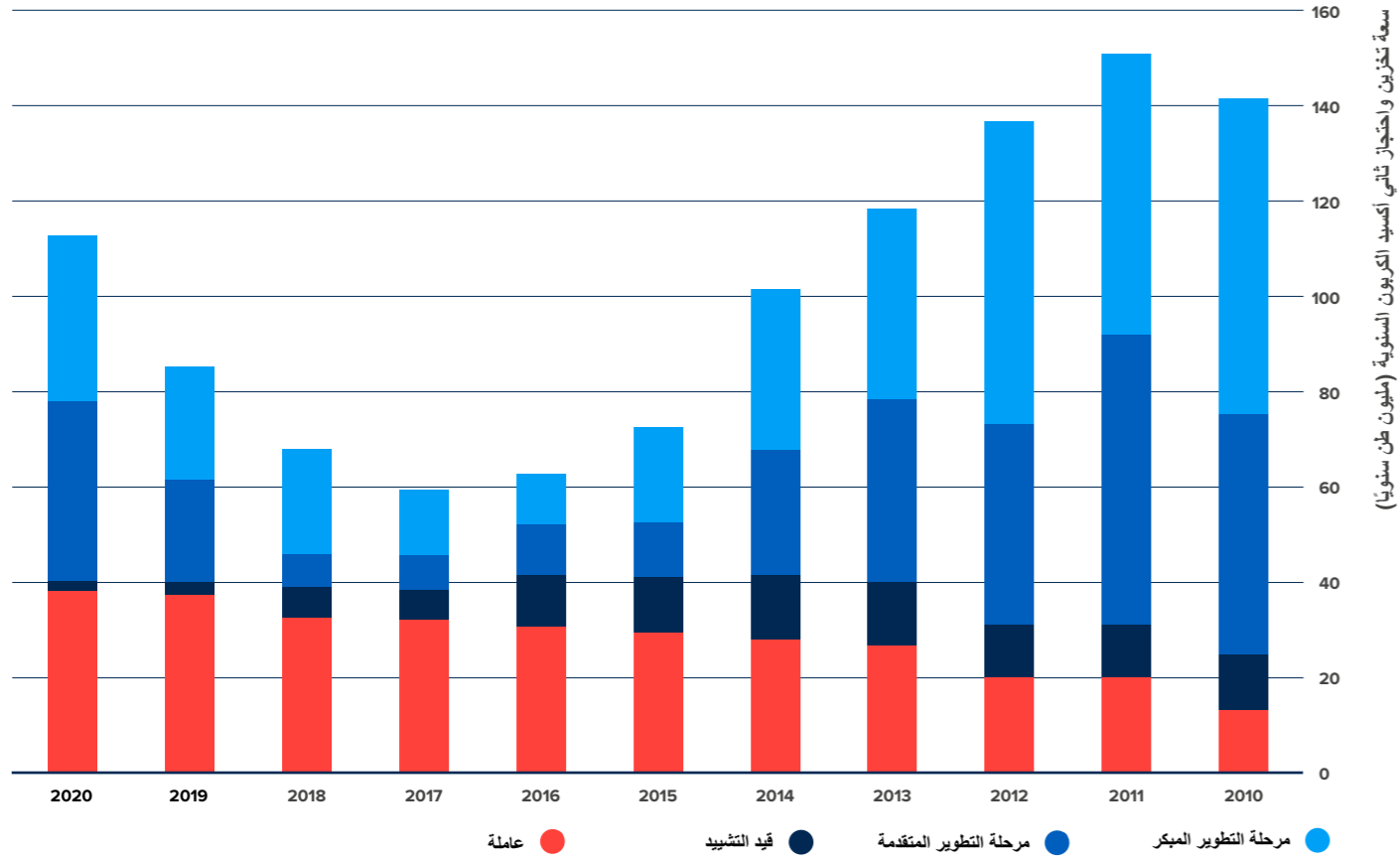
- سبع مرافق صُنفت في السابق على أنها تجريبية وتوضيحية صارت مصنفة الآن على أنها تجارية
- Brevik Norcem و Fortum Oslo Varme أصبحا الآن مرفقين تجاريين منفصلين لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (كانا مدمجين كمرفق واحد كبير الحجم، كجزء من مشروع السلسلة الكاملة النرويجي)
- تصنف مرافق Occidental Petroleum Corporation و White Energy's Hereford Ethanol Plainview للاستخلاص المعزز للنفط الآن كمرفقين تجاريين منفصلين لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (كانوا في السابق مدمجين كمرفق واحد)
- سيتم إدراج ستة مشاريع لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون تم تصنيفها سابقاً على أنها مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون كبيرة الحجم بشكل منفصل في قسم "المحاور" الجديد في قاعدة بيانات CO₂RE والتي من المقرر إنشاؤها في عام 2021، وحتى ذلك الحين، سيتم فصل هذه المحاور عن المرافق عن طريق تسميتها "مخازن ثاني أكسيد الكربون".

أي إشارة إلى مرافق جديدة أو نمو في مخططات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه تشير حصرياً إلى المرافق التي تمت إضافتها إلى قاعدة بياناتنا، وليس إلى المنشآت الحالية التي أعيد تصنيفها.

نمو خط أنابيب المرافق في عام 2020

يوضح الشكل 4 تطور مخططات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون التجارية خلال العقد الماضي. فقد انخفضت السعة الإجمالية على أساس سنوي في الفترة بين 2011 و 2017، ويرجع ذلك على الأرجح إلى عوامل مثل تركيز القطاعين العام والخاص على التعافي على المدى القصير بعد الأزمة المالية العالمية. ولكن تلا ذلك نمو قوي في السنوات الثلاث الماضية.

أحد العوامل الهامة المحفزة لنمو احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو الاعتراف بأن تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية للغازات الدفيئة (GHG) أمر يزداد إلحاحاً. تم تفعيل ذلك من خلال اتفاقية باريس عام 2015 التي أرست طموحاً واضحاً للحد من الاحترار العالمي إلى أقل من درجتين مئويتين، و زاد الطموح من حينها للحد من الاحترار إلى 1.5 درجة مئوية. وقد أدى ذلك إلى إعادة تركيز الحكومات والقطاع الخاص والمجتمع المدني على خفض الانبعاثات. فقد سنت الحكومات سياسة مناخية أقوى ومارس المساهمون ضغطاً أكبر على الشركات لتقليل انبعاثاتها من النطاق الأول والثاني والثالث¹³. التزمت حوالي 50 دولة، وولاية/مقاطعة أو مدينة، ومئات الشركات الآن بتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية بحلول منتصف القرن.



لم يتم تضمين سعة المرافق التي تم حالياً تعليق تشغيلها في بيانات 2020.

الشكل 4 خطط إنشاء مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التجارية من 2010 إلى 2020: سعة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه¹⁴

وأظهر رأس المال ابتعاداً بطيئاً عن أنواع الاستثمارات المختلفة من القطاعات ذات الانبعاثات المرتفعة ونحو تلك ذات انبعاثات أقل، كما يتضح من ارتفاع أموال الاستثمار والسندات المواتية للبيئة المذكورة في الحوكمة البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات، وتناقص تمويل مديونية الاستثمارات المرتبطة بالفحم. أصبحت الحاجة إلى معالجة القطاعات التي يصعب الحد من نشاطها مثل صناعة الصلب والأسمدة والأسمدة وقطاعات النقل أكثر إلحاحاً وغالباً لا يتم تأجيلها.

لقد حفزت هذه الاتجاهات الكلية العالمية تحليل أكثر شمولاً لكيفية تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية بأقل قدر ممكن من التكاليف والمخاطر. ومن المنطقي الاستنتاج أنه يمكن تحقيق ذلك على أفضل وجه عندما تتوفر مجموعة واسعة من التقنيات، بما في ذلك احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. بدون تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، يكون تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية مستحيلًا عملياً.

أحد العوامل الرئيسية التي تدفع نمو عملية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون هو الاعتراف بأن تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية للغازات الدفيئة أمر يزداد إلحاحاً.

منذ نشر تقرير الحالة العالمية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لعام 2019 دخل سبعة عشر مرفق تجاري جديد حيز المشاريع قيد الإعداد. وعادت الولايات المتحدة تصدر التصنيف العالمي، لكونها مقرًا لإثني عشر من أصل 17 مرفق أنشأ في عام 2020. يُظهر نجاح الولايات المتحدة بشكل مقنع أن المشاريع تمضي قدماً متى ما تخلق السياسات جدوى للاستثمار. تقع المرافق الأخرى في المملكة المتحدة (اثنان منها) وأستراليا ونيوزيلندا.

يوجد اليوم 65 مرفقًا تجاريًا لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون:ⁱⁱⁱ

- 26 مرفق تعمل
- اثنان أوقفوا عملياتهما - أحدهما بسبب الانحسار الاقتصادي والآخر بسبب حريق
- ثلاثة قيد الإنشاء
- 13 مرفق في مرحلة التطوير المتقدم بلغ التصميم الهندسي للواجهة الأمامية (FEED)
- 21 مرفق في أوائل مرحلة التطوير

يمكن لمرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه العاملة حالياً احتجاز حوالي 40 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بشكل دائم سنويًا. هناك 34 مرفقًا آخر عامل من مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التجريبية والإيضاحية وثمانية مراكز لاختبار تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

تجدر الإشارة إلى ثلاثة جوانب للنمو الأخير في عدد مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التجارية قيد الإعداد:

1. الانتماء الضريبي المعزز في الولايات المتحدة

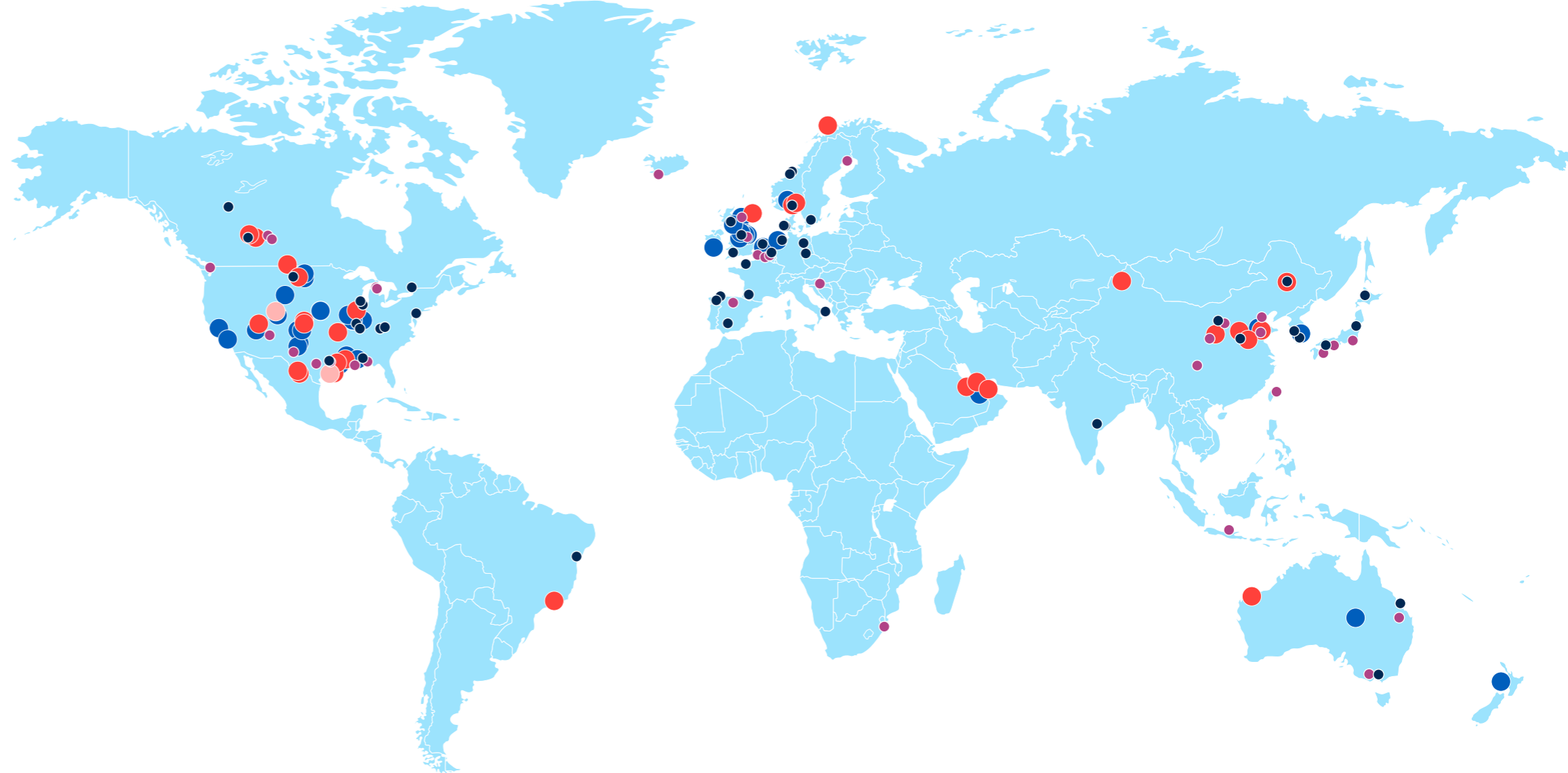
- ترجع مشاركة الولايات المتحدة في 12 من أصل 17 مرفق جديد في عام 2020 إلى حد كبير إلى انتماء Q45 الضريبي المعزز الذي أصبح قانونيًا في عام 2018، مع إصدار دائرة الإيرادات الداخلية إرشادات أكثر تفصيلاً في عام 2020.
- ستستفيد بعض المرافق الأمريكية أيضًا من معيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون. تم التداول بالمعادنات بموجب هذا المخطط بسعر بلغ 212 دولارًا أمريكيًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون في عام 2020.

2. المحاور والتجمعات

- تقلل المحاور والتجمعات بشكل كبير من تكلفة وحدة تخزين ثاني أكسيد الكربون من خلال وفورات الحجم وتقدم تآزرًا تجاريًا يقلل من أخطار الاستثمار.
- تتمتع معظم المرافق التجارية الأمريكية الجديدة بفرصة النفاذ إلى مراكز تخزين ثاني أكسيد الكربون CarbonSAFE التي يتم تطويرها بدعم من وزارة الطاقة الأمريكية⁴.
- يرتبط كلا المرفقين التجاريين الجديدين في المملكة المتحدة (UK) بشركات Zero Carbon Humber، والتي تهدف إلى أن تكون أول مجموعة صناعية تحقق صافي الانبعاثات الصفرية في المملكة المتحدة.

3. الهيدروجين: وقود المستقبل

- تغويز الفحم، أو إعادة تشكيل الغاز الطبيعي باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، هو الخيار الأقل تكلفة لإنتاج كميات تجارية من الهيدروجين النظيف. يعد التنافس للحصول على فرصة للفوز بحصة سوق إمدادات الهيدروجين النظيف عاملاً هامًا في نمو دراسات المراحل المبكرة لمشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. ومن الأمثلة على ذلك مشروع Pouakai لإنتاج الهيدروجين في نيوزيلندا، ومشروع سلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية في أستراليا (مصنع تجريبي قيد الإنشاء) ومشروع Hydrogen to Humber Saltend - أحد مشاريع الهيدروجين العديدة كبيرة الحجم التي يتم تطويرها في المملكة المتحدة.



- مرافق تجارية عاملة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه قيد التشغيل
- مرافق تجارية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه قيد التطوير
- مرافق تجريبية وإيضاحية عاملة وقيد التشغيل
- استكمال المرافق التجريبية والإيضاحية
- تم تعليق التشغيل

الشكل 5 خريطة العالم لمرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مختلف مراحل التطوير^a

أمثلة على تطورات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الجديدة

شاهد مجال احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون تقدمًا كبيرًا خلال العام الماضي وفاق عدد مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الجديدة ما يمكن ذكره هنا (للحصول على قائمة شاملة بالمرافق راجع CO₂RE، قاعدة بيانات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية الخاصة بنا). فيما يلي بعض الأمثلة القليلة التي توضح التطبيقات الواسعة وانتشار تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في عام 2020:

- بدأ مشروع **Drax** للطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المملكة المتحدة. خضعت محطة **Drax** الحالية للطاقة للتعديل في السابق، متحولة من حرق الفحم إلى حرق الكتلة الأحيائية. ستؤدي إضافة تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى التقليل من بصمة ثاني أكسيد الكربون البيئية. تستهدف **Drax** أربعة ملايين طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون من إحدى وحداتها الأربع لتوليد الطاقة، وسيُخزن في بحر الشمال، بدءًا من العام 2027 على حسب الاقتراح. يشكل هذا المشروع جزءًا من برنامج أكبر لنشر تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في نهاية المطاف في جميع وحدات إنتاج الكهرباء بالطاقة الأحيائية الأربع بحلول منتصف عام 2030.

- تقوم **Enchant Energy** بتطوير مشروع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لمحطة سان خوان لتوليد الطاقة بإحراق الفحم والتي مقرها ولاية نيو مكسيكو في الولايات المتحدة الأمريكية. سيتم استخدام ما يصل إلى ستة أطنان من ثاني أكسيد الكربون، يتم احتجازها سنويًا من خلال تقنية الاحتجاز ما بعد الاحتراق، للاستخراج المحسن للنفط (EOR) من حوض بيرميان.

- في أستراليا، أعلنت شركة الطاقة **Santos** أنها بدأت دراسة التصميم الهندسي للواجهة الأمامية لمشروع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الرامي إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون عبر معالجة الغاز الطبيعي في مصنع **Moomba** التابع لها. سيحتجز المشروع 1.7 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون ويخزنها جيولوجيًا في حقل مجاور. طالبت **Santos** بتكلفة خضف التلوث تقل عن 30 دولارًا أستراليا للطن الواحد (أي ما يعادل 22 دولارًا أمريكيًا)⁵.

- تبحث **Lafarge Holcim** في جدوى احتجاز ثاني أكسيد الكربون في مصنعها للأسمنت في كولورادو في الولايات المتحدة. سيحتجز هذا المشروع القائم بالشراكة مع **Svante** و **Oxy Low Carbon Ventures** و **Total**، 0.72 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا. وستحصل الشركة باستخدام ثاني أكسيد الكربون الذي تم احتجازه في الاستخراج المحسن للنفط (EOR)، على ائتمان 45Q الضريبي وستكون أكبر استخدام في التاريخ لتقنية احتجاز **Svante** القائمة على الامتزاز.

- يتضمن مشروع **ZEROS** تطوير محطتين مبتكرتين لتوليد الطاقة عبر إحراق الوقود الأكسجيني وتحويل النفايات إلى طاقة (WtE) في تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية بهدف احتجاز 1.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا. يؤمن إحراق الوقود الأكسجيني تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون في غاز المداخن، مما يجعل احتجاز ثاني أكسيد الكربون أقل تكلفة منه في المصانع التقليدية لتحويل النفايات إلى الطاقة.

- مشروع **Pouakai**، مملوك من قبل شركة **Rivers Capital 8**، هو مجمع صناعي لإنتاج الهيدروجين والأسمدة والطاقة في منطقة تارانوكي، نيوزيلندا. وسوف يستخدم المشروع الغاز الطبيعي كمادة لتقييم مع تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (حوالي 1 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون)، مما سيؤدي إلى صافي الانبعاثات الصفرية. سيستخدم مشروع **Pouakai** مرفق واحد لمعالجة الغاز الطبيعي مع ثلاث عمليات متكاملة:

- مشروع **NET Power's Allam Cycle** لتوليد الكهرباء
- تقنية **8 Rivers' 8RH₂** لإنتاج الهيدروجين
- تقنيات معروفة لعمليات تصنيع الأمونيا والأسمدة النيتروجينية الاصطناعية تجاريًا.

يحرز المشروع تقدمًا من خلال دراسات تطمح إلى بدء التشغيل في منتصف العقد الحالي.

يوضح الشكل 6 جميع مرافق التجارئة قيد التشغيل أو الإنشاء أو التطوير المتقدم وفق الصناعة المضيفة، وسنة بدء التشغيل الفعلية أو المتوقعة.

معالم المرافق العاملة

فيما يلي بعض أهم المعالم التي توصل لها القطاع في العام الماضي:

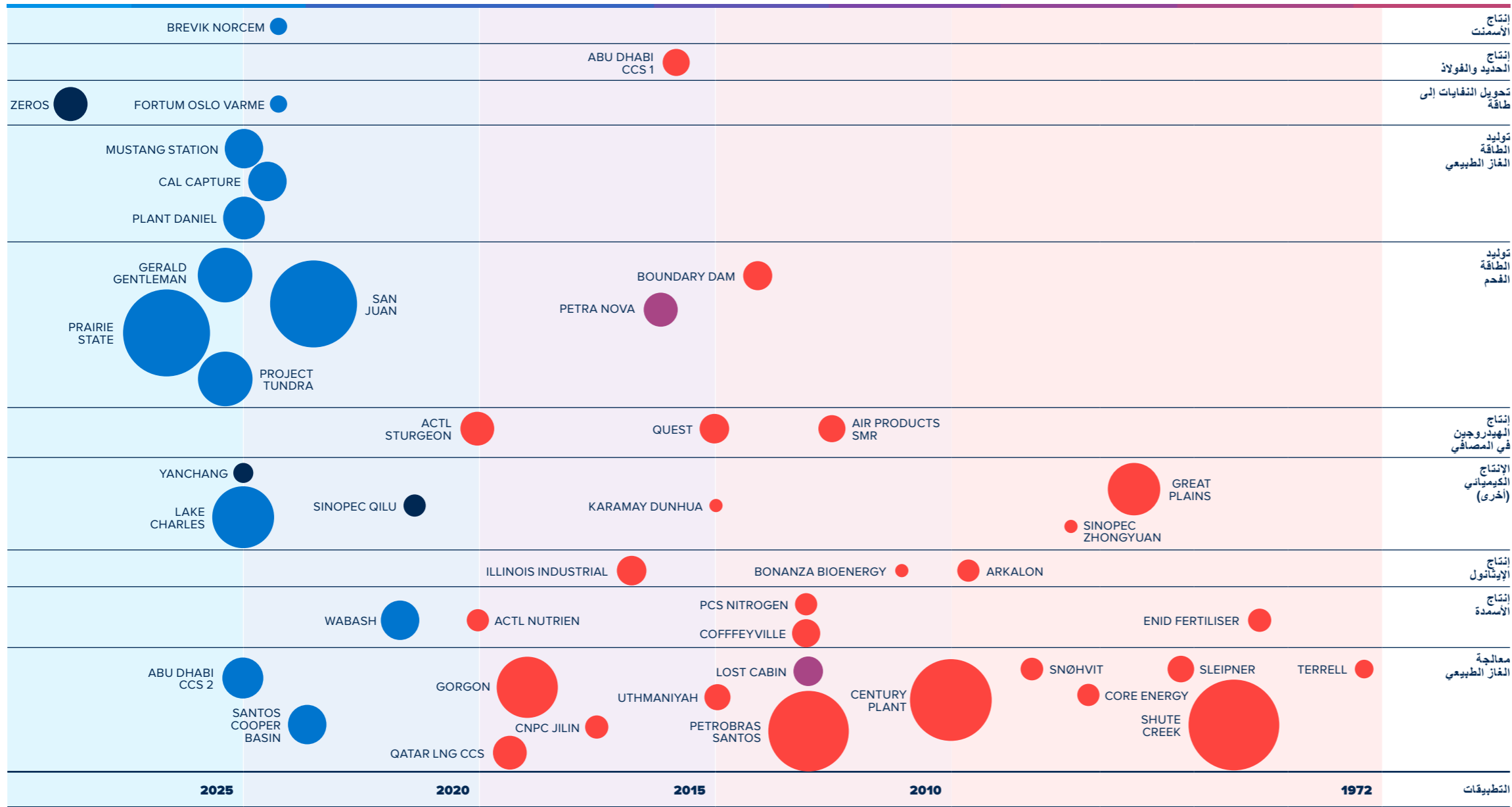
بدأ خط أنابيب **Alberta Carbon Trunk Line (ACTL)** العمل في مارس/أذار 2020. تنقل هذه البنية التحتية الرئيسية لقطاع الصناعة الكندية 14.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون لتخزينه للاستخراج المحسن للنفط في ألبرتا الوسطى. وهي البنية التحتية ذات أكبر سعة لنقل ثاني أكسيد الكربون في العالم وقد تم أخذ المستقبل في الاعتبار لدى تطويرها. المرافق الأساسية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون لها هي مصفاة **Sturgeon** لتكرير النفط ومصنع **Nutrien** للأسمدة. يعمل هذان المرافقان التجاريان لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون معا على توفير 1.6 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون، تاركين سعة إضافية كبيرة لاحتجازه في المستقبل من المرافق الصناعية في ألبرتا.

في أغسطس/آب 2019 تم تشغيل مرفق **Gorgon** لحنق ثاني أكسيد الكربون في جزيرة بارو في غرب أستراليا، ويتم تخزين ثاني أكسيد الكربون فيه منذ ذلك الحين. قامت شركة **Chevron** بشكل تدريجي بتشغيل فاطراتها لضغط ثاني أكسيد الكربون، مما أدى إلى زيادة سعة حنق ثاني أكسيد الكربون. تم الإعلان عن بلوغ طن واحد من ثاني أكسيد الكربون المخزن في فبراير/شباط من هذا العام⁷. **Gorgon** هي أكبر عملية مخصصة للتخزين الجيولوجي في العالم بسعة تصل إلى 4 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون.

يقوم مفاعل **Air Products** لمعالجة الميثان بالبخار باحتجاز ثاني أكسيد الكربون جهازين لمعالجة الميثان بالبخار موجودين في مصفاة **Valero Energy** في بورت آرثر في تكساس، وينتج 500 طن من الهيدروجين النظيف يوميًا. في أبريل/نيسان 2020، نشرت وزارة الطاقة الأمريكية أن المرفق قد احتجز وخنن بشكل تراكمي أكثر من ستة ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون.

يلتقط مرفق **Quest CCS** ثاني أكسيد الكربون من ثلاث مفاعلات لمعالجة الميثان بالبخار في **Scotford Upgrader** في ألبرتا، كندا، وينتج 900 طن من الهيدروجين النظيف يوميًا. في يوليو/تموز 2020، بلغ المخزون الدائم المرفق خمسة أطنان من ثاني أكسيد الكربون مخزنة بشكل آمن في مستودع جيولوجي مخصص.

مرفق **Petrobras Santos Basin** لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون من حقل نفط موجود في طبقة ما قبل الملح، يستعمل أغشية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن معالجة الغاز الطبيعي من المناطق البحرية ويعيد حنقه في حقل النفط **Lula** و **Sapinhoá** و **Lapa** من أجل الاستخراج المحسن للنفط (EOR). تتميز الأغشية بمزايا الحجم والوزن التي تجعلها أكثر ملاءمة للتطبيقات البحرية. **Petrobras** هو أكبر مشروع يستخدم تقنية الأغشية على مستوى العالم. وقد زادت قدرة المشروع على الاحتجاز مؤخرًا من ثلاثة إلى 4.6 مليون طن سنويًا⁸.



يتناسب حجم الدائرة مع قدرة الاحتجاز الاستيعابية للمرفق.

يشير الرسم البياني إلى نوع الصناعة الأساسي لكل مرفق من بين خيارات مختلفة.
 ● قيد التشغيل
 ● قيد التشييد
 ● في مرحلة متقدمة من التطوير
 ● تم تعليق التشغيل

الشكل 6 أ مجموعة مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التجارية في مختلف مرافق الطاقة والتطبيقات الصناعية تشمل تلك قيد التشغيل وقيد التشييد وفي مرحلة التطوير المتقدم. تتناسب مساحة الدوائر مع قدرات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الحالية⁹

المحاور والتجمعات: التوجه نحو شبكات أكثر مرونة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

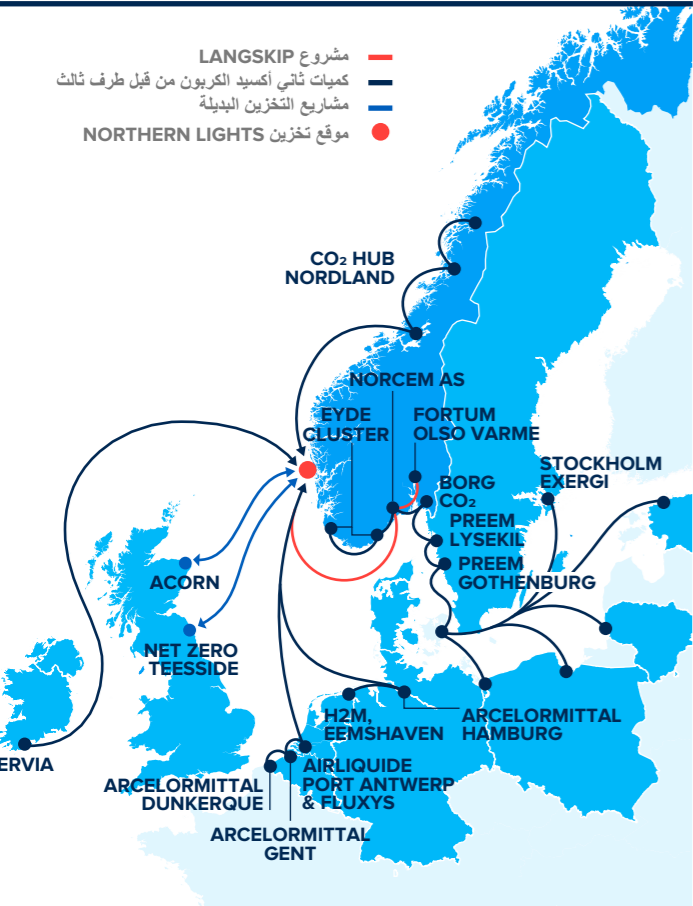
مثل معظم قطاعات الصناعة، تستفيد تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من وفورات الحجم. يؤدي توسيع قدرة الضغط والتجفيف وخطوط الأنابيب والتخزين إلى انخفاض كبير في تكلفة كل طن من ثاني أكسيد الكربون.

اعتمدت التطورات الميكروية في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه نموذج الربط بين النقطتين، والذي يميل إلى تفضيل الحالات التي يقع فيها باعث واحد كبير (مثل محطة لتوليد الطاقة أو محطة لمعالجة الغاز) على مسافة معقولة من موقع تخزين كبير.

يمكن المحاور أيضًا مطابقة المصدر أو المصرف بصورة أفضل بين مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وموارد التخزين، وتسمح بعمليات ضغط أكثر مرونة من خلال السماح بتقليل التدفق أكثر مما تقدر عليه محطات الضغط الفردية عند كل مصدر.

تقوم المحاور بتجميع تدفقات ثاني أكسيد الكربون وضغطها وتجفيفها ونقلها من مجموعات مرافق، مما يتيح الحصول على وفورات الحجم الكبيرة، لا سيما في كلفة رأس المال لمحطات الضغط (ما يصل إلى حوالي 50 ميجاوات من استهلاك الطاقة)، وفي خطوط الأنابيب (بعد سعة أقصى يقارب 15-10 مليون طن سنويًا). هذا النظام البيئي الصناعي المشتمل على عدة عملاء ومقدمي خدمات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه يقلل من المخاطر. يوضح الشكل 7 أدناه محاور وتجمعات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التي إما تعمل أو تقوم بالدراسات للمضي قدما في 2019-2020.

يعد مشروع Northern Lights أحد أكثر المحاور تقدماً من حيث التطور (انظر الشكل 8). يقوم هذا المحور النرويجي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الواقع في بحر الشمال بتجميع مجاري ثاني أكسيد الكربون، بادئاً من المصادر التأسيسية الناجمة عن تحويل النفايات إلى طاقة ومصانع الأسمت (بقدرتها إجمالية 0.8 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون). قامت بتطوير المشروع الشركات Equinor و Shell و Total، وسيقوم بضغط وتسييل ثاني أكسيد الكربون في مصانع المصدر قبل نقله بواسطة سفينة مخصصة لذلك إلى موقع تخزين⁹. حدد المشروع عام 2024 كتاريخ لبدء التشغيل.

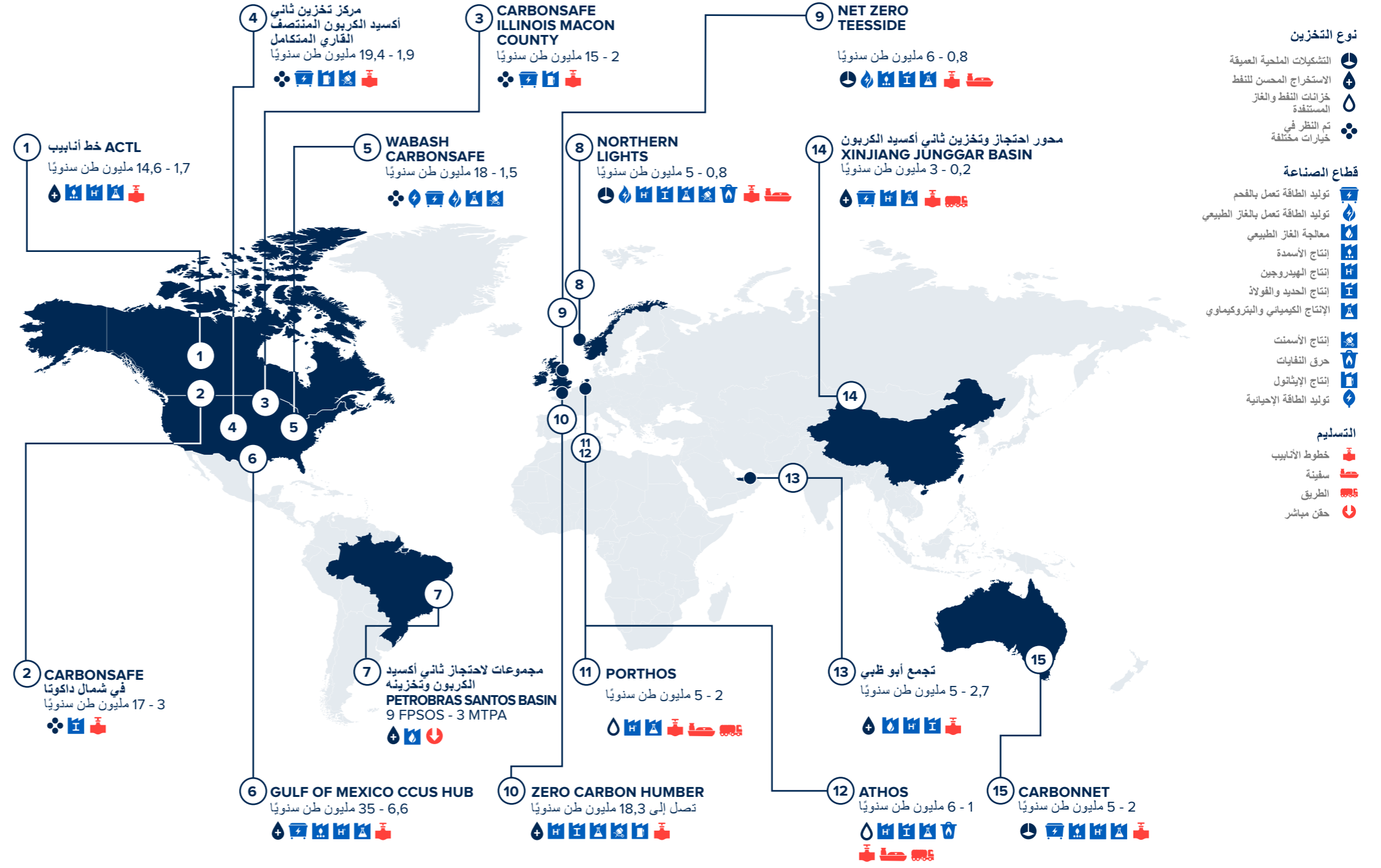


الشكل 8 مشروع Northern Lights - المصادر المحتملة لثاني أكسيد الكربون H

تأثير كوفيد-19

وفي حين اكتسب تطوير وانتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه زخمًا قويًا في عام 2020، فإن القطاع ليس محصنًا من الانحسار الاقتصادي الناجم عن جائحة كوفيد-19. أثر الوباء بشدة على الاقتصاد العالمي وقلّصت صناعات بأكملها من إنتاجها إلى حد كبير، ويشمل هذا قطاع النفط العالمي الذي شهد انخفاضًا سريعًا غير معتاد في الطلب والأسعار.

نجح مرفق Petra Nova لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في ولاية تكساس في الولايات المتحدة منذ أن تم تشغيله في أوائل عام 2017 في احتجاز ثاني أكسيد الكربون من محطة W.A. Parish لتوليد الكهرباء التابعة لشركة NRG. وقد تضرر نموذج عملها القائم على استخدام ثاني أكسيد الكربون للاستخراج المحسن للنفط، بشدة بسبب انخفاض أسعار النفط، مما أدى إلى توقف عمليات احتجاز ثاني أكسيد الكربون مؤقتًا في مارس/آذار 2020. وأشارت NRG إلى أنها ستعاود التشغيل عندما تتحسن الظروف الاقتصادية.



الشكل 7 المحاور والمجموعات العاملة أو قيد التطوير 8

3-2 السياسة والتنظيم

| السياسات وخصائص المشروع | ضريبة الكربون | اتئمان الضريبي الانبعاثات أو عائد | منح الدعم | أحكام من الحكومة أو الشركات المملوكة للدولة | الشروط التنظيمية | المحسن للنقط الاستخراج | الاحتجاز منخفض التكلفة | نقل وتخزين منخفض التكلفة | التكامل الرأسي |
|-------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------|---|------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|
|-------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------|---|------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|

| الولايات المتحدة الأمريكية | Terrell | Enid Fertiliser | Shute Creek | Century Plant | Air Products SMR | Coffeyville | Illinois Industrial | Great Plains | *ZEROs Project | Arkalon | Bonanza | Core Energy | Borger | PCS Nitrogen |
|----------------------------|---------|-----------------|-------------|---------------|------------------|-------------|---------------------|--------------|----------------|---------|---------|-------------|--------|--------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |

| كندا | Boundary Dam | Quest | ACTL Agrium | ACTL Nutrien |
|------|--------------|-------|-------------|--------------|
| | | | | |

| البرازيل | Petrobras Santos |
|----------|------------------|
| | |

| النرويج | Sleipner | Snohvit |
|---------|----------|---------|
| | | |

| الإمارات العربية المتحدة | Abu Dhabi CCS |
|--------------------------|---------------|
| | |

| المملكة العربية السعودية | Uthmaniyah |
|--------------------------|------------|
| | |

| الصين | CNPC Jilin | *Sinopec Qilu | *Yanchang | Karamay Dunhua | Sinopec Zhongyuan |
|-------|------------|---------------|-----------|----------------|-------------------|
| | | | | | |

| أستراليا | Gorgon |
|----------|--------|
| | |

*قيود التشييد

الشكل 9 السياسات الرئيسية وخصائص المشاريع التي مكّنت إنشاء مرافق ضخمة¹

3-2-1 مستجدات السياسات

تتراوح التقديرات حول كمية ثاني أكسيد الكربون التي يجب احتجازها وتخزينها لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية. فقد استعرض "التقرير الخاص عن الاحتباس الحراري بمقدار درجة مئوية ونصف" 90 سيناريو مختلف، تطلب معظمها احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه للحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية:

- تطلب تسعون بالمائة منها بلوغ تخزين ثاني أكسيد الكربون العالمي إلى 3.6 جيجا طن أو أكثر سنويًا بحلول عام 2050
- في جميع السيناريوهات، بلغ متوسط كتلة ثاني أكسيد الكربون المخزنة بشكل دائم 10 جيجا طن في عام 2050،

بينما تبلغ السعة الحالية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في جميع أنحاء العالم 40 مليون طن سنويًا. لذا يجب أن تزيد هذه السعة بأكثر من مائة ضعف بحلول عام 2050 لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية. لقد طال انتظار سياسة أقوى لتحفيز الاستثمار السريع في مجال احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون (CCS). يوفر الأسطول الحالي من مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون التجارية أمثلة على مزيج من السياسات وخصائص المشاريع التي تشجع على الاستثمار (انظر الشكل 9).

تعتمد مشاريع البنية التحتية الضخمة على كثافة رأس المال، إذ عادةً ما تصل تكاليف تصميم وإنشاء مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى مئات الملايين، وأحيانًا مليارات الدولارات الأمريكية. من المرجح أن تستثمر الشركات في وجود ضحك حكومي كبير لرأس المال من خلال منح التمويل المباشر لدعم استثمارات أسهم القطاع الخاص. كما واستثمرت الشركات المملوكة للدولة في مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

ومع احتجاز معظم السيولة العالمية داخل القطاع الخاص، فإن التحدي يكمن في جذب استثمار المصارف والمؤسسات في مشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. وفي حين أن معظم أخطار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عامة ويمكن التخفيف من حدتها على مدار أي المشروع، إلا أن هناك مخاطر يصعب استيعابها. تظهر المخاطر من عدة إخفاقات سوق:

- خطر على الإيرادات بسبب عدم إعطاء ثاني أكسيد الكربون القيمة الكافية**
في حين أن بيع ثاني أكسيد الكربون من أجل الاستخراج المحسن للنقط (EOR) قد وُلد إيرادات لبعض مشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون، فإن انتشاره على نطاق واسع يتطلب سياسات مناخية أقوى. في معظم الدول تفوق تكلفة احتجاز ونقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون القيمة المعطاة له حاليًا. يقدر سعر ثاني أكسيد الكربون اللازم لخفض الانبعاثات بتكلفة مجدية بما يتماشى مع اتفاقية باريس بنحو 40 إلى 80 دولارًا أمريكيًا للطن الواحد من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2020 ونحو 50 إلى 100 دولارًا أمريكيًا للطن الواحد منه بحلول عام 2030. يمكن احتجاز ما يصل إلى 450 مليون طن من ثاني أكسيد

الكربون واستخدامه وتخزينه بحوافز تجارية منخفضة تصل إلى 40 دولارًا أمريكيًا للطن الواحد من ثاني أكسيد الكربون عن طريق استخدام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في العديد من الفرص المتاحة ذات التكلفة المنخفضة.

- الاعتماد المتبادل أو المخاطر المتضمنة في سلسلة التشغيل**
قد تشتمل مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون على مصدر واحد ومصرف واحد وخط أنابيب واحد. تعتبر نماذج الأعمال المجزأة هذه مكلفة وتتضمن مخاطر ناجمة عن الاعتماد المتبادل. على سبيل المثال، إذا تم إغلاق المصدر الصناعي لثاني أكسيد الكربون، فلن يكون لكل من مشغلي خطوط الأنابيب والتخزين عملاء أو إيرادات.
- أخطار غير محدودة وطويلة الأجل للمسؤولية القانونية المتعلقة بالتخزين**
في حين أن خطر التسرب من مورر للتخزين اختبر بعناية ضئيل للغاية، إلا أنه وارد، فإذا لم تكن هناك قيود على المسؤولية القانونية، يبقى مشغل التخزين مسؤولاً عن أي تسرب يحدث في أي وقت في المستقبل. من الصعب جدًا على مستثمري القطاع الخاص قبول مثل هذه المسؤولية غير المحدودة والدائمة، لا سيما في صناعة ناشئة مثل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التي تفتقر إلى الخبرة.

من غير المحتمل أن يمول المستثمرون بسخاء المشاريع المعرضة لأي من هذه المخاطر، وإذا فعلوا ذلك، سيكون رأس المال باهظ الثمن. لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية، يجب على الحكومات تأطير السياسات التي تقلل المخاطر وتديرها، وتخصيصها للمؤسسات التي تستطيع إدارتها على أفضل وجه بأقل تكلفة. ويرد ملخص لاستجابات السياسات المحتملة في الجدول 1.

ستختار الحكومات إطارًا للسياسة يناسب ظروفها على أفضل وجه، وطالما أنه يمكن تقديم دراسة جدوى عن قابلية استمرار العمل، فإن القطاع الخاص سيستثمر في احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS). وأسوة بغيرها من التقنيات، تتبع تقنية CCS منحنى تعليمي ستخفض فيه تكلفة تطوير مشروع CCS مع انتشار تلك المشاريع. وهذا بدوره يقلل من تكلفة التطوير، مما يسمح لمصادر الانبعاث الأصغر بالمشاركة في الاستثمارات. في الوقت نفسه، يتم تقليل المخاطر مع الانتشار من خلال التعلم بالممارسة، وهذا سيؤدي إلى زيادة مشاركة الممولين، بما في ذلك المستثمرين المؤسساتيين.

| حاجز | أمثلة على استجابة السياسات المحتملة |
|---|--|
| عدم إعطاء ثاني أكسيد الكربون القيمة الكافية | إدخال قيمة على تخفيضات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، على سبيل المثال من خلال ضريبة الكربون، أو الائتمان الضريبي، أو نظام الاتجار بالانبعاثات، أو التزام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، أو معيار الأداء المسبب للانبعاثات أو معايير التوريدات الحكومية. وسيتمكن ذلك الاستثمارات في مرافق الاحتجاز التي ستثمر بعضها من الفوائد إلى مقدمي خدمات النقل والتخزين. |
| الاعتماد المتبادل في سلسلة القيمة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | الدعم برأس مال لتمكين تطوير شبكات النقل والتخزين المشتركة، مع التركيز على المحاور والتجمعات المتكاملة حيث تقلل وفورات الحجم من تكاليف الوحدة ويقلل تنوع مصادر الانبعاثات من أخطار حصر الأصول. قد تمتلك الحكومات في البداية البنية التحتية للنقل والتخزين. ومع ربط المزيد من الجهات الباعثة بالشبكة ستقل أخطار الاعتماد المتبادل، ويجوز أن تختار الحكومة بعدها بيع البنية التحتية للقطاع الخاص من أجل الربح. |
| المسؤولية القانونية طويلة الأجل | يجب أن تضع الأطر القانونية والتنظيمية قيودًا على تعرض المستثمرين من القطاع الخاص لأي التزامات قانونية طويلة الأجل بشأن التخزين. يمكن تحقيق ذلك من خلال نقل هذه المسؤوليات إلى الحكومة بعد فترة محددة بعد الإغلاق. يمكن للسلطات القضائية تحديد حد أدنى للسنوات التي يجب على المشغلين خلالها أن يستمروا في مراقبة الموقع بعد الإغلاق. هناك طريقة أخرى يمكن من خلالها إدارة ذلك عبارة عن آلية تحديد المخاطر، حيث يكون مشغل القطاع الخاص مسؤولاً عن سقف محدد للمخاطر، بينما تتحمل الحكومة المسؤولية عن جميع المخاطر الإضافية التي تتجاوز هذا السقف. يمكن أن تكون قيمة الحد الأقصى دالة على توازن حقوق الملكية العامة والخاصة في عملية التخزين، حيث يؤدي ارتفاع الأسهم الخاصة إلى تحديد سقف أعلى. |

الجدول 1 استجابات السياسات للتعامل مع المخاطر التي يصعب الحد منها²

زوي نايت

، HSBC
مركز التمويل المستدام



من المقرر أن يستهلك مخزون البنية التحتية الحالي والمخطط له في الطاقة والصناعة 95 بالمائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المسموح بها للحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية إذا لم يتم توفير حل عميق لإزالة ثاني أكسيد الكربون¹⁵. وتقدر وكالة الطاقة الدولية أن انتشار تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه حسب أهداف باريس سيتطلب استثمارًا يقارب 9.7 تريليون دولار أمريكي¹⁶.

تتخذ الصناعات الثقيلة على وجه الخصوص خطوات لإزالة ثاني أكسيد الكربون من استخدام الطاقة واحتجاز الانبعاثات المرتبطة بالعمليات. تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، إلى جانب السياسات التنظيمية الداعمة لها، هي تقنية متعددة الاستخدامات تمكن حدوث التخفيضات الملموسة المطلوبة في هذه القطاعات. لا يقتصر الأمر على موامة التدفق المالي مع أهداف صافي الانبعاثات الصفرية فحسب، بل أن وكالات المناخ الدولية من أمثال الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، تتفق على أنّ الانتقال إلى انبعاثات منخفضة الكربون يحتمل الا يتم في غياب تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. حان الوقت الآن للابتكار وتحفيز الحلول المستدامة داخل قطاعات الصناعة والتمويل وما بعدها، وستكون تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي الوسيلة للمساعدة في هذا الجهد.

حان الوقت الآن للابتكار وتحفيز الحلول المستدامة داخل قطاعات الصناعة والتمويل وما بعدها، وستكون تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي الوسيلة للمساعدة في هذا الجهد.

3-2-2 سياسة المناخ الدولية

في حين أن تأثير جانحة كوفيد-19 قد يتسبب في تأخير في عمليات السياسة المناخية الدولية، إلا أن حزم الانتعاش الاقتصادي الضخمة استجابة للجائحة قد وضعت تغيّر المناخ في طليعة القرارات بشأن الاستثمار. هناك فرصة فريدة لتوسيع نطاق التمويل للتصرف بشأن المناخ، بما في ذلك تمويل احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

تم تأجيل مؤتمر الأطراف القادم (COP26) لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) لمدة عام، لينعقد في نوفمبر/تشرين ثان 2021. سيركز مؤتمر الأطراف السادس والعشرين (COP26) على:

- رفع الطموح المتعلق بالمناخ العالمي
- وضع اللمسات الأخيرة على كتاب قواعد اتفاقية باريس - قواعد التنفيذ للمادة 6 بشأن التعاون بين البلدان
- البدء في تفعيل اتفاقية باريس.

من المتوقع من المساهمات المحددة وطنياً المحدثة (NDCs)، المقرر تقديمها رسميًا بحلول نهاية عام 2020، أن تسلط الضوء على التزامات البلدان بمعالجة قضية تغير المناخ وإظهار التقدم في الطموح العالمي. إلى جانب آلية تصعيد الطموح والمفاوضات بشأن المادة 6، تتحول العملية العالمية الآن إلى وضع التنفيذ لتحقيق أهداف اتفاقية باريس.

تلعب تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه دورًا مزدوجًا بموجب الاتفاق من خلال خفض الانبعاثات وإزالة ثاني أكسيد الكربون¹². تسمح المادة 6 للبلدان بالعمل معا على تحقيق أهدافها، بما في ذلك عن طريق استخدام أسواق ثاني أكسيد الكربون الدولية للإتجار بتخفيض الانبعاثات وإزالة ثاني أكسيد الكربون، ويمكن تنفيذ كلاهما من خلال مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. سيضفي الانتهاء من قواعد التنفيذ الخاصة بالمادة 6 في مؤتمر الأطراف السادس والعشرين (COP26) مزيدًا من الوضوح والخيارات لهذا التعاون. نظرًا لقيادة المملكة المتحدة القوية في مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه المخطط لها، فإن رئاستها لمؤتمر الأطراف السادس والعشرين في سيسمح لها بإبراز دورها.

حتى الآن، قامت 11 دولة (البحرين والصين ومصر وإيران والعراق وملاوي ومنغوليا والنرويج والمملكة العربية السعودية وجنوب إفريقيا والإمارات المتحدة) بتضمين احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مساهماتها المحددة وطنيًا. ونظرًا لأن الإطار الزمني للمساهمات المحددة وطنياً الحالي قصير نسبيًا (2030) أو حتى 2025)، فمن المرجح أن يسלט المزيد من البلدان قريبًا الضوء على احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه خلال الجولة التالية من التحديثات التي تستهدف عام 2035 وما بعده.

يتضح الاعتراف المتزايد بدور احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على الطريق نحو العام 2050 وما بعده في إستراتيجيات إنمائية طويلة الأجل بشأن انبعاثات غازات الدفيئة المنخفضة (LEDS) بموجب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC). اعتبارًا من نوفمبر/تشرين ثان 2020، تم تضمين احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في 15 من أصل 19 إستراتيجية مقدمة من الاتحاد الأوروبي والدول التالية: كندا والتشيك وفنلندا وفرنسا وألمانيا واليابان والمكسيك والبرتغال وجنوب أفريقيا وسنغافورة وسلوفاكيا وأوكرانيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. تتضمن إستراتيجيات إنمائية طويلة الأجل بشأن انبعاثات غازات الدفيئة المنخفضة (LEDS) المزيد من الإشارات إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كحلول للانبعاثات السلبية، بما في ذلك الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (BECCS) والاحتجاز المباشر لثاني أكسيد الكربون من الهواء وتخزينه (DACCS). بمجرد تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية ستحتاج البلدان إلى البدء في بلوغ صافي الانبعاثات السلبية، مما سيرفع من أهمية تقنيات إزالة ثاني أكسيد الكربون.

كما وتأثر العمل العلمي للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) على تقريرها التقييمي السادس (AR6) المرتقب أيضًا بجائحة كوفيد-19. شارك المعهد بنشاط في عملية المراجعة الخبيرة لتقرير الفريق العامل الثالث الذي يغطي موضوع الحد من آثار تغير المناخ. سيتضمن هذا التقرير أحدث المعلومات حول دور تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في إزالة ثاني أكسيد الكربون عالميًا وسيتم اعتماده بعد مؤتمر الأطراف السادس والعشرين (COP26).

مع تقبل واقع تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفرية، زاد بشكل كبير الاهتمام بتقنيات إزالة ثاني أكسيد الكربون من أمثال الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (BECCS) والاحتجاز المباشر لثاني أكسيد الكربون من الهواء وتخزينه (DACCS). إمكانية تقليل انبعاثات غازات الدفيئة وموازنة الانبعاثات الناجمة بإزالة ثاني أكسيد الكربون تتفاوت في مختلف أنحاء العالم. لذلك، ستحتاج البلدان إلى العمل معًا والتعاون على تحقيق التوازن في انبعاثاتها، ويمكن لإطار المادة 6 من اتفاقية باريس تسهيل هذا التعاون في العقود القادمة.

3-2-3 المستجدات القانونية والتنظيمية

لم يتخذ خلال العام الماضي سوى عدد قليل من البلدان خطوات لتطوير تشريعات خاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو تحسين أطرها التنظيمية. وعلى الرغم من ذلك، فإن التطورات المهمة على المستويين الدولي والوطني ستعالج أخيرًا عقبة قانونية وتنظيمية مطولة للنقل عبر الحدود.

تمكين نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود بموجب بروتوكول لندن

كان تعديل بروتوكول لندن لعام 2006، الذي أتاح تخزين ثاني أكسيد الكربون في التشكيلات الجيولوجية تحت قاع البحر، خطوة مهمة من قبل المجتمع الدولي نحو الاعتراف بالدور المحتمل لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في التخفيف من حدة تغير المناخ، ومع ذلك، فهو لم يزيل جميع الحواجز. أتضح لأولئك الذين يسعون إلى تصدير ثاني أكسيد الكربون للتخزين، أو استضافة مشاريع التخزين داخل أراضيهم، أن الأمر غير مسموح به.

في أكتوبر/تشرين أول 2009، تم اقتراح تعديل على البروتوكول للسماح بنقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود للتخزين، ولكن لم يتم التصديق عليه من قبل عدد كافٍ من الأطراف. واستمر المأزق حتى أكتوبر/تشرين أول 2019.

في اجتماع أكتوبر/تشرين أول 2019 للأطراف المتعاقدة في البروتوكول، أثيرت القضية مرة أخرى، وتم تقديم مقترح قرار مشترك من قبل حكومتي هولندا والنرويج. بموجب هذا المقترح، ستسمح الأطراف "بالتطبيق المؤقت" للتعديل المقترح عام 2009، بإعطائها "الموافقة على نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود لغرض التخزين الجيولوجي دون أن يتسبب ذلك في الإخلال بالالتزامات الدولية". وتم التوصل إلى اتفاق رسمي،

ويمكن للبلدان الراغبة في تصدير أو استلام ثاني أكسيد الكربون للتخزين القيام بذلك الآن رهنا بتقديم إعلان التطبيق المؤقت وإخطار المنظمة البحرية الدولية بأي اتفاقات أو ترتيبات. وستقوم الأطراف فعليًا بتنفيذ أحكام تعديل 2009 قبل أن يدخل حيز التنفيذ.

إزالة الحواجز أمام المشاريع الأسترالية

طوّرت حكومتا الكومنولث الأسترالي وولاية فيكتوريا بعضًا من الأمثلة الأولى في العالم للتشريعات الخاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. قامت القوانين التي تحكم المناطق البحرية الساحلية على مستوى الكومنولث والولايات واللوائح المصاحبة لها، بتعديل أنظمة البترول الحالية وقدمت نموذجًا خاصًا باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لتنظيم أنشطة النقل عبر خطوط الأنابيب والحقن والتخزين داخل كل من المياه المملوكة للكومنولث ولولاية فيكتوريا.

إلا أن مشروع CarbonNet الفيكتوري حدد وجود مشكلة خاصة في هذا النموذج التنظيمي، حيث امتد تشكيل التخزين المقترح عبر الحدود الفاصلة بين المياه الساحلية للولاية ومياه الكومنولث. وكان حل هذه المشكلة أمرًا بالغ الأهمية بالنسبة لاستمرارية نشاطات المشروع المسموح بها وعلى وجه التحديد بالنسبة لموقع Pelican للتخزين المفضل لديها.

تمت معالجة هذه المشكلة الآن من خلال إصدار تشريع فيدرالي يسمح بمنح سندات ملكية فردية خاصة بغاز الدفيئة وإدارتها إذا وقعت جزئيًا في كل من مياه الكومنولث والمياه الساحلية لولاية أو إقليم، بحيث ستنص كافة الأحكام الجديدة الآن تحول ملكية المنطقة البحرية إلى الكومنولث لكافة أغراض نظام الكومنولث الحاكم للمناطق البحرية الساحلية،

في الحالات التي يتم فيها منح سند ملكية جديد. ورغم أن هذه التعديلات تنطبق في مختلف أنحاء أستراليا، فإنها ستؤثر بشكل خاص على مشروع CarbonNet وستساعده بلا شك في المضي قدمًا.

إصدار إرشادات حول الحوافز الضريبية الأمريكية

تقدم لوائح الخزينة المقترحة، التي أصدرتها دائرة الإيرادات الداخلية (IRS) في مايو/ أيار من هذا العام، معلومات وتوضيحات كانت مطلوبة بشدة حول كيفية مطالبة دافعي الضرائب الذين يقومون باحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون بموجب أحكام الضريبة Q45 بانتصاناتهم. وهي تتبع إصدار دائرة الإيرادات الداخلية (IRS) في شهر فبراير/ شباط للإشعار 2020-12 وإجراءات الإيرادات 2020-12، والتي تمت تناولها في "الإعفاءات الضريبية لعزل أكسيد الكربون وفق قانون Q45 الأمريكي" "تحديث"¹³ قدم تحديث المعهد تفاصيل مهمة حول تعريف "بدء تشييد" مرفق الاحتجاز، وإرشادات حول معالجة هيكل الشراكة وإجراءات الإيرادات المرتبطة بها.

تحتوي الإرشادات واللوائح التنظيمية المقترحة على كم هائلٍ من التفاصيل الفنية، يمكن اختصار نقاطها الرئيسية في التالي:

- من يمكنه المطالبة برصيد Q45
- الشروط المتعلقة بالتخزين الجيولوجي الآمن
- الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون
- استعادة العائدات

كما وتتناول اللوائح التنظيمية المقترحة العديد من القضايا المعقدة التي حددها المستثمرون ومطورو المشاريع. على الرغم من أنها مخصصة للاستخدام بعد نشرها، فقد يختار دافعو الضرائب تنفيذها والاعتماد عليها "للسنوات الخاضعة للضريبة التي تبدأ في 9 فبراير/شباط 2018 أو بعده"¹⁴ إذا تم اتباعها كاملة وتطبيقها بشكل ثابت.

يتم توفير لمحة عامة أكثر تفصيلاً في القسم 1-4 من هذا التقرير.

الاستعجال

أكدت تجربة المشاريع على أهمية التيقن الواقعية في الأنظمة القانونية والتنظيمية التي تنظم عمليات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. فكما سبق وأوضحنا، أدت التأخيرات في معالجة القضايا القانونية المتفردة حتى في الولايات القضائية التي تم فيها وضع أطر عمل بشأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، إلى قدر كبير من عدم اليقين وعقبات كبيرة أمام انتشار احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

مع الالتزامات المناخية الوطنية، ولا سيما طموحات سياسة صافي الانبعاثات الصفرية التي تدعو إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون، يجب استكمال هذه الأنظمة القانونية والتنظيمية في العديد من البلدان، وفي حالات أخرى القيام بتطويرها. وحيث أبدت الحكومات التزامها، يجب أن يتقدم العمل ويُلبي احتياجات كل من الجهات الرقابية ومؤيدي المشروع.

لقد ثبت أن تطوير التشريعات الخاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه يستغرق وقتًا طويلاً ويستهلك موارد كثيرة للعديد من الحكومات، ويتطلب برامج كبيرة للمراجعة والتشاور.

هناك حاجة ملحة ومتنامية للبدء في العمل في الدول التي أبدت طموحات سياسية بشأن التقنية ولكنها لم تفكر بعد في استجاباتها القانونية والتنظيمية.

3-3 نظرة عامة على التخزين العالمي

يستخدم التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون نفس القوى والعمليات التي احتجزت النفط والغاز (بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون المتواجد طبيعياً) والهيدروكربونات الأخرى في باطن الأرض لملايين السنين.

الخطوة الأخيرة والأهم في احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي التخزين الدائم لثاني أكسيد الكربون في التشكيلات الصخرية المسامية. يستخدم التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون نفس القوى والعمليات التي احتجزت النفط والغاز (بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون الذي المتواجد طبيعياً) والهيدروكربونات الأخرى في باطن الأرض لملايين السنين. أي تكوين كبير وعميق بدرجة كافية (أعمق من 800 متر) مع مسامية وقابلية النفاذ المناسبين، يعتبر موقع تخزين محتمل طالما أن التشكيلات الصخرية الأخرى غير القابلة للنفاذ تمنع تسرب ثاني أكسيد الكربون.

حقول النفط والغاز

تقوم العديد من مشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون بتخزين ثاني أكسيد الكربون في حقول النفط والغاز، ليس فقط لأنها أثبتت بالفعل قدرتها على احتواء ثاني أكسيد الكربون (والسوائل الأخرى) لملايين السنين، ولكن أيضاً بسبب معرفة الكثير عنها بفضل قرن من الاستكشاف على أيادي قطاع النفط والغاز. عادةً يتم تحديد السمات الهيكلية بجمع البيانات الزلزالية، ومن خلال تحليل البيانات الجيوفيزيائية والنوى المأخوذة من الآبار. سمح الاستكشاف بتقدير البنية الفيزيائية للتشكيلات الصخرية، التي تقع في أفضل مواقع تخزين ثاني أكسيد الكربون المحتملة، وأعطى فكرة عن مدى سهولة تدفق السوائل عبر الصخور المخزنة. ونق في معرفتنا لهذا الأمر بدرجة كبيرة للأسباب التالية:

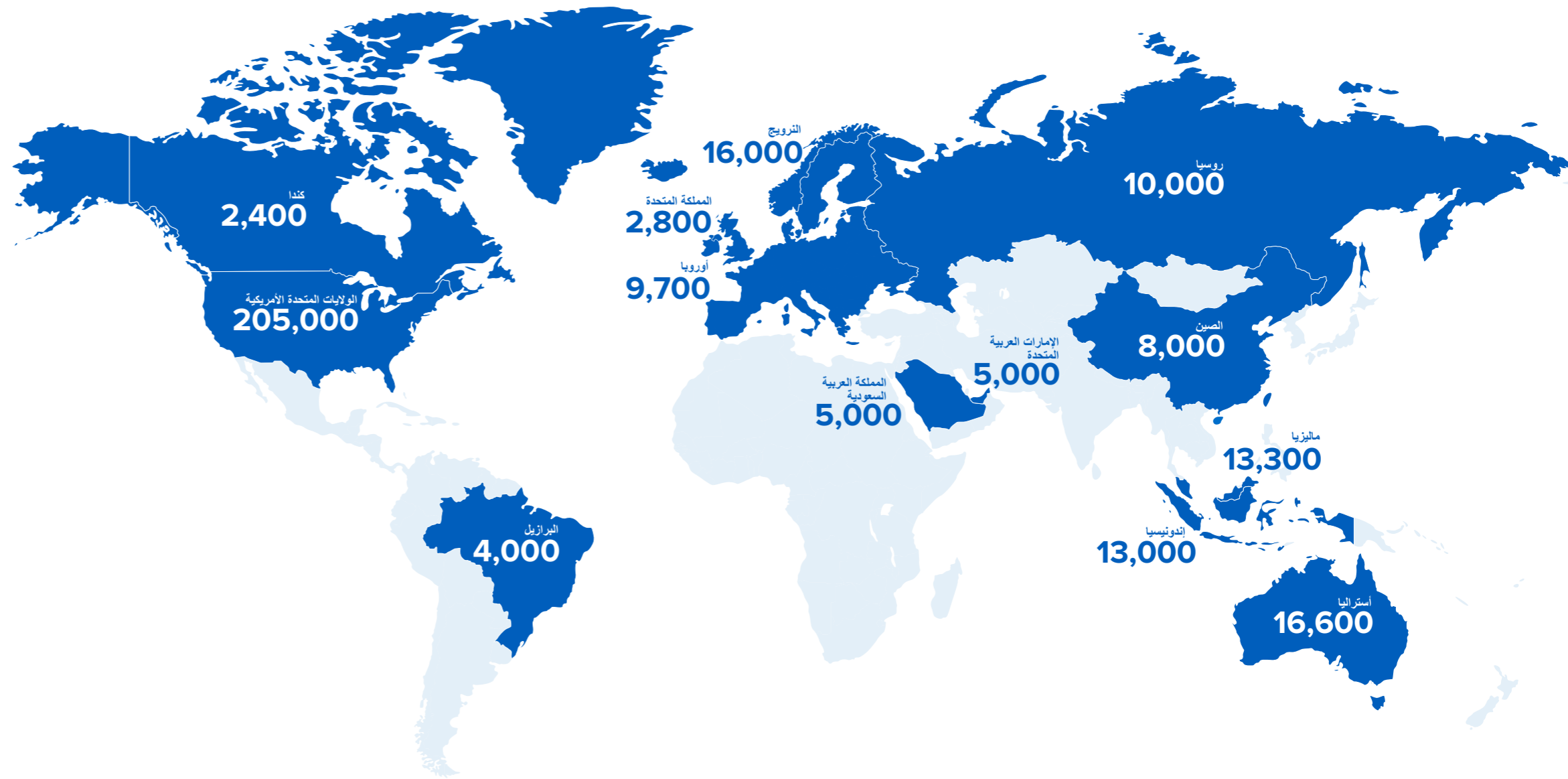
- تعد معدلات إنتاج النفط أو الغاز مؤشراً قوياً جداً على المعدل الذي يمكن به حقن ثاني أكسيد الكربون في نفس الهيكل
- يوفر إجمالي كمية النفط أو الغاز المنتجة تقديراً أولياً جيداً لكمية ثاني أكسيد الكربون التي يمكن تخزينها في الهيكل.

إن سعة التخزين الجيولوجي العالمية لثاني أكسيد الكربون أكبر بعدة مرات مما هو مطلوب كي يلعب احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون دوره الكامل في دعم تحقيق صافي الانبعاثات الصفريّة في ظل أي سيناريو. يلخص الشكل 10 موارد التخزين لحقول النفط والغاز الرئيسية بناءً على أحدث التقارير الوطنية والدولية، مع الأخذ في الاعتبار بكتلة النفط أو الغاز الموجودة أو المنتجة بالفعل (والتي أفرغت بذلك سعة تخزين)، والاختلاف في كثافات ثاني أكسيد الكربون والنفط والغاز.

التشكيلات الملحية

ومع أنّ حقول النفط والغاز تمتلك القدرة على تلبية متطلبات تخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية إلا أنّ توزيعها الجغرافي محدود نسبياً. هناك العديد من الحالات التي يبعد فيها مصدر ثاني أكسيد الكربون عن أقرب حقول نفط أو غاز كبير، مما يزيد من تكلفة النقل. تنتشر التشكيلات الصخرية المشابهة لتلك الموجودة في حقول النفط أو الغاز على نطاق واسع، ولكنها تحتوي على مياه رديئة النوعية بدلاً من الهيدروكربونات. هذه التشكيلات الملحية شائعة ولديها موارد تخزين ضخمة لثاني أكسيد الكربون، ما يصل إلى عدة آلاف مليار طن من ثاني أكسيد الكربون مقارنة بمئات المليارات في حقول النفط والغاز. للاطلاع على المزيد حول هذا الموضوع، راجع الدراسات التي أجرتها وزارة الطاقة الأمريكية (USA's 2015 Storage Atlas)¹⁷، والهيئة العقارية التابعة للتاج البريطاني في المملكة المتحدة¹⁸ (UK CO₂ Stored).

ولكن من المؤسف أنه نظراً لعدم وجود القيمة الاقتصادية للتشكيلات الملحية أو انخفاضها، يكاد الاستثمار في دراسة قدراتها على التخزين أن ينعدم تقريباً. هذا مثال آخر على فشل سوق ثاني أكسيد الكربون لعوامل خارجية أدت إلى استثمار غير كافٍ في نشاط مفيد للمجتمع. وبالتالي هناك حاجة ملحة لإنشاء الحكومات لبرنامج تُقيّم التشكيلات الملحية بنفس الطريقة التي تم بها تقييم تشكيلات حقول الغاز والنفط. سيكون من المثالي الاطلاع على المحافظ الوطنية التي تدرج وتصنف جميع موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون، وتوفر ما يكفي من بيانات لدعم قرارات الاستثمار التجارية بشأن احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.



موارد التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون في التشكيلات الملحية أكبر بمئات المرات من موارد حقول النفط أو الغاز الموضحة في هذا الشكل.

الشكل 10 موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون (بملايين الأطنان) في حقول النفط والغاز الرئيسية^k

تتجبر تخزين ثاني أكسيد الكربون

مثالان رئيسيان لتتجبر موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون هما مشروع Northern Lights في النرويج ومشروع CarbonNet في أستراليا. فكلاهما ينطوي على تحديد موارد التخزين الجيولوجي وتقييمها لشركات نقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون مستقبلاً على أساس قيام المستخدمين بتسديد تكلفتها.

قامت جمعية مهندسي البترول (SPE) بتطوير نظام تصنيف مناسب تجارياً لموارد التخزين الجيولوجي. يعتمد نظام إدارة موارد التخزين (SRMS) التابع لجمعية مهندسي البترول (SPE) على نظام إدارة موارد البترول (PRMS) المستخدم على نطاق واسع لتصنيف احتياطيات وموارد النفط والغاز، وهو يحدد تعريفات قياسية لوصف مستوى النضج ومستوى عدم اليقين أو الثقة في تقييمات موارد التخزين ويدعم قرارات الاستثمار التجاري في احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون بنفس الطريقة التي يقوم بذلك نظام إدارة موارد البترول (PRMS) بالنسبة لموارد النفط والغاز.

فهرس موارد التخزين العالمي لثاني أكسيد الكربون

تقوم مبادرة شركات النفط والغاز بشأن المناخ (OGCI) بتمويل فهرس موارد التخزين العالمي لثاني أكسيد الكربون وهو أول تطبيق في العالم لنظام إدارة موارد التخزين (SRMS)، تقوم بتطويره Pale Blue Dot Energy والمعهد العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون باستخدام البيانات والدراسات المتاحة للعموم. وحتى تاريخه قامت شركة Pale Blue Dot Energy بتقييم 500 موقع في 80 حوضاً في

13 دولة. في غضون السنوات الخمس المقبلة، سيتم تقييم كل أحواض تخزين رئيسية في العالم. تم تحديد موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون تصل سعتها المحتملة إلى أكثر من 12 ألف مليار طن (يطلق نظام إدارة موارد التخزين عليها مصطلح "غير المكتشفة"). ولم يتم جمع البيانات والتحليل الكافي لتصنيفها على أنها موارد مكتشفة سوى لموارد تخزين بسعة 400 مليار طن فقط، مما يؤكد الحاجة الملحة للبرامج الوطنية.

يدعم التحليل حتى الآن الرأي السائد بأن 98 بالمائة من موارد التخزين العالمية موجودة في تشكيلات ملحية. بمعنى آخر، قد تمثل الأرقام الموضحة في الشكل 10 في مجملها، حوالي 2 بالمائة فقط من قدرة التخزين العالمية المحتملة.

لا تشكل سعة التخزين عائقاً

تبدو موارد التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون أكثر من كافية لتلبية المتطلبات العالمية في ظل أي سيناريو عن صافي الانبعاثات الصفرية، ومع ذلك، لا تدعم إعدادات السياسة دراسة جدوى للاستثمار الخاص مما يجعل التمويل الحكومي لبرامج تقييم موارد التخزين الاستراتيجي أمراً ضروري.

البروفيسور نيال ماكدويل

إمبريال كوليج



مع اقتراب عام 2020 من نهايته، تنتهي كذلك تجربة مستحدثة حول المدى الذي يمكن أن يؤدي به التغيير السلوكي إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المصدر. أنا أشير هنا بالطبع إلى تأثير جانحة كوفيد-19. خلال الجزء الأول من عام 2020، لوحظ انخفاض واضح في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالنشاط الصناعي والسفر الجوي. ورغم أهميته إلا إن هذا الانخفاض لم يكن كافياً على الإطلاق لكي يشكل مساهمة ملموسة في التخفيف من آثار تغير المناخ. يبدو لي الاستنتاج واضحاً: التغيير السلوكي وحده غير كاف، لذا سيكون التدخل التقني مطلوباً لإزالة ثاني أكسيد الكربون من الاقتصاد العالمي. وعلاوة على ذلك، هناك الآن ضرورة واضحة لإعادة إحياء المجتمع بشكل أفضل بعد الضرر الاقتصادي الذي أحدثته الجائحة، وأن الانتعاش الاقتصادي يجب أن يكون أيضاً انتعاشاً داعماً للبيئة.

ومن الضروري أيضاً أن يكون التحول الموائم للبيئة المتصور والواقع انتعاشاً تدريجياً. وفي هذا السياق، يعد خلق وظائف عالية الجودة والحفاظ على المجتمعات المحلية أمراً في غاية الأهمية، مع التركيز بعناية على إمكانية الأتمتة المسببة لتشويش الصناعة. أخيراً، يجب أن ندرك أنه لا يوجد تحول واحداً يناسب الجميع فالدول والمناطق المختلفة تتمتع بنقاط قوة خاصة بها يجب الاهتمام بها إذا كان لهذه الأهداف أن تتحقق. وفي هذا الصدد، يلعب احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه دوراً بالغ الأهمية في إزالة ثاني أكسيد الكربون من إمداد التدفئة والكهرباء والنقل والخدمات الصناعية، بالتزامن مع خلق الوظائف والحفاظ عليها على جميع مستويات الاقتصاد.

يلعب احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه دوراً بالغ الأهمية في إزالة ثاني أكسيد الكربون من إمداد التدفئة والكهرباء والنقل والخدمات الصناعية، بالتزامن مع خلق الوظائف والحفاظ عليها على جميع مستويات الاقتصاد.

دكتور فاتح بيرول

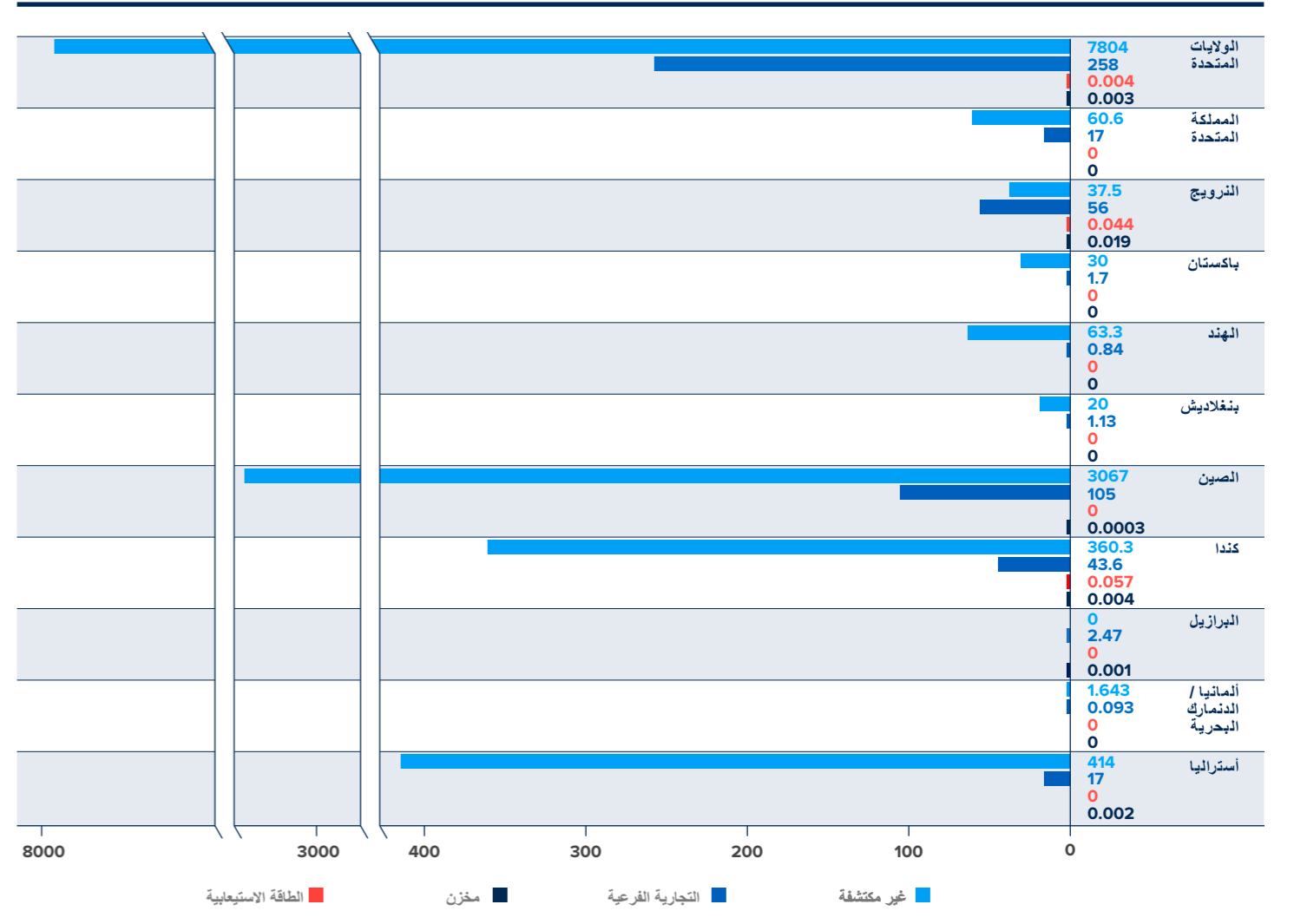
المدير التنفيذي،
وكالة الطاقة الدولية



...قررت الوكالة الدولية للطاقة أن
بلوغ صافي الانبعاثات الصفرية
سيكون مستحياً فعلياً بدون
استخدامات ثاني أكسيد الكربون
المحتجز والمخزن.

على الرغم من الخسائر الفادحة التي تسببت فيها جانحة كوفيد-19، أزداد تفاؤلاً بأن مستقبل الطاقة النظيفة بات في متناول اليد، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى دعم المزيد من الحكومات والشركات لتقنيات الطاقة النظيفة، بما في ذلك استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن. تم تخصيص ما يقرب من 4 مليارات دولار لاستخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن في عام 2020 وحده، بما في ذلك لمشروع Longship الذي يعتبر أكبر استثمار مناخي على الإطلاق في النرويج.

هذه أخبار جيدة لأن الوكالة الدولية للطاقة قد قررت أن بلوغ صافي الانبعاثات الصفرية يكاد أن يكون مستحياً بدون استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن، تمتد مساهمتها عبر نظام الطاقة العالمي، لآلية أربعة أدوار إستراتيجية: (1) معالجة الانبعاثات من مجموعة أصول الطاقة العالمية الضخمة والحديثة نسبياً؛ (2) الحد من أصعب الانبعاثات الناتجة عن الصناعات الثقيلة؛ (3) تصعيد الهيدروجين منخفض الكربون؛ و(4) إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لموازنة الانبعاثات التي لا يمكن تجنبها أو القضاء عليها. ستكون هناك حاجة إلى تعزيز التعاون العالمي لتعزيز الزخم الأخير وتحويل استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن إلى نجاح في مجال الطاقة النظيفة. تلزم وكالة الطاقة الدولية بأداء دورها في هذه الجهود.



الشكل 11 تقييم موارد التخزين العالمية (GtCO₂)

لمحات عامة إقليمية

- 1-0 المقدمة
- 2-0 الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون
- 3-0 الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020
 - 3-1 مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية
 - 3-2 السياسة والتنظيم
 - 3-3 نظرة عامة على التخزين العالمي
- 4-0 لمحات عامة إقليمية
 - 4-1 الأمريكيتان
 - 4-2 أوروبا
 - 4-3 آسيا والمحيط الهادئ
 - 4-4 مجلس التعاون الخليجي
- 5-0 التقنية والتطبيقات
 - 5-1 الصناعة
 - 5-2 الهيدروجين
 - 5-3 الغاز الطبيعي
 - 5-4 احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة
 - 5-5 تقنيات الانبعاثات السلبية
 - 5-6 الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه
- 6-0 الملحقات
- 7-0 المراجع

4-1 الأمريكية

مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في الأمريكتين
في عام 2020، أضاف المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون 12 مشروعاً تجارياً جديداً في الأمريكتين إلى قاعدة بياناتنا الخاصة بمرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.



توجد حالياً 38 منشأة تجارية قيد التشغيل أو في مختلف مراحل التطور في المنطقة يمثل هذا حوالي نصف إجمالي المشاريع حول العالم.

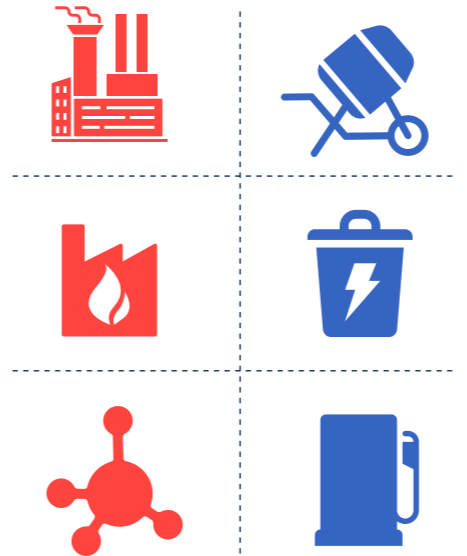
38 المرافق التجارية

احتجاز ثاني أكسيد الكربون

تبلغ طاقة الاحتجاز الاستيعابية لمرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون التجارية العاملة في المنطقة أكثر من 30 مليون طن سنوياً.

30 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون

يتضح تنوع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في الولايات المتحدة في عام 2020، حيث تم الإعلان عن مشاريع في: تصنيع الأسمنت، ومحطات لتوليد الطاقة التي تعمل بالفحم، ومحطات لتوليد الطاقة التي تعمل بالغاز، ومحطات تحويل النفايات إلى طاقة، ومرافق الإيثانول، والإنتاج الكيميائي.



المعامل التشغيلية

تم تحقيق العديد من المعامل التشغيلية المهمة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في مختلف أنحاء الأمريكتين في عام 2020:

5 مليون طن تم احتجازها وتخزينها

تجاوزت كمية ثاني أكسيد الكربون المحتجزة والمخزنة في مرافق Shell Quest على مدى 5 سنوات من تشغيله 5 ملايين طن.

14 مليون طن تم احتجازها وتخزينها

تجاوز مرافق Petrobras Santos Basin الواقع قبالة سواحل البرازيل 14 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون الذي تم احتجازه وتخزينه.

4 مليون طن تم احتجازها وتخزينها

تجاوز مرافق Boundary Dam 3 في ساسكاتشوان أكثر من 4 ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون الذي تم احتجازه وتخزينه.

سياسات الولايات المتحدة الأمريكية الرئيسية

تم تحفيز المشاريع الجديدة إلى حد كبير من خلال ائتمانات Q45 الضريبية ومعيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون (LCFS)

ائتمانات Q45 الضريبية لتخزين ثاني أكسيد الكربون

كما تم عام 2020 إدراج تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مناقشات سياسة الطاقة والمناخ، بدعم من كل من حزب الديمقراطيين والجمهوريين.

وكانت وزارة الطاقة الأمريكية سبباً آخر من الأسباب التي أدت إلى نمو قائمة المشاريع قيد التطوير، حيث إنها منحت أو تعهدت بمنح أكثر من 270 مليون دولاراً على هيئة اتفاقيات التمويل المشترك في عام 2020.

270 مليون دولاراً في اتفاقيات التمويل المشترك

في عام 2020، استمر زخم احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في النمو عبر القارة الأمريكية. هناك التزام مستمر ومتزايد من الحكومة والشركات باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وبالإجراءات الرامية إلى تغيير المناخ على نطاق أوسع حتى في مواجهة الآثار الاقتصادية للجائحة والانخفاض الحاد في أسعار النفط. ينعكس هذا الالتزام في العدد المتزايد من مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه قيد التطوير، فضلاً عن الإعلانات حول أهداف خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العميقة - بما في ذلك صافي الانبعاثات الصفرية - من قبل شركات مختلفة.

مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

كان بدء تشغيل خط أنابيب ACTL في كندا معلماً بارزاً وسط كثيرين غيره، فالمشروع بصفته مثالاً نموذجياً للشراكة بين القطاعين العام والخاص، يقدم نظرة تتنبأ بمستقبل التنمية الصناعية منخفضة الكربون (انظر دراسة الحالة).

اتضح تنوع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه خلال هذا العام حيث تم الإعلان عن مشاريع في تصنيع الأسمنت، ومحطات لتوليد الطاقة التي تعمل بالفحم، ومحطات لتوليد الطاقة التي تعمل بالغاز، ومحطات تحويل النفايات إلى طاقة، ومرافق الإيثانول، والإنتاج الكيميائي. وخلال عام 2020، أضيف 12 مرافق جديد ضخمة قيد التطوير في الولايات المتحدة وحدها إلى قاعدة بيانات المشاريع الخاصة بالمعهد، تم تحفيزها إلى حد كبير من خلال ائتمان Q45 الضريبية ومعيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون (LCFS). يوجد الآن 38 مرافقاً تجارياً قيد التطوير أو الإنشاء أو التشغيل في المنطقة - أكثر من نصف الإجمالي العالمي (انظر الجدول 2 أدناه للحصول على ملخص للمرافق قيد التطوير).

تسببت المخاوف بشأن تقلبات أسعار النفط، والحاجة إلى الحد من هذه المخاطرة، في تضمين المزيد من المشاريع للتخزين المكثف أو خيارات التخزين المزدوجة، باستخدام كلاً من التخزين الجيولوجي المخصص في التشكيلات الملحية والاستخراج المحسن للنفط (EOR). مكّن ائتمان Q45 الضريبية ومعيار الوقود منخفض الكربون (LCFS) هذا التوجه، من خلال إعطاء تخفيضات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون قيمة نقدية.

يعد الدعم المقدم من وزارة الطاقة الأمريكية 19 سبباً آخر لنمو قائمة المشاريع. ففي السنة المالية 2020، خصص الكونجرس 217.8 مليون دولار لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه. التزمت وزارة الطاقة الأمريكية باستخدام هذا التمويل وغيره من أموال السنة المالية السابقة بمنح أكثر من 270 مليون دولار أمريكي على هيئة اتفاقيات التمويل المشترك لدراسات التصميم الهندسي للواجهة الأمامية، ولتقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون من مصادر الغاز الطبيعي والصناعي، والاحتجاز المباشر من الهواء (DAC)، والاستفادة من ثاني أكسيد الكربون والتخزين الجيولوجي.

دراسة الحالة: تم تشغيل خط أنابيب ALBERTA CARBON TRUNK LINE في كندا.

بعد أن تم تصوّره منذ أكثر من عقد من الزمن باعتباره البنية التحتية الأساسية لاقتصاد منخفض الكربون في البرتا، بدأ خط أنابيب ACTL يعمل بكامل طاقته منذ يونيو/حزيران 2020. يحتجز النظام انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصناعية من مصفاة North West Redwater Sturgeon ومرافق Nutrien Redwater للأسمدة. يتم ضغط ثاني أكسيد الكربون وإرساله إلى خط أنابيب يمتد لمسافة 240 كيلومتراً إلى خزانات النفط والغاز في جنوب البرتا، حيث يتم استخدامه للاستخراج المحسن للنفط (EOR) ثم تخزينه بشكل دائم.

يمكن أن ينقل خط الأنابيب ما يصل إلى 14.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، وهو ما يتجاوز بكثير يتم احتجازه حالياً والبالغ 1.6 مليون طن سنوياً. يملك الخط إمكانية ربط العديد من مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأخرى.

بلغت التكلفة الإجمالية لبناء المشروع حوالي 900 مليون دولار كندي - حيث تلقى 495 مليون دولار كندي من حكومة مقاطعة البرتا و63 مليون دولار كندي من الحكومة الكندية. بالإضافة إلى المنح، تشمل الحوافز المالية التي تجعل المشروع مجدداً تجارياً إعفاءات تخفيض الانبعاثات لتقليل المسؤولية الضريبية وإيرادات الاستخراج المحسن للنفط (EOR).



صورة جوية لمصفاة Sturgeon الصورة مهداة من خط أنابيب Alberta Carbon Trunk Line.

| المرفق | القطاع المصدر | التخزين | الدوافع المالية |
|---------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Wabash | إنتاج الأسمدة | جيولوجي | Q45، معايير الوقود منخفض الكربون |
| Lake Charles Methanol | إنتاج الميثانول | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| Dry Fork | توليد الطاقة من الفحم | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| Tundra | توليد الطاقة من الفحم | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| San Juan Generating | توليد الطاقة من الفحم | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| Gerald Gentleman | توليد الطاقة من الفحم | قيد التقييم | Q45 |
| Cal Capture | توليد الطاقة من الغاز الطبيعي | الاستخراج المحسن للنفط | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45، معايير الوقود منخفض الكربون |
| Velocys Bayou Fuels | توليد الطاقة من الكتلة الأحيائية | جيولوجي | Q45، معايير الوقود منخفض الكربون |
| Clean Energy Systems | توليد الطاقة من الكتلة الأحيائية | قيد التقييم | Q45، معايير الوقود منخفض الكربون |
| Illinois Clean Fuels | توليد الطاقة من تحويل النفايات إلى الطاقة | جيولوجي | Q45، معايير الوقود منخفض الكربون |
| ZEROS | توليد الطاقة من تحويل النفايات إلى الطاقة | الاستخراج المحسن للنفط | Q45 |
| CarbonSafe Illinois Storage Hub | متعددة | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| Mid-Continent Storage Hub | متعددة | الاستخلاص المعزز للنفط، جيولوجي | الاستخلاص المعزز للنفط، Q45 |
| ECO2S Storage Hub | متعددة | جيولوجي | Q45 |

الجدول 2 مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ومحاور التخزين قيد التطوير في الولايات المتحدة

4-0 لمحات عامة إقليمية

4-1 الأمريكيثان

تم تحقيق العديد من المعالم التشغيلية الهامة في عام 2020:

- تجاوزت كمية ثاني أكسيد الكربون المخزنة في مرفق Shell Quest 5 مليون طن خلال سنوات تشغيلها الخمس، وهو المرفق الذي يحتجز ثاني أكسيد الكربون من وحدة إنتاج الهيدروجين في مصفاة Scotford في ألبرتا في كندا.
- احتجز مرفق Boundary Dam 3 في ساسكاتشوان بكندا أكثر من 3.6 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون وخزنها.
- خزن مرفق Petrobras Santos Basin الواقع قبالة سواحل البرازيل 14 مليون طنمن ثاني أكسيد الكربون منذ افتتاح المنشأة.

واجهت بعض مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المنطقة أيضا بعض الإخفاقات:

- ففي أواخر عام 2018، اندلع حريق في مصنع الغاز Lost Cabin في وايومنغ في الولايات المتحدة الأمريكية، مما أدى إلى إغلاق مؤقت لمرفق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المصنع. من المتوقع استئناف التشغيل بحلول نهاية عام 2020، وستعود وحدة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون للعمل بمعدل 0.7 مليون طن سنويًا تقريبًا.
- بدأت Petra Nova، وهي منشأة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الملحقة بالوحدة 8 من محطة WA Parish لتوليد الطاقة بالقرب من هيوستن، تكساس، العمل في عام 2017 وحصلت على ثناء لافتتاحها في الموعد المحدد وبأقل من الميزانية المتوقعة لإنشائها. وعادت إلى الأضواء في عام 2020، ولكن لأسباب أقل إيجابية، فقد تم اتخاذ قرار "بإيقاف" العمليات في أوائل عام 2020 بسبب توقف الاقتصاد العالمي الناجم عن الجائحة بالتزامن مع حرب الأسعار التي دفعت بأسعار النفط إلى أدنى المستويات تاريخيًا. وأشارت شركة توليد الطاقة الكهروأينية النووية (NRG) التي تشغل المنشأة إلى أن احتجاز ثاني أكسيد الكربون سيستأنف عندما يتحسن الوضع الاقتصادي.

تزداد أهمية الاحتجاز المباشر من الهواء والاستفادة من ثاني أكسيد الكربون باستمرار في المحادثات الدائرة بشأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. ويزداد الاهتمام بالاستثمار فيها ودعم السياسات المتعلقة بهما جنبًا إلى جنب مع الاعتراف المتزايد بأن كلا النهجين يشكلان جزءًا مهمًا من حل لتغير المناخ. وقد بلغت Carbon XPRIZE برعاية COSIA الكندية و NRG الأمريكية نهاية التحدي الذي دام أربعة أعوام لتطوير تقنيات تدوير ثاني أكسيد الكربون المبتكرة بحلول نهاية عام 2020، وسيتم الإعلان عن الفائز في أوائل عام 2021.

إجراءات السياسة في الولايات المتحدة

تم عام 2020 إدراج تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مناقشات سياسة الطاقة والمناخ، بدعم من كل من حزب الديمقراطيين والجمهوريين. جاء الدعم من:

- تجمع الحزبين بشأن المناخ في مجلس الشيوخ
- إدراج احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كتقنية رئيسية في التقرير المقطف بشأن تغير المناخ الذي أعده الديمقراطيون في مجلس النواب²⁰
- دعم الحزبين للعديد من مشاريع القوانين لتحسين التشريع Q45 (انظر أدناه).

كما قامت ولايات عديدة بتبني احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. تتعهد الولايات ذات النفوذ مثل كاليفورنيا بالعمل بشكل أسرع لإزالة ثاني أكسيد الكربون من توليد الطاقة وستشكل عملية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون مكونًا أساسيًا في خلق شبكة كهرباء مستقرة وموثوقة. التزمت عدة ولايات بتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية - آخرها ولاية لوزيانا، خامس أكبر مصدر لانبعاثات ثاني أكسيد ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة ومقر لقاعدة صناعية كبيرة. سوف تتطلب خطط صافي الانبعاثات الصفرية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على نطاق واسع.

45Q

كما هو مذكور أعلاه، تم الانتهاء من لوائح الائتمان Q45 الضريبي في أغسطس/ آب. في حين تم تمرير التشريع الذي ينشئ الائتمانات في فبراير/شباط 2018 (بقيمة 50 دولارًا أمريكيًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون المخزن في التشكيلات الملحية، و35 دولارًا أمريكيًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون المخزن عبر الاستخراج المحسن

للنفط)، قضت خدمة الإيرادات الداخلية (IRS) وقتًا أطول بكثير من المتوقع على تفاصيل التشريع. يقدم التوجيه النهائي الإيضاحات والضمانات التي يحتاجها العديد من مطوري ومستثمرين احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون حتى يتجاوزوا المرحلة الأولية.

على الرغم من سعادة مؤيدي احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون بشكل عام بنتائج قرارات خدمة الإيرادات الداخلية، إلا أنهم يسعون إلى إحداث تغييرات. أولاً يسعون على وجه السرعة لتمديد الموعد النهائي لإتمام التشبيد بحيث يأخذ في الحسبان التأخير في وضع التنظيمات النهائية. يعد خيار الدفع المباشر بدلاً من الائتمانات الضريبية أولوية أيضًا، نظرًا لتقلص حجم أسواق ضريبية الأسهم الناتج عن تأثيرات جائحة كوفيد-19 على الاقتصاد والمطورين والممولين المحتملين.



زيارة رئيس وزراء ألبرتا السيد جيسون كيني إلى مرفق احتجاز وتخزين ثلي أكسيد الكربون Shell Quest في يوليو/تموز 2020 للاعتراف ببلوغ خمسة ملايين طن من الانبعاثات التي تم احتجازها وتخزينها بشكل آمن. الصورة مهداة من كريس شوارتز، حكومة ألبرتا.

تطورات أخرى في سياسة الولايات المتحدة

الإنعاش الاقتصادي

هناك اقتراح بتضمين تمويل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مختلف حزم الإنعاش الاقتصادي التي أقرها الكونجرس أو يجري النظر فيها، ولكن حتى الآن لم تتم الموافقة على تمويل مباشر.

معيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون (LCFS)

يستمر معيار الوقود منخفض الكربون في توفير حافز كبير لنشر تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. خلال الأشهر الثمانية الأولى من العام، تم تداول ائتمان الكربون في معيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون بحوالي 200 دولار أمريكي للطن الواحد. وفي حين أن شروط الأهلية للتداول صارمة، فقد أشارت إعلانات المشاريع الجديدة العديدة إلى أن اقتصادها يشمل ائتمانات معيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون²¹.

أسبقية الولايات

انضمت وايومنغ إلى ولاية داكوتا الشمالية في تلقي الموافقة من الوكالة الأمريكية لحماية البيئة على توليتها المسؤولية الأساسية ("الأسبقية") عن تنظيم حقن ثاني أكسيد الكربون للتخزين الجيولوجي المخصص. يعكس الحصول على الأسبقية امتلاك الولاية لنظام قوي لضمان الامتثال، كما ويسمح بإجراء عملية موافقة تنظيمية أكثر بساطة. كما تقدمت ولاية لوزيانا بطلب الأسبقية، لما لها من نظام قوي لحقن ثاني أكسيد الكربون والية لتحمل المسؤولية طويلة الأجل عن تخزينه.

القياس والإبلاغ والتحقق (MRV)

في أبريل/نيسان، أفاد المفتش العام لخدمة الإيرادات الداخلية أن ما يقارب من 900 مليون دولار أمريكي من الائتمانات الضريبية التي تمت المطالبة بها مسبقًا بموجب لوائح Q45 التنظيمية الأصلية لم تستوف متطلبات القياس والإبلاغ والتحقق المعمول بها. أثار هذا القلق من كل من المؤيدين والمتشككين في تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وحفز الدعوات لوضع لوائح Q45 تنظيمية جديدة للحفاظ على المعايير الأكثر صرامة، وجرى تبني تلك المعايير.

إجراءات السياسة في كندا

الفيدرالية

سياسة كندا الأساسية بشأن تغير المناخ هي إطار عمل عموم كندا بشأن النمو النظيف وتغير المناخ، هدفها الرئيسي هو خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الوطنية بحلول عام 2030 بنسبة 30 بالمائة من مستويات عام 2005. يوجد ضمن الإطار العديد من السياسات المحددة أكثر والتي توفر الآليات لتحقيق أهدافها. السياساتان اللتان لهما أكبر تأثير على انتشار تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون هما:

- ينص معيار الوقود النظيف على هدف تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية بمقدار 30 مليون طن بحلول عام 2030. ويضع شروطاً تزداد صرامة لكثافة انبعاث ثاني أكسيد الكربون خلال دورة حياة الوقود الصلب والسائل والغازي وتوفر آلية سوق للعاثات القابلة للتداول مقابل دفع كفاءة تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يمكن للشركات الوفاء بالتزاماتها بثلاث طرق: تقليل الانبعاثات من الوقود الأحفوري عبر دورة الحياة (مثل الاستخراج المحسن للنفط)؛ بيع وقود منخفض الكثافة الكربونية؛ أو التحول إلى مصادر طاقة أنظف²².
- ينص قانون تسعير التلوث بالغازات الدفيئة (GGPPA) على فرض ضرائب على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتراق وقود النقل والتدفئة، تبدأ من 20 دولارًا كنديًا للطن في عام 2019 وتزيد بمعدل 10 دولارات سنويًا حتى تصل إلى 50 دولارًا كنديًا في عام 2022. يتضمن القانون أيضًا نظام تسعير قائم على مصادر انبعاث ثاني أكسيد الكربون الكبيرة، الذين عليهم دفع مقابل انبعاثات أعلى من المتوسط الوطني عن صناعتهم. قد تقرر المقاطعات الفردية ما إذا كانت ستضع تسعيرة للتلوث بثاني أكسيد الكربون أو نظامًا للحد والإتجار بالانبعاثات، طالما أنه يلبي الحد الأدنى من المتطلبات الفيدرالية.

المقاطعات

يحدث معظم نشاط احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الكندي في مقاطعتين هما ساسكاتشوان وألبرتا. لدى كلا المقاطعتين لوائح تنظيمية جديدة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مماثل لقانون تسعير التلوث بالغازات الدفيئة الذي دخل حيز التنفيذ في عام 2020:

- ساسكاتشوان هي المقاطعة الكندية الوحيدة التي لم توقع على إطار عمل عموم كندا بشأن النمو النظيف وتغير المناخ. دخلت حكومة المقاطعة والحكومة الفيدرالية في اتفاقية تكافؤ بشأن توليد الكهرباء باستخدام الفحم في 1 يناير/كانون ثان 2020 يجب بموجبها أن ينتج 40 بالمائة على الأقل من توليد الكهرباء في ساسكاتشوان من مصادر الطاقة غير المصدرة للانبعاثات بحلول عام 2030، مما يؤدي بشكل أساسي إلى التخلص التدريجي من جميع أشكال توليد الطاقة بواسطة الفحم غير المحتوية على تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.
- اعتمدت ألبرتا قانون الابتكار التقني وتخفيض الانبعاثات (TIER)، والذي أصبح ساريًا في 1 يناير/كانون ثان 2020، ويحدد معايير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مصادر الانبعاثات الكبيرة ويضع سعرًا قدره 30 دولارًا كنديًا للطن الواحد المنبعث فوق المعايير المحددة. يجوز للمرافق التي تتجاوز شروط خفض الانبعاثات الخاصة بها تبادل عائدات الأداء المسبب للانبعاثات مع مرافق أخرى منظمة. تخفيضات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (بما في ذلك الاستخراج المحسن للنفط) مؤهلة بموجب هذا القانون.
- في سبتمبر/أيلول، أطلقت حكومة ألبرتا برنامج منحة كفاءة الطاقة الصناعية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه بقيمة 80 مليون دولار كندي كجزء من خطتها للإنعاش الاقتصادي، مما يوفر ما يصل إلى 75 بالمائة من نفقات المشروع بالحد الأقصى البالغ 20 مليون دولار.

4-0 لمحات عامة إقليمية

4-1 سفير احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

نيوتن ب. جونز

رينيس،

الجمعية الدولية لصانعي المراحل



لطالما دعت الجمعية الدولية لصانعي المراحل إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه باعتباره أفضل حل يمكنه أن يقلل بالفعل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مع الحفاظ على الوظائف والاقتصاد والاستقرار الاجتماعي.

تتيح الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن الاستمرار في المضي في تقدمنا العلمي والمجتمعي، وكذلك في سبل رفقتنا. وثبت العلم أن الانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة بالكامل سيؤدي إلى فشل كامل في تحقيق التخفيف الفعلي لتغير المناخ، ناهيك عن عكس مساره الحالي. لأن من مفارقات الأمر أن مصادر الطاقة المتجددة نفسها تعتمد في إنشائها وصيانتها على الوقود الأحفوري وتعتمد على طاقة الحمل الأساسي المتولدة من الوقود الأحفوري والنووي وغيرها من المصادر الموثوقة لتوفير طاقة يمكن الاعتماد عليها.

ضف على ذلك أنّ نهج "الطاقة المتجددة فقط" المخادع الخاطى سيعرقل جذريًا إنتاج السلع الحيوية المعتمدة على الوقود الأحفوري - ومن بينها المواد الطبية والأدوية المنقذة للحياة - ناهيك عن فقدان الوظائف المرتبطة بالوقود الأحفوري بشكل مباشر أو غير مباشر وبالتالي خسارة تغذيتها للاقتصاد الذي تعتمد عليه مجتمعات كثيرة حول العالم.

ويقدر ما أسرعت الحكومات في ضخ الحوافز والاستثمارات في قطاع الطاقة المتجددة، فمن الضروري أن ندعو بلجاجة أكبر إلى إزالة الحواجز المالية التي تقف عائقًا في وجه كل من مشاريع التعديل التحديثي والمشاريع الجديدة الرامية إلى الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن، بل والإسراع في القيام بها إذ أنها بدورها ستدفع الابتكار المستمر وتقلل من التكلفة.

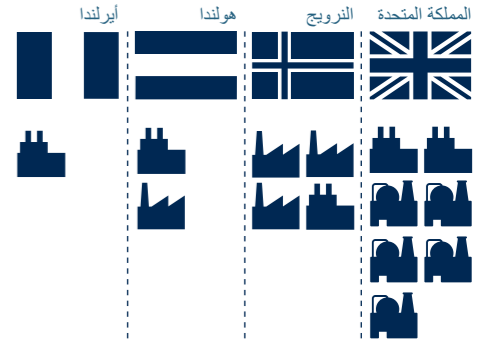
استخدام ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن هو الحل السهل البسيط، لأنه لا يقتصر فقط على كونه حلًا مؤثرًا على البيئة، بل لأن عمليات التعديل التحديثي لمحطة توليد الطاقة والصناعات والمشاريع الجديدة الرامية إلى تلبيةه اللازمة للوصول إلى أهداف المناخ المنصوصة في اتفاقية باريس، يدعم أيضا وظائفًا ذات أجور مرتفعة، بل ويمكن القول إنه يدعم أكثر الوظائف المواتية للبيئة شعبيةً في قطاع الصناعات الثقيلة، مما يضمن بقاء كوكبنا بالإضافة إلى بقائنا كلنا كمجتمع.

استخدام ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن هو الحل السهل البسيط

4-2 أوروبا

مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في أوروبا

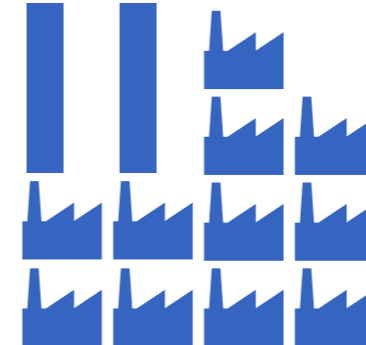
14 منشأة تجارية قيد التشغيل أو في مختلف مراحل التطور في أرجاء أوروبا (1 في إيرلندا، 2 في هولندا، 4 في النرويج و7 في المملكة المتحدة).



في عام 2020 ظهر عدد من المشاريع الأوروبية الجديدة ، العديد منها في بلدان لا ترتبط عادةً باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مثل إيطاليا ، الدنمارك ، السويد وويلز.



يهدف أكثر من 11 مشروعًا تجاريًا إلى التشغيل قبل عام 2030.



المشاريع التجارية التي تهدف إلى بدء التشغيل قبل عام 2030

وضع السياسات

قانون الصفقة الخضراء والمناخ الأوروبي قانون لم يسبق له مثيل في تحويله الالتزام السياسي بالحياد المناخي إلى التزام قانوني، مما أدى إلى وضع الاتحاد الأوروبي لسياسة إضافية تدعم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

قانون الصفقة الخضراء والمناخ الأوروبي



شهد صيف 2020 إطلاق أول دعوة للمشاريع ضمن إطار صندوق الاتحاد الأوروبي للابتكار البالغ 10 مليارات يورو؛ وهو الصندوق الذي من المتوقع أن يشكل مصدرًا رئيسيًا للتمويل لكل من التخطيط والبناء، وتشغيل مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في جميع أنحاء الاتحاد الأوروبي.



وستسمح الآن إحدى أهم تطورات السياسة عالمياً بشأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بنقل شحنات ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود.

مع دخول تشريع تحقيق الحياد المناخي بحلول عام 2050 في الاتحاد الأوروبي قيد التنفيذ هذا العام ووضع الخطط لأهداف طموحة لعام 2030، لا يمكن للحاجة الملحة لمنشآت احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون أن تكون أكثر وضوحًا. ولحسنة الحظ تم إحراز تقدم ممتاز في هذا المجال. لا يدرك السياسيون وواضعو الاستراتيجيات الصناعية والجمهور المطلع بشكل متزايد في أوروبا ضرورة احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون لالتزامات المناخية فحسب، بل وأيضا قدرته على حماية الصناعة والوظائف.

مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

في هذا العام الهام بالنسبة لطموحات أوروبا بشأن المناخ، يلوح على الأفق بلا شك بناء المرفق التشغيلي التالي الذي طال انتظاره لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في المنطقة. مع التوصل أخيرًا إلى حل لتعديل بروتوكول لندن لعام 2009، تم السماح أخيرًا بنقل شحنات ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود. التزمت الحكومة النرويجية وأنصار المشروع بما في ذلك شركات Equinor وShell وTotal و Fortum Oslo Varme و HeidelbergCement و Langskip (والذي يشار إليه أيضًا باسم Longship). وسيكون مرفق Northern Lights للنقل والتخزين الخاص بالمشروع جزءًا لا يتجزأ من إزالة ثاني أكسيد الكربون من الصناعات الإقليمية.

من المقرر أن يتخذ مشروع Porthos في روتردام قراره النهائي بشأن الاستثمار في عام 2021، مستهدفًا بداية التشغيل في عام 2023. ومثله مثل مشروع Langskip، يطمح Porthos إلى تمكين احتجاز أكبر من ثاني أكسيد الكربون. تجرى دراسة تطوير البنية التحتية لربط الموانئ الأخرى المجاورة عبر مشروع CO2 TransPorts Project of Common Interest، ومن بين هذه الموانئ غينت وتيرناروزن وفليسينغن وأنتورب عبر المشروع المرسخ الحالي Antwerp@C. وتستهدف أكثر من 10 مشاريع أوروبية أخرى التشغيل قبل حلول عام 2030. هناك تجمعات صناعية كبرى ودولية في بعض الحالات أخذة في النضج. بدأت الموانئ في لعب دور رئيسي في انتشار تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، وتتقدم الجائزة التي طال انتظارها وهي تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في طاقة الغاز من خلال مشروع Net Zero Teesside (انظر دراسة الحالة، صفحة 43).

وقد انضم إلى الشركاء المؤسسون Equinor وDrax وNational Grid Ventures في جهودهم لتطوير مجموعة Zero Carbon Humber في المملكة المتحدة كل من Phillips 66 وCentrica Storage وAssociated British Ports وPX وSSE Thermal وGroup وSaltend Cogeneration Company وVPI- وImmingham LLP وUnipe، بما يعكس الأهمية المتزايدة التي توليها الجهات الباعثة لعملية إزالة ثاني أكسيد الكربون. وأعلنت Equinor أيضًا عن مشروع رئيسي لإنتاج الهيدروجين، للاستفادة من البنية التحتية المتوقعة في المنطقة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وهو مشروع "Hydrogen to Humber Saltend" في مصنع Saltend Chemicals. سينتج المشروع بدء الأمر هيدروجينًا نظيفًا باستخدام جهاز التحسين ذاتي الحرارة بقوة 600 ميغاواط مزود بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون - وهو أكبر جهاز من نوعه في العالم.

كما أعلنت كل من BP وEni وEquinor وNational Grid وShell وTotal في أواخر أكتوبر/تشرين أول عن تشكيل شركة Northern Endurance. وستقوم المجموعة بتطوير البنية التحتية للنقل والتخزين البحري في بحر الشمال بالمملكة المتحدة لخدمة المجمععات الصناعية Net Zero وZero Carbon Humber، على أن تقوم شركة BP بدور المشغل. سيستخدم التخزين مستودع Endurance للمياه الجوفية المالحة في جنوب بحر الشمال، وهو واحد من أكبر موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون في المملكة المتحدة وأكثرها مفهومية. تم تقديم عطاء للحصول على التمويل من خلال برنامج تحدي حكومة المملكة المتحدة لإزالة ثاني أكسيد الكربون من الصناعات.

يقدم مشروع Acorn في إسكتلندا حلًا قابلاً للتكيف لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون، مما جعله في وضع يسمح له بالنمو بسرعة باستخدام البنية التحتية لقطاع النفط والغاز المجاور للمشروع؛ مخفضًا بذلك تكلفة رأس المال. يهدف المشروع إلى تقديم مرافق احتجاز الكربون وتخزينه ومرافق الهيدروجين الضرورية لتحقيق أهداف حكومة إسكتلندا والمملكة المتحدة بشأن المناخ. يمكن أن يتعامل المشروع الحاصل على رخصة لتخزين ثاني أكسيد الكربون مع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في إسكتلندا ابتداءً من عام 2024.

يهدف Athos وهو مشروع تديره Gasunie وEBN وPort of Amsterdam وTata Steel، إلى تطوير شبكة نقل وتخزين في المنطقة الصناعية لقناة بحر الشمال الهولندية. سيكون مصنع IJmuiden التابع لشركة Tata Steel أحد المصادر الرئيسية لفصله ثاني أكسيد الكربون عن الغازات التي تنتجها أفران الصهر. وسيتم نقل ثاني أكسيد الكربون إلى المناطق البحرية المجاورة للساحل للتخزين في حقول النفط والغاز في بحر الشمال المستنفدة أو إلى مخزن جيولوجي مخصص، وسيتم بيعه منه لأمر مثل البستنة الدقيقة. بعد دراسة جدوى أجريت في أوائل عام 2020، استكشف المشروع خيارات التخزين المحتملة والاهتمام بالشبكة وسط الجهات الصناعية التي تنتج الانبعاثات، فحصلت على استجابات عديدة شجعت على المضي قدمًا.

ظهر عدد من المشاريع الأوروبية الجديدة الأخرى العديد منها في بلدان لا ترتبط عادةً باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. في نهاية اجتماعات المجلس التشريعي خلال شهر يونيو/حزيران والتي حددت توجه السياسات بعد رفع قيود كوفيد-19، أشار رئيس الوزراء الإيطالي جوزيبي كونتي في مؤتمر صحفي إلى خطط لبناء واحدة من أكبر مراكز احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في موقع مرافق ENI في ميناء رافينا، شمال إيطاليا. سيتم احتجاز الانبعاثات من الطاقة التشغيلية والمنشآت الصناعية وتخزينها في خزانات الغاز البحرية المستنفدة. وسيكون ذلك أحد أول مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون قيد التشغيل في أوروبا خارج منطقة بحر الشمال.



موقع Kop van de Beer في ميناء روتردام. مصدر الصورة: داني كورنيليس. الصورة مهداة من هيئة ميناء روتردام.



منشأة Saltend للكيمياويات. الصورة مهداة من Zero Carbon Humber.

يستمر إحراز تقدم مطرد في خطة عمل مسار انتشار استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحترق والمخزن في المملكة المتحدة، وسيتم توفير تمويل بقيمة 800 مليون جنيه إسترليني لإنشاء مجموعات استخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في موقعين على الأقل في المملكة المتحدة خلال العقد.

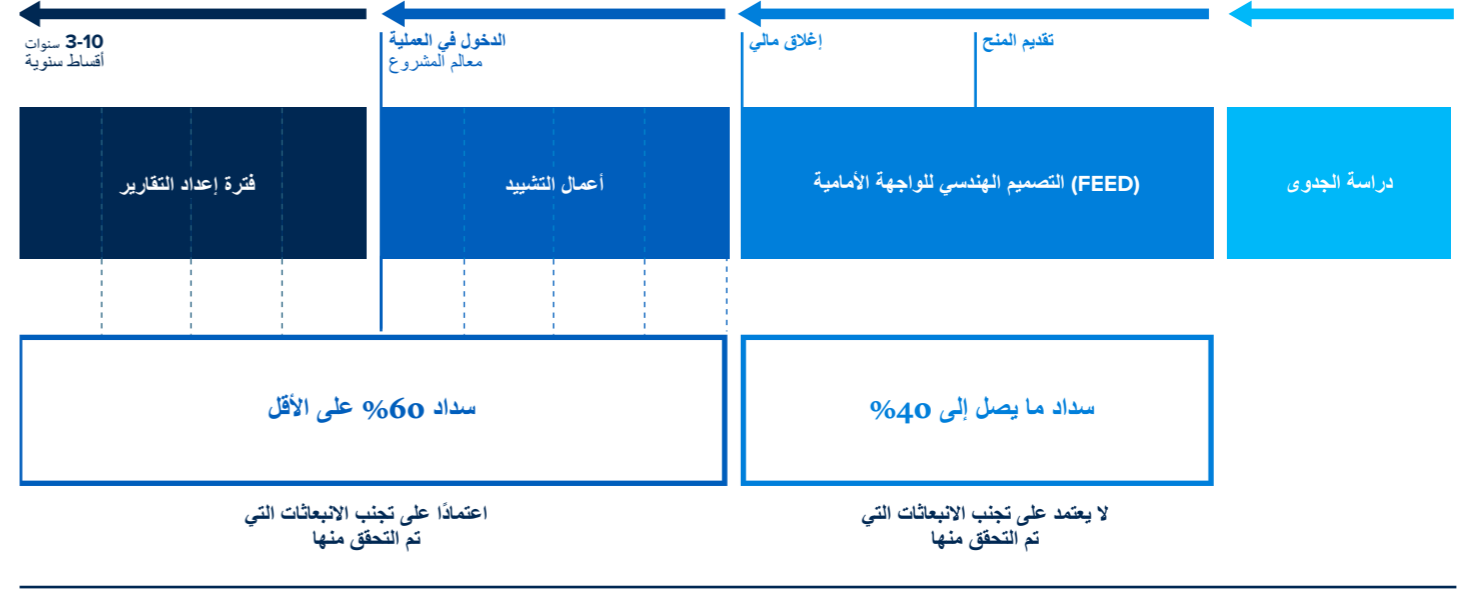
تمويل إجمالي بمبلغ 800 مليون جنيه إسترليني

في أواخر عام 2019 تم الاتفاق على حل يتيح تطبيق تعديل 2009 لبروتوكول لندن. (وبالتالي) يمكن لشركة Northern Lights قبول شحنات ثاني أكسيد الكربون من الخارج لتصبح بذلك جزءًا لا يتجزأ من عملية إزالة ثاني أكسيد الكربون من الصناعات في جميع أنحاء أوروبا.



الأرد كاستلين

المدير التنفيذي
لميناء روتردام



الشكل 12 المدفوعات القائمة على المعالم الرئيسية¹²

في تقرير مجلس تغير المناخ عن شهر مارس/آذار في الدنمارك، تم تقديم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كأداة مهمة في إزالة ثاني أكسيد الكربون. حصل تحالف مكون من INEOS وWintershall Dea وMaersk Drilling وGEUS على تمويل من البرنامج الدنماركي لتطوير وعرض تقنية الطاقة وذلك لدعم مشروع لتخزين ثاني أكسيد الكربون في حقل نيني المملوك من قبل INEOS. يخطط مشروع Greensand لإعادة استخدام البنية التحتية لإنتاج النفط والغاز والسفن لنقل ثاني أكسيد الكربون. وفي موازاة ذلك يعمل مصنع Amager Bakke في كوبنهاغن المتخصص في تحويل النفايات إلى طاقة على وضع خطط لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون.

سيعمل مشروع CinfraCap في السويد على تطوير مقترحات للبنية التحتية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون تكون مفتوحة النفاذ. ويهدف المشروع إلى تطوير استراتيجيات نقل ثانس أكسيد الكربون من مختلف المنشآت الصناعية في غرب السويد عبر ميناء جوتنبرج، بهدف تخزينها عبر Northern Lights في النرويج. تشترك في هذا المشروع شركات Göteborg Energi وNordion وPreem وSt1 وRenova وسلطة ميناء جوتنبرج.

صارت خطط بناء مجموعة صناعية ذات صافي الانبعاثات الصفرية في ويلز أكثر احتمالاً بعدما أصبحت المجموعة الصناعية لجنوب ويلز (SWIC) من بين ست مجموعات حصلت على تمويل من حكومة المملكة المتحدة لإجراء البحوث والابتكار للمراحل الأولى من برامج الانتشار وخريطة الطريق. من بين أعضاء SWIC جهات صناعية تبعث ثاني أكسيد الكربون من تكرير النفط وإنتاج الورق والمواد الكيميائية واستيراد الغاز الطبيعي المسال وصناعة الصلب والأسمنت. يستهدف المشروع الحصول على تمويل إضافي من خلال العطاءات القادمة لبرنامج تحدي حكومة المملكة المتحدة لإزالة ثاني أكسيد الكربون من الصناعات.

إجراءات تتعلق بسياسات الاتحاد الأوروبي

اقترن تقدم المشاريع بمبادرات سياسية مهمة في أنحاء المنطقة. فقانون الصفقة الخضراء والمناخ الأوروبي قانون لم يسبق له مثيل في تحويله الالتزام السياسي بالحياد المناخي إلى التزام قانوني، مما أدى إلى وضع الاتحاد الأوروبي لسياسات إضافية تدعم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

شهد صيف 2020 إطلاق أول دعوة للمشاريع ضمن إطار صندوق الاتحاد الأوروبي للابتكار البالغ 10 مليارات يورو؛ وهو أحد أضخم المشاريع في العالم لتصعيد تقنيات خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ومن المتوقع أن يشكل مصدرًا رئيسيًا لتمويل التخطيط لمرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وبناءها وتشغيلها في جميع أنحاء الاتحاد الأوروبي.

من المتوقع أيضا أن ينتهي الاتحاد الأوروبي قريباً من وضع خطة أهداف المناخ لعام 2030، والتي ستشير إلى الهدف الذي ينوي الاتحاد الأوروبي بلوغه في خفض انبعاثات غازات الدفيئة بحلول عام 2030 وكيفية تحديث سياسات المناخ الحالية لتتماشى مع هذا الهدف. بالمقابل من المتوقع أن تُقدّم في عام 2021 مقترحات لمراجعة نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي وللائحة تقاسم الجهود، وهي التغييرات التي يفترض أن تؤثر بشكل مهم على احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

كما لا تزال لائحة شبكات الطاقة عبر أوروبا (TEN-E) قيد التقييم ومن المتوقع إجراء المراجعات المقترحة عليها في أواخر عام 2020، وسيحدد ذلك إن كان نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الذي لا يتم عبر خطوط الأنابيب مستوفياً للمعايير التي تجعله مشروعاً ذو مصلحة عامة.

من المتوقع أن يضع الاتحاد الأوروبي إطار عمل لاعتماد إزالة ثاني أكسيد الكربون في عام 2023، مما قد يحفز الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والاحتجاز المباشر من الهواء على نطاق واسع في جميع أنحاء المنطقة.

أصدرت المفوضية الأوروبية في نهاية شهر مايو/أيار اقتراحها بشأن خطة الإنعاش الرئيسية بعنوان الجيل القادم للاتحاد الأوروبي²³. سيتم ترقية برنامج الاستثمار InvestEU وبناء مرفق استراتيجي جديد مدمج للاستثمار، ويتضمن الاقتراح كل من الهيدروجين النظيف واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في ظل التقنيات المواتية للبيئة.

هناك اقتراح لزيادة حجم "صندوق الانتقال العادل"، كما وستتمكن المرافق التي يشملها مخطط تداول الانبعاثات من تلقي الدعم للقيام بخفض كبير في الانبعاثات، بما في ذلك لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، شريطة أن تكون في مناطق مشمولة في خطة الانتقال العادل للدول الأعضاء.

مشروع Porthos في روتردام يسير وفق المخطط.

وتتمثل أهدافنا لهذا المشروع في اتخاذ القرار الاستثماري النهائي في أواخر 2021 وبدء التشغيل في بداية 2024. سيعالج المشروع 2.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً لمدة خمسة عشر عامًا، وقد شرعنا الآن في إجراءات الحصول على التراخيص اللازمة وتوقيع العقود مع العملاء والتجهيزات التقنية. سيضمن الدعم المالي للمشروع من السلطات الهولندية والأوروبية الانتهاء من دراسات الجدوى لكل من مشروع Porthos إضافة إلى مشاريع Air Products وAir Liquide وShell وExxon Mobil، وهي الشركات الأربع التي ستقوم باحتجاز ثاني أكسيد الكربون. وسيتمولى مشروع Porthos بعد ذلك نقل ثاني أكسيد الكربون إلى حقول الغاز المستنفدة في قاع بحر الشمال لتخزينه هناك.

يركز Porthos في المرحلة الأولى من المشروع على ملء حقل غاز سعته الاستيعابية للتخزين 37.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. أما في المراحل التالية فنسعى إلى ربط المزيد من موردي ثاني أكسيد الكربون داخل روتردام وخارجها بالإضافة إلى حقول تخزين أخرى. وسيزيد الإعلان عن أهداف أكثر صرامة لتخفيف الانبعاثات في أوروبا من أهمية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كأداة لمكافحة تغير المناخ في المستقبل. وبالتالي أنا واثق من أننا سنتخذ الخطوات التالية لمشروع Porthos عن قريب بعد الانتهاء من هذه المرحلة الأولى.

وسيزيد الإعلان عن أهداف أكثر صرامة لتخفيف الانبعاثات في أوروبا من أهمية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كأداة لمكافحة تغير المناخ في المستقبل.

NET ZERO TEESIDE - شراكة مع الصناعات المحلية

يخطط أن تبدأ Net Zero Teesside في العمل بحلول عام 2030 وهي تقع في منطقة صناعية مهمة في الشمال الشرقي تصدر حوالي 6 بالمائة من الانبعاثات الصناعية في المملكة المتحدة. ومن ملامح المشروع الأساسية محطة لتوليد الكهرباء تعمل بمولدات غاز ذات الدورة المركبة (CCGT) والمجهزة بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، تعتبر الأولى من نوعها في العالم. ففي المملكة المتحدة وحدها تصدر المولدات المشغلة بالغاز ذات الدورة المركبة أكثر من 45 مليون طن سنويًا، أي أكثر من 12 بالمائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ولذلك لا يمكن المبالغة في أهمية هذا المرفق.

سيتم نقل ثاني أكسيد الكربون الناتج عن محطة الطاقة وعن المجموعة المتنوعة لتوليد طاقة الكتلة الحيوية وإنتاج الهيدروجين والصناعات التي تكثف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، عبر شبكة خطوط أنابيب مشتركة إلى المخزن الجيولوجي الدائم في بحر الشمال.

تم تحديد Net Zero Teesside في سبتمبر/أيلول 2019 كواحد من خمسة محاور استراتيجية مدعومة من خلال برنامج Kick Starter CCUS العالمي المهم التابع لمبادرة شركات النفط والغاز بشأن المناخ والذي يهدف إلى إطلاق الاستثمار الضخم في تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. تقوم شركات BP وENI وEquinor وShell وTotal بتطوير المشروع، تحت قيادة BP بصفتها الشركة المشغلة للمشروع. تشمل المزايا الرئيسية للمشروع ما يلي:

- احتجاز ما يصل إلى 10 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا، ما يعادل الاستخدام السنوي للطاقة لأكثر من ثلاثة مليون منزل في المملكة المتحدة
- توفير توليد مرن للطاقة المولدة عن احتراق الغازات مع احتجاز ثاني أكسيد

الكربون وتخزينه، مما سيفيد المستهلكين في المملكة المتحدة من خلال تخفيض التكلفة الكلية للنظام بحيث تبلغ نظاما صافي الانبعاثات الصفرية لتوليد الطاقة بحلول عام 2050.

- حماية ما بين 35 و70 بالمائة من الوظائف في القطاعات الصناعية كثيفة استخدام الطاقة في وادي تيز
- دعم 750 مليون جنيه إسترليني في إجمالي القيمة المضافة غير المباشرة والمستحدثة خلال فترة التشييد واستحداث 13 500 وظيفة غير مباشرة ومستحدثة سنويًا
- توفير النفاذ إلى المواقع التي تزيد سعتها التخزينية عن ألف مليون طن.

تم إبرام مذكرات تفاهم هذا العام مع الصناعات المحلية الباعثة لثاني أكسيد الكربون: BOC وCF Fertilisers وSembcorp Utilities، بينما يستمر الحوار مع أطراف أخرى. تم تجهيز صناديق تمويل للبحث والابتكار من حكومة المملكة المتحدة للمراحل الأولى من برامج الانتشار والتخطيط لإزالة ثاني أكسيد الكربون، واکتملت ترتيبات التصميم والتخطيط والبناء لمحطة الطاقة المخطط لها، ويجري حاليًا تقييم الأثر البيئي.

تم إجراء مشاورتين عامتين مع أصحاب المصلحة المحليين للإبلاغ عن المقترحات، كانت آخرها من يوليو/تموز إلى منتصف سبتمبر/أيلول 2020، سيتم بعدها تقديم طلب الموافقة على الإنشاء إلى وزير الطاقة التجارية والاستراتيجية الصناعية للحصول على الموافقات اللازمة. من المأمول أن يساهم المشروع قريبًا في إعادة تطوير واحدة من أهم المناطق الصناعية في المملكة المتحدة.



Net Zero Teesside ، أول مركز صناعي خال من ثاني أكسيد الكربون في العالم بحلول عام 2030. الصورة مهداة من BP ومبادرة شركات النفط والغاز بشأن المناخ.



إجراءات تتعلق بسياسات الدول الأوروبية الفردية

حدثت تطورات مهمة في السياسات الوطنية، خاصة في البلدان الأوروبية المتقدمة في نشر التقنية وهي: النرويج وهولندا والمملكة المتحدة.

تم تمكين مشروع Langskip النرويجي من خلال دعم سياسي على نطاق واسع. وقد أكدت الحكومة النرويجية لأهمية الاقتصادية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بإدراجه في حزمة التحفيز الحكومية التي تم الإعلان عنها في مارس/آذار، والتي لم تشمل على التزام بتسريع مشروع Langskip فحسب بل وعلى دعم لتسريع تقييم احتجاز ثاني أكسيد الكربون في منشآت الاحتراق في بيرغن وتروندهايم وستافانجر.

أما في هولندا فسوف تتيح الجولة الافتتاحية لخطة دعم انتقال الطاقة المستدامة (SDE++) والتي تم إطلاقها في أواخر عام 2020 تمويلًا يبلغ 5 مليارات يورو لمجموعة واسعة من التقنيات التي تساعد على تجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، تتأهل له تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وقد تم وضع أحكام محددة ضمن القواعد لاستخدامها.

يستمر التقدم المطرد في خطة عمل مسار انتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المملكة المتحدة. واصل مجلس استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن بمستعدة مجموعات الخبراء التي تكونت حديثًا لنفس الغرض، في القيام بالتحليل وتقديم التوجيه حول الخطوات اللازمة لانتشاره في المملكة المتحدة. وأعلن وزير الخزانة ريشي سونك في ميزانية مارس/آذار إتاحة 800 مليون جنيه إسترليني على الأقل لتأسيس مجموعات لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في موقعين على الأقل في المملكة المتحدة خلال هذا العقد. ويشير المشور المصاحب للإعلان إلى أن الإعانات الاستهلاكية ستستخدم لبناء أول محطة لتوليد الكهرباء والغاز تشييد بتمويل خاص في المملكة المتحدة.



أعلاه: مصنع Norcem's Brevik للأسمنت، وهو جزء من مشروع Northern Lights لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. الصورة مهداة من Norcem. أعلاه: محطة توليد الطاقة الإحيائية Sembcorp Energy UK الواقعة في ويلتون الدولية على نهر تي. الصورة مهداة من Sembcorp Energy UK.

4-3 آسيا والمحيط الهادي

مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادي

توجد في منطقة آسيا والمحيط الهادي 10 مرافق تجارية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون إما تعمل أو في مختلف مراحل التطور.



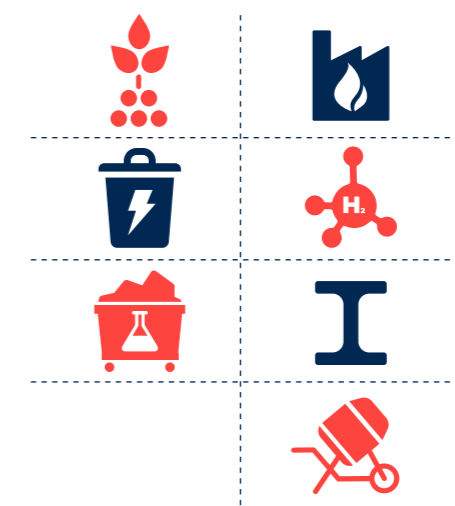
عدة مشاريع تجارية جديدة دخلت مرحلة التصميم الهندسي أو مراحل التطوير المبكرة في 2020.

لدى المنطقة مجموعة كبيرة ومتنوعة من المشاريع التجريبية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التي تشمل: معالجة الغاز الطبيعي، الأسمدة، إنتاج الهيدروجين، تحويل النفايات إلى طاقة، الحديد أو الصلب، تحويل الفحم إلى مادة كيميائية والأسمدة.

تتضمن الدول التي بدأت في إنشاء استراتيجياتها لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كجزء من التزاماتها طويلة الأجل بشأن تغير المناخ:



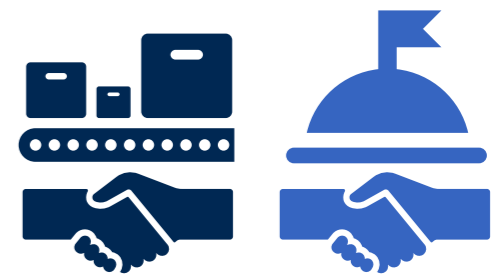
سنغافورة ماليزيا
الصين أستراليا



التعاون

أصبح التعاون في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه موضوعاً رئيسياً في المنطقة في عام 2020، ويشمل:

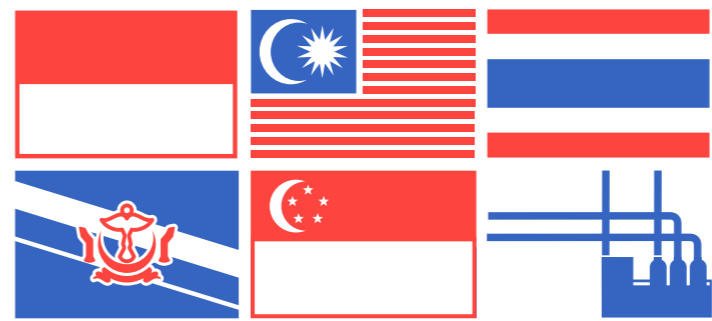
- التعاون الإقليمي بين الحكومات (ثنائي ومتعدد الأطراف)
- تعاون سلسلة التوريد بين الشركات



تعاون الحكومات
تعاون الشركات

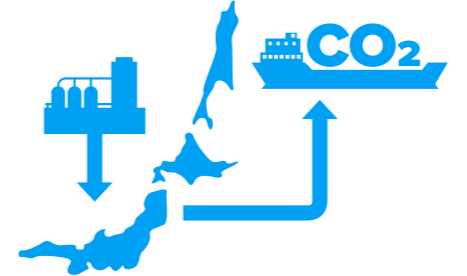
جنوب شرق آسيا

بزعجنوب شرق آسيا باعتبارها محوراً رئيسياً لاستخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن: إندونيسيا ، سنغافورة ، ماليزيا ، تايلاند ، فييتنام ، بروناي.



اليابان

استمرت اليابان في كونها داعماً قوياً ومروجاً لاستخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن في المنطقة وتقوم أيضا بتطوير تكنولوجيا احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لكل من الاستخدام المحلي وباعتباره قطاع تصدير.



أستراليا

شهدت أستراليا انتقال العديد من المشاريع الجديدة إلى مراحل مختلفة من دورة تطوير المشروع في عام 2020.



الصين

ركزت الصين بشكل أساسي عام 2020 على تمويل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من ضمن المناقشات الدائرة حول تمويل قضايا المناخ



منطقة آسيا والمحيط الهادي - قوة ناشئة لانتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

كان العام الماضي مثيلاً وصعباً بالنسبة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في أنحاء منطقة آسيا والمحيط الهادي (APAC). فعلى الرغم من أن الحكومات والشركات حولت تركيزها إلى مكافحة الجائحة وعلى الرغم من انخفاض أسعار النفط والغاز، فقد أظهرت مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وتطورات السياسات في المنطقة مرونتها.

تعتبر أستراليا وجنوب شرق آسيا من كبار منتجين المواد الهيدروكربونية، في حين أن دول شرق آسيا هي من كبار المستهلكين للطاقة ومقرًا لقطاعات تصنيع كبيرة. وعلى الرغم من وجود مرفقين تجاريين عاملين فقط في منطقة آسيا والمحيط الهادي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون، إلا أن عدة مشاريع تجارية جديدة دخلت مرحلة التصميم الهندسي أو مراحل التطوير المبكرة. هناك مشاريع تجريبية في معالجة الغاز الطبيعي، الأسمدة، إنتاج الهيدروجين، تحويل النفايات إلى طاقة، الحديد أو الصلب، تحويل الفحم إلى مادة كيميائية والأسمدة. ويعكس انتشار مشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون عبر القطاعات قوة قطاعي إنتاج الطاقة والصناعات التحويلية في المنطقة وتنوعيهما.

كما طورت حكومات المنطقة خططها وسياساتها المتعلقة بدور احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في دعم تحقيقها للالتزاماتها المتعلقة بتغير المناخ.

تشمل التطورات:

- أصدرت سنغافورة استراتيجيتها التنموية منخفضة الانبعاثات في أبريل/نيسان 2020، اعترافاً بإمكانات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في بلوغ هدفها المتعلق بتغير المناخ²⁴.
- تدرس ماليزيا إطاراً تنظيمياً لتطويرها حقول الغاز ذات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالية.
- قامت اليابان بتضمين احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في استراتيجيتها الابتكار البيئي لينايير/كانون ثان 2020²⁵.
- تعهدت الصين بأن تصبح محايدة للكربون بحلول عام 2060 وتعمل حالياً على خططها الخمسية الرابعة عشر²⁶ - من المحتمل أن يكون استخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه جزءاً من الإجراءات الموصى بها.
- أصدرت الحكومة الأسترالية عددًا من وثائق السياسات. يتزايد الزخم الإيجابي لإنشاء آلية دعم السياسات لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

شكلًا التعاون الإقليمي بين الحكومات (الثنائي ومتعدد الأطراف) وتعاون سلسلة التوريد بين الشركات، موضوعين رئيسيين في أنحاء منطقة آسيا والمحيط الهادي في عام 2020. لدى أستراليا وسنغافورة وأستراليا واليابان وإندونيسيا واليابان وأستراليا والصين وأستراليا وماليزيا، ترتيبات تعاونية مختلفة بين الحكومات والصناعات والأكاديميين. تتطلع اليابان إلى دعم مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في إندونيسيا من خلال آلية الائتمان المشتركة (JCM)، (راجع مربع النص على صفحة 49). ساعد التعاون في جنوب شرق آسيا المنطقة على فهم إمكانات التخزين فيها بشكل أفضل. أثرت مشاريع المساعدة الفنية الممولة من مصارف التنمية في شرق وجنوب شرق آسيا، الخبرات في المنطقة.

بالإضافة إلى ذلك، هناك أيضًا إجماع متزايد في جميع أنحاء المنطقة على أن الأطر التنظيمية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد ثاني أكسيد الكربون ضرورية لإضفاء اليقين القانوني على المدى الطويل. القليل فقط من الحكومات لديها قوانين خاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو قوانين يتم تطبيقها عبر دورة حياة مشاريع لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. أستراليا هي الدولة الوحيدة في منطقة آسيا والمحيط الهادي التي تملك إطار عمل تنظيمي كامل لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. قد يكون النهج الإقليمي الشامل للتنظيم مفيداً لجنوب شرق آسيا، حيث يوفر أساساً موحدًا أكثر يؤسس لتطوير الأطر التنظيمية الوطنية الخاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

أستراليا: تطوير السياسات قيد التنفيذ

السياسات

نشرت الحكومة الأسترالية في فبراير/شباط ملف تقرير

لجنة الخبراء عن فحص مصادر إضافية للحد من الانبعاثات بتكلفة منخفضة²⁷.

ووافقت الحكومة في ردها على عملية التشاور مع القطاع حول تطوير منهجية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في إطار صندوق الحد من الانبعاثات الحكومي²⁷، مما سيمكن مشغلي مشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون من التنافس على التمويل الحكومي المدفوع عن كل طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تم تجنبها. بدأت المشاورات الرسمية في يوليو/تموز سعياً لإجابات على ورقة صدرت عن صندوق الحد من الانبعاثات بشأن تحديد نطاق منهج احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه واستخداماته.

أما في مايو/أيار أصدرت الحكومة الأسترالية ورقة مناقشة خارطة طريق الاستثمار: إطار لتسريع تقنيات الانبعاثات المنخفضة، الذي ناقش مسارات انتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في إنتاج الهيدروجين وغيرها من الاستعمالات²⁸.

أعلنت الحكومة الأسترالية بعدها عن مجموعة من الإجراءات في سبتمبر/أيلول مصممة لإطلاق "... تقنيات جديدة في جميع قطاعات الاقتصاد للمساعدة في خفض التكاليف، وخلق فرص العمل، وتحسين الموثوقية وتقليل الانبعاثات"²⁹. وتشمل هذه التدابير:

- صندوق تنمية استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن بقيمة 50 مليون دولار أسترالي
- 70.2 مليون دولار أسترالي لإنشاء مركز لتصدير الهيدروجين
- 1.62 مليار دولار أسترالي إضافية للوكالة الأسترالية للطاقة المتجددة (ARENA) ومؤسسة تمويل الطاقة النظيفة (CEFC) وتوسيع نطاق تركيزهما لتمكينهما من دعم نطاق أوسع من التقنيات بما في ذلك احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. تتطلب هذه الإجراءات تمرير البرلمان الأسترالي لتعديلات تشريعية.

وتبع الإعلان أعلاه عن كتب إصدار الحكومة الأسترالية لبيان تقنيات الانبعاثات المنخفضة (البيان)، وهو أول معلم على خارطة طريق الاستثمار التقني في أستراليا³⁰. يعطي البيان الأولوية "للتقنيات ذات الانبعاثات المنخفضة لها إمكانية تقديم أفضل النتائج اقتصادياً وخفض الانبعاثات في أستراليا"، بهدف "تركيز الاستثمار الحكومي على التقنيات الجديدة والناشئة"³⁰. حدد البيان خمس تقنيات ذات أولوية وأهداف موسعة لتتسوى التقنيات الجديدة في فعالية تكلفتها بالتقنيات الحالية، بما في ذلك احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بهدف موسع يقل عن 20 دولاراً أسترالياً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون لضغطه ونقله وتخزينه.

ومن التقنيات الأخرى ذات الأولوية المدرجة في البيان إنتاج الهيدروجين النظيف بأقل من 2 دولار أسترالي للكيلوغرام، وتخزين الطاقة لفترات طويلة، والمواد ذات المحتوى المنخفض من الكربون مثل إنتاج الفولاذ والألومنيوم منخفض الانبعاثات وقياس كربون التربة.

ستتبع الحكومة إصدار البيان بالشروع في أحد عشر إجراء رئيسياً، يشمل تطوير استراتيجية أستراليا لخفض الانبعاثات على المدى الطويل التي سيتم تسليمها قبل مؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ.

التنظيم

لدى أستراليا أطر تنظيمية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون فيدرالياً وفي العديد من حكومات الولايات. في مايو/أيار 2020 تم تعديل قانون تخزين البترول والغازات الدفينة في الحقول البحرية لعام 2006 الفيدرالي لتمكين تخزين ثاني أكسيد الكربون في المناطق الواقعة على مسافة 3 أميال بحرية على جانبي حدود الكومنولث مع الولايات أو الإقليم. وقد وُجد التعديل لوائح حقن ثاني أكسيد الكربون على جانبي الحدود وبسطها.

المشاريع

تم إحراز تقدم في العديد من المشاريع الجديدة:

- بدأت Santos التصميم الهندسي للواجهة الأمامية لمشروع Cooper Basin (التفاصيل في مربع دراسة الحالة أدناه).
- تعمل شركة نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CTSCO) على مشروع إيصاحي مكتمل السلسلة لاحتجاز 120,000 طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، يخطط لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون من محطة توليد الكهرباء من الفحم وتخزين ما احتجزه في منطقة حوض سورات.
- تعمل شركة Bridgeport Energy على مشروع للاستخلاص المعزز للنفط في حوض سورات يستغل ميغا طن واحد من ثاني أكسيد الكربون.
- بينما يدرس أصحاب المصلحة قيام مراكز لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في شمال وشمال غرب أستراليا.
- انتهى مشروع CarbonNet في فيكتوريا من الحفر التقييمي وبدأ التشاور مع أصحاب المصلحة في القطاع بشأن خيارات التتجير المستقبلية.

دراسة الحالة: مشروع Santos Cooper Basin لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

بدأت Santos في التصميم الهندسي للواجهة الأمامية لمشروعها في Cooper Basin الخاص باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، حيث سيتم ضغط حوالي 1.7 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون المنبعث من محطة معالجة الغاز الطبيعي في مومبا، ثم تجفيفه ونقله عبر خط أنابيب بطول 50 كيلومترًا إلى خزانات الهيدروكربون المستنفدة القريبة للتخزين. يعمل المشروع مع المنظمين في ولاية جنوب أستراليا للحصول على تصاريح ستختبر لوائح للولاية المتعلقة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه للمرة الأولى.



الصورة مبدأة من Santos Ltd.

جنوب شرق آسيا: مركز ناشئ لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

تعد منطقة جنوب شرق آسيا من أسرع المناطق نموًا في العالم، وقد زاد طلبها على الطاقة بأكثر من 80 بالمائة منذ عام 2000، ويمدها الوقود الهيدروكربوني (النفط والفحم والغاز) بأكثر من 70 بالمائة من طاقتها³¹. يمكن أن يوفر انتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه للمنطقة طاقة موثوقة ونظيفة ومنخفضة الكربون ويزيل ثاني أكسيد الكربون من قطاعات النفط والغاز والتصنيع الكبيرة فيها. هناك فرص مشجعة منخفضة التكلفة للشركات التي ستتخذ الخطوات الأولى نحو مشاريع

احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الكبيرة في قطاعي معالجة الغاز الطبيعي والبتر وكيمويات. ونظرًا للاختلافات الشاسعة في مستويات التنمية الاقتصادية وخصائص الانبعاثات بين دول هذه المنطقة، فقد تم تبني مناهج متنوعة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، من شأن محور إقليمي أن يعزز التعاون الإقليمي ويحقق وفورات الحجم ويخفض التكاليف أكثر.

سنغافورة

أكدت سنغافورة على الدور الاستراتيجي لاستخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن في أهدافها طويلة المدى لإزالة ثاني أكسيد الكربون من منظور التقنيات والتعاون الدولي في استراتيجية التنمية منخفضة الانبعاثات طويلة المدى الصادرة في أبريل/نيسان 2020²⁴. لا تناسب التشكيلات الجيولوجية السنغافورية التخزين تحت سطح الأرض، وهناك العديد من القضايا الفنية وغير الفنية التي تستوجب المعالجة لتمكين نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود وتخزينه. بدأ أصحاب المصلحة في القطاع في دراسة مواقع التخزين المحتملة لثاني أكسيد الكربون خارج سنغافورة سيلعب فيه التعاون الدولي دورًا أساسيًا. التزمت سنغافورة وأستراليا بفي بيان مشترك في 23 مارس/أذار 2020 بمذكرة تفاهم تعزز التعاون على الحلول منخفضة الانبعاثات، بما في ذلك احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه³².

إندونيسيا

تعتبر إندونيسيا منتجًا كبيرًا للنفط والغاز وتحتاج المحافظة على مستوى الإنتاج وزيادته بشكل متزايد إلى النفاذ لحقول الغاز ذات كثافة عالية لثاني أكسيد الكربون. ويتطلب دراسة استراتيجية وتخطيط للخزان يخفف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، لضمان استدامة المشروع وجدواه التجارية في مستقبل يتسم بانبعاثات كربون منخفضة. تم إجراء العديد من الدراسات والمشاريع التجريبية الممولة دوليًا وتناقش سلطات النفط والغاز الإندونيسية حاليًا استخدام ثاني أكسيد الكربون في الاستخلاص المعزز للنفط والغاز الطبيعي.

أعلنت الحكومة اليابانية في سبتمبر/أيلول 2020 أنها تدعم مشروعًا إيصاحيًا في حقل غاز جونديه في وسط جزيرة جاوة. تقوم بتطوير المشروع شركتا J-Power و JANUS بالتعاون مع PT Pertamina وأصحاب المصلحة المحليين الآخرين. وسيضع التحالف خطة مفصلة لمشروع إيصاحي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والذي سينقل ما تم احتجازه من معالجة الغاز الطبيعي عبر خط أنابيب طوله أربع كيلومترات إلى الأبار المجاورة للحقن والاستخراج المعزز للغاز الطبيعي. يدرس هذا التحالف حاليًا جدوى تطبيق آلية الائتمان المشتركة على هذا المشروع (انظر قسم اليابان لمزيد من التفاصيل).

قام المركز الإندونيسي للتميز في احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه واستخداماته بإعداد مشروع لائحة رئاسية بشأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وعزله مع مدخلات من خبراء دوليين وقدمه للحكومة الإندونيسية³³.

ماليزيا

أصبح تطبيق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على تطوير حقول الغاز ذات كثافة عالية لثاني أكسيد الكربون مجالًا ذو أولوية في تطوير احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في ماليزيا. تعمل PETRONAS، وهي شركة النفط والغاز المملوكة للدولة ومنظم التنقيب والإنتاج³⁴، على تطوير تنظيمي لحدود الانبعاثات وتخطط لمشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لحقول الغاز التي تملكها المتسمة بكثافة عالية لثاني أكسيد الكربون.

تجري PETRONAS دراسة لرسم خرائط حوض إقليمي لتخزين ثاني أكسيد الكربون وتعمل على مشروع بحري كبير بالقرب من ساراواك. من المتوقع صدور القرار الاستثماري النهائي في عام 2022.

الصين: حان الوقت للاستعداد لنشر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

ركزت الصين بشكل أساسي على تمويل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من ضمن المناقشات الدائرة حول تمويل قضايا المناخ. في 8 يوليو/تموز 2020 أصدر مصرفها المركزي مشاركة مع اللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح ولجنة تنظيم الأوراق المالية الصينية فهرس مشاريع السندات الخضراء المعتمدة: إصدار³⁵ 2020. وللمرة الأولى اشتمل الإصدار على احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، موسعًا قنوات تمويل المشاريع.

بدأت مؤسسة استثمارات الطاقة الصينية في بناء مشروعها الإيصاحي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الذي تبلغ طاقته الإنتاجية 150 ألف طن سنويًا في مقاطعة شنشي. سيختبر المشروع المذيبات ومواد الامتصاص المتقدمة الجديدة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون. دعمت الصين في السابق مشاريع رائدة في مجالات توليد الطاقة، ومعالجة الغاز الطبيعي، وصناعات الأسمنت والأسمدة، وتحويل الفحم إلى الكيمويات.

والجدير بالذكر أن انتشار احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في الصين يواجه بعض الصعوبات الكبيرة، فقد تأثر تقدم المشروع بالجائحة وانخفاض أسعار النفط. في سبتمبر/أيلول 2020 تعهدت الصين بأن تصبح محايدة للكربون بحلول عام 2060 وتضع حاليًا خطتها الخمسية الرابعة عشرة²⁴، ومن المحتمل أن يكون استخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه جزءًا من الإجراءات الموصى بها.

اليابان: محرك التعاون الإقليمي

تواصل اليابان دورها كمحرك للتعاون الدولي في مجالات الطاقة النظيفة وتمويل المشاريع وتنمية القدرات ونقل التكنولوجيا. أعلن رئيس الوزراء الجديد يوشيهيدي سوجا في أكتوبر/تشرين الأول عن سياسته الخاصة بصيرورة اليابان محايدة للكربون بحلول عام 2050 من خلال توسيع نطاق استخداماتها للطاقة المتجددة والهيدروجين، بالإضافة إلى تسريع البحث والتطوير في التقنيات الرئيسية، بما فيها استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن.

سلاسل إنتاج وتوريد الهيدروجين النظيف

بالإضافة إلى كونها رائدة في تطوير تقنيات استخدام الهيدروجين (على سبيل المثال تطوير السيارات الكهربائية بخلايا الوقود)، تقود اليابان الأنشطة الدولية لتطوير إنتاج الهيدروجين النظيف باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وسلاسل التوريد. وتدعم الحكومة اليابانية إنتاج الهيدروجين النظيف ومشاريع سلسلة التوريد في أستراليا من خلال مشروع سلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية (HESC)، وفي بروناي من خلال مشروع جمعية سلسلة الطاقة الهيدروجينية المتقدمة لتطوير التقنية (AHEAD)، وفي المملكة العربية السعودية.

- ويبدو أن مشروع HESC سيكمل بناء وتشغيل منشأة تغويز الفحم وتكرير الغاز في وادي لاثروب في ولاية فيكتوريا بأستراليا في الموعد المحدد لذلك. وفي اليابان، تم الانتهاء من بناء محطة كوبي لتخزين وتفريغ الهيدروجين السائل³⁶.

- وبدا مشروع AHEAD في أبريل/نيسان 2020 بتشغيل أو سلسة إمداد الهيدروجين الدولية في العالم، تتضمن إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي وتحويله إلى ميثيلسيكلوهكسان (MCH) ثم شحن الميثيلسيكلوهكسان إلى اليابان حيث يخضع لنزع الهيدروجين لإطلاقه³⁷. وفي مايو/أيار 2020، تم توفير الهيدروجين المتجدد من MCH إلى توربين غازي في محطة Mizue لتوليد الطاقة الحرارية منه³⁸.

- وفي سبتمبر/أيلول 2020، غادرت المملكة العربية السعودية متجهة إلى اليابان أول شحن في العالم تحمل 40 طنًا من الأمونيا الخالية من الكربون (الأمونيا الزرقاء التي يتم إنتاجها باستخدام الهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه). سيتم حرق الأمونيا في محطات توليد الطاقة لإنتاج الكهرباء³⁹.

السياسة / الإستراتيجية

حددت الحكومة اليابانية الدور الذي يلعبه احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في استراتيجية الابتكار البيئي الرائدة التي اعتمدت في اجتماع يناير/كانون ثان لاستراتيجية الابتكار المتكاملة²⁵. تتضمن الإستراتيجية:

- الفصل والاستعادة منخفض التكلفة لثاني أكسيد الكربون يهدف إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو إعادة تدويره
- تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى وقود وتقنيات إعادة تدوير الكربون الأخرى
- إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

4-0 لمحات عامة إقليمية

4-1 4-1 سفير احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

البروفيسور جين هونغ غوانغ

أكاديمي في أكاديمية الصين للعلوم كبير مفوضين اللجنة المهنية لاستخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن، الجمعية الصينية لطوم البيئة



على الصعيد العالمي، يجب أن يجري قطاعا الطاقة والصناعة تغييرات كبيرة لتبني التنمية المستدامة، والحد من انبعاثات غازات الدفيئة وتحقيق طموحات صافي الانبعاثات الصفرية. وسيطلب هذا الجهد الهائل مجموعة متنوعة من التقنيات، تلعب تقنيات استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن من بينها دورًا فر يدا. فمن المثبت أن تقنية استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن تخفض الانبعاثات بشكل كبير وتوفر مسارا للاستخدام منخفض الكربون للوقود الأحفوري ولتحقيق انبعاثات سلبية، كما ستساهم بشكل كبير في إنتاج الطاقة النظيفة، كالهيدروجين مثلا. نعتقد أن استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن ليست ضرورية للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون فحسب، بل وهي تقنية لا غنى عنها في بناء مزيج مستقبلي للطاقة يتسم بالمرونة وتعدد الاستخدامات والتكامل.

نعتقد أن استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن ليست ضرورية للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون فحسب، بل وهي تقنية لا غنى عنها في بناء مزيج مستقبلي للطاقة يتسم بالمرونة وتعدد الاستخدامات والتكامل.

توشياكي ناكاجيما

رئيس إدارة،
الشركة اليابانية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه المحدودة. (JCCS)



ياماشيتا ريويتشي

المدير العام،
مكتب سياسة العلوم والتكنولوجيا الصناعية والبيئة،
وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة ، اليابان (METI)



وفقًا لإرهاصات وكالة الطاقة الدولية، من المتوقع أن يساهم برنامج احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية بنسبة 14 بالمائة بحلول عام 2060. وقد وافق مجلس الوزراء الياباني على "الاستراتيجية طويلة المدى بموجب اتفاقية باريس" في يونيو/حزيران 2019 وحدد هدفًا طويل الأجل لتقليل 80 بالمائة من الانبعاثات غازات الدفيئة بحلول عام 2050. وفي إطار هذا الهدف طويل الأجل، يعتبر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه تقنية تساهم في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة بشكل كبير في المستقبل. في يناير/كانون ثان من هذا العام، وضعت الحكومة اليابانية "إستراتيجية الابتكار البيئي التقدمية"، بهدف إنشاء تقنيات تمكن من تقليل ثاني أكسيد الكربون المتراكم في الغلاف الجوي (ما وراء الصفر)، بالإضافة إلى تطبيقها في المجتمع لتحقيق الهدف المحدد في الاستراتيجية طويلة الأجل بموجب اتفاقية باريس. في الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة أيضًا تعتبر التقنيات التي تخفض من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مثل تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ضرورية في تحقيق الحياد الكربوني، حيث توجد قطاعات يصعب تخفيف انبعاثاتها مثل الزراعة والنقل والصناعة.

تبدل اليابان جهودًا لتقديم عرض توضيحي كبير في توماكوامي، هوكايدو بهدف نشر الاستعمال العملي لتقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، وتجري البحوث والتطوير في مجال تقنيات فصل واستعادة ثاني أكسيد الكربون وتقنيات التحكم في السلامة، ودراسة مواقع التخزين المناسبة. حظي المشروع الإيضاحي في توماكوامي على وجه الخصوص باهتمام عالمي، محققًا هدفه في حقن 300 ألف طن تراكميًا من ثاني أكسيد الكربون في نوفمبر/تشرين ثان 2019، والمضي قدمًا بنجاح بالتعاون مع أصحاب المصلحة المحليين. تم تنفيذ عرض توضيحي في أوساكي كاميجيما، هيروشيما، للدورة المركبة المتكاملة لتغويز الفحم الحجري. تم الانتهاء من مرفق فصل ثاني أكسيد الكربون واستعادته عام 2019 وبدأ المشروع الإيضاحي المكتمل بالعمل منذ تلك السنة المالية. وبناء على نتائج هذه الجهود، تهدف اليابان إلى إنشاء تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وخفض التكلفة، والعمل بشكل مطرد من أجل التطبيق العملي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

بالنظر إلى الجهود المبذولة في الخارج وخاصة في آسيا، حيث تستمر الاقتصادات في النمو وحيث من المتوقع أن يستمر استخدام الوقود الأحفوري، يمكن اعتبار استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن ضرورة لتحقيق كل من النمو الاقتصادي وإزالة ثاني أكسيد الكربون. ستروج اليابان لأنشطة شبكة استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن الآسيوية كفرص لمشاركة التقنيات والخبرات والمعرفة التي تؤسس لتطوير هذا الاستخدام داخل آسيا.

إن لتمكين التطبيق العملي وتجدير استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن كتقنية تقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على نطاق واسع أهمية ضخمة ليس لليابان فحسب بل للعالم بأكمله كإجراء لمكافحة الاحتباس الحراري، وهو مهم أيضًا من منظور الإستراتيجية الصناعية للمستقبل. أود أن أعرب عن احترامي لعمل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون الذي يروج لانتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عالميًا.

المشاريع المحلية

مشروع ميكاوا

مشروع Mikawa هو أول مشروع تجريبي تجاري لليابان وأول مشروع الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في البلاد. يتضمن المشروع تحويل مولد طاقة يعمل بالفحم إلى منشأة لتوليد طاقة من الكتلة الحيوية مع تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. تم إجراء تقييم الأثر البيئي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون، وبدأ التشغيل في منتصف عام 2020. تم تصميم المشروع ليحتجز ما يقارب 500 طن من ثاني أكسيد الكربون يوميًا ينبعث من مرجل الكتلة الحيوية.

مشروع CCU الجديد للبحوث

تم اختيار تحالف صناعي من قبل منظمة تنمية الطاقة الجديدة والتقنية الصناعية (NEDO) لإجراء بحث حول إعادة تدوير ثاني أكسيد الكربون من مصفاة هوكايدو في مدينة توماكوامي. سيحقق الاتحاد في إنتاج الميثانول (20 طنًا في اليوم) من ثاني أكسيد الكربون المحتجز. سيتم الحصول على الهيدروجين من المصافي أو من التحليل الكهربائي للمياه داخل منشآت احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الحالية في مدينة توماكوامي. من المتوقع أن يحقق تكامل مرافق الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون المحتجز مع مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه فائدة تقاسم وحدة احتجاز الكربون وتعزيز قابلية التشغيل البيئي لكلا المرفقين.

التعاون الدولي: نقل التقنية والمساعدة المالية

تدعم اليابان التعاون مع العديد من دول المنطقة في مجال احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. فيما يلي مبادرات تعاونيتان جديدتان ومهمتان:

دراسة مشتركة عن تنمية حقول الغاز ذات كثافة ثاني أكسيد الكربون المرتفعة

اتفقت المؤسسة الوطنية للنفط والغاز والمعادن اليابانية (JOGMEC) مع Petronas ومؤسسة JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation على إجراء دراسة مشتركة عن تنمية حقول الغاز ذات كثافة ثاني أكسيد الكربون المرتفعة وستبحث الدراسة في إمكانية إنتاج الغاز الطبيعي والهيدروجين وتصديره إلى اليابان. ستتعاون JX مع JOGMEC على استكشاف سلاسل قيمة جديدة للطاقة.

دراسة آلية الاعتماد المشترك في إندونيسيا

كما هو مذكور في القسم الإندونيسي (مشروع Gundih)، تم إنشاء شراكة بين اليابان وإندونيسيا لفحص تطبيق آلية الائتمان المشتركة على مشروع توضيحي كبير لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. سيحدد المشروع انخفاض كميات انبعاثات غازات الدفيئة التي تم تحقيقه من خلال تنفيذ تقنيات اليابان المتقدمة منخفضة الكربون.

الهند: مرحلة اللحاق المعجل بالركب

من الموضوعات الرئيسية تنمية القدرات وإشراك أصحاب المصلحة. ساعدت مشاريع المساعدة الفنية التي تمولها مصارف التنمية والمبادرات الدولية للطاقة النظيفة في بدء استيعاب احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون ودوره في إزالة ثاني أكسيد الكربون.

يسعى قطاعا الصلب والأسمنت في الهند الآن بشكل استباقي على طلبًا لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كجزء من طموحاتهم في خفض الانبعاثات. أعلنت شركة Reliance Industries Limited عن خطة لتطوير تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كجزء من التزامها بصافي الانبعاثات الصفرية⁴⁰.

وفي سبتمبر/أيلول 2020 ، اتفقت ست شركات هندية على "ميثاق قطاع" بشأن انبعاثات تقارب الصفر بحلول عام 2050، ستقوم بموجبه باستكشاف تدابير مختلفة لإزالة ثاني أكسيد الكربون بما في ذلك عزل الكربون⁴¹.

أنشأت وزارة العلوم والتكنولوجيا الهندية برنامجًا وطنيًا بشأن أبحاث تخزين ثاني أكسيد الكربون، ووجهت دعوة في أغسطس/آب لتقديم مقترحات لدعم البحث والتطوير والمشروعات التجريبية والإيضاحية بشأن احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون⁴². يشكل هذا جزءًا من مبادرة التسريع بتقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (ACT)، والتي خصصت لها الحكومة الهندية مليون يورو دعمًا للمشاركين الهنود. من المقرر أن تبدأ المشاريع التي يتم اختيارها في سبتمبر/أيلول 2021 ويجب أن يكون لها شركاء من ثلاثة بلدان أخرى على الأقل من تلك المشاركة في المبادرة⁴⁴.

آلية الاعتماد المشترك

آلية الاعتماد المشترك هي آلية انتمان ثنائية الأطراف تعتمد على المشاريع، أنشأتها ونفذتها حكومة اليابان⁴⁵. تقيم الآلية بشكل مناسب وبطريقة كمية، مساهمات اليابان في خفض غازات الدفيئة أو عمليات إزالتها التي تحققت من خلال انتشار التقنيات والمنتجات والأنظمة والخدمات والبنية التحتية منخفضة الكربون. كما وتطبق إجراءات التخفيف في البلدان النامية، وتستخدمها للمساهمة في تحقيق هدف اليابان لخفض الانبعاثات.

يتم وصف الهدف من آلية الائتمان المشتركة في ثلاثة أجزاء⁴⁷:

1. تسهيل انتشار التقنيات والمنتجات والأنظمة والخدمات والبنية التحتية الرائدة منخفضة الكربون وكذلك تنفيذ إجراءات التخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والمساهمة في التنمية المستدامة للبلدان النامية.
2. تقييم مساهمات اليابان في تخفيضات انبعاثات غازات الدفيئة أو إزالتها تقييمًا مناسبًا بطريقة كمية واستخدامها لتحقيق هدف اليابان لخفض الانبعاثات.
3. المساهمة في الهدف النهائي لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ من خلال تسهيل الإجراءات العالمية لخفض انبعاثات غازات الدفيئة أو إزالتها.

وحتى تاريخه، تم تنفيذ آلية الائتمان المشتركة مع 17 دولة هي إندونيسيا وفيتنام وجمهورية لاو الديمقراطية الشعبية وميانمار وتايلاند وكمبوديا والفلبين ومنغوليا وبنغلاديش والمملكة العربية السعودية وجزر المالديف وإثيوبيا وكينيا وكوستاريكا وبالاو والمكسيك وشيلي⁴⁶.



أعلاه: منشأة توماكوامي الإيضاحية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. الصورة مهداة من الشركة اليابانية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه المحدودة. أعلاه: محطة ميكاوا لتوليد الطاقة. الصورة مهداة من شركة Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation (Toshiba ESS).

4-4 دول مجلس التعاون الخليجي



أعلى: منشأة شركة قطر للغاز في راس لفان للغاز الطبيعي المسال. الصورة مهداة من قطر للغاز.
أعلى: منشأة غاز الحوية بالمملكة العربية السعودية. الصورة مهداة من أرامكو.

من سمات انبعاثات غازات الدفيئة في الشرق الأوسط التي غالباً ما يتم التغاضي عنها كون الانبعاثات الناتجة عن توليد الطاقة تزيد عن ضعف تلك الصادرة عن الصناعة - بما في ذلك أنشطة قطاع النفط والغاز⁵⁸. ونظرًا لأن خطط إزالة ثاني أكسيد الكربون تتضمن استبدال الفحم والنفط بالغاز الطبيعي وطاقة الرياح والطاقة الشمسية، تستطيع تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون لعب دور أقوى في توليد الطاقة في هذه المنطقة عما سيكون عليه الحال في بقية العالم.

على الرغم من أن نشاط تطوير احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الفعلي لا يزال محدودًا نسبيًا مقارنة بالانبعاثات والمنطقة والموارد المعلنه إلا أن هناك أدلة على دراسات نشطة مستمرة وسط شركات الطاقة والشركات الصناعية. تتضمن بعض إرصاصات أرقام مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المنطقة ارتفاع كميات ثاني أكسيد الكربون المحتجز من حوالي 2 مليون طن سنويًا في عام 2019 إلى أكثر من 100 مليون طن سنويًا بحلول عام 2040⁵⁹ وسيكون لهذا النوع من النمو تأثير كبير على معدلات وتكاليف انتشار تقنيات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون عالمياً.

قد تشهد السنوات القليلة المقبلة عملياً انطلاقة غير مسبوق لبرامج احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في الشرق الأوسط، خاصة في الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية، قد تصل لدرجة تطور المنطقة لتصبح "نقطة ساخنة عالمية" لتجميع وتخزين ثاني أكسيد الكربون. ومع نمو الاهتمام الإقليمي بالهيدروجين منخفض الكربون ووجود إمكانات التخزين الهائلة تحت الأرض⁵⁹ وموارد الغاز الطبيعي الوفيرة والقدرة الإنتاجية الزائدة، يمكن للشرق الأوسط استخدام خبرته المتطورة في مجال احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وموقعه لتطوير صناعة تصدير الهيدروجين النظيفة. تستحق الإمكانات الثرية المرتبطة باحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في المنطقة اهتماماً وثيقاً.

على الرغم من التحديات الاقتصادية التي فرضها انخفاض أسعار النفط والغاز على مدى الاثني عشر شهراً الماضية، فإن دول مجلس التعاون الخليجي - المملكة العربية السعودية والكويت والإمارات العربية المتحدة وقطر والبحرين وسلطنة عمان - تبرز كجهات فاعلة مهمة في مستقبل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عالمياً على المدى القصير إلى المتوسط. فالمنطقة التي تمثل أقل من 1 بالمائة من سكان العالم، مسؤولة عن ربع إنتاج النفط العالمي السنوي تقريباً⁴⁸. هناك تركيز متزايد على التنوع الصناعي وإزالة ثاني أكسيد الكربون بسبب توقعات الانخفاض الكبير في الطلب العالمي على النفط والغاز سعياً لبلوغ صافي الانبعاثات الصفري، ولكل دول مجلس التعاون الخليجي أهداف استراتيجية مقنعة لتحقيق ذلك.

السياسات

يتزايد الالتزام بالعمل على مكافحة تغير المناخ. يعتبر احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون مكوناً قوياً في الخطط الرئيسية الوطنية لخفض ثاني أكسيد الكربون في دول مجلس التعاون لدول الخليج، جنباً إلى جنب مع مصادر الطاقة المتجددة واستبدال كل من النفط والفحم بالغاز الطبيعي بالإضافة إلى تحسين كفاءة الطاقة^{50:51}. يلعب احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه دوراً قوياً ومحورياً في مفهوم الاقتصاد تدوير الكربون الذي تم تطويره في المنطقة (راجع مربع النص أدناه). وتعتبر الحاجة إلى المزيد من ثاني أكسيد الكربون لاستبدال الغاز الطبيعي في إنتاج النفط بمساعدة الاستخلاص المعزز محركاً مكملاً آخر لمشاريع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون⁵².

ما يقرب من ثلاثة أرباع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الشرق الأوسط تنتج من دولتين فقط: الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية⁴⁸. وكلاهما أعضاء في "المهمة الابتكارية" ونشطين في مبادرة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الوزارية للطاقة النظيفة. أصدرت كلتا الدولتين استراتيجيات وطنية طموحة لتنوع اقتصاداتهما وإزالة ثاني أكسيد الكربون منها^{53:50} وقدمتا مساهماتهما المحددة وطنياً التي تشير صراحة إلى دور احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى هيئة اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ^{54:55}. تهدف شركة النفط الوطنية في المملكة العربية السعودية إلى مزيد من تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من عملياتها لتضمين وتحسين ادعائها بإنتاج نـفـط ذو أقل بصمة كربونية في العالم^{56:57}.

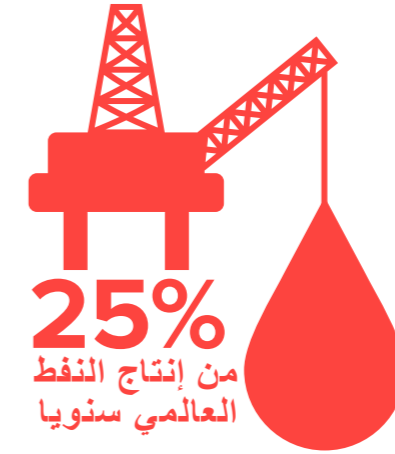
المشاريع

ينتشر نشاط احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الحالي في ثلاث دول هي الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية وقطر:

- حوالي 0.8 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون يتم احتجازها من مصنع الإمارات للصلب في أبو ظبي كمرحلة أولى من مشروع أدنوك الريادة ويتم التخطيط للمرحلة الثانية بهدف الحصول على 2.3 مليون طن إضافية سنويًا بدءاً من عام 2025 من محطة شاه لمعالجة الغاز أيضاً لاستخدامها في الاستخلاص المعزز للنفط
- تهدف أدنوك لتخفيض كثافة ثاني أكسيد الكربون في عملياتها التشغيلية بمعدل 25 بالمائة بحلول عام 2030 ويشمل الهدف خطاً للنمو مع المرحلة الثالثة من مشروع الريادة لاحتجاز 2 مليون طن إضافية سنويًا من منشأة حبشان وباب لمعالجة الغاز
- يستخدم إنتاج أرامكو السعودية من حقل العثمانية للنفط (وهو جزء من حقل الغوار) 0.8 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون المحتجزة من مصنع الحوية لسوائل الغاز الطبيعي⁵⁶
- تحتجز منشأة الشركة السعودية للصناعات الأساسية (سابك) لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الواقعة في مصانعها للإيثيلين في الجبيل حوالي 0.5 مليون طن سنويًا لاستخدامها في إنتاج الميثانول واليوريا
- تحتجز شركة قطر للمواد المضادة على الوقود 0.2 مليون طن سنويًا في مصفاة الميثانول التابعة لها
- أعلنت شركة قطر للغاز عن خطط في نهاية عام 2019 لإضافة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى مصنع تسبيل الغاز في راس لفان⁵⁷ ومن المتوقع أن يرتفع معدل الاحتجاز الأولي البالغ 2.1 مليون طن سنويًا إلى 5 مليون طن سنويًا بحلول عام 2025

ينتشر نشاط احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الحالي في ثلاث دول في الشرق الأوسط - دولة الإمارات العربية المتحدة، المملكة العربية السعودية وقطر.

تمثل منطقة الشرق الأوسط أقل من 1% من سكان العالم، ولكنها مسؤولة عن 25% من إنتاج النفط العالمي السنوي.



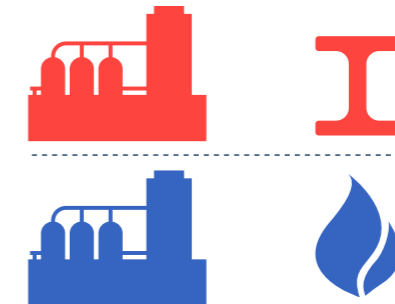
نظرة عامة على احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه تنتج دولتان وهما الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية ما يقارب على ثلاثة أرباع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المنطقة.



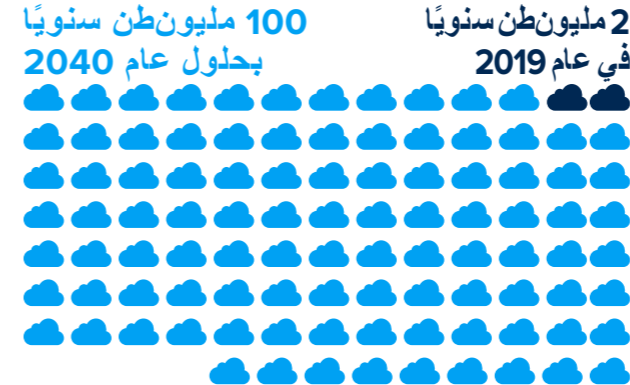
تحتجز 3.7 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون

3 مرافق تجارية عاملة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه: 2 منهم في قطاع معالجة الغاز الطبيعي وواحدة في قطاع إنتاج الحديد والصلب

تملك المنطقة إمكانية تخزين واسعة وسهلة النفاد تحت الأرض تسع لتخزين 5 إلى 30 جيغا طن*



تتضمن بعض توقعات أرقام مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في المنطقة ارتفاع كميات ثاني أكسيد الكربون المحتجز من حوالي 2 مليون طن سنويًا في عام 2019 إلى أكثر من 100 مليون طن سنويًا بحلول عام 2040**



يعتبر احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون مكوناً قوياً في الخطط الرئيسية الوطنية لخفض ثاني أكسيد الكربون في هذه الدول جنباً إلى جنب مع مصادر الطاقة المتجددة واستبدال كل من النفط والفحم بالغاز الطبيعي بالإضافة إلى تحسين كفاءة الطاقة.



* تقة متوسطة ** بناء على تقييم مفوض من شركة قمر للطاقة في يونيو/حزيران 2019

آدم شيمينسكي

رئيس
مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)
كبير مستشاري،
برنامج أمن الطاقة وتغير المناخ في مركز الدراسات الاستراتيجية والدولية (CSIS)



يجب علينا أيضًا بذل جهد كبير لبناء البنية التحتية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه حتى في ظل الانتشار المرعب للطاقات المتجددة وكفاءة استخدام الطاقة، لأنه من المرجح جدًا أن يلعب الوقود الهيدروكربوني دورًا مهمًا في مزيج الطاقة العالمي المستقبلي. يوفر اقتصاد تدوير الكربون إطارًا عمليًا لمواجهة تحديات المناخ من خلال التركيز على النتائج التي تتبنى جميع الفرص لإدارة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بما في ذلك احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والتقاطه مباشرة من الهواء.

تتمتع منطقة دول مجلس التعاون الخليجي بقدره تخزين وفيرة لثاني أكسيد الكربون ويمكن أن تلعب دورًا استراتيجيًا في التوسع العالمي الضروري لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. وتتمتع المنطقة إلى جانب مواردها من النفط والغاز الطبيعي بموقع مثالي لتطوير تجمعات صناعية لتخزين ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الهيدروجين الأزرق. توفر موارد الطاقة الشمسية التي لا مثيل لها في المنطقة جنبًا إلى جنب مع إمكانات تخزين ثاني أكسيد الكربون الوفيرة أيضًا الفرصة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون المباشر من الهواء مع تطور التقنية.

... برز اتفاق واضح في الدوائر السياسية وقطاع الطاقة على أن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو تقنية مهمة للحد من الانبعاثات ولتحقيق أهداف تغير المناخ.

على مدى السنوات الأخيرة شهدنا ارتفاعًا في مستوى الوعي بتغير المناخ، ومؤخرًا بالحاجة إلى بلوغ صافي الانبعاثات الصفورية بحلول منتصف القرن. وما لاحظته أيضًا هو زيادة التركيز على كيفية عمل الالتزامات المتعلقة بتغير المناخ وخفض الانبعاثات من منظور التمويل.

ففي السنوات الأخيرة شهدنا ارتفاعًا منتشرًا في مستوى الوعي بتغير المناخ بالإضافة إلى بروز اتفاق واضح في الدوائر السياسية وقطاع الطاقة على أن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو تقنية مهمة للحد من الانبعاثات ولتحقيق أهداف تغير المناخ.

عندما يتعلق الأمر بتمويل استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن، يجب علينا المضي قدمًا في وضع الآليات اللازمة لتحفيز الاستثمار وخلق دراسة جدوى له. يجب أن نستمر في تعلم دروس من الماضي حول توسيع نطاق التقنيات الحالية والبدء بسرعة في تطبيقها على استخدامات ثاني أكسيد الكربون المحتجز والمخزن للدفع بانتشاره بشكل عاجل إلى المستويات المطلوبة.

ليلى بنعلي

كبير الخبراء الاقتصاديين،
المؤسسة العربية للاستثمارات البترولية (APICORP)



اقتصاد تدوير الكربون

يصف مفهوم الاقتصاد التدويري وسيلة ممنهجة للتخلص من النفايات من خلال ضمان أقصى استخدام مستمر للموارد. تم تطوير العديد من المتغيرات لتطبيقات محددة.

يعمل مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (KAPSARC) في المملكة العربية السعودية على تطوير نموذج اقتصاد تدوير الكربون للمساعدة في وضع خطط سياسة المناخ في المملكة في سياقها⁶⁰. ويعتمد النموذج على أربعة أركان:

- التقليل
- إعادة الاستخدام
- إعادة التدوير
- الإزالة

يعترف الإطار بجميع أشكال تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ويقدرها. يصف ركن "الإزالة" خيارات مثل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والاحتجاز المباشر من الهواء وتحسين إدارة الأراضي التي تزيل ثاني أكسيد الكربون وتعزله وتخزنه بطرق آمنة.

يتضمن عمل المركز تمييزًا جديدًا بين:

- "الكربون الحي" (النباتات والتربة)
- "الكربون الهارب" (مثل غازات الميثان وثاني أكسيد الكربون)
- "الكربون المتين" (على سبيل المثال المنحيس في البلاستيك)

لكل من الأركان الأربعة دور أمثل في التعامل مع الفئات الثلاث هذه للكربون. على الرغم من أن "الإزالة" هي الأخيرة في التسلسل الهرمي لتخفيف الانبعاثات، ولا تستخدم سوى في حالة فشل الخيارات الأخرى، إلا أنها وعلى وجه التحديد تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، تعتبر ضرورية في تحقيق صافي انبعاثات صفري جنبًا إلى جنب مع جميع الخيارات الأخرى.

تروج المملكة العربية السعودية بقوة لاقتصاد تدوير الكربون كإطار عمل يدفع بنهج شامل يستخدم كل الوسائل للتخفيف من آثار تغير المناخ. نسق مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية إصدار دليل حول اقتصاد تدوير الكربون⁶¹ يصف كيف تستطيع التقنيات والطرق المختلفة أن تدعم خفض الانبعاثات لتصل صافي الصفر. يشمل الدليل الذي نُشر في أغسطس/ آب 2020، فصولاً عن مصادر الطاقة المتجددة غير الحيوية والطاقة النووية وإعادة استخدام ثاني أكسيد الكربون والطاقة الحيوية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والهيدروجين وسياسات التمكين. قامت المنظمة البارزة في كل مجال من مجالات الدليل بتأليف الفصل الذي تختص فيه، وشمل التأليف الوكالة الدولية للطاقة والوكالة الدولية للطاقة المتجددة ووكالة الطاقة النووية والمعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ومنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية. اعتمد وزراء الطاقة في مجموعة العشرين هذا التقرير في أواخر سبتمبر/أيلول 2020 في بيانهم مشيرين إلى أن اقتصاد تدوير الكربون يقدم "نهجًا كليًا ومتكاملًا وشاملاً وعمليًا لإدارة الانبعاثات يمكن تطبيقه بما يعكس أولويات وظروف الدولة".

ويتواصل العمل على تطوير إطار اقتصاد تدوير الكربون. تعمل أرامكو السعودية مع مركز سياسات الطاقة العالمية في جامعة كولومبيا والمعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون لمواصلة تطوير الدراسات الأكاديمية بشأن إطار عمل اقتصاد تدوير الكربون، ولمعايرة فرصة التخفيف من الانبعاثات في إطار كل من أركانها الأربعة.



● الطاقة ● ثاني أكسيد الكربون ● منتجات

| | |
|-----|---|
| 1-0 | المقدمة |
| 2-0 | الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون |
| 3-0 | الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020 |
| 3-1 | مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية |
| 3-2 | السياسة والتنظيم |
| 3-3 | نظرة عامة على التخزين العالمي |
| 4-0 | لمحات عامة إقليمية |
| 4-1 | الأمريكتان |
| 4-2 | أوروبا |
| 4-3 | آسيا والمحيط الهادئ |
| 4-4 | مجلس التعاون الخليجي |
| 5-0 | التقنية والتطبيقات |
| 5-1 | الصناعة |
| 5-2 | الهيدروجين |
| 5-3 | الغاز الطبيعي |
| 5-4 | احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة |
| 5-5 | تقنيات الانبعاثات السلبية |
| 5-6 | الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه |
| 6-0 | الملحقات |
| 7-0 | المراجع |

تطوير احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه: التقنية والتطبيقات

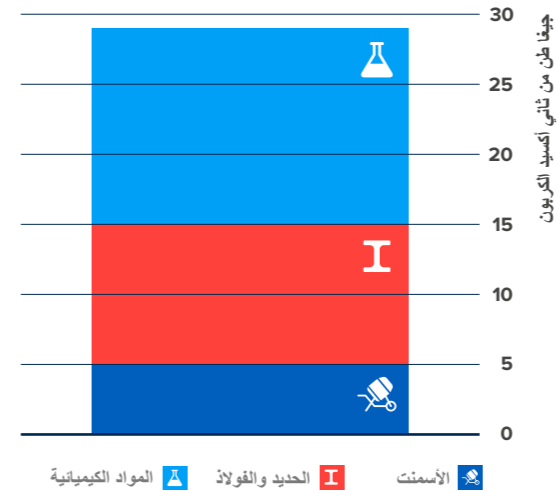
5-1 الصناعة

تنتج الصناعة حوالي ثمانية مليارات طن من الانبعاثات المباشرة لثاني أكسيد الكربون سنويًا، وقطاعات الأسمنت والحديد والصلب والكيماويات مسؤولة عن حوالي 70 بالمائة من هذه الانبعاثات. إذا أضفنا الانبعاثات غير المباشرة على ذلك، فإن الصناعة تمثل ما يقرب من 40 بالمائة من الانبعاثات العالمية بشرية المنشأ لثاني أكسيد الكربون¹⁵. سينمو الطلب على المنتجات الصناعية حتى منتصف هذا القرن على الأقل، وتدفع زيادة سكانين تبلغ ملياري شخص إضافيين يحتاجون للطعام والكساء والإسكان والنقل والترفيه. سيؤدي تزايد الثراء ولا سيما في الاقتصادات النامية منات إلى منح الملايين من البشر القدرة على شراء السلع والخدمات لأول مرة.

وبالنظر إلى الالتزامات الحالية في المساهمات المحددة وطنياً (NDCs) للحد من الانبعاثات وتحسين كفاءة الطاقة، تقدر وكالة الطاقة الدولية أن الانبعاثات المباشرة لثاني أكسيد الكربون من الصناعات ستترفع من 8 إلى ما يقرب من 10 مليارات طن سنويًا بحلول عام 2060. لتحقيق نتيجة مناخية متوافقة مع اتفاقية باريس يجب أن تنخفض هذه الانبعاثات إلى 4.7 مليار طن بحلول عام 2060¹⁵.

ما يقرب من 1.9 مليار طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصناعية سنويًا هي نتاج جانبي للعمليات الكيميائية في عمليات الإنتاج. لا يمكن تجنب "انبعاثات التشغيل" هذه باستخدام تقنيات الإنتاج الممكنة. على سبيل المثال، يتسبب إنتاج الأسمنت في 65 بالمائة من الانبعاثات عندما يتم تحويل كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) إلى أكسيد الكالسيوم (الجير) - التفاعل الكيميائي الباعث لثاني أكسيد الكربون ضروري لإنتاج الأسمنت. من الأمثلة الأخرى للعمليات الصناعية ذات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الكبيرة هي معالجة الغاز الطبيعي، إنتاج الحديد والصلب والألمونيوم/اليوربا والوقود الحيوي، والعديد من العمليات البترولية والكيماوية التي تنتج المواد الكيميائية والبلاستيك والألياف.

هناك ضرورة لوجود أساليب متعددة لخفض الانبعاثات، بما في ذلك تبديل الوقود، وتحسين كفاءة الطاقة، وانتشار أفضل التقنيات المتقدمة الحالية والمستقبلية. الخيار الوحيد المجدي للتخفيف في كثير من الحالات هو إزالة ثاني أكسيد الكربون بعد الإنتاج باستخدام تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.



الشكل 15 مساهمة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في خفض الانبعاثات في قطاعات صناعة الأسمنت والحديد والصلب والكيماويات بين عامي 2017 و2060¹⁵

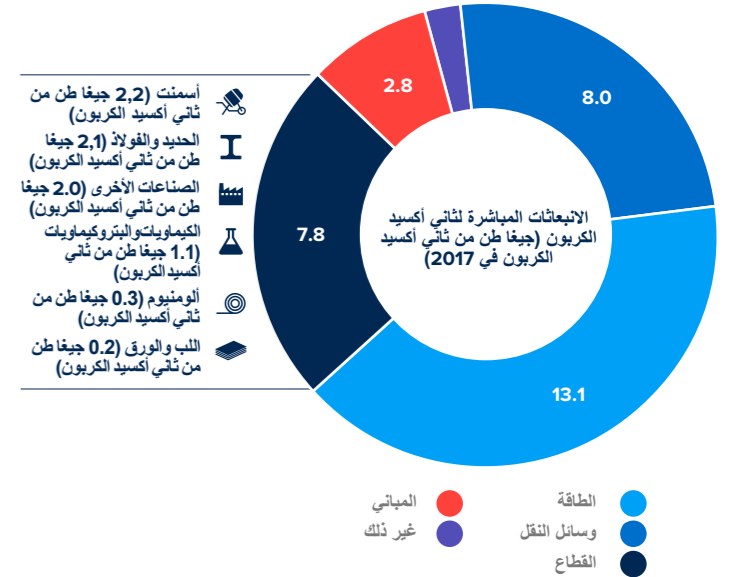
تقدر وكالة الطاقة الدولية أن احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون يجب أن يقدم تخفيضًا يبلغ 29 مليار طن بين عامي 2017 و2060 في قطاعات الأسمنت والحديد والصلب والكيماويات لتحقيق نتيجة مناخية متوافقة مع اتفاقية باريس. يمكن تطبيق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بشكل خاص في صناعة المواد الكيميائية، حيث سيوفر تخفيضًا يبلغ 14 مليار طن حتى عام 2060، بسبب انبعاثات تيارات شبيهة نقيه لثاني أكسيد الكربون من العديد من عمليات الإنتاج الكيميائي بتكلفة احتجاز منخفضة للغاية.

الأسمنت

تتضمن صناعة الأسمنت التقليدية تعريض المواد الكربونية، أو الحجر الجيري في الغالب (CaCO₃)، للحرارة الشديدة في فرن دوار. تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى "التكليس"، مما ينتج عنه كربونات الكالسيوم (CaO) وثاني أكسيد الكربون. وينتج ثاني أكسيد الكربون الإضافي أيضًا من احتراق الوقود الذي يكون عادةً الفحم أو الغاز الطبيعي، لتوفير الحرارة اللازمة المحفزة للتفاعل. تعتبر كربونات الكالسيوم مكونًا رئيسيًا من مكونات الأسمنت البورتلاندي الضروري لقطاعات البناء في العالم.

حتى لو تم توفير الحرارة من خلال مصدر وقود حيوي أو مصدر آخر منخفض الانبعاثات، يتبقى في العادة حوالي 50 بالمائة من انبعاثات التكليس الناتج عن صناعة الأسمنت⁶¹، لأنها أساسية لحدوث التفاعل الذي ينتج عنه أكسيد الكالسيوم. تنتج صناعة الأسمنت ما يقرب من ثمانية بالمائة من الانبعاثات العالمية لثاني أكسيد الكربون⁶² ويمثل التكليس حوالي أربعة بالمائة منها. على الرغم من وجود بدائل للأسمنت، إلا أن انتشارها بطيء، لذا فإن معالجة انبعاثات صناعة الأسمنت أمر ضروري لخلق عالم ذو انبعاثات صفرية.

تشكل غازات المداخن من كمانن الأسمنت مرشحًا جيد لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. تركيزاتها المعتادة لثاني أكسيد الكربون تبلغ حوالي 14 إلى 33 بالمائة⁶⁴، أي أعلى من ناتج الاحتراق التقليدي باستخدام الفحم. وتقلل نقاوة ثاني أكسيد الكربون فيها من استهلاك الطاقة الضرورية لاحتجازه. على العكس من ذلك، يلزم إجراء معالجة مكثفة لإزالة ملوثات من أمثال غبار الأسمنت.



الشكل 14 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية المباشرة حسب القطاع⁸

مشروع NORCEM لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

في يونيو/حزيران، أبرمت شركة Norcem النرويجية التابعة لشركة HeidelbergCement اتفاقية مع شركة Aker Solutions لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون من مصنع Brevik للأسمنت في النرويج⁶⁴. سيتم إنشاء مصنع مسجل تجارياً قائم على المذيبات لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون لغرض احتجاز غاز المداخن من فرن الأسمنت.

كما تقوم Heidelberg أيضًا بتطوير فرن أسمنت يعمل بالوقود الأكسجيني. يقضي استخدام الأكسجين النقي بدلاً من الهواء في أفرانها على النيتروجين في غاز المداخن فيزيد تركيزات ثاني أكسيد الكربون إلى 70 بالمائة أو أعلى⁶⁴. ترفع تركيزات ثاني أكسيد الكربون من الكفاءة في استخدام الطاقة عند احتجازه في العمليات الرديفة وتقلل إلى حد كبير من حجم غاز المداخن، مما يقلل بدوره كثيرًا من تكلفة رأس المال.

مشروع LEILAC - (الجير والأسمنت ذوي كثافة انبعاثات منخفضة)

وقعت شركة Calix الأسترالية في أوائل عام 2020 على اتفاقيات لتجربة تقنية مفاعل التكليس المملوكة لها في مشروع LEILAC، وهذا يعني زيادة حجم مصنعها التجريبي أربعة أضعاف في إطار المرحلة الأولى، ويمثل خطوة كبيرة إلى الأمام في تقنية تصنيع الأسمنت ومشيرًا إلى طريق لخفض انبعاثات القطاع.

ستستخدم الهواء في الأفران الدوارة التقليدية لتصنيع الأسمنت والجير لحرق الوقود في درجات حرارة مرتفعة جدًا. ويختلط النيتروجين المتبقي من هذه العملية مع ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التكليس. يخفض النيتروجين من نقاء ثاني أكسيد الكربون، ويزيد من الطاقة والتكلفة التي ينطوي عليها احتجاز ثاني أكسيد الكربون.

تفصل تقنية Calix ماديًا بين ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التكليس وبين مصدر الحرارة. تتدفق المواد الخام داخل أنبوب تفاعل داخلي ويتم تسخينها من الخارج بواسطة سخان منفصل أو مصدر تسخين كهربائي. يتم عزل ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التكليس دائمًا عن أي هواء أو نيتروجين ناتج عن الاحتراق المستخدم لتوفير الحرارة. نتيجة لذلك يكون ثاني أكسيد الكربون الناتج عن مفاعل Calix جافًا وجاهزًا للاحتجاز ونقياً تمامًا. يوضح الشكل 16 كيفية عمل المفاعل.

يمكن تسخين مفاعل Calix باستخدام الكهرباء المتجددة أو بحرق الوقود الحيوي لتوفير حرارة منخفضة الانبعاثات، مما يؤدي إلى خفض إجمالي انبعاثات المصنع إلى ما يقرب من الصفر. Calix يتمتع بميزة أخرى هي أنه يمكن دمج المكلس في مصنع أسمنت عادي، مع عدم المساس بباقي التركيبات، مما يجعله مرشحًا جيدًا لتعديل مصانع الأسمنت في العالم.

الحديد والصلب

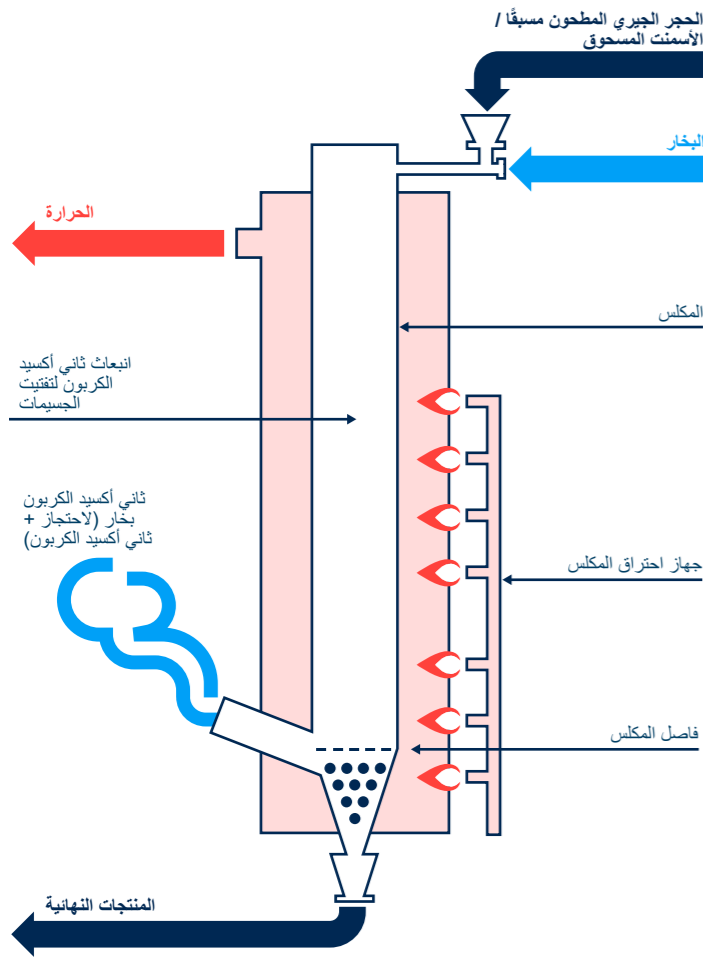
تنتج الحديد والصلب ما يقرب من سبعة بالمائة من الانبعاثات العالمية لثاني أكسيد الكربون⁶⁵. يتم بذل جهود كبيرة للحد من هذه من خلال تدابير مثل إعادة تدوير الصلب وبرامج كفاءة الطاقة والخطوات المبتكرة نحو استبدال الوقود الأحفوري بالهيدروجين. يمكن معالجة جزء كبير من انبعاثات غازات الدفيئة باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

يشغل مصنع الإمارات للصلب في أبو ظبي منشأة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون تعتمد على المذيبات منذ عام 2016. ينتج ثاني أكسيد الكربون عن الفحم أو الغاز الطبيعي الذي يستخدم كعامل اختزال في وحدة الاختزال المباشر للحديد (DRI) محلولاً خام الحديد إلى عنصر الحديد لاستخدامه في صناعة الصلب. يحتجز مصنع الإمارات للصلب حوالي 0.8 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا وتنقله عبر خط أنابيب للاستخلاص المعزز للنفط.

هناك مشاريع أخرى تدرس إضفاء تغييرات على العملية الأساسية لصناعة الصلب لتخفيف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. عملية Hisarna التي تديرها شركة Tata Steel، عبارة عن تقنية جديدة لا تزيد من كفاءة الطاقة وتقلل من كثافة الانبعاثات الناتجة عن صناعة الصلب فحسب، بل وترفع أيضًا من تركيز ثاني أكسيد الكربون، مما يسهل عملية احتجازه.



مفاعل Calix المتطور للتكليس في مصنعهم التجريبي LEILAC في بلجيكا. الصورة مهواة من Calix



الشكل 16 مفاعل CALIX المتقدم للتكليس - عرض تفصيلي المصدر: Calix (مزود)

الدكتور بينغ صن

عضو دائم في جمعية الاستثمار والتمويل المناخي التابعة للجمعية الصينية لعلوم البيئة



5-2 الهيدروجين

في السنوات الأخيرة، أصبح الهيدروجين أحد أكثر الاتجاهات التي يتم مناقشتها في مجال الطاقة العالمية، فهو ناقل للطاقة - مثل الكهرباء - يجب تصنيعه من مصادر الطاقة الأولية أو الثانوية،

ويعتبر أحياناً القرين الكيميائي للكهرباء. لا يتم إنتاج أي غازات الدفيئة عند استخدام الهيدروجين - تماماً كما هو الحال عند استخدام الكهرباء، ومثل الكهرباء أيضاً يمكن أن يتسبب إنتاج الهيدروجين في حدوث انبعاثات عند نهاية إنتاجه من المستخدم النهائي. لذلك يجب أن يتم تطوير سلاسل التوريد لسلعة القرن الحادي والعشرين هذه بعناية.

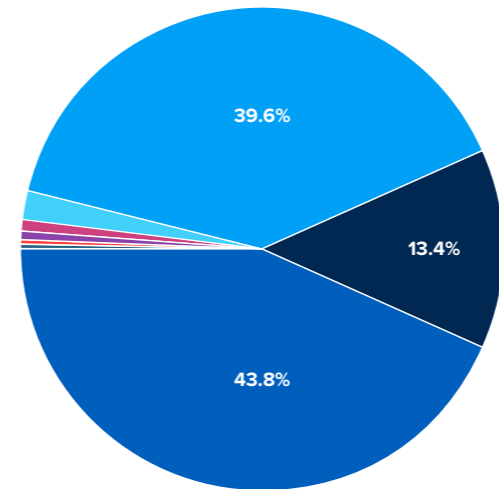
وعلى الرغم من أن استخدامه حالياً محدود إلا أن هناك احتمالات كبيرة لهيدروجين فعال من حيث التكلفة ومنخفض الانبعاثات. ومن المتوقع أن يلعب دوراً مهماً في استبدال الوقود القائم على الهيدروكربونات في مركبات النقل الثقيلة والمسافرة لمسافات طويلة (كالشاحنات والحافلات) حيث يصبح الشحن بالطائرات غير عملياً. كما أنه سيساعد في حل التحدي الكبير المتمثل في إزالة ثاني أكسيد الكربون من الحرارة الصناعية المرتفعة، والتي ينتج معظمها الآن من الغاز الطبيعي والفحم. ويمكنه أن تكون وسيلة تخزين لتوليد الطاقة، مع استخدام بعضه أيضاً كمادة مضافة لإمدادات الغاز الطبيعي التقليدية.

إنتاج الهيدروجين وأسواقه

بلغ إنتاج الهيدروجين النقي 70 مليون طن وإجمالي إنتاج الهيدروجين (بما في ذلك الغاز الاصطناعي) 120 مليون طن في عام 2020⁶⁶، تم استخدام معظمها في مصافي النفط وإنتاج المواد الكيميائية.

يتم إنتاج 98 بالمائة من الهيدروجين الحالي من الفحم (عن طريق التغويز) ومن الغاز الطبيعي بواسطة معالجة الميثان بالبخار (SMR). كلتا العمليتين تنتجان انبعاثات كبيرة لثاني أكسيد الكربون إذا لم يتم استعمال وسائل لتخفيفها، وكلاهما مناسب تماماً للحد غير المكلف من الانبعاثات باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. يتم إنتاج نسبة ضئيلة (0.3 بالمائة) من التحليل الكهربائي للمياه الذي يعمل بالطاقة المتجددة.

يوضح الشكل 17 حصص إنتاج الهيدروجين اليوم:



الميثان (الهيدروجين النقي) 39.6%
ميثان أو فحم (الغاز الاصطناعي) 13.4%
الفحم (الهيدروجين النقي) 43.8%
نتاج جانبي كلور القلوي (الهيدروجين النقي) 0.6%
التحليل الكهربائي لمصادر الطاقة المتجددة (الهيدروجين النقي) 0.4%
فحم/كوك (الهيدروجين النقي) مع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 1.9%

الشكل 17 الحصص العالمية لإنتاج الهيدروجين من مصادر وعمليات مختلفة:

| جميع التكاليف بالدولار الأمريكي لكل كيلوغرام من الهيدروجين | إمداد مخصص للكهرباء المتجددة | خلاف ذلك، تقليص إمدادات الكهرباء المتجددة | معالجة الميثان بالبخار باستخدام تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون | تغويز الفحم الأسود بواسطة تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون |
|--|------------------------------|---|--|--|
| منظمة الكومنولث للبحوث العلمية والصناعية 2018 (CSIRO) | 7.70 دولار | 18.20 دولار | 1.80 دولار | 2.00 دولار |
| الوكالة الدولية للطاقة 2019 | 3.75 دولار | - | 2.00 دولار | 2.00 دولار |
| الوكالة الدولية للطاقة المتجددة 2019 (IRENA) | 4.10 دولار | - | 2.50 دولار | 2.00 دولار |
| مجلس الهيدروجين 2020 | 6.00 دولار | - | 2.10 دولار | 2.00 دولار |
| متوسط بسيط للتكاليف من هذه التقارير الأربعة | 5.40 دولار | 18.20 دولار | 2.10 دولار | 2.00 دولار |

الجدول 3 ملخص تكاليف إنتاج الهيدروجين من مختلف المسارات منخفضة الانبعاثات:

إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات

تتاح ثلاث طرق رئيسية لإنتاج الهيدروجين:

- معالجة الغاز الطبيعي
- تغويز الفحم أو فحم الكوك
- التحليل الكهربائي للماء (ويعرف أيضاً باسم تقسيم الماء).

تقديرات تكلفة الهيدروجين التقريبية من مصادر موثوقة⁶⁷⁻⁶⁸⁻⁶⁹⁻⁷⁰، ملخصة في الجدول 3. هذه التقديرات إرشادية فقط ويجب التعامل معها بحذر. يختلف أساس كل تقدير للتكلفة (عوامل السعة وتكاليف الوقود المفترضة) من تقرير إلى آخر، وفي بعض الحالات تقدم التقارير مجموعة من التكاليف. فعلى سبيل المثال، الرقم الذي ذكرته الوكالة الدولية للطاقة في الجدول هو متوسط التكاليف المعطاة لأنحاء مختلفة من العالم.

تكلف مسارات تغويز الفحم المجهزة بتكنولوجيا احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ومسارات معالجة الميثان بالبخار أقل بكثير من التحليل الكهربائي من مصادر الطاقة المتجددة. تقدر الوكالة الدولية للطاقة المتجددة أن الهيدروجين القائم على مصادر الطاقة المتجددة سينافس الهيدروجين المنتج بواسطة معالجة الميثان بالبخار، أو تغويز الفحم باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، بحلول عام 2050⁷⁰. من عواقب الضغوط الهائلة لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية بحلول عام 2050، في وجود مجموعة كبيرة قائمة لإنتاج الهيدروجين المعتمد على الفحم والغاز الطبيعي، أن الانتقال إلى الهيدروجين منخفض الانبعاثات على نطاق واسع سيتطلب انتشاراً كثيفاً للتعديلات التحديتية ومحطات جديدة لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

الطريق الرئيسي لإنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات هو معالجة الميثان بالبخار مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. توجد اليوم في العالم أربعة منشآت صناعية لإنتاج الهيدروجين بواسطة معالجة الميثان بالبخار مع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون، وتنتج ما مجموعه حوالي 800 ألف طن من الهيدروجين منخفض الكربون سنوياً⁷¹.

واحدة من هذه المنشآت التي تستخدم معالجة الميثان بالبخار مع مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي محطة Port Arthur للهيدروجين في تكساس، وهي منشأة ذات مجرى لمعالجة الميثان بالبخار والتي تحتجز ثاني أكسيد الكربون من وحدات المعالجة باستخدام امتزاز تارجج الضغط⁷². تبلغ قدرة هذه المنشأة على احتجاز ثاني أكسيد الكربون ما يقرب من مليون طن سنوياً تستخدم في الاستخلاص المعزز للنفط.

تغويز الفحم باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي تقنية أثبتت جدواها جيداً في إنتاج كميات كبيرة من الهيدروجين، منخفضة الانبعاثات. تنتج ثلاث منشآت الهيدروجين من الفحم أو الكوك أو الأسفلتين (شبيهة بالكوك) مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه - بسعة إجمالية تقارب 600 ألف طن من الهيدروجين سنوياً. أكبر منشأة للهيدروجين النظيف في العالم هو مصنع Great Plains Synfuel في نورث داكوتا في الولايات المتحدة، الذي ينتج 1300 طن يومياً من الهيدروجين من تغويز الليغنيت (الفحم البني). هذه المنشأة الناضجة تنتج الهيدروجين منذ عام 1988 وتقوم باحتجاز ثاني أكسيد الكربون للتخزين منذ عام 2000، يتم نقل ثلاثة ملايين طن منها تقريباً كل عام إلى ساسكاتشوان في كندا لاستخدامه في الاستخلاص المعزز للنفط.



محطة Air Products' Port Arthur Texas لتوليد الهيدروجين. الصورة مهادة من شركة Air Products and Chemicals

توضح العمليات مثل Port Arthur وGreat Plains Synfuel أن الإنتاج على نطاق واسع للهيدروجين منخفض الانبعاثات باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أمر ممكن اقتصادياً وتقنياً بالفعل.

تزايد الطلب على الهيدروجين منخفض الانبعاثات

لكي يقدم الهيدروجين مساهمة مفيدة في خفض انبعاثات غازات الدفيئة العالمية، يجب إنتاج كميات كبيرة جداً منه لتحل محل نسبة كبيرة من الاستخدام المستمر للوقود الأحفوري حالياً. يمكن أن ينمو الطلب السنوي على الهيدروجين منخفض الانبعاثات إلى 530 مليون طن بحلول عام 2050، مما يقلل سنوياً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تصل إلى ست مليارات طن⁷³. ومع ذلك، فإن فوائد التخفيف لن تكون ممكنة إلا إذا تم إنتاج الهيدروجين باستخدام عمليات تقترب انبعاثاتها من الصفر. حالياً، ينتج أقل من 0.7 بالمائة من الهيدروجين من الطاقة المتجددة (عن طريق التحليل الكهربائي) ومحطات الوقود الأحفوري المجهزة بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه¹⁵.

إنتاج الهيدروجين مع استخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

معالجة الميثان بالبخار (SMR) تقنية ناضجة، يتم إنتاج الهيدروجين فيها عن طريق تفاعل الميثان والبخار عند درجة حرارة مرتفعة، تليها معالجة في مفاعل تحول الماء إلى الغاز لزيادة تحويل أول أكسيد الكربون والبخار إلى المزيد من الهيدروجين. يوضح الشكل 18 أذناه مخطط تدفق نموذجي لعمليات محطة توليد الهيدروجين بمعالجة الميثان بالبخار.

يمكن احتجاز ثاني أكسيد الكربون من منشآت معالجة الميثان بالبخار في ثلاثة مواقع:

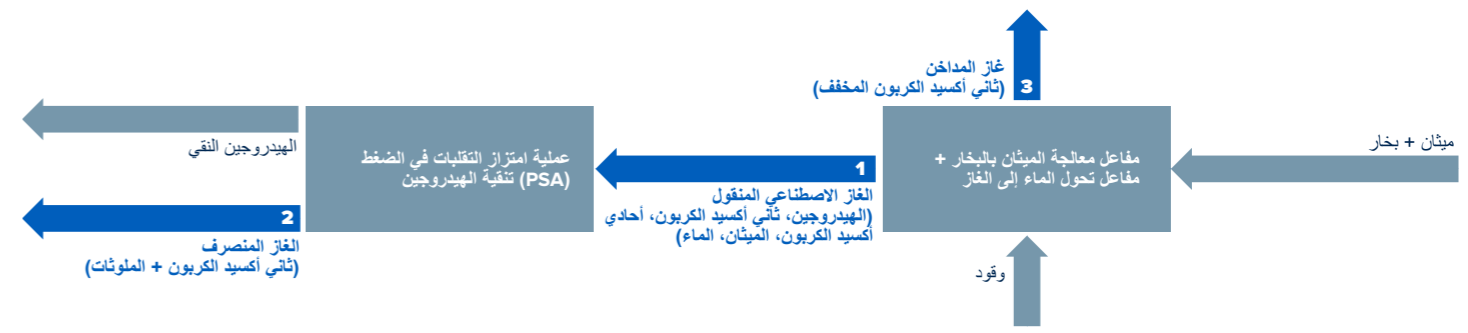
- في الغاز الاصطناعي المنقول تحت ضغط مرتفع (1)
- في الغاز المنصرف منخفض الضغط (2)
- في غاز المداخن من حرق الوقود لتوفير الحرارة لوحدة معالجة الميثان بالبخار (3).

يحتجز مرفق Port Arthur ثاني أكسيد الكربون من الغاز الاصطناعي المنقول (1)، مستفيداً من التركيز والضغط العالي لثاني أكسيد الكربون في تقليل تكلفة الاحتجاز.

في العادة، ينتج حوالي 40 بالمائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من معالجة الميثان بالبخار من غاز المداخن (3)، ويكلف احتجازه أكثر لكون ثاني أكسيد الكربون مخففاً ومنخفض الضغط. يمكن تحقيق ذلك باستخدام تقنيات ما بعد الاحتراق تقليدية النمط.

يحدث تغويز الفحم لإنتاج الهيدروجين في مفاعلات التغويز، وهي تخضع الفحم لدرجات حرارة مرتفعة في وجود كميات أكسجين محدودة، مما يتسبب في "تفاعلات الانحلال الحراري" التي تنتج أول أكسيد الكربون والهيدروجين. وبعد أن يحول مفاعل التحول أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، وبلي ذلك المزيد من المعالجة وفصل الهيدروجين، يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون ذو نقاوة عالية.

بالنسبة للمغوزات التي تعمل تحت ضغوط مرتفعة، فإن لضغط ثاني أكسيد الكربون المرتفع ميزة واضحة، لأنه يقلل من تكاليف تشغيل معدات ضغط العمليات الرديفة بسبب توفير المغوز للكثير من الضغط.



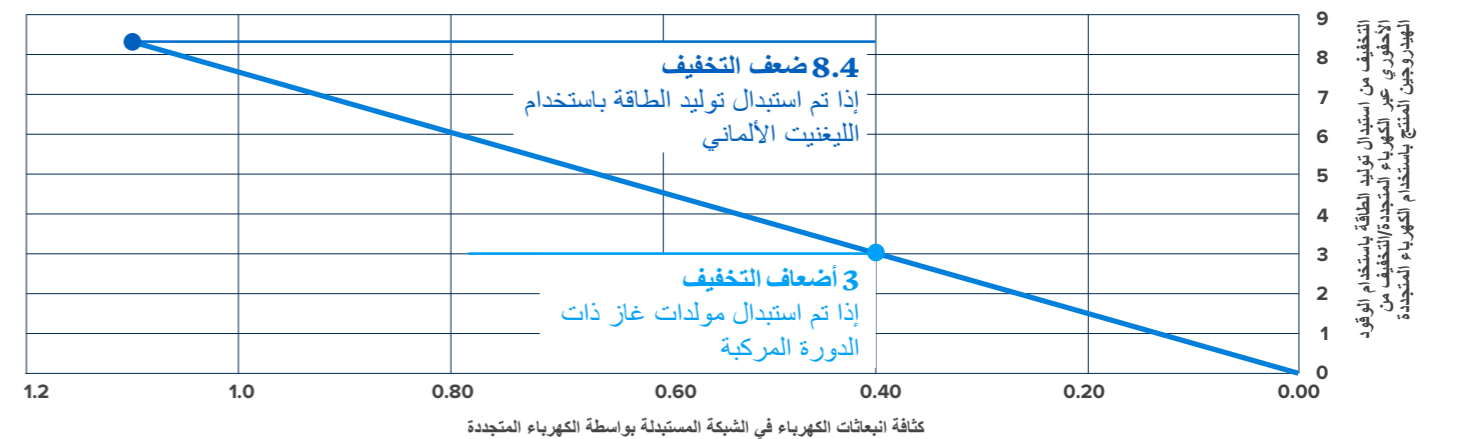
الشكل 18 مخطط تدفق الكتلة لمصنع الهيدروجين القائم على معالجة الميثان بالبخار

تكلفة فرص تخفيف الانبعاثات الناجمة عن استخدام الكهرباء في إنتاج الهيدروجين

تنتج معظم تقنيات الطاقة المتجددة الكهرباء، التي يمكن استخدامها مباشرة لتحل محل توليد الطاقة القائم على الوقود الأحفوري في شبكة الطاقة. إذا تم استخدام الكهرباء المتجددة بدلاً من ذلك في التحليل الكهربائي للمياه لإنتاج الهيدروجين، فستكون هناك تكلفة فرصة تخفيف الانبعاثات لأن الكهرباء المتجددة المنتجة للهيدروجين لن تتاح لتحل محل انبعاثات الوقود الأحفوري للكهرباء.

الشكل 19 عبارة عن تحليل يُظهر التخفيف الممكن للانبعاثات من خلال الاستخدام المباشر للطاقة المتجددة في شبكة (مستبدلة التوليد المستخدم للوقود الأحفوري) مقابل التخفيف المحتمل إذا تم استخدام الهيدروجين القائم على الطاقة المتجددة ليحل محل احتراق الغاز الطبيعي⁸.

يوفر استخدام الطاقة المتجددة لتحل محل التوليد القائم على الوقود الأحفوري في شبكة الطاقة ثلاثة إلى ثمانية أضعاف فوائد التخفيف التي يمكن تحقيقها باستخدام الطاقة المتجددة لصنع الهيدروجين الأخضر الذي يحل محل احتراق الغاز الطبيعي. المسار الأكثر فعالية وقوة هو إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي أو الفحم باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، والاحتفاظ بالطاقة المتجددة لشبكات الكهرباء.



الشكل 19 تخفف الكهرباء المتجددة المستخدمة لاستبدال توليد الطاقة باستخدام الوقود الأحفوري من الانبعاثات بقدر أكبر بكثير مقارنة بالكهرباء المتجددة المستخدمة في إنتاج الهيدروجين

يفترض إحلال الهيدروجين محل احتراق الغاز الطبيعي

5-3 الغاز الطبيعي

شهد هذا العام أكبر صدمة منفردة لسوق الغاز الطبيعي العالمي في التاريخ، إذ أدت جائحة كوفيد-19 إلى انخفاض كبير في الطلب على الغاز الطبيعي في جميع أنحاء العالم، ومن المتوقع أن ينخفض نمو الطلب بنسبة 4 بالمائة⁷⁴. ومع ذلك سيتعافى الطلب ويرتفع بنحو 14 بالمائة بحلول عام 2025، مقارنة بعام 2020⁷⁵. ومن المتوقع أن يستمر النمو إلى ما بعد عام 2025 نتيجة ازدياد الطلب على الطاقة الأولية، لا سيما في آسيا، وبسبب استبدال الفحم بالغاز في أمريكا الشمالية ودرجة أقل في أوروبا.

يؤدي التحول من الفحم إلى الغاز إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند نقطة الاستخدام بمقدار النصف تقريباً، ولكن إنتاج الغاز ومعالجته يمكن أن ينتج عنه انبعاثات كبيرة، سواء من استخدام الطاقة في مرافق المعالجة أو من طريقة إنتاج الغاز. يحتوي الغاز الطبيعي الخام عادةً على ثاني أكسيد الكربون وكميات كبيرة أحياناً، ويجب إزالة هذا قبل بيع الغاز الطبيعي وتصريفه عادةً إلى الغلاف الجوي. يتم إطلاق حوالي 150 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون على درجة عالية من النقاء من مصانع معالجة الغاز حول العالم⁷⁶.

نظراً لأن ثاني أكسيد الكربون هذا متوفر بدرجة نقاء عالية، فإنه عادة ما يتطلب التخفيف فقط قبل أن يتم ضغطه وتخزينه. وهذا ما يجعله مصدراً منخفض التكلفة للاحتجاز والتخزين - في حدود 25-20 دولاراً أمريكياً للطن⁷⁷. في المواقع التي يكون فيها المصنع قريباً من موقع حقن ثاني أكسيد الكربون (أقل من 50 كيلومتراً) ويكون التخزين على البر، من المتوقع أن تتراوح تكاليف الضغط والنقل والتخزين من 1.5 إلى 20 دولاراً أمريكياً⁷⁸.

بدون تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون ستستمر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن إنتاج الغاز في الازدياد بما يتماشى مع الطلب المتزايد على الغاز. علاوة على ذلك، من المحتمل أن يكون هناك اتجاه عام نحو إنتاج الغاز من الاحتياطات التقليدية التي تحتوي على تركيزات أعلى من ثاني أكسيد الكربون المستودع، مما يزيد من كثافة انبعاثات إنتاج الغاز. احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو الطريقة الوحيدة للتقليل من تلك الانبعاثات.

تعتبر أستراليا دراسة حالة جيدة في نمو الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الغاز ومعالجته، والدور الذي يمكن أن يلعبه احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في التقليل منها. زادت صادرات الغاز الطبيعي المسيل (LNG) في أستراليا من 23.9 مليون طن في عام 2014 إلى 77.1 مليون طن في عام 2015، مما تسبب في مضاعفة الانبعاثات المتسربة من قطاع النفط والغاز الأسترالي (17.4 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون إلى 33.7 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون)، مثل هو مبين في الشكل 20⁷⁸.

تم تشغيل مرفق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مصنع Chevron Gorgon للغاز الطبيعي المسيل في أستراليا في أغسطس/آب 2019، ويظهر تأثيره على الانبعاثات بوضوح في ربع ديسمبر/كانون أول من العام 2019 في الشكل 20. في تحديث ربع سنوي لقوائم غازات الاحتباس الحراري في أستراليا، لاحظت الحكومة الأسترالية أن الانخفاض في الانبعاثات كان:

"... مدفوعاً بانخفاض إجمالي إنتاج الغاز بنسبة 5.4 بالمائة في ربع ديسمبر/كانون أول لعام 2019... قللت الزيادة المكثفة في حقن ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض في مشروع Gorgon خلال ربع ديسمبر/كانون أول من انبعاثات الغازات المسربة"⁷⁹

يعتبر مرفق Gorgon لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بسعته البالغة 3.4-4 مليون طن لحقن ثاني أكسيد الكربون سنوياً مشروعاً مهماً للتخفيف من حدة انبعاثات قطاع الغاز الأسترالي، وهو الآن واحد من أكبر مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه العاملة في أي مكان في العالم⁸⁰. وستكون هناك حاجة لمرافق مثل Gorgon في قطاع إنتاج الغاز العالمي لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية.



الشكل 20 صادرات الغاز الطبيعي المسيل الأسترالية والانبعاثات المتسربة من إنتاج النفط والغاز الأسترالي

5-4

احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة

إن إزالة ثاني أكسيد الكربون بشكل سريع من توليد الطاقة أمر بالغ الأهمية لتحقيق صافي الانبعاثات الصفرية. يمثل توليد الكهرباء حوالي ثلث الانبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية، ويعد توليد الكهرباء بالفعل أكبر مصدر لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مستوى العالم، ومن المتوقع أن يزداد الطلب عليه بشكل كبير.

ستساعد محطات توليد الطاقة بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه على ضمان أن تكون شبكة المستقبل منخفضة الكربون مرنة وموثوقة. توفر محطات توليد الطاقة المجهزة بنظام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون كهرباء قابلة للتوزيع وذات محتوى منخفض من ثاني أكسيد الكربون، فضلاً عن خدمات تثبيت الشبكة، مثل القصور الذاتي والتحكم في التردد والتحكم في الجهد الكهربائي. لا يمكن توفير هذه الخدمات عن طريق توليد الطاقة المتجددة غير المائية. تكمل تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون الانتشار المتزايد لمصادر الطاقة المتجددة المتقطعة.

ويعد احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ضروريًا أيضًا لتقليل الانبعاثات من مجموعة توليد الطاقة من الوقود الأحفوري العالمي الذي نملكها بالفعل. على الصعيد العالمي، هناك ما يقرب من ألفي جيجاوات من الطاقة التشغيلية التي تعمل بالفحم، مع توقع سعة جديدة تزيد عن 500 جيجاوات بحلول عام 2030. أكثر من 200 جيجاوات من الطاقة الاستيعابية الجديدة قيد الإنشاء بالفعل. في حين سيتم إنهاء العمل ببعض محطات الفحم والغاز في وقت مبكر، فإن متوسط عمر أسطول الغاز الطبيعي هو 19 عامًا في آسيا ومتوسط عمر محطات الفحم 12 عامًا فقط⁷⁵. وما زال لديهم عقود من الحياة الاقتصادية. بدون التعديل التدريجي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون أو التقاعد المبكر، ستستمر محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم والغاز - الحالية وقيد الإنشاء - في إصدار انبعاث ثاني أكسيد الكربون بمعدلات ستستهلك 95 بالمائة من ميزانية الكربون لسيناريو التنمية المستدامة لوكالة الطاقة الدولية (SDS) بحلول عام 2050. سيكون تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية مستحيلًا.

يمكن أن يكون التعديل التدريجي لتوليد الوقود الأحفوري باستخدام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون خيارًا فعالاً من حيث التكلفة في بعض الحالات. وهذا يعني أن الاقتصادات التي تعتمد بشكل كبير على الفحم - مثل الصين والهند ودول جنوب شرق آسيا - يمكنها الاستمرار في استخدامه أثناء التقدم نحو اقتصاد منخفض الكربون، وبالتالي دعم التحول العادل.



المشروع التجريبي لشركة NET Power في لاورت في تكساس. الصورة مهداة من NET Power.

توفر دورة **ALLAM-FETVEDT** مسارًا واعدًا لانبعاثات منخفضة وطاقة منخفضة التكلفة من الفحم أو الغاز باستخدام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

دورة Allam-Fetvedt عبارة عن تقنية مبتكرة لتوليد الطاقة تعمل بالغاز الطبيعي (أو الغاز الاصطناعي من تغويز الفحم) مع الاحتجاز ثاني أكسيد الكربون. يتضمن احتراق الوقود بالأكسجين واستخدام ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج كسائل عامل. وهذا يعني احتجاز ثاني أكسيد الكربون وضغطه وتجفيفه بالإضافة إلى التخلص من أكاسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت^{81,82}.

يمكن أن تنتج هذه التقنية الكهرباء مع أكثر من 97 بالمائة من احتجاز ثاني أكسيد الكربون بسعر مستو للطاقة أعلى بنسبة 22 بالمائة تقريبًا من الدورة المركبة للغاز الطبيعي التقليدية⁸¹. ومن المتوقع أن يكون قسط التكلفة أقل من 10 بالمائة بحلول عام 2050.

في جوهرها، تستخدم دورة Allam-Fetvedt توربينًا خاصًا يعمل على فوق العتبة الحرجة لثاني أكسيد الكربون (ضغط وحرارة مرتفعين) بدلاً من البخار المستخدم في محطات توليد الطاقة التقليدية.

تنتج التقنية ثاني أكسيد الكربون الجاهز لخطوط الأنابيب دون الحاجة إلى معدات إضافية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون. تقوم شركة NET Power LLC حاليًا بتسويق Allam-Fetvedt Cycle في صناعة الغاز الطبيعي بينما تقود 8 Rivers Capital اتحادًا صناعيًا في ولايتي نورث داكوتا ومينيسوتا لتطبيق دورة Allam-Fetvedt على الغاز الاصطناعي من الفحم والكتلة الأحيائية وتغويز الكوك النفطية. تتوفر جميع مكونات مصنع Allam-Fetvedt Cycle تقريبًا تجاريًا، باستثناء التوربينات وأجهزة الاحتراق. قامت شركة Toshiba بتطوير وتصنيع وتوريد توربين هجين ومحركة للاستخدام في المشروع التجريبي الذي يعمل بالغاز في تكساس.

تخطط 8 Rivers Capital لاستخدام Allam-Fetvedt Cycle وتقنية الهيدروجين التابعة لشركة 8 Rivers لإنتاج المشترك للطاقة والهيدروجين باستخدام المواد الأولية للغاز الطبيعي. تستكمل 8 Rivers Capital حاليًا دراسات هندسية لمحطة متكاملة لتوليد الطاقة والهيدروجين والأسمدة مع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في Pouakai في نيوزيلندا.

الطاقة الأحيائية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

مبدأ الطاقة الأحيائية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هو أن الكتلة الأحيائية تزرع وتستخدم لأغراض الطاقة. نظرًا لأن الكتلة الأحيائية إما تتشكل أو تشتق من عملية التمثيل الضوئي، فإنها تمتص ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وتم يتم تحويل الكتلة الأحيائية إلى وقود. أثناء احتراق الوقود، يشكل الكربون الذي يتكون منه ما يسمى بثاني أكسيد الكربون من أصل أحيائي. يُعد ثاني أكسيد الكربون من أصل أحيائي عادةً على أنه من صافي الانبعاثات الصفرية في معظم خطط محاسبة غازات الدفيئة.

لذلك، إذا تم احتجاز بعض من ثاني أكسيد الكربون الأحيائي وتخزينه، فإن هذا يمثل خفضًا صافيًا لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. يصف الشكل 22 في الصفحة التالية مثالاً لعملية الطاقة الأحيائية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه - في هذه الحالة يتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون من معالجة واستخدام الوقود.

يمكن إنتاج ثاني أكسيد الكربون الأحيائي من خلال معالجة الوقود (على سبيل المثال ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التخمر لإنتاج الإيثانول الأحيائي) ومن استخدام الوقود (ثاني أكسيد الكربون من الاحتراق المباشر للوقود الأحيائي). في حالة تخمر الإيثانول، يمكن الوصول إلى تركيزات عالية جدًا من ثاني أكسيد الكربون.

تتضمن معظم مرافق الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في العالم احتجاز ثاني أكسيد الكربون المخمر من مصانع الإيثانول. إنه عالي النقاوة وعادة ما يتطلب التجفيف فقط قبل أن يتم ضغطه للنقل والتخزين، وهذا يجعله مصدرًا منخفض التكلفة للغاية لثاني أكسيد الكربون.

يعتبر مرفق Illinois الصناعي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة مثالًا جيدًا على مصنع تشغيلي للطاقة الأحيائية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. يتم ضغط ثاني أكسيد الكربون المنتج كمنتج ثانوي لتحويل الذرة إلى الإيثانول على نطاق واسع في مصنع Decatur للإيثانول، ويتم تخزينه في هيكل تخزين جيولوجي قريب. تبلغ الطاقة الاستيعابية لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في هذا المرفق مليون طن سنويًا.

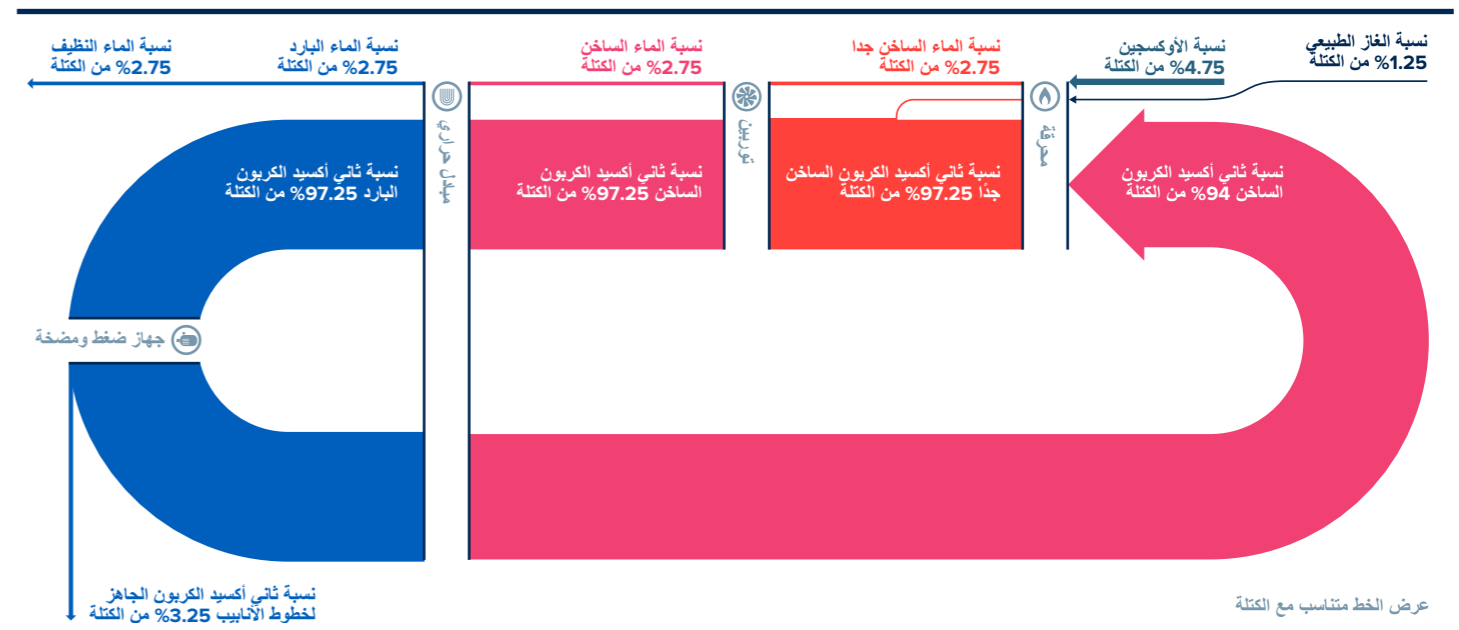
تم اختبار أول محرقة يعمل عبر تقنية Allam-Fetvedt Cycle باستخدام ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج كسائل عامل على مقياس حراري 5 ميجاوات في عام 2013. في مارس/آذار 2018، أعلنت شركة Net Power أنها نجحت في إطلاق محطة Allam-Fetvedt Cycle الأولى من نوعها للطاقة الحرارية والتي تعمل بالغاز الطبيعي بقدرة 50 ميجاوات، وتقع بالقرب من هيوستن في ولاية تكساس. يجري العمل على تصميم محطة غاز طبيعي تعمل بتقنية Allam-Fetvedt Cycle على نطاق تجاري بقدرة 303 ميجاوات. أعلنت شركة McDermott في حزيران/يونيو 2020 عن دراسة مسبقة لتقنية التصميم الهندسي للواجهة الأمامية لمرفق إنتاج الطاقة Allam-Fetvedt Cycle من أجل نشرها المحتمل في مواقع متعددة في المملكة المتحدة.

5-5

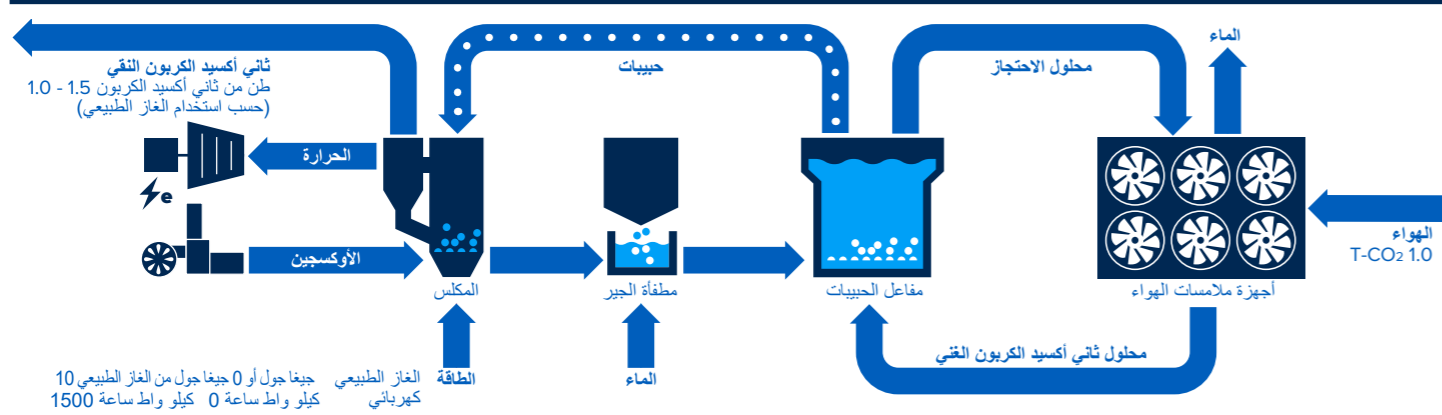
تقنيات الانبعاثات السلبية

سيشكل التوجه العالمي للالتزامات بالسیناريوهات المستقبلية مع صافي الانبعاثات الصفرية بعض التحديات الاقتصادية والتقنية الهامة.

تنتج معظم النظم البشرية الصناعية والزراعية وأنظمة الطاقة زيادة صافية في غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. حتى التقنيات منخفضة الانبعاثات مثل الطاقة النووية، والطاقة الكهرومائية، والأحفورية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، والطاقة المستمدة من الرياح والطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء لها دورة حياة إيجابية لانبعاثات غازات الدفيئة. من أجل تحقيق صافي الانبعاثات الصفرية، من الضروري نشر تقنيات الانبعاثات السلبية، وكذلك مصادر الطاقة منخفضة الانبعاثات وعديمة الانبعاثات. الانبعاثات السلبية تعني أن النشاط هو مزيل صافي لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. تشمل تقنيتان أساسيتان للانبعاثات السلبية الطاقة الأحيائية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والاحتجاز المباشر من الهواء مع تخزين ثاني أكسيد الكربون.



شكل 21: سير عمليات ALLAM-FETVEDT CYCLE (مصدر: Rivers Capital 8 (مزود)



عملية احتجاز الهواء المباشر لشركة CE، والتي تعرض عمليات الوحدة الرئيسية - جهاز ملامسات الهواء، ومفاعل الحبيبات، ومطفاة الجير، والمكلس - والتي يقوم بشكل جماعي باحتجاز وتنقية وضغط ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي

الشكل 23 تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من الهواء مباشرة في شركة Carbon Engineering

اتبعت Climeworks في سويسرا و Global Thermostat في الولايات المتحدة نهجًا مختلفًا تجاه الاحتجاز المباشر من الهواء. تعتمد تقنياتهم على مواد مازة صلبة ملانمة لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من الهواء الوارد. بمجرد تشبييع المادة المازة، يتم تسخينها كي يتم استخراج ثاني أكسيد الكربون. هذا شكل من أشكال عملية امتزاز التقلبات الحرارية (TSA). تتمتع عملية امتزاز التقلبات الحرارية (TSA) بتاريخ طويل من الاستخدام الصناعي، ولكن هذا هو أول تطبيق من تقنية الاحتجاز المباشر من الهواء لها. كما أن عملية امتزاز التقلبات الحرارية (TSA) الخاصة بهم تحتجز كميات كبيرة من الماء من الغلاف الجوي، مما يجعل المياه النظيفة منتجًا مشتركًا مفيدًا.

افتتحت Climeworks العديد من المرافق التجارية الصغيرة الحجم لالتقاط ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي:

- توفير ثاني أكسيد الكربون للاحتباس الحراري (إزاحة ثاني أكسيد الكربون المعتمد على الوقود الأحفوري)
- للتخزين باستخدام المياه المعاد حقنها في محطة للطاقة الحرارية الأرضية
- لتحويل الطاقة إلى غاز ميثان اصطناعي خالي من الانبعاثات.

عرضت Global Thermostat تقنياتها في مصنع تجريبي بسعة 4 آلاف طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا، وقد دخلت الآن في شراكة مع ExxonMobil لتوسيع نطاقها.

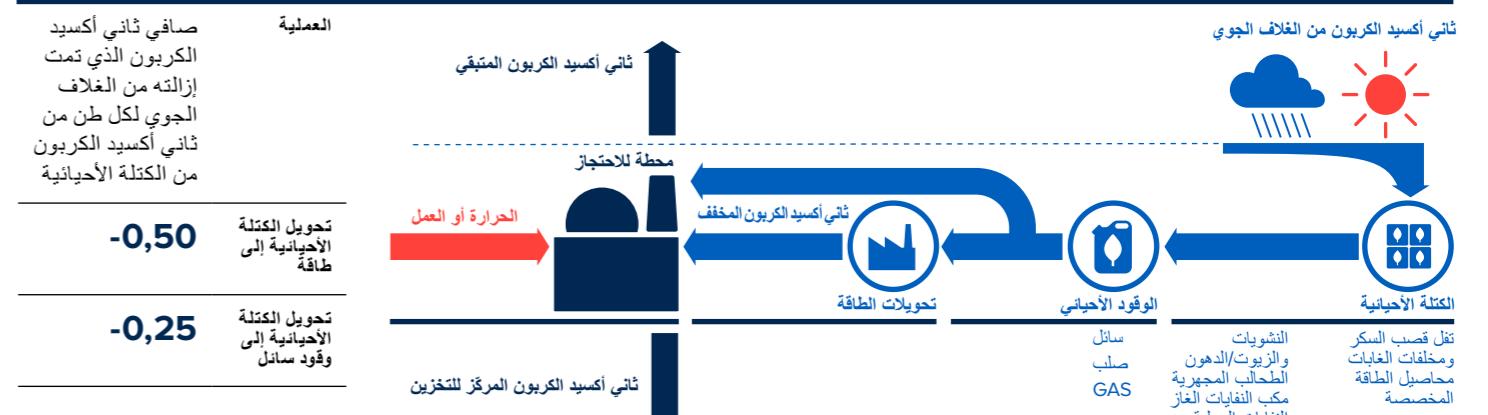
طورت شركة Carbon Engineering of Canada تقنية الاحتجاز المباشر من الهواء التي تمتص ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي باستخدام محلول سائل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH). تفاعل كيميائي يحبس ثاني أكسيد الكربون كملح كربونات. يُستخلص الملح في شكل حبيبات ويُكلس (يُسخن لفصل ثاني أكسيد الكربون) لإطلاق ثاني أكسيد الكربون النقي. يتم توفير الطاقة لدفع العملية إما من الكهرباء المتجددة التي يتم توفيرها خارجيًا أو من الغاز الطبيعي. في حالة استخدام الغاز الطبيعي، يتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الاحتراق داخل عملية التخزين، مما ينتج عنه صافي انبعاثات سلبية، ويمكن للمحطة أن تعمل بمرونة على أي مزيج من الكهرباء أو الغاز الطبيعي. يوضح الشكل 23 أعلاه كيفية عمل عملية هندسة الكربون⁸⁶.

تدعي شركة Carbon Engineering أن تكلفة الاحتجاز منخفضة تصل إلى 150 دولارًا أمريكيًا للطن الواحد بما في ذلك التخزين الجيولوجي، بناءً على التحليل الهندسي⁸⁷. تفترض هذه التكلفة النشر على نطاق واسع (قدرة طن واحد في السنة).

أعلنت شركة Oxy Low-Carbon Ventures، وهي شركة تابعة لشركة Occidental، عن مشروع جديد يدعى PointFive1 والذي يخطط لبناء مصنع الاحتجاز المباشر من الهواء على نطاق تجاري، باستخدام عملية Carbon Engineering⁸⁸.



رسم يُظهر "النظرة الأولية" لما سيكون عليه أكبر محطة لاحتجاز مباشر من الهواء في العالم، التي يتم تصميمها حاليًا بواسطة CE و PointFive1.



عملية احتجاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي

الشكل 22 عملية الطاقة الأحيائية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

احتجاز الهواء المباشر مع تخزين ثاني أكسيد الكربون

على عكس الطاقة الأحيائية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، تستخرج مرافق احتجاز الهواء المباشر مع تخزين ثاني أكسيد الكربون ثاني أكسيد الكربون مباشرة من هواء الغلاف الجوي. يأتي هذا مع بعض المزايا الرئيسية:

- يمكن أن تتواجد مصانع الاحتجاز في نفس مواقع التخزين، مما يقلل من تكاليف النقل
- قد يتم نشر المصانع في الأماكن التي تهب فيها الرياح مما يقلل من تكاليف تشغيل المراوح
- يمكن أن توجد المصانع في الأماكن حيث تتوفر لها إمكانية الحصول على الكهرباء المتجددة.

يعتبر احتجاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي أكثر صعوبة من احتجازه من مصادر أخرى لأن ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي يكون مخففًا جدًا عند حوالي 400 جزء في المليون. ويعد هذا واحد بالمائة فقط من تركيز ثاني أكسيد الكربون في غاز المداخن من محطة لتوليد الطاقة تعمل بالغاز. شروط الطاقة لتركيز ثاني أكسيد الكربون من هذه المستويات المنخفضة أعلى بكثير من تلك من المصادر الأكثر تركيزًا.

تعتبر مصانع تحويل النفايات إلى طاقة مجالًا آخر لإمكانات نمو الطاقة الأحيائية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. تستخدم مصانع تحويل النفايات إلى طاقة النفايات الصلبة التي تصنفها البلدية كوقود لتوليد الطاقة الحرارية وحرارة منخفضة الدرجة للمنازل والشركات القريبة. سيكون جزء كبير من الوقود المستخرج من النفايات من أصل أحيائي، بما في ذلك الورق والكرتون والخشب ومخلفات الطعام وقصاصات العشب. إذا كان بإمكان مصنع تحويل النفايات إلى طاقة احتجاز وتخزين نسبة أعلى من ثاني أكسيد الكربون الخاص به عن تلك الناتجة عن احتراق نفايات مصدرها الوقود الأحفوري (مثل البلاستيك)، فإن الانبعاثات الإجمالية للمنشأة تصبح سلبية. وهذا يجعل المصنع مخفضًا صافيًا لغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، ومصدرًا للحرارة والطاقة المفيدة، وطريقة لتقليل العبء على مساحة مكب النفايات المحدودة.

تعمل الآلاف من مصانع تحويل النفايات إلى طاقة في جميع أنحاء العالم. معظمها ذات حجم متوسط، مما يجعل الحاجة إلى مصانع احتجاز اقتصادية على نطاق صغير أمرًا حيويًا لزيادة نشر احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (راجع النمذجة في القسم 5-6 ابتكار احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون).

يجري تنفيذ مشروع رئيسي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في مصنع تحويل النفايات إلى طاقة Twence في هولندا. باستخدام معمل احتجاز ثاني أكسيد الكربون المعياري التابع لشركة Aker، سيتم احتجاز ثاني أكسيد الكربون من غاز المداخن (موضح في 5-6 أدناه) ستبلغ طاقة الاحتجاز الاستيعابية للمصنع مئة ألف طن سنويًا ومن المتوقع أن يتم تشغيل المصنع في عام 2021⁸⁵.



نظام احتجاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء مباشرة في المصنع التجريبي التابع لشركة Carbon Engineering. على اليسار تظهر أجهزة ملامسات الهواء والمكلس. الصورة مهداة من شركة Carbon Engineering Ltd.



مصنع تجريبي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه في منشأة Twence لتحويل النفايات إلى طاقة. الصورة مهداة من Twence.

5-6

ابتكار احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

النمذجة

مثل جميع التقنيات الصناعية، تتأثر تكاليف الوحدة الخاصة باحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بشدة بوفورات الحجم. وهذا يعني أنه مع زيادة الطاقة الاستيعابية (بالطن في السنة) لمرفق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون، تنخفض تكاليف الاحتجاز. تفضل وفورات الحجم النشر في تطبيقات واسعة النطاق مثل مصانع معالجة الغاز التي تحتوي على كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون متاحة للاحتجاز كل عام. ومع ذلك، لا تنتج جميع القطاعات هذا القدر من ثاني أكسيد الكربون.

إن نمو وانتشار احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه يعني أن هناك طلبًا متزايدًا على محطات احتجاز ثاني أكسيد الكربون الأكثر اقتصادا والتي يمكن أن تعمل على نطاقات أصغر من أي وقت مضى دون تكبد عقوبة كبيرة لصغر حجمها. وهنا يأتي دور النمذجة. المحطات النموذجية هي تلك التي تم بناؤها بطريقة موحدة وفقًا لتقنيات الإنتاج الضخم. عادة ما يتم تصنيعها خارج الموقع في مرافق مبنية لهذا الغرض ويتم تسليمها في مكونات نموذجية منفصلة (غالبًا في حاويات الشحن).

ومن الممكن أن تعمل الأنظمة النموذجية على التعويض عن انخفاض معدلات تشغيل الأنظمة من خلال زيادة الاقتصاد في حجم التصنيع في المحطات. تم تخفيض تكاليف محطات احتجاز ثاني أكسيد الكربون النموذجية بشكل أكبر من خلال:

- أسس موحدة للمحطات
- تصميمات موحدة للمحطات، بما في ذلك جميع الرسومات الهندسية
- التشغيل عن بعد أو الآلي
- تغليف نموذجي يقلل بشكل كبير من وقت البناء في الموقع وتكاليفه.

يأتي جزء كبير من مصادر الانبعاثات في العالم من مرافق أصغر حجمًا: مصانع اللب والورق، ومرافق تحويل النفايات إلى طاقة، ومحطات توليد الطاقة الأصغر التي تعمل بالغاز، وما إلى ذلك. تمكن المصانع النموذجية من النشر الاقتصادي لاحتجاز ثاني

أكسيد الكربون في هذه المصانع الأصغر.

يأتي المنتج النموذجي لشركة Aker Carbon Capture النرويجية الذي يدعى "Just Catch" بطاقتين معياريتين لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون تبلغ 40 ألف طن سنويًا و100 ألف طن سنويًا. يستخدم هذا النظام القائم على الامتزاز نفس العملية ومذيب المركب الكيميائي أمين S26 مثل مصانع الاحتجاز الأكثر تطورًا في Aker Carbon Capture. تم التعاقد مع Twence لتوريد أول نظام Just Catch لها في مصنع تحويل النفايات إلى طاقة Twence في هولندا، ومن المقرر تسليمه في أواخر عام 2021.

تشكل الوحدات النموذجية لمصانع احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقلها باستخدام الحاويات اتجاهات متنامية في قطاع تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. أشارت شركة Mitsubishi للصناعات الثقيلة إلى فوائد "البناء النموذجي" على أنها تمكن من تقليل وقت البناء والتكاليف عن طريق التجميع المسبق لمعظم المعدات في حاويات خارج الموقع⁸⁹.

تعمل المصانع الصغيرة الحجم بشكل أفضل عند دمجها في مراكز احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون - حيث تجمع بين ثاني أكسيد الكربون المحتجز من مصادر متعددة للضغط والنقل والتخزين. ستدعم عملية النمذجة مزيدًا من تطوير احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من خلال تمكين مصادر ثاني أكسيد الكربون الأصغر حجمًا ليتم احتجازها اقتصاديًا وتعزيز حجم المحاور المجاورة.

الأطر العضوية المعدنية

تم استخدام الأنظمة القائمة على الامتزاز (حيث يرتبط ثاني أكسيد الكربون بسطح مادة صلبة) لسنوات عديدة خلال عملية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتطبيقات فصل الغازات الصناعية الأخرى. عادة ما يتم تصنيع المواد الصلبة المازة كجسيمات حبيبية، مع حدوث الامتزاز في الأوعية التي تحتوي على طبقات معبأة من هذه الجسيمات.

الأطر العضوية المعدنية (MOFs) عبارة عن مركبات بلورية منظمة ذات خصائص امتزاز قابلة للضبط بدرجة عالية، مما يجعلها مرشحة واعدة لتطوير عمليات محسنة قائمة على امتزاز لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون. يتم إنتاج معظم الأطر العضوية المعدنية على مستوى الجزئي أو المختبري⁹⁰، لذا فإن تصنيع كميات كبيرة لنشرها الصناعي هو التحدي التالي.

تقوم شركة Svante لتكنولوجيا احتجاز ثاني أكسيد الكربون (Inventys سابقًا) بتطوير وحدة اختبار للمواد MOF المازة الخاصة بها لاستخدامها في عملية الامتزاز حيث تتأرجح درجة الحرارة في دورة سريعة. سيشكل هذا جزءًا من مشروع MENT المستمر لشركة Svante والذي يوضح احتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه في مصنع Lafarge Cement في ريتشموند في كندا.

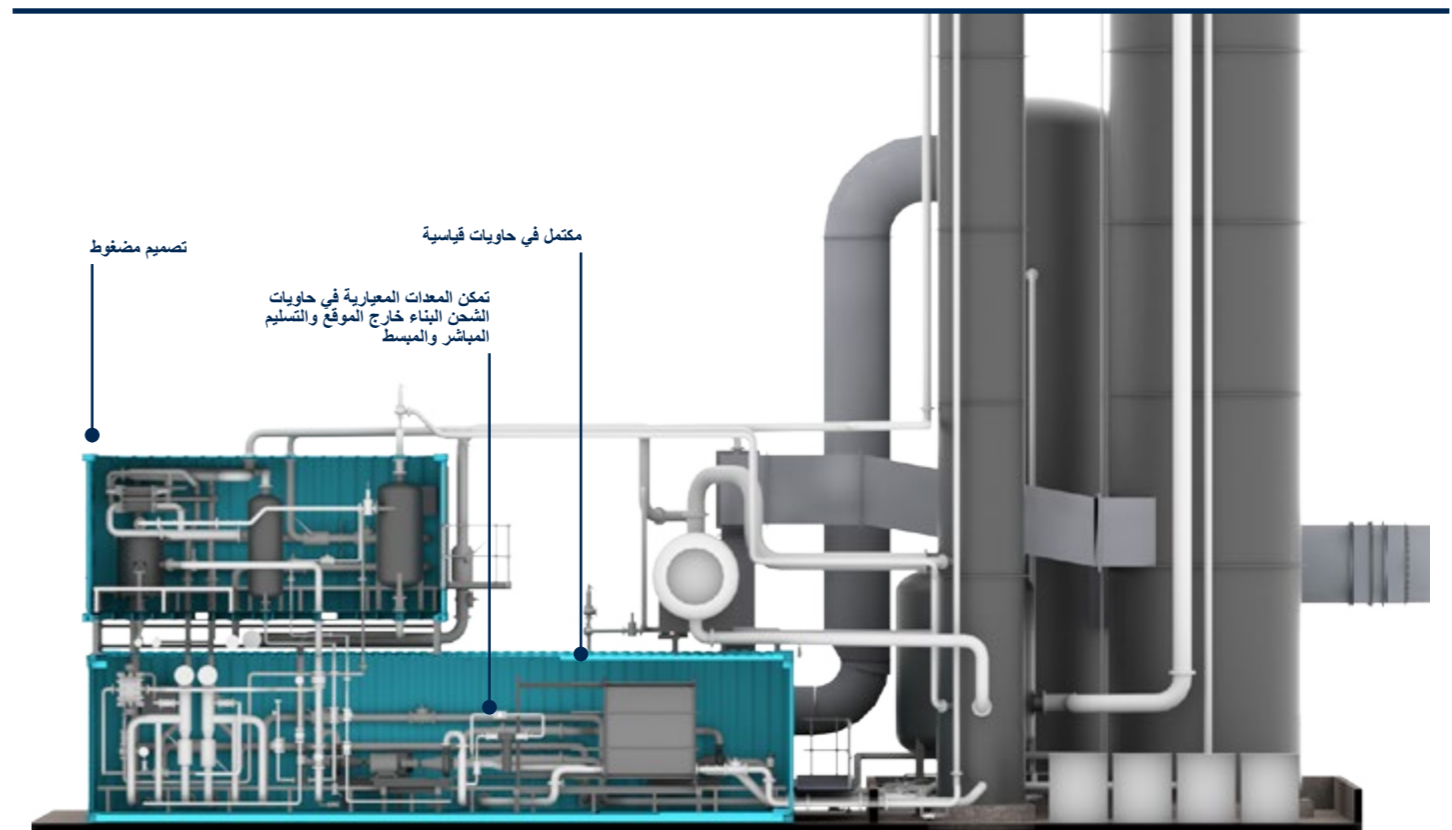
المذيبات المتقدمة

تعد أنظمة احتجاز ثاني أكسيد الكربون القائمة على المذيبات العمود الفقري لتوسيع قطاع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. ولكن، تم تطوير المونوإيثانولامين التقليدي (MEA) والمركبات ذات الصلة لإزالة ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من الغاز الطبيعي. تعترض المشاكل هذه المذيبات التي تحتوي على المركب الكيميائي الأميني:

- يمثل التحلل تحديًا رئيسيًا، حيث يكون هناك تحلل كيميائي لجزيئات الأميني بسبب التفاعلات مع الأوكسجين وأكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين في غاز المداخن، وكذلك من خلال التحلل الحراري في جهاز فصل المذيبات. يضيف التحلل الكيميائي إلى التكاليف من خلال إنتاج مذيب نفايات يجب التخلص منه بطريقة آمنة، وهذا يعني شراء مذيب جديد باستمرار.
- بعد المونوإيثانولامين (MEA) والمذيبات المماثلة جيدة جدًا في امتزاز ثاني أكسيد الكربون من غاز المداخن ولكنه يتطلب الكثير من الطاقة الحرارية لإخراج ثاني أكسيد الكربون من المحلول حتى يمكن إعادة استخدام المذيب.
- يمكن أن يكون التآكل مشكلة في المصانع التي تستخدم المونوإيثانولامين (MEA)،

ويتم الآن تطوير المذيبات المتقدمة التي تعالج بعض أو جميع مساوئ مذيبات المونوإيثانولامين (MEA).

- طورت شركة Carbon Clean Solutions Ltd (CCSL) في المملكة المتحدة مذيبًا تملكه بسمى APBS والذي يتطلب، جنبًا إلى جنب مع عملية الامتزاز المحسنة، استخدام حرارة وطاقة أقل بنسبة 40-20 بالمائة من الأنظمة القائمة على المونوإيثانولامين (MEA). يجمع هذا مذيب مزيجا خاصًا من الأمينات المتقدمة والكحول ومركبات البيبيرازين. أظهر اختبار CCSL تدهورًا أقل بكثير للمذيب في اختبار المصنع مقارنة بالمونوإيثانولامين⁹¹ (MEA).
- تعمل شركة Mitsubishi Heavy Industry اليابانية أيضًا على تطوير تقنية المذيبات الخاصة بها لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون في تطبيقات مثل الطاقة التي تعمل بالفحم وإنتاج المواد الكيميائية (اليوريا). لقد قاموا بنشر مذيب "الأميني المعوق" الخاص بهم "KS-1" تجاريًا في التطبيقات الصناعية. على الرغم من أن KS-1 ليس جديدًا - تم تطويره في الأصل في عام 1990 - إلا أن نشره على نطاق صناعي يمثل خطوة إلى الأمام في احتجاز ثاني أكسيد الكربون.



الشكل 24 نظام "JUST CATCH" المعياري لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون المملوك لشركة AKER الصورة مهداة من Aker Solutions.

| | |
|-----|---|
| 1-0 | المقدمة |
| 2-0 | الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون |
| 3-0 | الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020 |
| 3-1 | مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية |
| 3-2 | السياسة والتنظيم |
| 3-3 | نظرة عامة على التخزين العالمي |
| 4-0 | لمحات عامة إقليمية |
| 4-1 | الأمريكتان |
| 4-2 | أوروبا |
| 4-3 | آسيا والمحيط الهادئ |
| 4-4 | مجلس التعاون الخليجي |
| 5-0 | التقنية والتطبيقات |
| 5-1 | الصناعة |
| 5-2 | الهيدروجين |
| 5-3 | الغاز الطبيعي |
| 5-4 | احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة |
| 5-5 | تقنيات الانبعاثات السلبية |
| 5-6 | الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه |
| 6-0 | الملحقات |
| 7-0 | المراجع |



6-1 المرافق التجارية قيد التشغيل

| اسم المرفق | الوضع | الدولة | تاريخ التشغيل | القطاع | طاقة الاحتجاز الاستيعابية (مليون طن سنوياً) (الحد الأقصى) | نوع الاحتجاز | نوع التخزين |
|---|------------------|--------------------------|---------------|---------------------------------------|---|--------------------------|---|
| مصنع Terrell لمعالجة الغاز الطبيعي (المعروف سابقاً باسم Val Verde Natural Gas Plants) | تعمل | الولايات المتحدة | 1972 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.40 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Enid Fertiliser | تعمل | الولايات المتحدة | 1982 | إنتاج الأسمدة | 0.20 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مصنع Shute Creek لمعالجة الغاز | تعمل | الولايات المتحدة | 1986 | معالجة الغاز الطبيعي | 7.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Sleipner لتخزين ثاني أكسيد الكربون | تعمل | النرويج | 1996 | معالجة الغاز الطبيعي | 1.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Great Plains Weyburn-Midale محطة ومشروع الاصطناعي | تعمل | الولايات المتحدة | 2000 | الغاز الطبيعي الصناعي | 3.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Core Energy CO ₂ -المحسن للنفط | تعمل | الولايات المتحدة | 2003 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.35 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Sinopec Zhongyuan لاحتجاز وتخزين واستخدام ثاني أكسيد الكربون | تعمل | الصين | 2006 | الإنتاج الكيميائي | 0.12 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Snøhvit لتخزين ثاني أكسيد الكربون | تعمل | النرويج | 2008 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.70 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مرفق Arkalon لضغط ثاني أكسيد الكربون | تعمل | الولايات المتحدة | 2009 | إنتاج الإيثانول | 0.29 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Century Plant | تعمل | الولايات المتحدة | 2010 | معالجة الغاز الطبيعي | 5.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط والتخزين الجيولوجي |
| Bonanza للطاقة الأحبانية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه والاستخراج المحسن للنفط | تعمل | الولايات المتحدة | 2012 | إنتاج الإيثانول | 0.10 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| PCS Nitrogen | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الأسمدة | 0.30 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من حقل Petrobras Santos Basin للنفط في طبقة ما قبل الملح | تعمل | البرازيل | 2013 | معالجة الغاز الطبيعي | 4.60 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| محطة غاز Lost Cabin | تم تعليق التشغيل | الولايات المتحدة | 2013 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.90 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| محطة تغويز Coffeyville | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الأسمدة | 1.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مفاعل Air Products لمعالجة الميثان بالبخار | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الهيدروجين | 1.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Boundary Dam لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | تعمل | كندا | 2014 | توليد الطاقة | 1.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | الاستخراج المحسن للنفط |
| منشأة Uthmaniyah لاستخدام ثاني أكسيد الكربون في الاستخلاص المعزز للنفط | تعمل | المملكة العربية السعودية | 2015 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.80 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Quest | تعمل | كندا | 2015 | إنتاج الهيدروجين تحسين الرمال النفطية | 1.20 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Karamay Dunhua Oil Technology لاستخدام ثاني أكسيد الكربون في الاستخلاص المعزز للنفط | تعمل | الصين | 2015 | إنتاج الميثانول الكيميائي | 0.10 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |

| اسم المرفق | الوضع | الدولة | تاريخ التشغيل | القطاع | طاقة الاحتجاز الاستيعابية (مليون طن سنوياً) (الحد الأقصى) | نوع الاحتجاز | نوع التخزين |
|---|------------------|--------------------------|---------------|---------------------------------------|---|--------------------------|---|
| مصنع Terrell لمعالجة الغاز الطبيعي (المعروف سابقاً باسم Val Verde Natural Gas Plants) | تعمل | الولايات المتحدة | 1972 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.40 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Enid Fertiliser | تعمل | الولايات المتحدة | 1982 | إنتاج الأسمدة | 0.20 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مصنع Shute Creek لمعالجة الغاز | تعمل | الولايات المتحدة | 1986 | معالجة الغاز الطبيعي | 7.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Sleipner لتخزين ثاني أكسيد الكربون | تعمل | النرويج | 1996 | معالجة الغاز الطبيعي | 1.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Great Plains Weyburn-Midale محطة ومشروع الاصطناعي | تعمل | الولايات المتحدة | 2000 | الغاز الطبيعي الصناعي | 3.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Core Energy CO ₂ -المحسن للنفط | تعمل | الولايات المتحدة | 2003 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.35 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Sinopec Zhongyuan لاحتجاز وتخزين واستخدام ثاني أكسيد الكربون | تعمل | الصين | 2006 | الإنتاج الكيميائي | 0.12 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Snøhvit لتخزين ثاني أكسيد الكربون | تعمل | النرويج | 2008 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.70 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مرفق Arkalon لضغط ثاني أكسيد الكربون | تعمل | الولايات المتحدة | 2009 | إنتاج الإيثانول | 0.29 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Century Plant | تعمل | الولايات المتحدة | 2010 | معالجة الغاز الطبيعي | 5.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط والتخزين الجيولوجي |
| Bonanza للطاقة الأحبانية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه وتخزينه والاستخراج المحسن للنفط | تعمل | الولايات المتحدة | 2012 | إنتاج الإيثانول | 0.10 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| PCS Nitrogen | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الأسمدة | 0.30 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من حقل Petrobras Santos Basin للنفط في طبقة ما قبل الملح | تعمل | البرازيل | 2013 | معالجة الغاز الطبيعي | 4.60 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| محطة غاز Lost Cabin | تم تعليق التشغيل | الولايات المتحدة | 2013 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.90 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| محطة تغويز Coffeyville | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الأسمدة | 1.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مفاعل Air Products لمعالجة الميثان بالبخار | تعمل | الولايات المتحدة | 2013 | إنتاج الهيدروجين | 1.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Boundary Dam لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | تعمل | كندا | 2014 | توليد الطاقة | 1.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | الاستخراج المحسن للنفط |
| منشأة Uthmaniyah لاستخدام ثاني أكسيد الكربون في الاستخلاص المعزز للنفط | تعمل | المملكة العربية السعودية | 2015 | معالجة الغاز الطبيعي | 0.80 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| Quest | تعمل | كندا | 2015 | إنتاج الهيدروجين تحسين الرمال النفطية | 1.20 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Karamay Dunhua Oil Technology لاستخدام ثاني أكسيد الكربون في الاستخلاص المعزز للنفط | تعمل | الصين | 2015 | إنتاج الميثانول الكيميائي | 0.10 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |

6-2 مرافق تجارية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه قيد البناء أو في مراحل تطوير متقدمة أو مبكر

| اسم المرفق | الوضع | الدولة | تاريخ التشغيل | القطاع | طاقة الاحتجاز الاستيعابية (مليون طن سنوياً) (الحد الأقصى) | نوع الاحتجاز | نوع التخزين |
|--|------------------------|--------------------------|----------------------------|--|---|--|--------------------------|
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون من محطة Gerald Gentleman | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة | 3.80 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | قيد التقييم |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون من مؤسسة Mustang Station of Golden Spread للتعاونية للكهرباء | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة | 1.50 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | قيد التقييم |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون من محطة Prairie State لتوليد الكهرباء | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة | 6.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون من Plant Daniel | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة | 1.80 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Lake Charles Methanol | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | 2025 | الإنتاج الكيميائي | 4.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Dry Fork المتكاملة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه التجاري | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2025 | توليد الطاقة | 3.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Net Zero Teesside – منشأة بمولدات غاز ذات الدورة المركبة (CCGT) | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | 2025 | توليد الطاقة | 6.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| أبو ظبي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه - المرحلة الثانية: محطة معالجة الغاز الطبيعي | مرحلة التطوير المتقدمة | الإمارات العربية المتحدة | 2025 | معالجة الغاز الطبيعي | 2.30 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مشروع Red Trail Energy للطاقة الأحادية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2025 | إنتاج الإيثانول | 0.18 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مشروع Illinois للوقود النظيف | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2025 | الإنتاج الكيميائي | 2.70 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| محطة Clean Energy Systems لتوليد الطاقة الخالية من ثاني أكسيد الكربون - Central Valley | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2025 | توليد الطاقة | 0.32 | احتجاز ثاني أكسيد الكربون من احتراق الأكسجين | قيد التقييم |
| Project Tundra | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | 2025-2026 | توليد الطاقة | 3.60 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Northern Gas Network H21 North of England | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | 2026 | إنتاج الهيدروجين | 1.50 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مشروع Drax للطاقة الأحادية الناتجة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | 2027 | توليد الطاقة | 4.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Ervia Cork لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | مرحلة التطوير المبكر | أيرلندا | 2028 | توليد الطاقة وتكرير النفط | 2.50 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| The ZEROS Project | قيد التشييد | الولايات المتحدة | أواخر عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة (تحويل النفايات إلى طاقة) | 1.50 | احتجاز ثاني أكسيد الكربون من احتراق الأكسجين | الاستخراج المحسن للنفط |

| اسم المرفق | الوضع | الدولة | تاريخ التشغيل | القطاع | طاقة الاحتجاز الاستيعابية (مليون طن سنوياً) (الحد الأقصى) | نوع الاحتجاز | نوع التخزين |
|---|------------------------|------------------|-------------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------|
| Yanchang للإيضاحية المتكاملة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | قيد التشييد | الصين | مؤجل حتى عشرينات القرن الحالي | الإنتاج الكيميائي | 0.41 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| محطة Sinopec Shengli لتوليد الطاقة مع احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون | مرحلة التطوير المبكر | الصين | عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة | 2.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | الاستخراج المحسن للنفط |
| Acorn للتطوير القابل للتكيف لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | عشرينات القرن الحالي | تكرير البترول | 4.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Korea-CCS 1 & 2 | مرحلة التطوير المبكر | كوريا الجنوبية | عشرينات القرن الحالي | توليد الطاقة باستعمال الفحم | 1.00 | تحت التقييم | التخزين الجيولوجي المخصص |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من Sinopec Qilu للبترودكيماويات | قيد التشييد | الصين | 2020-2021 | الإنتاج الكيميائي | 0.40 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| مشروع منشأة Interseq Hereford للإيثانول | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2021 | إنتاج الإيثانول | 0.30 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مشروع منشأة Interseq Plainview للإيثانول | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2021 | إنتاج الإيثانول | 0.33 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Wabash لتنجية الكربون | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | 2022 | إنتاج الأسمدة | 1.75 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون في محطة San Juan لتوليد الطاقة | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | 2023 | توليد الطاقة | 6.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | الاستخراج المحسن للنفط |
| مشروع Santos Cooper Basin لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه | مرحلة التطوير المتقدمة | أستراليا | 2023 | معالجة الغاز الطبيعي | 1.70 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Fortum Oslo Varme - Langskip | مرحلة التطوير المتقدمة | النرويج | 2023-2024 | تحويل النفايات إلى طاقة | 0.40 | احتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Brevik Norcem - Langskip | مرحلة التطوير المتقدمة | النرويج | 2023-2024 | إنتاج الأسمدة | 0.40 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Hydrogen 2 Magnum (H2M) | مرحلة التطوير المبكر | هولندا | 2024 | توليد الطاقة | 2.00 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مشروع Project Pouakai لإنتاج الهيدروجين باستخدام احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون | مرحلة التطوير المبكر | نيوزيلندا | 2024 | إنتاج الهيدروجين وتوليد الطاقة | 1.00 | الفصل الصناعي | قيد التشييد |
| Caledonia للطاقة النظيفة | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | 2024 | توليد الطاقة مع إمكانية الإنتاج المشترك للهيدروجين لاستخدامات الحرارة والنقل | 3.00 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | التخزين الجيولوجي المخصص |
| Cal Capture | مرحلة التطوير المتقدمة | الولايات المتحدة | 2024 | توليد الطاقة | 1.40 | الاحتجاز ما بعد الاحتراق | الاستخراج المحسن للنفط |
| مشروع Velocys' Bayou Fuels للاثبتات السلبية | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | 2024 | الإنتاج الكيميائي | 0.50 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |
| مرفق IOXY and Carbon Engineering لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون مباشرة من الهواء والاستخلاص المعزز للنفط | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | الهواء | 1.00 | الفصل الصناعي | الاستخراج المحسن للنفط |
| احتجاز ثاني أكسيد الكربون في LafargeHolcim للأسمنت | مرحلة التطوير المبكر | الولايات المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | إنتاج الأسمدة | 0.72 | الفصل الصناعي | قيد التقييم |
| HyNet North West | مرحلة التطوير المبكر | المملكة المتحدة | منتصف عشرينات القرن الحالي | إنتاج الهيدروجين | 1.50 | الفصل الصناعي | التخزين الجيولوجي المخصص |

1-0 المقدمة

2-0 الحاجة إلى احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون

3-0 الوضع العالمي لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون 2020

3-1 مستجدات وتوجهات مرافق احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون العالمية

3-2 السياسة والتنظيم

3-3 نظرة عامة على التخزين العالمي

4-0 لمحات عامة إقليمية

4-1 الأمريكيتان

4-2 أوروبا

4-3 آسيا والمحيط الهادئ

4-4 مجلس التعاون الخليجي

5-0 التقنية والتطبيقات

5-1 الصناعة

5-2 الهيدروجين

5-3 الغاز الطبيعي

5-4 احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في قطاع إنتاج الطاقة

5-5 تقنيات الانبعاثات السلبية

5-6 الابتكار في مجال احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

6-0 الملحقات

7-0 المراجع

المراجع

7.0 المراجع

- Accelerating CCS Technologies. (2020). The ACT3 call. <http://www.act-ccs.eu/s/Slides-ACT-webinar-26-August-2020.pdf> .44
- ADB. (2016). Joint Crediting Mechanism: An Emerging Bilateral Crediting Mechanism. <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/217631/joint-crediting-mechanism.pdf> .45
- Ministry of Economy, Trade and Industry, J. (METI). (2020). METI's cooperation for GHG emission reduction: Joint Credit Mechanism .46
- Global Environment Centre Foundation. (2020). Overview of the Joint Crediting Mechanism (JCM). <https://gec.jp/jcm/about> .47
- Monica, C., Gabriel, O., Diego, G., Marilena, M., Edwin, S., Eleonora, L. V., Efsio, S., Fabio, M.-F., & Jos, O. (2019). Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (Vol. 105, Issue D2). <https://doi.org/10.2760/687800> .48
- General Secretarian For Development Planning. (2008). July 2008 General Secretariat For Development Planning (Issue July). www.planning.gov.qa .49
- Government of Saudi Arabia. (2016). *Vision 2030 Kingdom of Saudi Arabia*. Report, 1-85. <https://vision2030.gov.sa/download/file/417> .50
- Oman Vision 2040. (n.d.). *Oman Vision 2040*. <https://www.2040.om/en/#Oman2040> .51
- Hydrocarbon Processing. (2018). ADNOC to expand Carbon Capture, Use & Storage technology for Enhanced Oil Recovery. <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2018/02/adnoc-to-expand-carbon-capture-use-storage-technology-for-enhanced-oil-recovery> .52
- UN DESA. (2015). Inequality and the 2030 Agenda for Sustainable Development. *In Development Issues* (Vol. 4). <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/no-4-inequality-and-the-2030-agenda-for-sustainable-development/> .53
- .Drew, K. S. (1985). United Arab Emirates (Issue October 2015) .54
- UNFCCC. (2015). The Intended Nationally Determined Contribution of the Kingdom of Saudi Arabia under the UNFCCC. In INDCs (Issue November). <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published Documents/Saudi Arabia/1/KSA-INDCs English.pdf> .55
- Saudi Aramco. (2000). *International Offering Circular* (Vol. 19, Issue 1) .56
- Paraskova, T. (2019). Qatar Builds The Biggest Carbon Capture Plant In The Middle East. OilPrice.Com. <https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Qatar-Builds-The-Biggest-Carbon-Capture-Plant-In-The-Middle-East.html> .57
- International Energy Agency. (2020a). Data and statistics. [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOMI DEAST&fuel=CO₂ emissions&indicator=CO₂ emissions by energy source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOMI DEAST&fuel=CO2 emissions&indicator=CO2 emissions by energy source) .58
- Consoli, C. P. (2018). CCS Storage Indicator (CCS-SI). Global CCS Institute .59
- Roadmap Discussion Paper: A framework to accelerate low emissions technologies*. https://consult.industry.gov.au/climate-change/technology-investment-roadmap/supporting_documents/technologyinvestmentroadmapdiscussionpaper.pdf .29
- .Morrison, S. (2020). Investment in New Energy Technologies .29
- The Australian Government. (2020c). *First Low Emissions Technology Statement - 2020*. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/September%202020/document/first-low-emissions-technology-statement-2020.pdf> .30
- International Energy Agency. (2019d). *Southeast Asia Energy Outlook 2019* .31
- The Australian Government. (2020d). Joint Statement by The Prime Ministers Of Australia and Singapore .32
- :Kadir, W. G. A. (2020). Indonesian CoE of CCS/CCUS Past, present and future activities. <https://ccs-coe.fttm.itb.ac.id/presentation> .33
- Malaysia Petroleum Management (MPM). (2020). About Us: Malaysia Petroleum Management. <https://www.petronas.com/mpm/about-mpm/malaysia-petroleum-management> .34
- The People's Bank of China. (2020). The Green Bond Endorsed Projects Catalogue (2020 Edition) (for consultation). <http://www.pbc.gov.cn/tiaofasi/144941/144979/3941920/4052500/index.html> .35
- HESC. (2020). Construction presses on despite COVID-19 challenges. <https://hydrogenenergysupplychain.com/construction-presses-on-despite-covid-19-challenges> .36
- AHEAD. (2020). Successfully linking up a circular hydrogen supply chain. https://www.ahead.or.jp/en/pdf/20200424_ahead_press.pdf .37
- Chiyoda Corporation. (2020). The World's First Global Hydrogen Supply Chain Demonstration Project. <https://www.chiyodacorp.com/en/service/spera-hydrogen> .38
- Bloomberg. (2020). Saudi Arabia Sends Blue Ammonia to Japan in World-First Shipment. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-27/saudi-arabia-sends-blue-ammonia-to-japan-in-world-first-shipment> .39
- Reliance Industries Limited. (2020). Chairman's Statement, Wednesday, July 15, 2020 (Post-IPO) 43 Annual General Meeting .40
- The Times of India. (2020a). As UN Secretary General makes fresh appeal for carbon neutral. http://timesofindia.indiatimes.com/articleshow/78310741.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst .41
- The Government of India. (2020). Call for the Proposals on CO₂ Sequestration Research .42
- The Times of India. (2020b). DST invites proposals from Indians for research in area of carbon capture, utilisation and storage. <https://timesofindia.indiatimes.com/india/dst-invites-proposals-from-indians-for-research-in-area-of-carbon-capture-utilisation-and-storage/articleshow/77654625.cms> .43
- :United States Department of Energy (2020), sources .19
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/fe/articles/us-department-energy-announces-nearly-15-million-carbon-dioxide-utilization-projects> [Date: 7 Jan. 2020].
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-provide-22-million-research-capturing-carbon-dioxide-air> [Date: 30 Mar. 2020].
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-131-million-ccus-technologies> [Date: 24 Apr. 2020].
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/doe-invests-17-million-advance-carbon-utilization-projects> [Date: 16 Jun. 2020].
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/fe/articles/foa-2057-project-selections> [Date: 17 Jul. 2020].
- Press Statement by United States Department of Energy, (2020). [online] Available at: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-invests-72-million-carbon-capture-technologies> [Date: 1 Sep. 2020].
- House Select Committee on the Climate Crisis. (2020). Solving the Climate Crisis: The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and a Healthy, Resilient, and Just America .20
- California Air Resources Board. (2020). LCFS Pathways Requiring Public Comments. <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-pathways-requiring-public-comments> .21
- Sahota, H. (2019). The Clean Fuel Standard Explained. <https://taf.ca/clean-fuel-standard-explained> .22
- European Commission. (2020). Europe's moment: Repair and prepare for the next generation. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_940 .23
- Singapore National Climate Change Secretariat, Strategy Group, P. M. O. (2020). CHARTING SINGAPORE'S LOW-CARBON AND CLIMATE RESILIENT FUTURE <https://www.nccs.gov.sg/docs/default-source/publications/nccsleds.pdf> .24
- NEDO. (2020). Environmental Innovation Strategy Overview. <https://www.nedo.go.jp/content/100904224.pdf> .25
- Pearl, H. (2020). China's carbon neutral energy pledge adds more weight to 14th five-year plan for 2021-25. South China Morning Post. <https://www.scmp.com/economy/china-economy/article/3102826/chinas-carbon-neutral-energy-pledge-adds-more-weight-14th> .26
- The Australian Government. (2020a). Australian Government response to the Final Report of the Expert Panel examining additional sources of low-cost abatement ('the King Review'). <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2020-05/government-response-to-the-expert-panel-report-examining-additional-sources-of-low-cost-abatement.pdf> .27
- The Australian Government. (2020b). *Investment* .28
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global warming of 1.5°C* الدولية المعنية بتغير المناخ عن آثار الاحترار العالمي بمقدار 1.5 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعية ومسارات انبعاثات غازات الدفيئة العالمية ذات الصلة، في سياق تعزيز الاستجابة العالمية لخطر تغير المناخ. <https://www.ipcc.ch/sr15/> .1
- International Energy Agency. (2019a). *World Energy Outlook 2019. Flagship Report*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> .2
- Townsend, A., Raji, N., & Zapantis, A. (2020). *The value of carbon capture and storage. Thought Leadership* 23. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/the-value-of-carbon-capture-ccs> .3
- Global CCS Institute. (2019). *The Global Status of CCS Report 2019* .4
- Santos. (2020). Santos and BP Enter Non-Binding Agreement On Moomba Carbon Capture and Storage Project. <https://www.santos.com/على موقع شركة Santos https://www.santos.com/news/santos-and-bp-enter-non-binding-agreement-on-moomba-carbon-capture-and-storage-project> .5
- ACTL. (2020). The ACTL System. <https://actl.ca/actl-project/about-actl> .6
- Macdonald-Smith, A. (2020, February 15). Chevron injects one millionth tonne of carbon at Gorgon. *Australian Financial Review*. <https://www.afr.com/policy/energy-and-climate/chevron-injects-one-millionth-tonne-of-carbon-at-gorgon-20200214-p540xv#:~:text=Chevron has passed a milestone storage project to full capacity> .7
- Global CCS Institute. (2020). *CO₂RE database - facilities report*. www.co2re.co .8
- Gassnova. (2020). *The CCS chain*. <https://ccsnorway.com/full-scale-capture-transport-and-storage> .9
- Carbon Pricing Leadership Coalition. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices* .10
- .IEA/UNIDO. (2011). *CCS in Industry Technology Roadmap* .11
- Tamme, E., & Scowcroft, J. (2020). *The Role of CCS in the Paris Agreement and its Article 6*. April. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/05/Article-6-and-CCS-GCCSI-April-2020-final.pdf> .12
- Beck, L. (2020). The US Section 45Q Tax Credit for Carbon Oxide Sequestration: An Update .13
- United States Internal Revenue Service. (2020). Credit for Carbon Oxide Sequestration. <https://www.irs.gov/pub/irs-drop/reg-112339-19.pdf> .14
- International Energy Agency. (2019b). *Transforming Industry through CCUS* .15
- .International Energy Agency. (2019c). *The Role of CO₂ Storage* .16
- .US DoE/NETL. (2015). *Carbon Storage Atlas* .17
- The Crown Estate. (2020). [http://www.CO₂stored.co.uk/home/index](http://www.CO2stored.co.uk/home/index). CO₂ stored. .18

الأشكال والجداول والرسوم البيانية

- الشكل 1**
- a. تحليل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون لبيانات المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية (2018)
- b. IISA. (2018). مستكشف سيناريو اتحاد نمذجة التقييم المتكامل للاحتجاز 1.5 مئوية على موقع المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية. <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer/#/workspaces>
- الشكل 2**
- b. International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage. <https://webstore.iea.org/download/direct/4191>
- الشكل 3**
- c. International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage. <https://webstore.iea.org/download/direct/4191>
- الشكل 4**
- d. Global CCS Institute. (2020). قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على الموقع www.co2re.co
- الشكل 5**
- e. Global CCS Institute. (2020). قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على الموقع www.co2re.co
- الشكل 6**
- f. Global CCS Institute (2020) قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على الموقع www.co2re.co
- الشكل 7**
- g. Global CCS Institute (2020) قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على الموقع www.co2re.co
- الشكل 8 مقتبس من:**
- h. Overa, S. (2019). Telling the Norwegian CCS Story, Northern Lights: A European CO₂ Transport and Storage Project. [Video Webinar]. 9 May 2019. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/audio-and-visual-library/webinar-telling-the-norwegian-ccs-story-part-iii-northernlights-a-european-co2-transport-and-storage-project/>.

الملاحظات الختامية

- i. يتم حالياً إنتاج 70 مليون طن سنوياً من الهيدروجين النقي. يتم أيضاً إنتاج حوالي 50 مليون طن سنوياً من الهيدروجين الممزوج مع أول أكسيد الكربون في الغاز الاصطناعي.
- ii. تعريفات النطاق الأول والثاني والثالث لانبعاثات غازات الدفيئة، المأخوذة من منظم الطاقة النظيفة التابع للحكومة الأسترالية <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/NGER/About-the-National-Greenhouse-and-Energy-Reporting-scheme/Greenhouse-gases-and-energy>
- انبعاثات النطاق 1: الانبعاثات المطلقة في الغلاف الجوي كنتيجة مباشرة لنشاط أو سلسلة أنشطة على مستوى المرفق، ويشير إليها أحياناً بالانبعاثات المباشرة.
- انبعاثات النطاق 2: الانبعاثات المطلقة في الغلاف الجوي من الاستهلاك غير المباشر لسلعة طاقة، على سبيل المثال تنتج "الانبعاثات غير المباشرة" من استخدام الكهرباء الناتجة عن حرق الفحم في مرفق آخر.
- انبعاثات النطاق 3: الانبعاثات غير المباشرة بخلاف انبعاثات النطاق 2 التي تصدر من الاقتصاد الأوسع. تحدث كنتيجة لأنشطة المرفق، ولكن من مصادر لا تملكها أو تسيطر عليها الشركة المالكة لذلك المرفق.
- iii. تم تعديل البيانات التاريخية لتتماشى مع نظام تصنيف المرافق الجديد، ولا يشمل المرفقين اللذين أكملتا عملياتهما وأغلقا.
- iv. ورقة السياسة، ميزانية المملكة المتحدة 2020 متاحة على موقع www.gov.uk
- v. شددت نشرة الاكتتاب العام الأولي التي نشرتها أرامكو السعودية في نوفمبر/تشرين ثان 2019 على بصمتها البيئية المنخفضة للمنتجات الكربونية كإجراء تخفيف رئيسي ضد المخاطر المرتبطة بالمناخ. يظهر ترتيبها التنافسي في صفحة 83.
- vi. بناء على تقييم مفوض من Qamar Energy، يونيو/حزيران 2019.
- vii. متاح على موقع <https://www.cceguide.org/guide/>
- viii. تحليل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون لبيانات الوكالة الدولية للطاقة.
- ix. معامل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون 51,53 كجم طاقة/جيجاجول، كفاءة غشاء بوليمر إليكتروليتي (PEM) لتحويل الكهرباء إلى هيدروجين (71 بالمائة).
- x. تفترض 2 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون، وأنباب نقل بطول 50 كيلومتراً ويقطر 250 ملم، وتكلفة رأس المال بنسبة 6 بالمائة، والضغط من 1 إلى 150 بار، وسعر الكهرباء 80 دولاراً أمريكياً لكل ميجاوات في الساعة، و 3 دولارات أمريكية لكل طن واحد من ثاني أكسيد الكربون للتخزين والقياس والمراقبة والتحقق (MMV)، وعمر الأصول 30 عاماً.
- xi. بدون سعر الكربون.

78. Department of Industry Science Energy and Resources. (2020). Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory: December 2019.
79. Department of Industry Science Energy and Resources. (2020). Quarterly Update of Australia's National Greenhouse Gas Inventory: December 2019, p.14.
80. Global CCS Institute (2020b) CO₂RE database - Facilities Report. Available at: www.co2re.co (Accessed: 19 August 2020)
81. Allam, R., Martin, S., Forrest, B., Fetvedt, J., Lu, X., Freed, D., Brown, G. W., Sasaki, T., Itoh, M., & Manning, J. (2017). Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture. *Energy Procedia*, 114, 5948–5966. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1731>
82. Lu, X., Martin, S., McGroddy, M., Swanson, M., Stanislawski, J., & Laumb, J. D. (2017). Testing of a Novel Post Combustion Acid Removal Process for the Direct-Fired, Oxy-Combustion Allam Cycle *Power Generation (System)* (Issue 50961, p. V009T38A032).
83. NET Power. (2019). NET Power Presentation.
84. McDermott. (n.d.). McDermott Awarded Pre-FEED for Net Power UK Project.
85. Aker Solutions. (2019). Aker Solutions Signs Carbon Capture Contract With Twence in the Netherlands Website. <https://www.akersolutions.com/news/news-archive/2019/aker-solutions-signs-carbon-capture-contract-with-twence-in-the-netherlands>
86. Carbon Engineering. (2020). Carbon Engineering: Our Technology. Website. <https://carbonengineering.com/our-technology>
87. (Clean Energy Ministerial CCUS Initiative. (2020) Direct Air Capture of CO₂: Helping to Achieve Net-Zero Emissions.
88. PointFive websitePointFive. (2020). 11 [/https://www.1pointfive.com](https://www.1pointfive.com)
89. Kamijo, T., Nagayasu, H., Yonekawa, T., Shimada, D., Tsujiuchi, T., & Nakayama, K. (2013). Carbon Capture and Storage Demonstration Test - Coal-fired Power Plant (in cooperation with Southern Company, a U.S. Electric Power Company). Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, 50(1), 16–22. <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e501/e501016.pdf>
90. Webley, P. A., & Danaci, D. (2020). CO₂ capture by Adsorption Processes. In M. Bui & N. Mac Dowell (Eds.), Carbon Capture and Storage (pp. 106–167). Royal Society of Chemistry.
91. Bumb, P., Kumar, R., Khakharia, P., & Goetheer, E. (2014). Demonstration of advanced APBS solvent at TNO's CO₂ capture pilot plant. *Energy Procedia*, vol.63 (May 2015), 1657–1666. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.175>
60. Kingdom of Saudi Arabia. (2020). G20 Presidency – 2020 Energy & Climate Overall Theme of The Saudi G20 Presidency Key Elements of the 2020 Agenda | Theme and Aims The Saudi Presidency Theme is supported by three aims Realizing the opportunities of the 21st Century for all
61. Bosoaga, A., Masek, O., & Oakey, J. E. (2009). CO₂ Capture Technologies for Cement Industry. *Energy Procedia*, 1(1), 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.020>
62. Lehne, J., & Preston, F. (2018). Making Concrete Change; Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Chatham House Report, 1–122. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032163>
63. Beumelburg, C. (2020). HeidelbergCement takes the next step towards CO₂ capture and storage in Brevik, Norway. <https://www.heidelbergcement.com/en/pr-17-06-2020>
64. Beumelburg, C. (n.d.). HeidelbergCement' commitment to carbon abatement. <https://www.heidelbergcement.com/en/leilac-research-project>
65. World Resources Institute. (2016). world-greenhouse-gas-emissions-2016 @ www.wri.org. <https://www.wri.org/resources/data-visualizations/world-greenhouse-gas-emissions-2016>
66. International Energy Agency. (2020b). *Hydrogen* <https://www.iea.org/reports/hydrogen>
67. Bruce, S., Temminghoff, M., Hayward, J., Schmidt, E., Munnings, C., Palfreyman, D., & Hartley, P. (2018). *National Hydrogen Roadmap*. https://www.csiro.au/-/media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823.pdf?la=en&hash=36839EEC2DE1BC38DC738F5AAE7B40895F3E15F4
68. Hydrogen Council. (2020). Path to hydrogen competitiveness: a cost perspective. Thought Leadership, 88. www.hydrogencouncil.com
69. The Future of International Energy Agency. (2019) Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June
70. IRENA. (2019). Hydrogen: a Renewable Energy Perspective. In International Renewable Energy Agency (Issue September). www.irena.org
71. Global CCS Institute. (2020a). CO₂RE Database www.co2re.co
72. Preston, C. K. (2018). The Carbon Capture Project at Air Products' Port Arthur Hydrogen Production Facility <http://documents.ieaghg.org/index.php/s/4hyafrmh2bobOs/download>
73. Hydrogen Council. (2017). *Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition*. www.hydrogencouncil.com
74. International Energy Agency. (2020c). Gas 2020., p.3
75. International Energy Agency. (2020d). The role of CCUS in low-carbon power systems
76. International Energy Agency. (2018). *World Energy Outlook 2018*. Flagship Report. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018/renewables#abstract>
77. Irlam, L. (2017). *Global Costs of Carbon Capture and Storage*. Global CCS Institute

الشكل 9

i. Zapantis, A., Townsend, A. and Rassool, D. (2019). Policy Priorities to Incentivise Large Scale Deployment of CCS. Global CCS Institute. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/04/TL-Report-Policy-priorities-to-incentivise-the-large-scaledeployment-of-CCS-digital-<final-2019-1.pdf>

الجدول 1

j. Zapantis, A., Townsend, A. and Rassool, D. (2019). Policy Priorities to Incentivise Large Scale Deployment of CCS. Global CCS Institute. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/04/TL-Report-Policy-priorities-to-incentivise-the-large-scaledeployment-of-CCS-digital-<final-2019-1.pdf>

الشكل 10

k. Carbon Storage Taskforce. (2010). National Carbon Mapping and Infrastructure Plan – Australia. *In Australian Government* (Issue September

مخزون ثاني أكسيد الكربون. (2020). CO₂ Stored Data. <http://www.co2stored.co.uk>.

International Energy Agency. (2015). *Storing CO₂ through Enhanced Oil Recovery, Combining EOR with CO₂ storage (EOR+) for profit*

IEAGHG. (2009a). *CO₂ Storage in Depleted Gas Fields* (Issue 2009/01).

IEAGHG. (2009b). *CO₂ storage in depleted oilfields*. 2009/12. *In Energy*.

Norwegian Petroleum Directorate. (2014). *O₂ Storage Atlas - Norwegian Continental Shelf*.

US DoE/NETL (2015) *Carbon Storage Atlas*

Vangkilde-Pedersen (editor), EU GeoCapacity. (2009). *Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide: WP2 Report Storage Capacity*. Geological Survey of Denmark and Greenland

Wei, N., Li, X., Fang, Z., Bai, B., Li, Q., Liu, S., & Jia, Y. (2015). Regional resource distribution of onshore carbon geological utilization in China. *Journal of CO₂ Utilization*, 11, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2014.12.005>

الجدول 2

l. Global CCS Institute (2020) قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على الموقع www.co2re.co

الشكل 11

m. Oil and Gas Climate Initiative (OGCI). (2020). Global CO₂ Storage Resource Catalogue. <https://oilandgasclimateinitiative.com/CO2-storage-resource-catalogue/>

الشكل 12

n. European Commission (2019), Innovation Fund, accessed from https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en.

الشكل 13

o. Williams, E. (2019). Data Insights Achieving Climate Goals by Closing the Loop in a Circular Carbon Economy. *King Abdullah Petroleum Studies and Research Center* (“KAPSARC,” 1-13

الشكل 17

p. Global CCS Institute (2020) قاعدة بيانات CO₂RE - تقرير المرافق. متاح على موقع www.CO2re.co

International Energy Agency. (2019). *The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities*. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June

الجدول 3 (الهيدروجين)

q. International Energy Agency. (2019). *The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan, June*

Bruce, S., Temminghoff, M., Hayward, J., Schmidt, E., Munnings, C., Palfreyman, D., & Hartley, P. (2018). National Hydrogen Roadmap. https://www.csiro.au/~media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823

الشكل 22

r. Fajardy, M., Koberle, A., Mac Dowell, N., & Fantuzzi, A. (2019). BECCS deployment: a reality check. *Grantham Institute*, 28(28), 1-14

الشكل 23

s. Carbon Engineering. (2020). Carbon Engineering Our Technology. الموقع الإلكتروني <https://carbonengineering.com/our-technology/>

لمعرفة المزيد

يوفر المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون المعرفة والبيانات والتواصل وخدمات المناصرة لأعضائه ومجموعة شاملة من الخدمات الاستشارية المتعلقة بتقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون.

إذا كانت لديك أية أسئلة

اتصل بأحد أعضاء فريق المناصرة والاتصالات globalccsinstitute.com/contact

المكتب الرئيسي

Level 16, 360 Elizabeth Street,
Melbourne VIC 3000
Australia

رقم الهاتف 7300 8620 (03) +61

© Global Carbon Capture and Storage Institute Ltd 2020

ما لم يُنص على خلاف ذلك، تم ترخيص حقوق الطبع والنشر لهذا المنشور بموجب

ترخيص المشاع الإبداعي 4.0 الدولي

- لا يسمح باستعماله لأغراض تجارية أو بعمل مشتقات منه.

سعى المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون إلى جعل المعلومات الواردة في هذا المنشور دقيقة قدر الإمكان. ومع ذلك فهو لا يضمن أن تكون المعلومات الواردة في هذا المنشور موثوقة تمامًا أو دقيقة أو كاملة. لذلك، لا ينبغي الاعتماد فقط على المعلومات الواردة في هذا المنشور عند اتخاذ القرارات الاستثمارية أو التجارية.

لا يتحمل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون أي مسؤولية عن استمرار أو دقة عناوين صفحات الإنترنت الخارجية أو التابعة لجهات خارجية مشار إليها في هذا المنشور ولا يضمن أن أي محتوى على هذه المواقع دقيق أو مناسب أو أنه سيظل كذلك. إلى أقصى حد مسموح به، لا يتحمل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وموظفيه ومستشاريه أي مسؤولية (بما في ذلك عن الإهمال) عن أي استخدام للمعلومات الواردة في هذا المنشور أو الاعتماد عليها، بما في ذلك أي قرارات تجارية أو استثمارية يتم اتخاذها على أساس المعلومات المقدمة في هذا المنشور.

يرجى استخدام ما يلي للاستشهاد بالتقرير:

.Global CCS Institute, 2020. The Global Status of CCS: 2020. Australia

المعلومات الواردة في هذا التقرير سارية اعتبارًا من نوفمبر/تشرين ثان 2020.

تصميم بواسطة Fluid

fluid.com.au

