الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لعام 2021

تسريع احتجاز الكربون وتخزينه نحو الانبعاثات الصافية الصفرية

GLOBAL CCS INSTITUTE

نبذة عن المعهد

المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه **The Global CCS Institute** (المشار إليه بـ "المعهد) هو مؤسسةٌ فكريةٌ دوليةٌ تتمثّل رسالتها في تسريع وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (**Carbon Capture and Storage**)، تلك التقنية البالغة الأهمية في تصدّينا لتغيُّر المناخ. ويتألف فريق عملنا من أكثر من 30 مهنياً مختصاً، ويعمل فريقنا مع الأعضاء ونيابةً عنهم، ونقودُ جهود اعتماد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بالسرعة الممكنة وبأكبر فعالية ممكنة من حيث التكلفة، ونقومُ بتبادل الخبرات وبناء القدرات وإسداء المشورة وتقديم الدّعم لتضطلع تقنية احتجاز الغاز وتخزينه بدورها في الحدّ من انبعاثات غازات الدفيئة. وتشمل عضويتنا الدولية المتنوعة حكوماتٍ، وشركاتٍ عالميةٍ، وشركاتٍ خاصةٍ، وهيئاتٍ بحثيةٍ، ومنظماتٍ غير حكومية؛ وأعضاء المعهد كافةً ملتزمون بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه كجزء مهمّ نحو مستقبل يتسم بانبعاثات صافية صفرية. وللمعهد مكاتب في أبوظبي، وبكين، وبروكسل، وهيوستن، ولندن، وملبورن، وطوكيو، بالإضافة إلى العاصمة الأمريكية واشنطن.

نبذة عن التقرير

احتجازُ الكربون وتخزينه هي تقنيةٌ للحدّ من الانبعاثات تتمثل أهميتها البالغة في دورها في تلبية الأهداف المناخية العالمية. ويوثق تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لعام 2021 المعالم المهمّة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه طوالَ 12 شهراً الماضية، وحالة هذه التقنية على امتداد العالم، وأبرز الفرص السانحة وأهم التحديات الماثلة أمامها. ونأملُ أن تقوم الحكومات وواضعو السياسات والأكاديميون والمعلقون الإعلاميون وملايين المهتمين بمناخ كوكبنا بقراءة هذا التقرير والاستفادة من مضمونه.

مؤلفو التقرير

قادَ تأليف هذا التقرير كلٌّ من **Guloren Turan** و**Alex Zapantis**. وضمَّ فريق المؤلفين كلاً من **David Kearns** و **Eve Tamme** و **Christina Staib** و **Tony Zhang** و **Jamie Burrows** و **Angus Gillespie** و **Ian Havercroft** و **Dominic Rassool** و **Chris Consoli** و **Harry Liu**. وقدّم الدّعم في إعداده كلٌّ من **Matt Bright** و **Jeff Erikson** و **Patricia Loria** و **Hiroshi Nambo** و **Yi Wu** و **Carla Judge** و **Ruth Gebremedhin** و **Matt Steyn**.

الأسماء المختصرة

وحدة رصيد الكربون الأسترالية	ACCU
شركة بترول أبوظبي الوطنية (أدنوك)	ADNOC
الطاقة الحيوية المقترنة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه	BECCS
احتجاز الكربون وتخزينه	CCS
احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	CCUS
إزالة ثاني أكسيد الكربون	CDR
ثاني أكسيد الكربون	CO2
مؤتمر الأطراف	COP
الاحتجاز المباشر من الهواء	DAC
الاحتجاز المباشر من الهواء مع تخزين الكربون	DACCS
وزارة الطاقة الأمريكية	DOE
المفوضية الأوروبية	EC
الاستخراج المعزّز للنفط	EOR
وكالة حماية البيئة (في الولايات المتحدة الأمريكية)	EPA
الأشغال الهندسية والمشتريات والإنشاءات	EPC
معايير أداء الانبعاثات	EPSs
الحوكمة البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات	ESG
نظام تبادُل حصص الانبعاثات	ETS
الاتحاد الأوروبي	EU
التصاميم الهندسية الأولية	FEED
صندوق المناخ الأخضر	GFC
غازات الدفيئة	GHG
جيجا طن	Gt
جيجاواط	GW
وكالة الطاقة الدولية	IEA
سيناريو التنمية المستدامة لوكالة الطاقة الدولية	IEA-SDS
المنظمة البحرية الدولية	IMO
الفريق الحكومي الدولي المعنيّ بتغيُّر المناخ	IPCC
دائرة الإيرادات الداخلية بوزارة الخزانة الأمريكية	IRS
الآلية المشتركة لأرصدة خفض الانبعاثات	JCM
المؤسسة الوطنية اليابانية للنفط والغاز والمعادن	JOGMEC
معيار الوقود المنخفض الكربون	LCFS
استراتيجيات طويلة الأجل لتنميةٍ منخفضة انبعاثات غازات الدفيئة	LT-LEDS
الغاز الطبيعي المسال	LNG
وزارة الشؤون الإيكولوجية والبيئية	MEE
الرّصد والقياس والتحقق	MMV
مليون طنّ متري	MTT
مليون طن سنوياً	Mtpa
ميجاواط	MW
المساهمة المحدَّدة وطنياً	NDC
تقنية الانبعاثات السلبية	NET
المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة (في الولايات المتحدة الأمريكية)	NETL
انبعاثات صافية صفرية	NZE
فولطاضوئية	PV
البحث والتطوير	R&D
البحث والتصميم والتطوير	RD&D
سيناريو التنمية المستدامة	SDS
قروض مرتبطة بالاستدامة	SLL
إصلاح الميثان بالبخار	SMR
مؤسسة مملوكة للدولة	SOE
تيراواط ساعة	TWH
اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيُّر المناخ	UNFCCC
دولة الإمارات العربية المتحدة	UAE
أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة	UN SDGs
سوق الكربون الطوعية	VCM
تحويل النفايات إلى طاقة	WtE

GLOBAL CCS INSTITUTE

0.1
مقدمة

1.0 مقدّمة
2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه والرخاء الاقتصادي
2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، العالم 10
212 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق
2.3 تحديث السياسات العالمية 22
3.0 لمحات عامة إقليمية
3.1 أمريكا الشمالية 26
3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38
3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 44
4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام
4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50
4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53
4.4 الصناعة 54
4.5 الهيدروجين 55
4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58
4.7 كَرْبَنَة المعادن 59
5.0 الملاحق
5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62
5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68
5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70
6.0 المراجع 76

براد بيج

الرئيس التنفيذي السابق، المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه

عندما كنتُ أكتبُ توطئة تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لعام 2020، كان العالم يئنُّ في قبضةِ جائحة كوفيد19- وكان في حُكم المؤكد إلغاء مؤتمر الأطراف السادس والعشرين (COP 26). وكان الأمل يحدونا جميعاً بأنَّ نهاية الجائحةِ وشيكة خلال عام 2021 وأن حياتنا ستعود إلى طبيعتها إلى حد بعيد. وتمثّل النداء العام بأن "يُعادَ البناء بشكل أفضل" حيث ضَخّت حكومات الدول حول العالم تدابير مالية موسَّعة في اقتصاداتها، ورأينا جميعاً الفرصة بأن يتّسمَ المستقبل بعدم العودة إلى ما كان معتاداً في السابق، بل بالانفصال الصّعب عن ماضينا والتركيز على اقتصاداتٍ تقودها الطاقة النظيفة.

وبعدَ مرور 12 شهراً انصبَّ التركيز أكثر فأكثر على تحقيق أهداف "اتفاق باريس"، وما دلَّ على ذلك أن الحكومات والمؤسسات على حدّ سواء قد تعهَّدت بالمزيد من الالتزامات. وفي رأيي أنَّ هذا التسارُع في وتيرة الالتزام بالعمل من أجل المناخ قد جاء على نحو غير معهود من قبل. ومع ذلك، لم يتحقَّق الالتزام العام في العالم بشأن أهداف درجة الحرارة الرئيسية وبشأن الانبعاثات الصافية الصفرية مع حلول منتصف هذا القرن تقريباً. ولكن الأمر المشجّع هنا أن نسمع البيانات الصادرة يومياً تقريباً عن بلدان العالم والشركات حول العالم بشأن التزاماتها بتحقيق تلك الأهداف.

وتحديد الأهداف والالتزام بتحقيق الأهداف خلال العقود المقبلة مسألةٌ ضرورية. ووجود خطط عملية قابلة للتنفيذ لتلبية تلك الالتزامات هي الخطوة التالية البالغة الأهمية. وبدون ذلك، لا قيمةَ لتلك الالتزامات. ولا يزال أمامنا طريقٌ طويل في رحلة خطط العمل، ولكن مرةً أخرى نقول إنَّ التقدُّم المبكر المحرَز مشجّعٌ على نطاق واسع.

ويكشف تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لهذا العام أن تسارُع الالتزام بالعمل من أجل المناخ غير المسبوق يوازيه نموٌّ غير مسبوق في قائمة مرافق ومشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. وطوالَ الأعوام الماضية منذ أن بدأ المعهد بتسجيل ونشر البيانات المتعلقة بمرافق ومشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، لم نشهد من قبلُ مثل هذه الزيادة الكبيرة خلال عام واحد في عدد المشاريع قيد التنفيذ.

وهذه هي المحصلة الطبيعية للالتزامات المتعهَّد بها لمعالجة مسألة الانبعاثات ولتحقيق الانبعاثات الصافية الصفرية. وهي تؤكد استنباطات النمذجة التي قامت بها وكالات مختلفة مستقلة عدّة بأن احتجاز الكربون وتخزينه هو أحد العناصر الضرورية لحزمة حلول تقنية لا بدَّ من نشرها إذا ما أراد العالم تحقيق أهداف "اتفاق باريس".

وبقدر ما هو مثير للإعجاب التقدُّم المحرَز العام المنصرم على صعيد تسريع المشاريع قيد التنفيذ في مجال احتجاز الكربون وتخزينه، فإنَّ ثمة حقيقة صارخة مفادها أن العالم بحاجةٍ إلى عدد أكبر بكثير من مرافق احتجاز الكربون وتخزينه، فعالمنا بحاجة إلى مرافق أكثر بمائة مرة على أقلّ تقدير مقارنةً بما مجموعه 27 مرفقاً قيد التشغيل اليوم، على أن يتم ذلك بحلول العام 2050. وبدون ذلك، سيكون من المستبعد إلى أبعد حدّ أن يتمكن العالم من تحقيق الأهداف الرئيسية الواردة في "اتفاق باريس"، على أن يتحمَّل العواقب الوخيمة الموثّقة توثيقاً جيداً لمثل هذه المحصلة.

وينصبُّ التركيز أكثر فأكثر على تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في القطاعات الصناعية أو القطاعات "التي يصعب إزالة الكربون منها". وفي معظم الأحيان، تكون تقنية احتجاز الكربون وتخزينه هي الحلُّ الذي يمكن التعويل عليه أينما كانت عملية الكهربَة ليس بالحلّ القابل للتطبيق، وغالباً عندما تكون ثمة حاجة إلى حرارة عالية أو تفاعلات كيميائية معتمدة على وجود الكربون. وفي حالات أخرى، ومما يصبُّ بقوة في صالح تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أن هذه التقنية متدنية التكلفة إلى حدّ بعيد وأثبتت نفسها كتقنيةٍ ناضجةٍ. ولأن هذه الصناعات الثقيلة غالباً ما تلتئم معاً، باتت شبكات ثاني أكسيد الكربون بسرعة عنصراً بارزاً في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. وبينما كانت إفادتنا في هذا الشأن في عام 2020 مماثلةً، شهد هذا العام خطوات واسعة على صعيد التقدُّم المحرَز في العديد مشاريع شبكات احتجاز الكربون وتخزينه القائمة وأيضاً المشاريع الجديدة، ومنها على سبيل المثال مشروع "قناة هيوستن للسفن" (Houston Ship Channel) الذي أُعلن عنه.

ويواصل العالم استخدام محطات توليد الكهرباء القائمة على الوقود الأحفوري على نطاق واسع. وعلى الرغم من أنَّ مثل هذه المحطات آخذة بالانحسار في بعض بلدان العالم، تظلُّ محطات الطاقة التي تعمل بالفحم والغاز في بعض أنحاء العالم، تشكّل جزءاً مركزياً من أنظمة الكهرباء، بل وفي بعض الحالات تزداد أعداد تلك المحطات. وعلى الرغم من أن تقاريرنا للأعوام القليلة الماضية لم تتناول بشكل بارز مسألة توليد الكهرباء، تغيَّر الأمر في عام 2020، فقد أُعلنَ عن مشاريع جديدة نتطرّق إليها ضمن هذا التقرير. وهذا خبر سارّ لأن ثمة حاجة واسعة، وأكثر إلحاحاً، لمعالجة انبعاثات قطاع توليد الطاقة في، على سبيل المثال، معظم آسيا حيث من غير المرجَّح أن يتمَّ إخراج محطات توليد الطاقة الحديثة العهد نسبياً والعاملة بالفحم أو الغاز من الخدمة في وقت مبكر. ونَشْرُ التقنية في البلدان المتقدمة سيقود إلى خفض تكلفة تطبيق تلك التقنية في أماكن أخرى من العالم. ونحن نعلم بالاستناد إلى أكثر من تحليل مرموق، منها تحليل الفريق الحكومي الدولي المعنيّ بتغيُّر المناخ (IPCC)، أن إزالة ثاني أكسيد الكربون ستكون مسألة مطلوبة لتحقيق أهداف "اتفاق باريس". ونحن نعلم أيضاً أن الحلول القائمة على الطبيعة وحدها لن تكون كافية. وقد سادَ الفهم منذ أمد بعيد أن الطاقة الحيوية المقترنة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه (BECCS)، تمثل عنصراً مهماً في هذا الصدد. وعلى نحو متزايد، من الواضح أنه يتعيَّن أن يضطلعَ الاحتجاز المباشر من الهواء بدور كبير في هذا الصدد. ومما يسرُّ أن يزدادَ زخم تطوير ونشر تقنية الاحتجاز المباشر لثاني أكسيد الكربون من الهواء، وإن كان ذلك على رقعة صغيرة. ونشهد استثمارات رأسمالية كبيرة في تطوير تقنية الاحتجاز المباشر من الهواء، مع إحراز تقدُّم في المشاريع الجديدة الضخمة. ومن الملحوظ والمهمّ ذلك الانخفاض في منحنى تكلفة الاحتجاز المباشر من الهواء.

وبينما اختتمُ النسخة النهائية من تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، أنا متحمس للغاية بأن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه قد اتخذت الآن مسار نموٍّ قوياً بعد أن مرَّت بسنوات صعبة للغاية. فخلال العقد الفائت رأيتُ انتقال تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من تقنيةٍ معرَّفةٍ تعريفاً خاطئاً بأنها تقنية توليد الطاقة القائمة على الفحم إلى تقنيةٍ يتم اعتمادها على نحو متزايد كأحد العناصر الحيوية في مواجهة التحديات المناخية بفضل تنوُّع تطبيقاتها، وفعاليتها المثبتة، وقدرتها على التعامل مع كميات هائلة من الانبعاثات. وفي الآونة الأخيرة، عزّزت هذه التقنية مزاياها بفضل دورها في إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

الوقت ليس في صالحنا جميعاً. لذا علينا أن نعمل دونَ كلل أو ملل من أجل تسريع وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أكثر فأكثر.

> "الوقت ليس في صالحنا جميعاً. لذا علينا أن نعمل دونَ كلل أو ملل من أجل تسريع وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أكثر فأكثر"براد بيج
>
> ▶ Brad Page

صاحب السمو الملكي
أمير ويلز

ما نشهده عالمياً من جهود تُبذل تجاه العمل من أجل المناخ غير كاف، وإنْ كان مشجّعاً. وكلّما أسرعنا في ضمّ تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه إلى حزمة مبادرات إزالة الكربون الواسعة النطاق، تعزّز احتمال أن نتمكّن من تحقيق الأهداف المناخيّة لاتفاق باريس وبلوغ الانبعاثات الصافية الصفرية".

صاحب السمو الملكي أمير ويلز

HRH, The Prince of Wales

تينا برو

وزيرة البترول والطاقة، النرويج

"تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أداة حاسمة الأهمية في التخفيف من آثار تغيُّر المناخ لأنها تقلّص كثيراً الانبعاثات في القطاعات المستهلِكة للطاقة بكثافة"

تدرك الحكومة النرويجية الحاجة إلى خطوات طموحة وشاملة وجريئة من أجل الوصول إلى الحيادية المناخية بحلول عام 2050، وستشكّل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه جزءاً أساسياً في هذا الصدد. فتقنية احتجاز الكربون وتخزينه أداةٌ حاسمة الأهمية في التخفيف من آثار تغيُّر المناخ لأنها تقلّص كثيراً الانبعاثات في القطاعات المستهلِكة للطاقة بكثافة. وطوالَ أكثر من 20 عاماً، نجحت النرويج في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضمن خُطط وإجراءات الدولة للتخفيف من آثار تغيُّر المناخ. وفي إطار التزام ثابت بالحدّ من الانبعاثات، سيدعم مشروع النرويج المعروف باسم Longship لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه المنطقةَ الأوروبية في جهودها المبذولة لإزالة الكربون عبر توفير سَعَة تخزينية واسعة لثاني أكسيد الكربون. وستتولى تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، جنباً إلى جنب مع نطاق عريض من نُهُج التخفيف من آثار تغيُّر المناخ، دوراً محورياً في عملية التحوُّل نحو الانبعاثات المنخفضة الكربون، داخل النرويج وخارجها على حدّ سواء. ويُبرز تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الخطوات الإيجابية المتخذة في مواجهة تغيُّر المناخ حول العالم، ويسلّط الضوء في الوقت نفسه على الحاجة الملحّة لتسريع نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لبلوغ الأهداف المناخية لعام 2050.

"طوالَ أكثر من 20 عاماً، نجحت النرويج في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضمن خُطط وإجراءات الدولة للتخفيف من آثار تغيُّر المناخ" تينا برو

Tina Bru

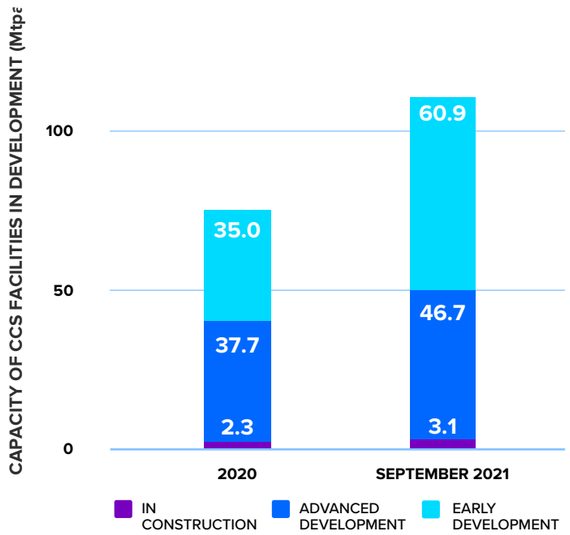
1.0 مقدّمة
2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الاقتصادي
2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء العالم 10
2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق 12
2.3 تحديث السياسات العالمية 22
3.0 لمحات عامة إقليمية
3.1 أمريكا الشمالية 26
3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38
3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية
4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام
4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50
4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53
4.4 الصناعة 54
4.5 الهيدروجين 55
4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58
4.7 كَرْبَنَة المعادن 59
5.0 الملاحق
5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62
5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68
5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70
6.0 المراجع 76

2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه

2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء الاقتصادي

احتجاز الكربون وتخزينه هو أداة أساسية للتخفيف من حدة التغير المناخي

في الفترة الأخيرة، شهدت مجموعة المشاريع قيد التنفيذ لاحتجاز الكربون وتخزينه نمواً متزايداً. حيث نمت قدرة المشاريع قيد التطوير من 75 مليون طن سنوياً في نهاية عام 2020، إلى 111 مليون طن سنوياً في سبتمبر 2021، وذلك بزيادة قدرها 48 بالمائة (1).



باستثناء المرافق التي لم تعلن عن قدرتها بعد

الشكل 1 مرافق احتجاز الكربون وتخزينه قيد التطوير.

المصدر: "قاعدة بيانات مركز إزالة انبعاثات غاز الكربون 1"(CO2RE 2021)

تأتي مجموعة المشاريع قيد التنفيذ لاحتجاز الكربون وتخزينه استجابة للطموح المناخي المتزايد وبشكل كبير منذ اتفاقية باريس عام 2015. حيث ازدادت دعوات المجتمع المدني للحكومات الوطنية والقطاع الخاص لمواءمة سياساتها وممارساتها مع تحقيق الاستقرار المناخي، لاسيما منذ صدور التقرير الخاص عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). حيث استعرض التقرير لعام 2018 المؤلفات العلمية بهدف تطوير رؤية مستقبلية موثوقة لتوقعات تأثير الاحتباس الحراري. وتبين أربعة مسارات في التقرير الخطوات اللازم اتباعها لتغيير الانبعاثات العالمية البشرية المنشأ خلال هذا القرن لتحقيق نتيجة مناخية تبلغ 1.5 درجة مئوية. وجميع تلك المسارات المطروحة تستلزم انخفاضاً سريعاً الى صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2060 (2).

وقدّرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أنه لابد من إزالة 5 – 10 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي كل عام خلال النصف الثاني من هذا القرن من أجل:

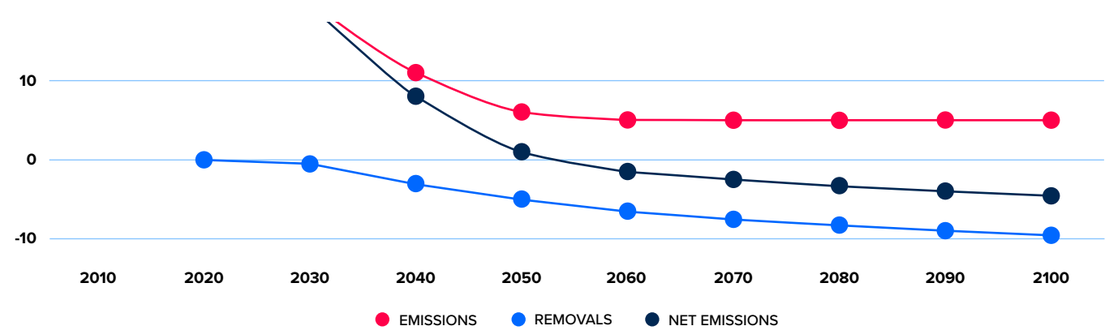
- تعويض الانبعاثات المتبقية التي يصعب الحد منها – من الصعب مثلاً تجنب الانبعاثات مثل تلك الناتجة عن الزراعة والسفر الجوي.
- خفض إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي لإبقاء الاحترار العالمي بما لا يزيد عن 1.5 درجة مئوية – تصحيح التجاوز.

أدت استجابات الحكومات الوطنية والقطاع الخاص، بفضل الضغوطات لاتخاذ إجراءات عملية بشأن تغيرات المناخ، إلى إطلاق تعهدات كثيرة بالالتزام بصافي انبعاثات صفري.

حيث ذكرت وكالة الطاقة الدولية (IEA) أنه بأواخر أبريل 2021، أعلنت 44 دولة والاتحاد الأوروبي عن أهدافها بتحقيق صافي انبعاثات صفري. حيث أصدرت عشرة منها تشريعات بهذا الخصوص، واقترحت ثمان دول جعلها التزاماً قانونياً، بينما تعهد البقية بتحقيق أهداف صافية صفرية في وثائق السياسة الحكومية. تغطي هذه الالتزامات ما يقرب من 70 في المائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية (4).

يضم تحالف طموح المناخ، الذي يجمع بين الدول والمناطق والمدن والشركات والمستثمرين للعمل معاً نحو تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050، ما يقرب من 4,000 مشارك، بما في ذلك أكثر من 2,300 شركة و 700 مدينة (5).

وقد تعهد قادة هذه المنظمات بالوصول إلى صافي انبعاثات صفري بحلول منتصف القرن الحالي.



الشكل 2 الانبعاثات (مليار طن من ثاني أكسيد الكربون/سنوياً)

المصدر: مقتبس من فريدمان وآخرون. 2020 (3)، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2018) (2)

رسم توضيحي لمسار الانبعاثات لـ 1.5 درجة مئوية

فئة المشارك	عدد المشاركين
المناطق	28
الدول	121
المستثمرون	163
المنظمات	624
المدن	700
الشركات	2357
إجمالي المشاركين	**3993**

الشكل 3 المشاركون في تحالف الطموح المناخي
المصدر: "تحالف الطموح المناخي: نحو صافي انبعاثات صفري بحلول 2050" 2021 (6)

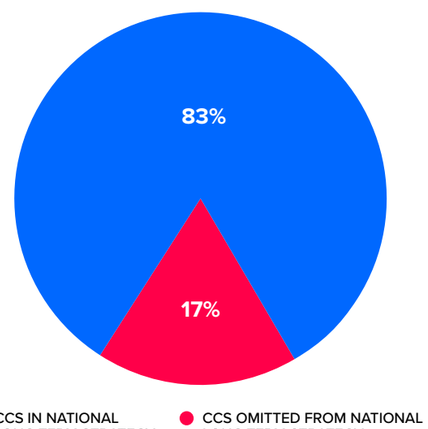
إن تحديد هدف صافي انبعاثات صفري هو خطوة أولية أساسية. سيتطلب تحقيق هذا الهدف العديد من الإجراءات المحددة في جميع القطاعات وعلى مدى عقود من الزمن.

ليس من قبيل المصادفة أن الزيادة الأخيرة في التزامات صافي انبعاثات صفري رافقها ارتفاع غير مسبوق في نشاط احتجاز وتخزين الكربون. فعندما تفكر المنظمات في تبني خطوة صافي انبعاثات صفري، فإنها عادة ما تقوم بدراسة لتحديد منبع تلك الانبعاثات، وتحديد خيارات التخفيف لكل منها، ثم ترتيبها حسب التكلفة والفعالية. وغالباً ما يظهر احتجاز وتخزين الكربون كخيار أساسي و الأقل تكلفة نحو تحقيق صافي انبعاثات صفري.

هناك ادراك متزايد من قبل الحكومات الوطنية للدور الهام الذي يلعبه احتجاز الكربون وتخزينه. حيث يبرز الآن في 24 من 291 استراتيجية لاستراتيجيات التنمية منخفضة الانبعاثات (LEDS) المُقدمة ضمن المادة 4 من اتفاقية باريس، بينما تقرر الحكومات الوطنية كيفية الوفاء بالتزاماتها المتعلقة بالحد من الانبعاثات.

وجد باكالا وسوكولو (2004) أنه يجب استخدام احتجاز الكربون وتخزينه جنباً إلى جنب مع خيارات أخرى للحد من الانبعاثات. وأكدت وكالة الطاقة الدولية بدورها ذلك عدة مرات كذلك.

يؤدي استبعاد خيار احتجاز الكربون وتخزينه، أو أي خيار آخر، إلى زيادة تكلفة خفض الانبعاثات. يعتبر احتجاز الكربون وتخزينه واحداً من تقنيات عدة للحد من التغيرات المناخية المتاحة تجارياً والضرورية للغاية لتحقيق مناخ مستقر.



الشكل 4 مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الاستراتيجيات طويلة المدى (اعتباراً من يوليو 2021)

1 اعتباراً من يونيو 2021

القيمة الاقتصادية والاجتماعية لاحتجاز الكربون وتخزينه

من الضروري لأي سياسة مناخية فعّالة أن تحقق قيمة اقتصادية واجتماعية على المدى القريب بالإضافة إلى صافي انبعاثات صفري. تسعى الحكومات الوطنية الى تجنب السياسات التي تقع فيها التكاليف بشكل غير متناسب على مجتمعات أو صناعات معينة. إن غياب المعارضة القوية مع وجود دعم مستمر أمران ضروريان لتستطيع الحكومات الوطنية تنفيذ سياسات مناخية قوية وفعّالة ومستدامة. لذا تبرز تقنية احتجاز الكربون وتخزينه هنا كخيار أمثل.

من غير المرجح اليوم في العديد من البلدان أن تتم معارضة السياسات أو التشريعات الخاصة بالمناخ بمعارضة علم المناخ. إذ يركز النقاش غالباً على كيفية إيجاد سبل ناجعة للحد من الانبعاثات، وعلى تكاليف السياسة، والآثار الاقتصادية للسياسات المترتبة على قطاعات صناعية أو مجتمعات معينة. تقل احتمالية اتباع سياسة المناخ المستدام عندما يكون لفئة مجتمعية أو لقطاع صناعي قد يتأثر سلباً من تلك السياسة سلطة سياسية (نظراً لحجمها أو مساهمتها الاقتصادية أو قيمتها الثقافية). حيث يمكن أن يسفر التحرك السياسي للمجموعات المظلومة الى عدم اعتماد سياسات مناخية ناجعة. من خلال حماية وخلق فرص عمل، يمكن لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه أن تقدم الدعم المطلوب لنشاط مناخي قوي ومستدام في تلك المناطق التي قد تعتبره تهديداً.

غالباً ما تتطور الصناعات كثيفة الانبعاثات ضمن تجمعات وذلك لأسباب عدة مثل توافر المواد الأولية والبنية التحتية كالموانئ والسكك الحديدية، ووجود قوة عاملة ماهرة، ومجموعة هامة من الموردين المتخصصين للهندسة والسلع والخدمات الأخرى. تعتمد العديد من المجتمعات المحلية على تجمعات صناعية كتلك بشكل كبير فيما يخص العمالة والاقتصاد المحلي. وبالتالي سيعانون من اضطراب اقتصادي واجتماعي حاد إذا تم إغلاق صناعاتهم الكثيفة الانبعاثات. يمكن أن يساعد احتجاز وتخزين الكربون في تحويل الصناعات ذات الانبعاثات الكثيفة إلى صناعات ذات انبعاثات شبه معدومة مع استمرار دعم الازدهار الاقتصادي وتحقيق الأهداف المناخية بأن معاً.

إن احتجاز وتخزين الكربون ببساطة يحمي الوظائف في القطاعات الصناعية والمجتمعات. وهو سبب من أسباب ظهور شبكات من المناطق الصناعية الحالية تستخدم تقنية احتجاز وتخزين الكربون كالنموذج المفضل لديها.

إضافة الى ذلك، تعمل تقنية احتجاز وتخزين الكربون على خلق وظائف جديدة ذات قيمة عالية. تبدأ مرافق احتجاز وتخزين الكربون كمشاريع هندسية وإنشائية ضخمة تستغرق سنوات في التخطيط والتصميم والبناء والتشغيل، وتتطلب قوة عاملة كبيرة. حيث وظفت منشأة باوندري دام لاحتجاز الكربون وتخزينه الكندية في ذروة عملها قوة عاملة في مجال البناء قوامها 1,700. و ساعد ما يصل إلى 2,000 شخص في بناء خط أنابيب الكربون في ألبرتا. و من بعدها يتم خلق وظائف جارية لتشغيل وصيانة مرافق احتجاز الكربون وتخزينه. فقد توظف المنشأة التجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه حوالي 20 عامل تشغيل وصيانة، بالإضافة الى تشغيل موظفين في الشركات التابعة لها التي تعرض سلعها وخدماتها (7).

لتحقيق أهداف اتفاقية باريس المناخية، لابد لصناعة احتجاز وتخزين الكربون العالمية أن تنمو بأكثر من 100 ضعف بحلول عام 2050. وهذا يعني بناء ما بين 70 إلى 100 منشأة سنوياً، أي 100,000 وظيفة بناء، ووظائف جارية لـ 30,000 – 40,000 موظف تشغيل وصيانة (7). يمكن أن يقترب حجم صناعة احتجاز الكربون وتخزينه من حجم صناعة الغاز الطبيعي في العالم في غضون بضعة عقود، مما يخلق عامل نمو هام جداً ومحركاً اقتصادياً مستداماً، جنباً الى جنب مع الطاقة المتجددة، في الاقتصاد الجديد المنخفض الانبعاثات.

القيمة الاقتصادية والاجتماعية لاحتجاز الكربون وتخزينه

من الضروري لأي سياسة مناخية فعّالة أن تحقق قيمة اقتصادية واجتماعية على المدى القريب بالإضافة إلى صافي انبعاثات صفري. تسعى الحكومات الوطنية الى تجنب السياسات التي تقع فيها التكاليف بشكل غير متناسب على مجتمعات أو صناعات معينة. إن غياب المعارضة القوية مع وجود دعم مستمر أمران ضروريان لتستطيع الحكومات الوطنية تنفيذ سياسات مناخية قوية وفعّالة ومستدامة. لذا تبرز تقنية احتجاز الكربون وتخزينه هنا كخيار أمثل.

من غير المرجح اليوم في العديد من البلدان أن تتم معارضة السياسات أو التشريعات الخاصة بالمناخ بمعارضة علم المناخ. إذ يركز النقاش غالباً على كيفية إيجاد سبل ناجعة للحد من الانبعاثات، وعلى تكاليف السياسة، والآثار الاقتصادية للسياسات المترتبة على قطاعات صناعية أو مجتمعات معينة. تقل احتمالية اتباع سياسة المناخ المستدام عندما يكون لفئة مجتمعية أو لقطاع صناعي قد يتأثر سلباً من تلك السياسة سلطة سياسية (نظراً لحجمها أو مساهمتها الاقتصادية أو قيمتها الثقافية). حيث يمكن أن يسفر التحرك السياسي للمجموعات المظلومة الى عدم اعتماد سياسات مناخية ناجعة. من خلال حماية وخلق فرص عمل، يمكن لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه أن تقدم الدعم المطلوب لنشاط مناخي قوي ومستدام في تلك المناطق التي قد تعتبره تهديداً.

غالباً ما تتطور الصناعات كثيفة الانبعاثات ضمن تجمعات وذلك لأسباب عدة مثل توافر المواد الأولية والبنية التحتية كالموانئ والسكك الحديدية، ووجود قوة عاملة ماهرة، ومجموعة هامة من الموردين المتخصصين للهندسة والسلع والخدمات الأخرى. تعتمد العديد من المجتمعات المحلية على تجمعات صناعية كتلك بشكل كبير فيما يخص العمالة والاقتصاد المحلي. وبالتالي سيعانون من اضطراب اقتصادي واجتماعي حاد إذا تم إغلاق صناعاتهم الكثيفة الانبعاثات. يمكن أن يساعد احتجاز وتخزين الكربون في تحويل الصناعات ذات الانبعاثات الكثيفة إلى صناعات ذات انبعاثات شبه معدومة مع استمرار دعم الازدهار الاقتصادي وتحقيق الأهداف المناخية بأن معاً.

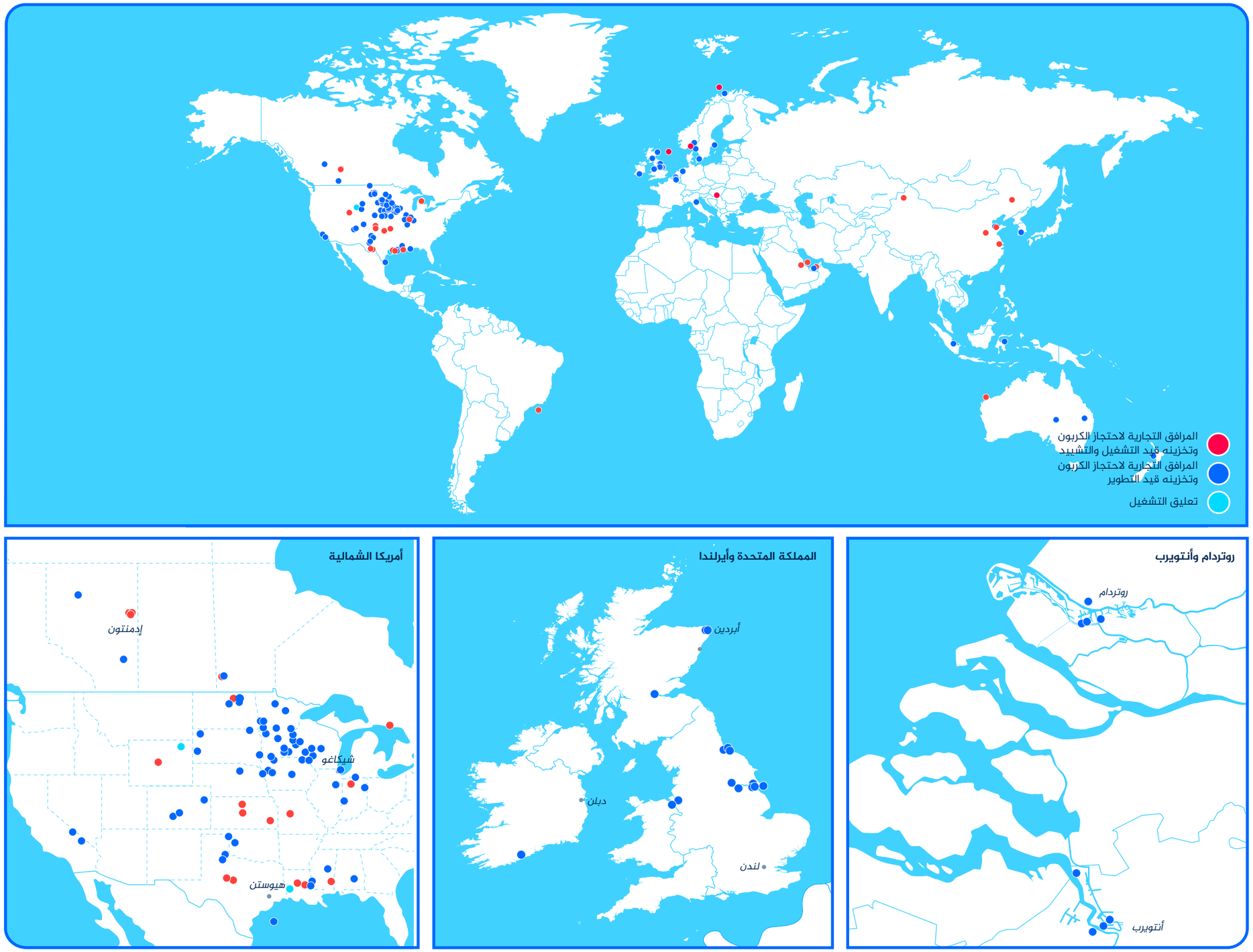
إن احتجاز وتخزين الكربون ببساطة يحمي الوظائف في القطاعات الصناعية والمجتمعات. وهو سبب من أسباب ظهور شبكات من المناطق الصناعية الحالية تستخدم تقنية احتجاز وتخزين الكربون كالنموذج المفضل لديها.

إضافة الى ذلك، تعمل تقنية احتجاز وتخزين الكربون على خلق وظائف جديدة ذات قيمة عالية. تبدأ مرافق احتجاز وتخزين الكربون كمشاريع هندسية وإنشائية ضخمة تستغرق سنوات في التخطيط والتصميم والبناء والتشغيل، وتتطلب قوة عاملة كبيرة. حيث وظفت منشأة باوندري دام لاحتجاز الكربون وتخزينه الكندية في ذروة عملها قوة عاملة في مجال البناء قوامها 1,700. و ساعد ما يصل إلى 2,000 شخص في بناء خط أنابيب الكربون في ألبرتا. و من بعدها يتم خلق وظائف جارية لتشغيل وصيانة مرافق احتجاز الكربون وتخزينه. فقد توظف المنشأة التجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه حوالي 20 عامل تشغيل وصيانة، بالإضافة الى تشغيل موظفين في الشركات التابعة لها التي تعرض سلعها وخدماتها (7).

لتحقيق أهداف اتفاقية باريس المناخية، لابد لصناعة احتجاز وتخزين الكربون العالمية أن تنمو بأكثر من 100 ضعف بحلول عام 2050. وهذا يعني بناء ما بين 70 إلى 100 منشأة سنوياً. أي 100,000 وظيفة بناء، ووظائف جارية لـ 30,000 – 40,000 موظف تشغيل وصيانة (7). يمكن أن يقترب حجم صناعة احتجاز الكربون وتخزينه من حجم صناعة الغاز الطبيعي في العالم في غضون بضعة عقود، مما يخلق عامل نمو هام جداً ومحركاً اقتصادياً مستداماً، جنباً الى جنب مع الطاقة المتجددة، في الاقتصاد الجديد المنخفض الانبعاثات.

تحقيق الانبعاثات الصافية الصفرية بحلول عام 2050 يستلزم إجراءاتٍ راسخةً بحلول عام 2030

على الرغم من النمو غير المسبوق في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التي كانت قيد التنفيذ على مدار الاثني عشر شهراً الماضية، لا تزال ثمة فجوة هائلة بين مجموع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه المنفّذة اليوم وما هو مطلوب بالفعل لتقليل الانبعاثات الناشئة عن أنشطةٍ بشريةٍ وتحقيق مفهوم الانبعاثات الصافية الصفرية. ويتطلب الحدُّ من الاحتباس الحراري عند مستوى



الشكل 5 خريطة العالم لمرافق احتجاز الكربون وتخزينه في مراحل التطوير المختلفة

	قيد التشغيل	قيد الإنشاء	في مرحلة تطوير متقدمة	في مرحلة تطوير مبكرة	العملية متوقفة	المجموع
عدد المرافق	27	4	58	44	2	135
قدرة الالتقاط (مليون طن سنوياً)	36.6	3.1	46.7	60.9	2.1	149.3

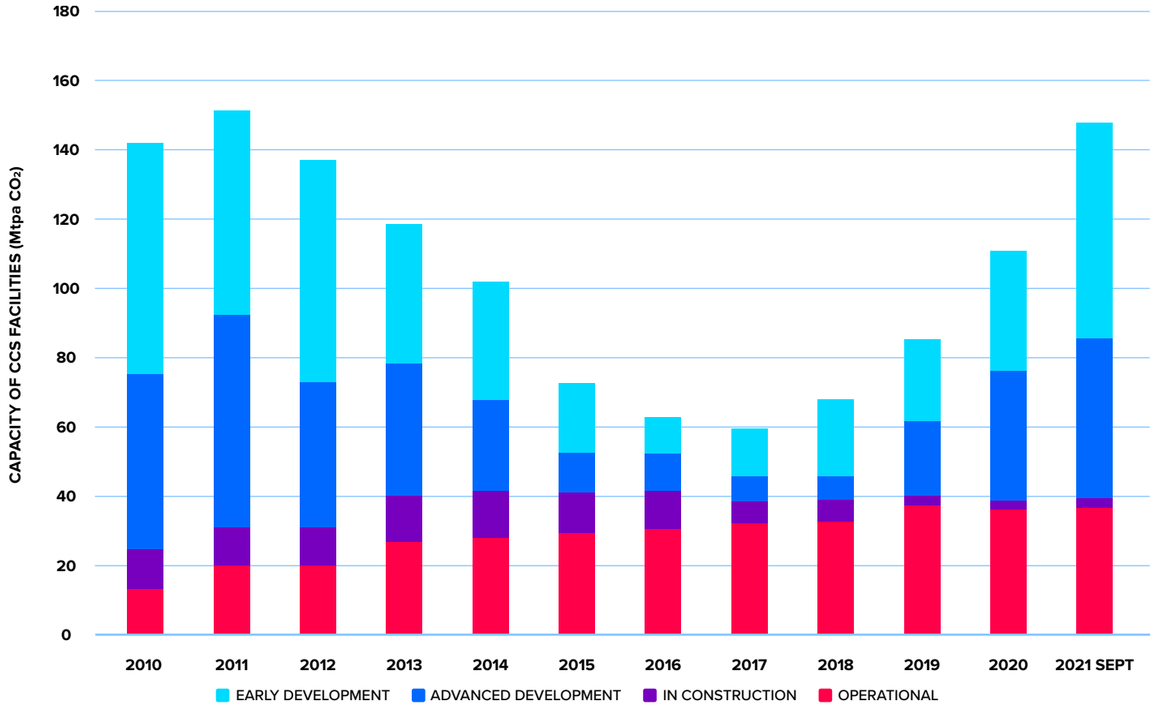
الشكل 6 مرافق احتجاز الكربون وتخزينه التجارية في سبتمبر 2021 بحسب العدد والقدرة الإجمالية

المال لا يمثّل عقبة كبيرة، فإن أكبر عائق أمام تلبية الأهداف المناخية هو الوقت. والمطلوب هنا نموّ البنية التحتية الداعمة بوتيرة متسارعة بحلول العام 2030 من أجل إضافة المزيد من المشاريع إلى قائمة التطوير ومن ثم تشغيلها بحلول العام 2050. وفي كثير من الحالات، تمثل البنية التحتية الداعمة أحد متطلبات الاستثمار، لا فيما يتعلق بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه فحسب، بل أيضاً سائر الجوانب الرئيسية لأي استراتيجية بشأن الانبعاثات الصافية الصفرية. وعلى سبيل المثال، فإن الاستثمار في المشاريع الجديدة لتوليد الطاقة المتجددة يعني المزيد من خطوط نقل الكهرباء، بينما يتطلب تكثيف عملية إنتاج الهيدروجين النظيف واستخدامه بنيةً تحتيةً جديدة لتخزينه ونقله وتوزيعه. وبالمثل، تتطلب الوتيرة السريعة لتطوير مرافق احتجاز الكربون وتخزينه المزيد من مرافق نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. وتشير التقديرات إلى أن ثمة حاجة لزيادة مساحة شبكة أنابيب نقل ثاني أكسيد الكربون في أمريكا الشمالية من 8.000 كيلومتر اليوم إلى 43.000 كيلومتر بحلول العام 2050. وهذا النطاق قابل للتحقيق حتماً، فنحن نتحدث عن شبكة أكبر بقليل فقط من شبكة نقل الغاز الطبيعي في أستراليا، إذ تمتد تلك الشبكة على مساحة تتجاوز 39.000 كيلومتر من الأنابيب (3).

والدَّفع بمشاريع تطوير البنية التحتية لدعم اقتصاد قائم على انبعاثات صافية صفرية يجب أن يكون أولويةً عند حكومات العالم أجمع. فثمة أمثلة عديدة على أن الدعم أو الاستثمار المباشر للحكومات كان أمراً ضرورياً لإزالة المخاطر وإطلاق الصناعات، في مجالات شملت الطرقات، والسكك الحديدية، والاتصالات السلكية واللاسلكية، وتوليد الكهرباء وتوزيعها، واستغلال الفضاء، ومؤخراً في مجال الطاقة المتجددة. وما أن نضجت هذه الصناعات وأضحت تجاريةً، توسَّعت استثمارات القطاع الخاص لتحلَّ محلَّ تدخُّل الحكومات. وبالمثل، يمكن للحكومات أن تدعمَ إنشاء شبكات نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لتخدم المراكز الصناعية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

وتستلزمُ شبكة احتجاز الكربون وتخزينه تخزيناً جيولوجياً لثاني أكسيد الكربون. وتتطلب عملية تحديد موارد التخزين وتوصيفها استثماراتٍ تتراوح من عشرات إلى مئات ملايين الدولارات. وثمة مجازفة بكلّ تلك الأموال إذ ليس ثمة ما يكفل نجاح تلك العملية. وعلى عكس التنقيب عن المعادن أو المواد الهيدروكربونية، فإن استكشاف الفراغات المسامية الأرضية لا يبرّر بشكل عام المجازفة بعشرات ملايين الدولارات. ويمكن للحكومة أن تساعد من خلال دعم عملية جَمْع البيانات الجيولوجية وإتاحتها. وقد استفادت المرافق الحالية لاحتجاز الكربون وتخزينه من البيانات الجيولوجية التي جُمِعَت خلال أعمال التنقيب عن النفط أو الغاز و/أو من برامج مموَّلة من الحكومة نفسها.

وعادةً ما تستغرق مشاريع البنية التحتية الكبيرة، مثل مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو شبكات خطوط الأنابيب، من سبع إلى عشر سنوات من مرحلة دراسة المفهوم إلى الجدوى، إلى مرحلة التصميم والبناء ثم مرحلة التشغيل. وليس لدينا متَّسَعٌ من الوقت. وعليه، يجب أن يكون خلق بيئة مواتية للاستثمار في مرافق احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وغيرها من الأصول المتوافقة مع الانبعاثات الصفرية – لا سيما في دعم البنية التحتية – من خلال كلٍّ من السياسات والتمويل، أولويةً عاليةً للحكومات من الآن وحتى عام 2030.



الجدول البياني لا يتضمن المرافق التي لم تعلن عن قدرة الالتقاط لديها

الشكل 7 مجموعة مشاريع مرافق احتجاز الكربون وتخزينه التجارية من عام 2010 إلى سبتمبر 2021 بحسب قدرة الالتقاط

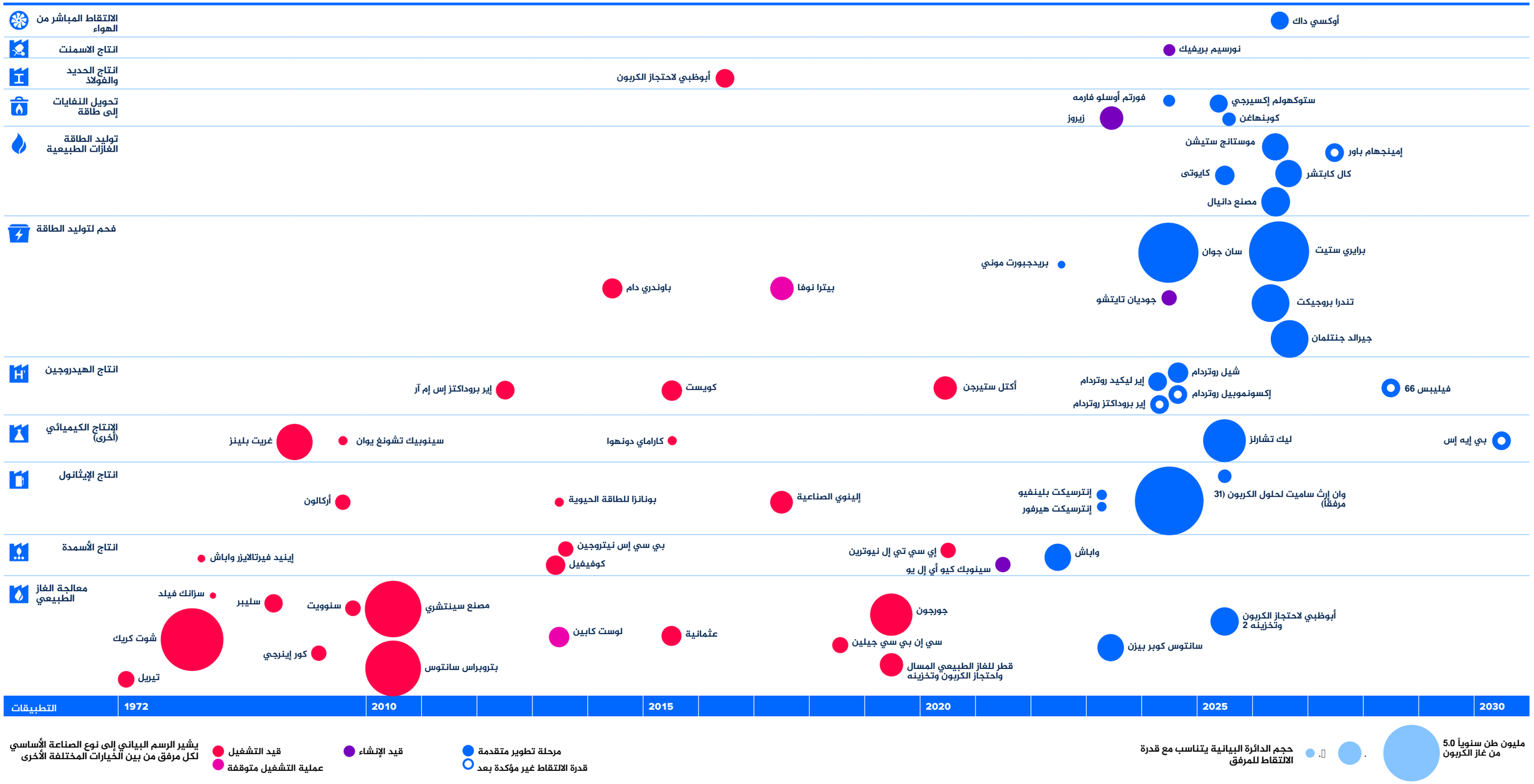
المصنع في مرحلة تطوير مبكرة	الصناعة	البلد	متوسط القدرة على التقاط ثاني أكسيد الكربون (مليون طن سنوياً)
مصنع ديف جونسون	توليد الكهرباء	الولايات المتحدة	4.00
جي2 نت زيرو للغاز الطبيعي المسال	معالجة الغاز الطبيعي	الولايات المتحدة	4.00
نيكست داكيد ريو غراندي للغاز الطبيعي المسال	معالجة الغاز الطبيعي	الولايات المتحدة	5.00
محطة كهرباء كيدبي 3	توليد الكهرباء	المملكة المتحدة	2.10
ريبسول ساكاكيمانج	معالجة الغاز الطبيعي	إندونيسيا	1.80
بارنتس بلو كلين أمونيا	إنتاج كيميائي	النرويج	1.60
في مرحلة تطوير متقدمة			
مصفاة شل روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	إنتاج الهيدروجين	هولندا	1.20
ستوكهولم إكسيرجي للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	توليد الكهرباء والحرارة	السويد	0.80
مصفاة ايرليكيد روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	إنتاج الهيدروجين	هولندا	0.80
مصفاة لولر الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	إنتاج الإيثانول الحيوي	الولايات المتحدة	0.53
كوبنهيل (أماجر باك) لتحويل النفايات إلى طاقة واحتجاز الكربون وتخزينه	معالجة النفايات	الدنمارك	0.50
مصفاة كاسيلتون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	إنتاج الإيثانول الحيوي	الولايات المتحدة	0.47
مصفاة ماركوس الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	إنتاج الإيثانول الحيوي	الولايات المتحدة	0.43

الشكل 8 أكبر المساهمين في نمو المشاريع قيد التطوير، 2021

ازدياد في تنوع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه

مع الإعلان عن المشاريع الجديدة وتطويرها، توسع نطاق المرافق بشكل كبير. تعد محطات الالتقاط الفردية الأكبر حجماً، مع تطوير منشآت مثل مشروع الهيدروجين في روتردام التابع لشركة شيل، الذي تقع قدرة التقاط الكربون لديه في نطاق الميجا طن. بينما تعمل شبكات، مثل ساميت لحلول الكربون الأمريكية، على جعل عملية الالتقاط الأصغر حجماً قابلة للتطبيق، حيث تبلغ قدرة أصغر مصنع لالتقاط الكربون 90 ألف طن فقط سنوياً. إلا أنه سيكون من الصعب تبرير هذه القدرات الصغيرة في حال وجود بنية تحتية داعمة.

عمل مشروع نورسيم بريفيك الذي تمت الموافقة عليه مؤخراً، وهو جزء من شبكة لانغشيب في النرويج، على التوسع في مجال احتجاز الكربون وتخزينه ليشمل قطاعاً جديداً هو تصنيع الاسمنت. بصفته مصدر انبعاثات عالمي كبير وذا خيارات محدودة لإزالة الكربون، فإن استخدام تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في قطاع الاسمنت يُعد خطوة أساسية نحو تحقيق صافي انبعاثات صفري. من المنتظر أن يُقدم مشروع نورسيم بريفيك تجربة تعليمية وتطبيقية قيّمة في مجال احتجاز الكربون وتخزينه.



الشكل 9 مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه بحسب القطاع الصناعي والحجم (حسب قدرة التقاط الكربون) عبر الزمن

2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق العالم

تاريخياً، كانت مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه تميل لأن تكون متكاملة عمودياً، مع وجود مصنع التقاط للكربون بنظام نقل خاص به. عمل ذلك في صالح المشاريع واسعة النطاق، إذ جعلت وفورات الحجم التكاليف النهائية معقولة. في الآونة الأخيرة حصل توجه نحو مشاريع تعتمد على توحيد البنية التحتية لنقل وتخزين الكربون: خطوط الأنابيب والشحن والموانئ وآبار التخزين. إن وجود مثل هذه الشبكات المتكاملة لاحتجاز الكربون ونقله يعني أنه بمقدور المشاريع الصغيرة أيضاً أن تستفيد من وفورات الحجم.

دخلت شبكة بورثوس في روتردام مرحلة التطوير المتقدمة في أوائل عام 2021. وسينقل خط أنابيب مشترك غاز ثاني أكسيد الكربون المسال من أربعة مشاريع جديدة للهيدروجين الأزرق، هي إير بروداكتز و إير ليكيد، و إكسون موبيل، و شيل (قيد التطوير في منطقة ميناء روتردام)، للتخزين بمنطقة تبعد حوالي 20 كيلومتراً عن الساحل، تحت بحر الشمال. خصصت الحكومة الهولندية 2.1 مليار يورو بشكل منح لهذه المشاريع الأربعة لدعم الشبكة (11).

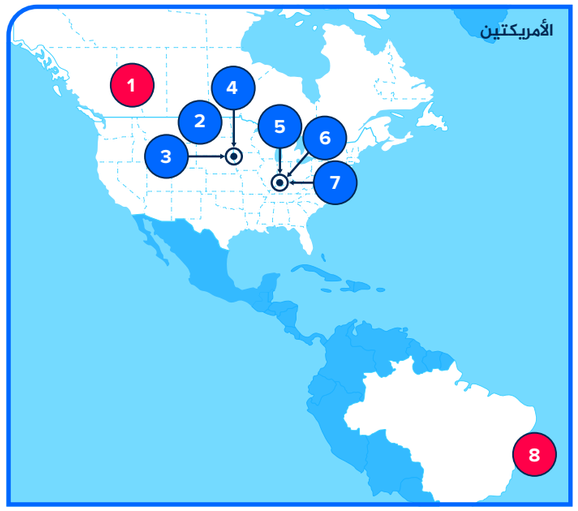
وفي روتردام أيضاً، دخلت شركتا توتال إينيرجيز و شيل في شراكة لتطوير شبكة أراميس لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهي شبكة عالمية بقدرة مُقترحة تزيد عن 20 مليون طن سنوياً. لا يزال هذا المشروع في مرحلة التطوير المبكرة. يقترح المشروع تخزين الكربون في تشكيل الحجر الرملي روتليجنذز بأسفل بحر الشمال على عمق 3 - 4 كيلومترات. وستكون طرق النقل مختلطة جامعة بين الكربون المسال المنقول بواسطة البوارج، و الكربون الغازي المنقول بواسطة خطوط أنابيب برية، و الكربون المكثف المنقول عبر خطوط الأنابيب البحرية. ومن المتوقع أن يتم استلام ثاني أكسيد الكربون من مجموعة من القطاعات التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها كقطاعات تحويل النفايات إلى طاقة والفولاذ والكيماويات ومصافي النفط والاسمنت.

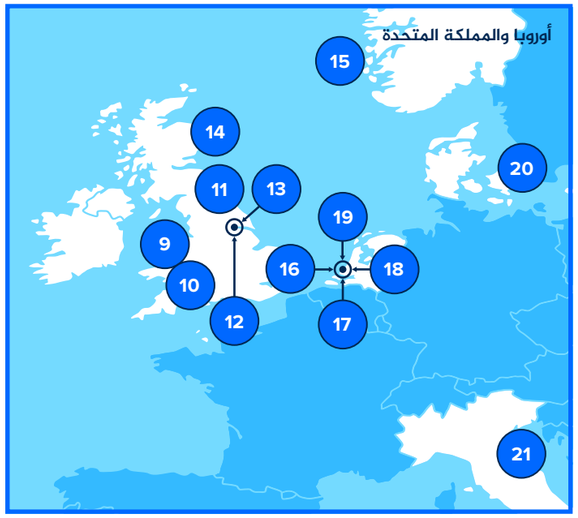
عندما تم تمويل مصنع الاسمنت نورسيم بريفيك في النرويج (المذكور سابقاً) من قبل الحكومة النرويجية في أواخر عام 2020، اتخذت شبكة لانغسكيب لاحتجاز الكربون وتخزينه خطوة نحو الأمام أيضاً. ستقوم نورسيم بريفيك بالتقاط وتسييل 400,000 طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً والتي سيتم نقلها عن طريق السفن إلى منطقة ناتورغازياركين، ليتم تفريغها وضخها عبر خط الأنابيب للتخزين البحري تحت بحر الشمال. مشروع الالتقاط الآخر في هذه الشبكة هو مشروع التقاط فورتوم أوسلو فارمه لتحويل النفايات إلى طاقة، وهو لا يزال قيد التطوير المتقدم ومن المتوقع أن يقوم بالتقاط وتسييل 400,000 طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً أيضاً. تم تصميم شبكة لانغسكيب لاحتجاز الكربون وتخزينه بقدرة تخزينية أولية 1.5 مليون طن سنوياً (بئر واحد) مع خطط لزيادة القدرة التخزينية الى 5 مليون طن سنوياً (آبار متعددة) في المرحلة الثانية (12).

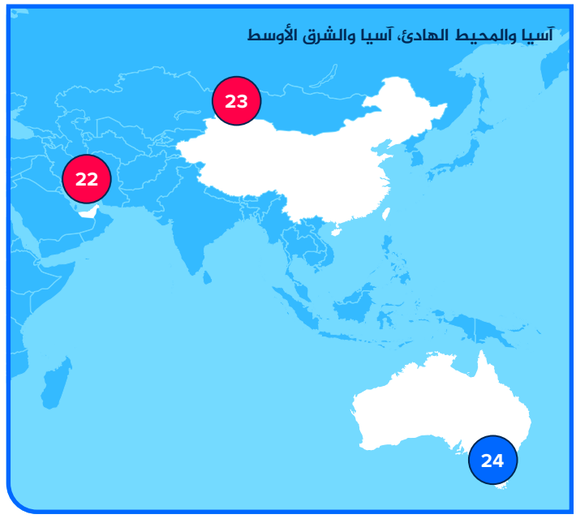
تبرز شبكة ساميت لحلول الكربون القيد التطوير كأكبر شبكة للانبعاثات السلبية في العالم، مع قدرة التقاط متوقعة تبلغ 7.9 مليون طن سنوياً. تضم الشبكة 31 مصنعاً مستقلاً للإيثانول الحيوي، مما يعزز الاقتصادات المزدوجة المتمثلة في الالتقاط المنخفض التكلفة (ثاني أكسيد الكربون عالي النقاء الناتج عن تخمير الذرة) وتجميع الكربون الملتقط، الأمر الذي يقلل من تكاليف النقل والتخزين.

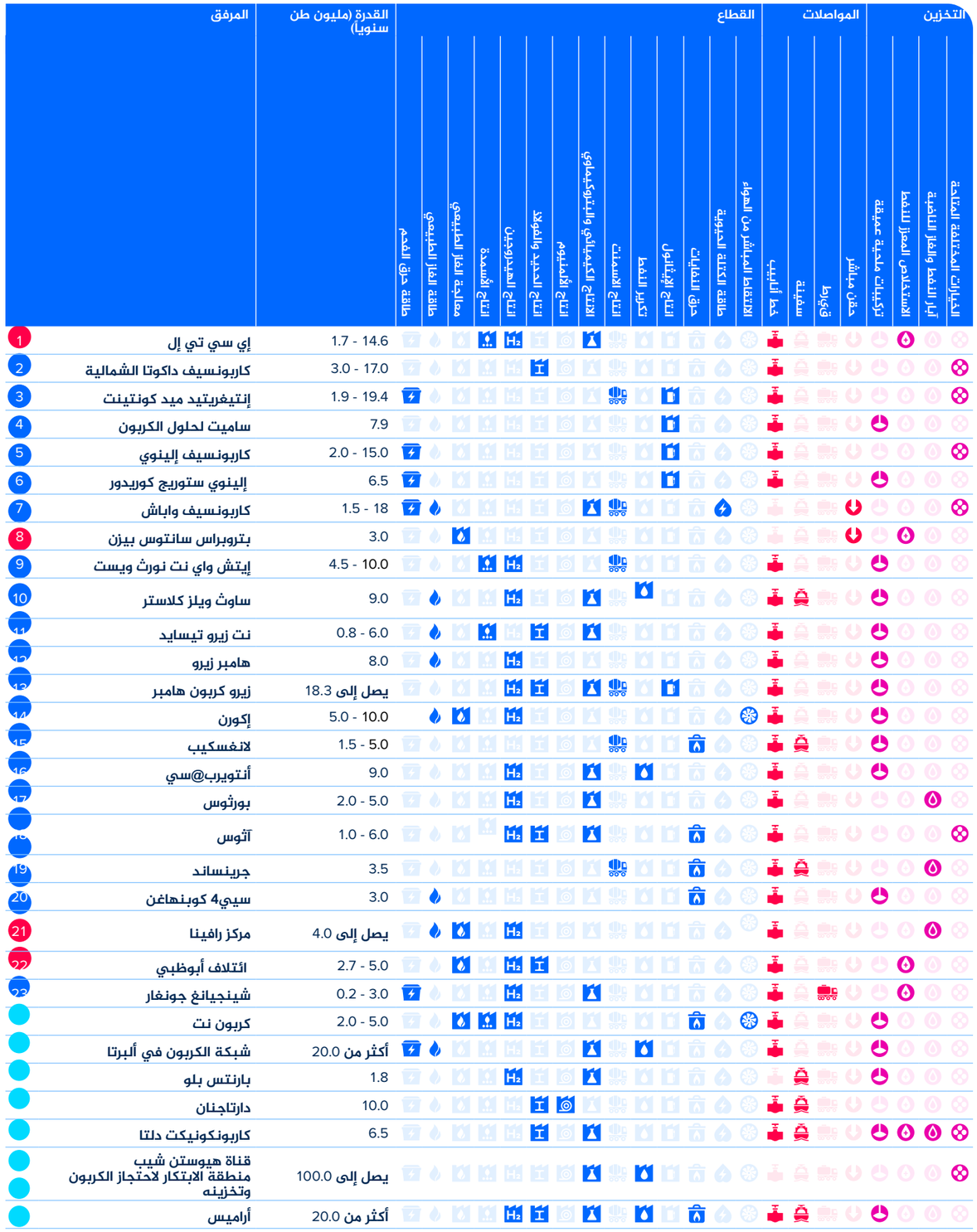
شهدت المملكة المتحدة تطوراً كبيراً في مناطق متعددة في السنوات الأخيرة. وتشمل، شبكة هامبر زيرو، وشبكة زيرو كربون هامبر المجاورة، وشبكات تيسايد نت زيرو - تم دمج الأخيرين مؤخراً تحت مسمى إيست كوست كلاستر. العمل جاري على المزيد من الشبكات في شمال اسكتلندا (أكورن) ويلز وإنجلترا (إيتش واي نت نورث ويست) وجنوب ويلز (التجمعات الصناعية بجنوب ويلز). وتقع جميعها في مناطق بها صناعات ثقيلة مثل مصافي النفط ومحطات الطاقة ومحطات معالجة الغاز الطبيعي، وعلى مسافة قريبة من التخزين البحري.

بالإضافة إلى التخفيف من حدة تغير المناخ، تقدم تلك الشبكات في المملكة المتحدة قيمة اجتماعية واقتصادية. حيث ستقوم بحماية الوظائف في الصناعات ذات الانبعاثات الكثيفة وبالتالي غير المتوافقة مع التزامات تحقيق صافي انبعاثات صفري، واستحداث العديد من الوظائف الجديدة. حيث ستكون هناك فرص عمل متاحة في مجالات تصميم وإنشاء وتشغيل وصيانة البنية التحتية لاحتجاز وتخزين الكربون والصناعات الجديدة منخفضة الانبعاثات، مثل إنتاج الهيدروجين الأزرق، التي ستدعمها الشبكة.









الشكل 10 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه حول العالم

اللورد نيكولاس ستيرن

أستاذية آي جي باتيل في الاقتصاد والحكومة، رئيس كلية لندن للاقتصاد،
معهد غرانثام للأبحاث

"سيتطلب تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول منتصف القرن تفعيلاً سريعاً لجميع تقنيات الحد من الانبعاثات المتاحة"

.اللورد نيكولاس ستيرن

يواجه العالم اليوم تحديين ذا أبعاد محتملة هائلة: التكاليف الصحية والاجتماعية المدمرة لجائحة كوفيد 19؛ والتهديدات المتزايدة لتغير المناخ والتدهور البيئي وفقدان التنوع البيولوجي. وسيؤدي الفشل في معالجة أي منها بقوة وفعالية إلى إضعاف التصدي للآخر. لذا لابد من أن تكون الاستجابة لكليهما عالمية وعاجلة وعلى نطاق واسع.

وعلى ضوء ذلك، شهدت الأشهر الـ 18 الماضية نمواً في عدد الدول التي تعهدت بتحقيق صافي انبعاثات صفري بشكل سريع ليغطي الآن حوالي 70 في المائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. في سبتمبر 2020 وخلال جلسة للأمم المتحدة، ألزم الرئيس الصيني بلاده بتحقيق محايدة الكربون بحلول عام 2060. كما التزمت كلٌ من كوريا واليابان بتحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول 2050. وغيّر انتخاب الرئيس بايدن سياسة الولايات المتحدة. فبعد إعادة انضمامها إلى اتفاقية باريس، التزمت الولايات المتحدة بالوصول إلى صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050. مما يعتبر خطوة إلى الأمام ذات أهمية كبيرة.

في قمة مجموعة السبع المقامة في خليج كاربيس، تعهد قادة مجموعة السبع بحماية كوكبنا من خلال دعم ثورة خضراء توفر فرص عمل وتقلل من الانبعاثات وتحد من ارتفاع درجات الحرارة العالمية بما لا يزيد على 1.5 درجة مئوية. في عالمنا المتنازع اليوم يمكننا على الأقل العمل معاً لأجل المناخ والتصدي للمخاطر الهائلة للتغير المناخي وإيجاد مسار جديد ومستدام وشامل ومرن لتحقيق التنمية والنمو.

يوفر 2021 فرصاً فريدة، من خلال قمة مجموعة العشرين في روما ومؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي 2021 في غلاسكو، لاتخاذ إجراءات جريئة "لإعادة البناء بشكل أفضل"، بما يحقق النمو ويخلق فرص عمل ويضمن الاستدامة البيئية.

يجب على الحكومات طرح مسارات موثوقة للوفاء بالتزاماتها بتحقيق صافي انبعاثات صفري بما يشمل إعداد وتقديم مساهمات وطنية محددة بدقة قبل انعقاد مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي 2021، ووضع برامج انعاش خضراء قوية وفعّالة بما فيه الكفاية لتحقيق هدف صافي انبعاثات صفري.

لقد كان من الواضح أن تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول منتصف القرن سيستلزم التفعيل السريع لجميع تقنيات الحد من الانبعاثات المتاحة، إضافة إلى ضرورة إحالة بعض المرافق كثيفة الانبعاثات الى التقاعد المبكر، وتحديث البعض الآخر منها باستخدام تقنيات مثل احتجاز الكربون وتخزينه. كما أنه من الواضح أيضاً بأن إزالة ثاني أكسيد الكربون ستكون مطلوبة، سواء من خلال الحلول المعتمدة على الطبيعة أو على التكنولوجيا.

هناك حاجة ملحة إلى مزيد من الاستثمارات في الاقتصاد الأخضر لتعزيز التقنيات منخفضة الانبعاثات، مثل الطاقة المتجددة والسيارات الكهربائية، كما الاستثمارات في التغييرات الضرورية في البنية التحتية، مثل التدفئة المنزلية وخطوط أنابيب الكربون وتخزينه، بما يحقق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050.

نحمل كمجتمع مسؤولية أساسية تجاه الأجيال القادمة في مجابهة ومعالجة تغير المناخ. ليس لدينا الكثير من الوقت، لكننا نملك نموذج تنمية مختلف، إنه نموذج نمو مستدام ومرن وشامل للقرن الحادي والعشرين.

لدينا سندات وقروض خضراء، لكننا بحاجة إلى إحداث المزيد من الدعم المالي الانتقالي الذي يتيح المزيد من الاستثمار في الشركات التي تقوم بالعمل الشاق لإزالة الكربون باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. تتفق وكالات المناخ الدولية، مثل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، على أن الانتقال إلى اقتصاد صافي الانبعاثات الصفري سيتطلب توسيع نطاق مرافق احتجاز الكربون وتخزينه. وبالتالي، فإن تمويل احتجاز الكربون وتخزينه هو عنصر هام وحاسم للحد من الانبعاثات.

سالي بنسون

أستاذة في معهد بريكورت، قسم هندسة موارد الطاقة بكلية الأرض
والطاقة والعلوم البيئية، جامعة ستانفورد

من الواضح اليوم أن هناك حاجة ماسة أكثر من أي وقت مضى لاحتجاز الكربون وتخزينه. سواء تم التقاط الكربون من مصدر نقطي أو من الهواء، من مصدر صناعي أو من محطة طاقة، باستخدام نظم بيئية أو صخور تفاعلية، جميعها تقنيات أساسية في مكان أو آخر حول العالم. إن تقبل الحاجة الى وجود حلول مختلفة تناسب أشخاص مختلفين في مناطق مختلفة حول العالم هو أمر أساسي وهام اذا أردنا توسيع نطاق احتجاز الكربون وتخزينه على نحو شامل. علينا أن نتجاوز مفهوم "هذا أو ذاك" إلى "هذا وذاك" لنتمكن من مضاعفة معدل تفعيل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه الجديدة، وهي خطوة حاسمة لضمان مساهمة تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بالسرعة والنطاق اللازمين لتلبية أهدافنا المناخية

"إن تقبل الحاجة الى وجود حلول مختلفة تناسب أشخاص مختلفين في مناطق مختلفة حول العالم هو أمر أساسي وهام اذا أردنا توسيع نطاق احتجاز الكربون وتخزينه على نحو شامل".

سالي بنسون

Sally Benson

2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه

2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق العالم

مشاريع الهيدروجين الأزرق

يُطلق مسمى الهيدروجين الأزرق على استخدام الوقود الأحفوري لإنتاج الهيدروجين النظيف. حيث يتم التقاط غاز الكربون وتخزينه بشكل دائم. لا تزال العديد من مشاريع الهيدروجين الأزرق حالياً قيد التنفيذ. من المنتظر أن توفر مشاريع الهيدروجين الأزرق في المملكة المتحدة وقوداً هيدروجيناً نظيفاً لمساعدة الصناعات المحلية الأخرى على إزالة الكربون.

سيتم تخزين الكربون في بحر الشمال بفضل وفورات الحجم التي توفرها الشبكات المضيفة. وهي تشمل:

- مشروع الهيدروجين التابع لإكوينور سالتند، الشركة الرئيسية ضمن شبكة نت زيرو همبر
- تقوم شركة بي بي (بريتيش بتروليوم سابقاً) بتطوير مصنع هيدروجين كجزء من شبكة نت زيرو تيساید
- تقوم فيليبس 66 بتطوير مشروع الهيدروجين الأزرق في مصفاة همبر التابعة لها.

تبرز شبكة بورثوس المذكورة سابقاً كمركز هيدروجين هام على مستوى العالم. جميع مراكز التقاط الكربون الأربعة لديها هي مصانع هيدروجين زرقاء مُدارة من قبل إكسون موبيل وشيل و إير ليكيد و إير برودكتز.

استكمالاً لتطوير الهيدروجين الأزرق في هولندا، أعلنت شركة إير برودكتز مؤخراً عن مشروع هيدروجين أزرق في إدمونتون، ألبرتا، كندا (13). بالاعتماد على تقنية الهيدروجين ذاتي الحرارة، سيتم تزويد منطقة ألبرتا بالهيدروجين النظيف على نطاق صناعي لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة هناك. يشتمل المشروع على محطة طاقة تعمل بوقود الهيدروجين، لتقليل كثافة انبعاثات شبكة الطاقة المحلية.

ظهور شراكات استراتيجية لقيادة عمليات تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

إن الحجم والتعقيد المتزايد لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، خاصة تلك التي تتضمن شبكات، يعني أنه من المهم أن تكون هناك شراكات بين مجموعة من الشركات. من الملاحظ تزايد تلك الشراكات بين قطاعات النفط والغاز، والتكنولوجيا والشحن، و مولدات الكهرباء، والموزعين، ومقدمي الخدمات المالية.

في عام 2021، أسست إكسون موبيل شركتها الجديدة "إكسون موبيل لو كربون سولوشنز" لحلول الكربون المنخفض. حيث ستقوم الشركة الجديدة بتسويق تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وتطوير مشاريع جديدة لاحتجاز وتخزين الكربون (14)، مع 3 مليارات دولار لاستثمارها بحلول عام 2025، قامت الشركة بالإعلان عن خطط لـ 20 مشروعاً جديداً لاحتجاز وتخزين الكربون حول العالم. إحدى تلك المبادرات هو مشروع هيوستن شيب تشانيل إنوفيشن لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهو مشروع مقترح لتطوير شبكة كبيرة لاحتجاز الكربون وتخزينه في مجمع هيوستن الصناعي مع تخزين خارجي بحري في خليج المكسيك.

عقدت شركتا سيمنز و أكر كاربون كابتشر لالتقاط الكربون شراكة لتطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بهدف التقاط الكربون الناتج عن توربينات الغاز ومن توليد الطاقة من الغاز. بينما تعمل جي 2 ونت باوير و سيمنز و إي جي إم (EJM) معاً لالتقاط الكربون في مصنع للغاز الطبيعي المسال في لويزيانا، الولايات المتحدة. كما عقدت شركة لافارج هولسيم شراكة مع شركة شلمبرجير لتطوير مصانع الالتقاط في منشآت الاسمنت في أوروبا والولايات المتحدة.

تتجه شركة إيني (ENI) للنفط الإيطالية العملاقة إلى استخدام تقنية احتجاز وتخزين الكربون على نطاق واسع. حيث سيقوم مركزها رافينا هاب في إيطاليا باستخدام حقول الغاز الطبيعي الناضبة لتخزين الكربون فيها. أبرمت إيني مذكرة تفاهم مع شركة الخدمات النفطية سايبم لتسهيل تطوير مرافق احتجاز الكربون وتخزينه، كما دخلت في شراكة مع شبكات قيد التطوير في المملكة المتحدة: إيتش واي نت نورث ويست، و نت زيرو تيساید. تقوم الشركة أيضاً بدراسة خيارات احتجاز الكربون وتخزينه مع شريكها سانتوس الأسترالية، نظراً لامتلاكها حصة جزئية في مرافق بايو أوندان البحرية في بحر تيمور بين أستراليا وتيمور الشرقية.

الشراكات الأخرى:

- في عام 2021، وسعت شيل أنشطتها في مجال احتجاز الكربون وتخزينه عندما أصبحت شريكاً أساسياً في مشروع الهيدروجين الأزرق لشبكة بورثوس، لنقل الكربون الى بنية تحتية مشتركة لالتقاط الكربون.
- تواصل شركة بي بي (بريتيش بتروليوم سابقاً) تطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ضمن شبكة نت زيرو تيساید في المملكة المتحدة، وذلك الى جانب شركائها إيني و إكوينو و شيل و توتال.
- جمع مشروع غرينساند بين إينيوس و ميرسك دريلينغ للحفر و وينترشال القابضة جي ام بي تي لتطوير شبكة لاحتجاز الكربون وتخزينه في الدنمارك مع التخزين في بحر الشمال.
- دخلت فاليرو و بلاك روك و نافيغيتور في شراكة لتطوير مشروع خط أنابيب غاز الكربون في الغرب الأوسط للولايات المتحدة لنقل غاز الكربون من مصانع الإيثانول الحيوي.
- تعمل بشتيل و دراكس معاً لتطوير الطاقة الحيوية على نطاق واسع من خلال مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه (الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه) في محطة دراكس لتوليد الطاقة الحيوية، إضافة إلى مشاريع جديدة في أوروبا وأمريكا الشمالية.
- دخلت ميتسوبيشي و ساوث بول في شراكة لتطوير مرفق شراء إزالة غاز الكربون. حيث يحقق مطورو المشروع إيرادات بالإضافة الى توفير أرصدة إزالة بالحجم الذي تحتاجه الشركات لأجل الوفاء بالتزاماتها الصافية الصفرية.

توضح كل شراكات احتجاز وتخزين الكربون أهمية وجود تلك الشبكات بالنظر الى ما توفره من وفورات الحجم الضرورية لتقليل تكاليف نقل وتخزين الكربون. كلما زاد نطاق وحجم تلك الشبكات حول العالم، كلما ساهم ذلك في وصول قطاع احتجاز الكربون وتخزينه الى صافي انبعاثات صفري.

2.3 تحديث السياسات العالمية

يعتمد عدد متزايد من الدول على تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في سياساتها المناخية طويلة المدى بهدف تقليل الانبعاثات من قطاعي الطاقة والصناعة، ولإزالة الكربون باستخدام الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه، ولالتقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه. كما يُلاحظ تأثير زيادة مجموعة مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه قيد التنفيذ على وضع السياسات المناخية الدولية.

أحد أهداف مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي 2021 في غلاسكو، إضافة إلى زيادة الطموح المناخي وتعبئة التمويل المناخي المرافق، هو وضع اللمسات الأخيرة على أسس اتفاقية باريس. ولعل أفضل مسار للتفاوض يمكن اتباعه من قبل مجتمع احتجاز الكربون وتخزينه هو المادة 6 التي تطرح فكرة التعاون الطوعي بين الدول لتحقيق أهداف الحد من الانبعاثات:

- إن إمكانية الحد من انبعاثات غازات الدفيئة وتحسين عمليات الإزالة ليست متساوية. لذا فإن التعاون الدولي بهذا المجال يمكن أن يساعد الدول على القيام بذلك على نحو أفضل، بالإضافة إلى زيادة الطموح المشترك للتخفيف من حدة تغير المناخ العالمي (15).
- فرص الوصول إلى مخازن لغاز الكربون هي أيضاً غير متساوية. حيث يمكن لأسواق الكربون أن تحفز تطوير مشاريع احتجاز وتخزين الكربون حول العالم لإنتاج انبعاثات أقل و / أو إزالتها. يمكن للدول المضيفة استخدام أرصدة الكربون أو بيعها للآخرين للمساعدة في تحقيق الأهداف المناخية.

قامت أربعة عشرة دولة، هي أستراليا والبحرين وكندا والصين ومصر وإيران والعراق وملاوي ومنغوليا والنرويج والمملكة العربية السعودية وجنوب إفريقيا والإمارات العربية المتحدة والولايات المتحدة، بإضافة احتجاز الكربون وتخزينه ضمن تقرير مساهماتها المحددة وطنياً اعتباراً من يوليو 2021. ومن المتوقع أن تقدم المزيد من الدول تقاريرها مع اقتراب الدورة السادسة والعشرين لمؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي، التي من المتوقع أن تُبرز فيها دور تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في أهدافها الوطنية لإزالة الكربون.

	المساهمات المحددة وطنياً الدولية	المساهمات المحددة وطنياً الأولى	المساهمات المحددة وطنياً الأولى المحدّثة	المساهمات المحددة وطنياً الثانية
أستراليا	—	✗	✓	
البحرين	—	✓		
كندا	✓	✗	✓	
الصين	✓	✓		
مصر	—	✓		
إيران	✓			
العراق	✓			
ملاوي	✓	✓		
منغوليا	✗	✗	✓	
النرويج	—	✓	✓	
المملكة العربية السعودية	✓	✓		
جنوب أفريقيا	✓	✓		
الإمارات العربية المتحدة	—	✓		✓
الولايات المتحدة	✗	✓		

✓ احتجاز الكربون وتخزينه مذكور في المساهمات المحددة وطنياً

✗ احتجاز الكربون وتخزينه غير مذكور في المساهمات المحددة وطنياً

— غير متوفر

الشكل 11 يبين احتجاز الكربون وتخزينه في المساهمات المحددة وطنياً للدول (اعتباراً من يوليو 2021)

يوضح الشكل 11 احتجاز الكربون وتخزينه ضمن تقرير المساهمات المحددة وطنياً لأطراف اتفاقية باريس. يحتل احتجاز الكربون وتخزينه مكانة متقدمة ضمن استراتيجيات التنمية المنخفضة الانبعاثات الطويلة المدى المُقدمة حتى الآن. تغطي هذه الوثائق فترة زمنية أطول من المساهمات المحددة وطنياً تمتد إلى عام 2050 وما بعد. سلط أكثر من 80 بالمائة من الدول الضوء على دور تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه ضمن خططها الوطنية لإزالة الكربون اعتباراً من يونيو 2021.

وبالنظر عن قرب إلى استراتيجيات التنمية المنخفضة الانبعاثات نرى أن:

- 18 دولة ترى دوراً لتقنية احتجاز وتخزين الكربون في إزالة الكربون الصناعي
- 12 دولة تذكر استخدام الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه و / أو عبر التقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه لإزالة غاز الكربون من الغلاف الجوي
- 9 دول تنظر في استخدام احتجاز الكربون وتخزينه مع إنتاج الطاقة من المصادر الأحفورية.

يوفر احتجاز وتخزين الكربون أساس لإزالة الكربون بطرق تقنية، من خلال الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه و التقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه. هذا وزاد الاهتمام بهذين الخيارين في العامين الماضيين.

عند تصميم وتنفيذ السياسات لتحقيق أهداف صافي انبعاثات صفري ومن ثم صافي انبعاثات سلبي، غالباً ما يكون التركيز على تقليل الانبعاثات. سيؤدي الحد من الانبعاثات إلى دفع الطموح المناخي في العقود القادمة نحو الأمام، ولكن لابد من التركيز على إزالة الكربون من بعد ذلك. بمجرد الوصول إلى صافي انبعاثات صفري، سيكون تحقيق هدف إزالة الكربون هو المحرك الرئيسي (16). ولكن لسوء الحظ، لا تزال الإدارة والحوافز السياسية فيما يخص إزالة الكربون متثاقلة الخطى.

سيكون من الممكن الحصول على نظرة عامة وشاملة على إدراج تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في المساهمات المحددة وطنياً و استراتيجيات التنمية المنخفضة الانبعاثات بمجرد أن تقوم المزيد من الدول بإرسال تقاريرها. على الرغم من أن الموعد الأخير كان في عام 2020، قدم 88 طرفاً فقط من أصل 192 تقارير مساهماتهم المحددة وطنياً المُحدَّثة، وقدم 29 فقط تقارير استراتيجيات التنمية المنخفضة الانبعاثات الخاصة بهم بدءاً من مايو 2021. وتشمل أسباب التأخير: تأجيل مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي إلى 2021، و الوقت اللازم لاستيعاب تأثير الجائحة العالمية، وضرورة إنشاء صناديق مختلفة للتعافي من الجائحة في التقارير القادمة.

في حين أن بعض الدول المتقدمة قد اتخذت خطوات مهمة لتفعيل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، لا تزال الدول النامية متخلفة عن الركب كثيراً (17). ومع ذلك، فإن الاقتصادات الناشئة في العالم بحاجة ماسة لمثل تلك التقنيات (18). تمثل الاقتصادات الناشئة بيئات استثمارية عالية المخاطر مما يزيد من الفجوة التمويلية أيضاً، حيث لا تستطيع الشركات ذات الميزانيات الأصغر أو المحدودة من تمويل مرافق احتجاز الكربون دون وجود تمويل خاص بذلك. وهذا بدوره يمنع الاستعانة بالمشروع الذي يتم تمويله بالفعل، حسب ما تمت مناقشته في القسم 4.2. يلعب التمويل المناخي دوراً أساسياً في سد فجوات التمويل ويمكن أن يدعم استثمارات احتجاز الكربون وتخزينه.

صندوق المناخ الأخضر هو الصندوق الرأسي الأبرز لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن التغير المناخي. وقد تم تطويره خصيصاً لمساعدة الدول النامية على الوفاء بالتزاماتها بموجب اتفاقية باريس. يمكن لصندوق المناخ الأخضر أن يدعم تسليم مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه من خلال مجموعة من الأدوات المالية، بما فيها المنح وضمانات القروض والقروض الميسرة والاستثمارات في رأس المال. من خلال الشراكة مع مستثمري القطاع الخاص، يقدم الصندوق المناخ الأخضر نهج تمويل مختلط يجمع بين مصادر مختلفة لرأس المال لتقليل المخاطر ولجعل جهود المناخ قابلة للتطبيق.

يمكن تمويل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه أيضاً من خلال أرصدة الكربون، وهي شكل من أشكال تمويل الكربون. يتم استخدام الأرصدة لتعويض الانبعاثات إما محلياً أو في أي مكان آخر في العالم. يمكن استخدام خطط الائتمان الكربوني في إطار التمويل المناخي لتحفيز دراسة جدوى اقتصادية لمشروعات احتجاز الكربون وتخزينه، وبالنتيجة زيادة رأس المال المحتمل. يشكل الائتمان الكربوني الأساس الذي يقوم عليه سوق الكربون الدولي، وذلك من خلال الامتثال أو أسواق مساهمات الكربون الطوعية، أو من خلال الاتفاقات الثنائية بين الدول.

أدت الأهدا المناخية الطموحة للدول والشركات والمدن والمناطق إلى نمو هائل في نماذج أسواق مساهمات الكربون الطوعية. حيث سلطت مبادرة رئيسية لفريق عمل بقيادة المبعوث الخاص للأمم المتحدة المعني بالعمل المناخي والتمويل مارك كارني حول توسيع أسواق مساهمات الكربون الطوعية الضوء على الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه و التقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه، باعتبارها فئة نمو هامة وجيدة لتوسيع نطاق إزالة الكربون على المدى القصير إلى المتوسط (19). مع أن الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه و التقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه لا تظهران ضمن أكبر خمسة معايير لأسواق مساهمات الكربون الطوعية ولكنها تبقى فاعلة وتصدر أرصدة كربونية.

أصدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ النتائج التي توصلت إليها مجموعة العمل الأول لتقرير التقييم السادس (AR6) في أوائل أغسطس. شارك أعضاء من فريق المعهد كمراجعين خبراء، وقدموا جولتين من التعليقات إلى جزء التقييم السادس الأكثر صلة باحتجاز الكربون وتخزينه، الذي هو مساهمة مجموعة العمل الثالثة فيما يخص التخفيف من تأثير تغير المناخ (20). لدى كُتّاب تقرير التقييم السادس الآن مجموعة متزايدة من المؤلفات العلمية المتعلقة بكافة جوانب تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، وأكثر بكثير مما كان متاحاً لدى إعداد تقرير التقييم الخامس (AR5) والتقرير الخاص بـ 1.5 درجة مئوية. من المتوقع أن يتم الانتهاء من مساهمات مجموعات العمل الثلاث التابعة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في تقرير التقييم السادس في العام 2021، واستكمال التقرير التجميعي الختامي في النصف الأول من عام 2022.

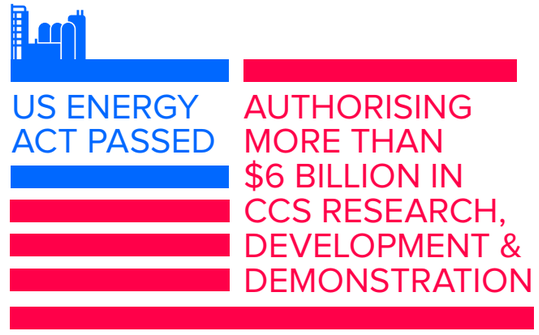
3.0 لمحات عامة إقليمية

1.0 مقدّمة
2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الاقتصادي
2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء العالم 10
2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق 12
2.3 تحديث السياسات العالمية 22
3.0 لمحات عامة إقليمية
3.1 أمريكا الشمالية 26
3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38
3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 44
4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام
4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50
4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53
4.4 الصناعة 54
4.5 الهيدروجين 55
4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58
4.7 كَرْبَنَة المعادن 59
5.0 الملاحق
5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62
5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68
5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70
6.0 المراجع 76

3.1 أمريكا الشمالية

More than 40 new projects and networks have been announced since the release of the 2020 Status Report.

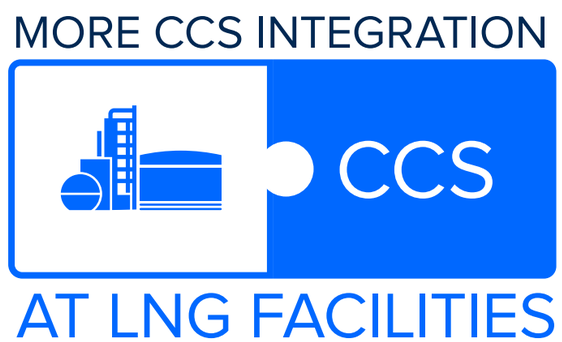
The US Energy Act of 2020 passed, which authorised more than US$6 billion for CCS research, development and demonstration.



Two large-scale CCS networks with biorefineries were announced in the US Midwest, facilitated by low CO_2 capture costs from ethanol production and potential access to 45Q and LCFS incentives.

Support for CCS in Canada greatly accelerated with newly proposed CCS incentive policies and continued investment in CCS technologies. Large and diverse CCS projects and network elements were announced – with the Province of Alberta leading the way.

Market interest in low carbon LNG is leading to the announced integration of CCS at more LNG facilities.



تم الإعلان عن أكثر من 40 شبكة ومشروعاً جديداً لاحتجاز وتخزين الكربون منذ نشر تقرير الحالة العالمية لاحتجاز وتخزين الكربون لعام 2020، وهو اتجاه تصاعدي واضح في أمريكا الشمالية. تم توفير عوامل عدة للمساهمة في تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الولايات المتحدة وكندا، بما فيها أولويات الحكومة الداعمة لحلول تغير المناخ، والعودة إلى اتفاقية باريس من جانب الولايات المتحدة، والانتهاء من لوائح 45كيو 1، وتوقعات زيادة الطلب العالمي على أنواع الوقود والمنتجات منخفضة الكربون. هذا بالإضافة الى زيادة الوعي بتحديات إزالة الكربون، الأمر الذي ساهم في تحفيز الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه.

نظرة عامة على الاتجاهات الإقليمية

تم الإعلان عن شبكات احتجاز الكربون وتخزينه، بعضها من أكبر الشبكات على الإطلاق، وسط بيئات سياسية داعمة بشكل متزايد وعلى خلفية أهداف مناخية طموحة. تضمنت الشبكات المُعلن عنها مجموعات كبيرة من بواعث الطاقة الموجودة بالقرب من خيارات البنية التحتية والتخزين الجيولوجي (← انظر "شبكات احتجاز الكربون واسعة النطاق"). كما تم الإعلان عن شبكتين واسعتي النطاق لاحتجاز الكربون وتخزينه في الغرب الأوسط بالولايات المتحدة محفزتين بإمكانية الوصول إلى لائحة 45كيو ومعيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون، بالإضافة الى التكلفة المنخفضة نسبياً لالتقاط الكربون من مصانع الإيثانول (← انظر "المصافي الحيوية وشبكات احتجاز الكربون وتخزينه").

أدت توقعات زيادة الطلب على المنتجات الصناعية والوقود ذات البصمة الكربونية المنخفضة إلى تسريع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في القطاعات التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها، حيث عمد المشترون الى النظر بشكل أكثر جدية في البصمات الكربونية للمنتجات وسلاسل التوريد الخاصة بها. شهد قطاع الاسمنت الإعلان عن العديد من المشاريع التجريبية والتجارية وإطلاقها، والتي على الرغم من التحديات المتمثلة في ارتفاع تكاليف الالتقاط، اتبعت نهجاً استباقياً لتفعيل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وذلك استجابةً لتوقعات الطلب المستقبلي على منتجات الاسمنت منخفضة الكربون.

كما ظهرت أيضاً مشاريع وقود منخفض الكربون على نطاق واسع مع إعلان ادماج احتجاز وتخزين الكربون في مشاريع الغاز الطبيعي المسال المخطط لها (← انظر "دور احتجاز وتخزين الكربون في انتاج الغاز الطبيعي المسال منخفض الكربون"). كما تم الإعلان عن مشاريع متعددة واسعة النطاق تتضمن احتجاز الكربون وتخزينه لإنتاج أنواع وقود أخرى منخفضة الكربون (1) (2).

تلقت التقنيات التي تلتقط الكربون مباشرة من تدفقات غاز المداخن باستخدام مواد ماصة صلبة أو طرق مبتكرة أخرى دعماً تجارياً واسعاً من الاستثمارات العامة والخاصة. حيث تم تأكيد دعم التشغيل المستمر لدورة ألام فيتفيدت 2 للطاقة من خلال الإعلان عن دراسة جدوى في كندا ومشروعين ضخمين في الولايات المتحدة باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ذات الاحتراق المتقدم (3)، (4)، (5). (الشكل 11)

تم دعم تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه القادرة على تحقيق انبعاثات سلبية، بما في ذلك تقنية التقاط الهواء المباشرة وتقنية توليد الطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه، من قبل مجموعة واسعة من الصناعات التي أخذت على عاتقها تعهدات صافية صفرية، بما فيها قطاعي التقنية والتجارة عبر الإنترنت. تُعد استثمارات شركات التقنية في تقنيات إزالة الكربون مثالاً على هذا التوجه (6)، (7).

مع التركيز على إعلان قيام المشاريع الجديدة، تجدر الإشارة إلى أن أكثر من نصف مرافق احتجاز وتخزين الكربون التجارية العاملة في العالم حالياً تقع في الولايات المتحدة أو كندا ويعمل معظمها بشكل سليم لسنوات. على سبيل المثال، قامت منشأة شوت كريك في وايومنغ بالتقاط وتخزين أكثر من 110 مليون طن من الكربون منذ أن بدأت عملياتها في عام 1986 (8). في حين لا تزال منشآتي بترا نوفا و لوست كابين خارج الخدمة، استطاعت العديد من مرافق احتجاز الكربون وتخزينه الأخرى الموجودة في الأمريكتين تحقيق مراحل تخزين مذهلة في العام الماضي.

حتى الآن تم التقاط وتخزين أكثر من 40 مليون طن من الكربون من مصنع غريت بلينز سينغيول، و 20 مليون طن من مصنع تيريل لمعالجة الغاز الطبيعي، و 11 مليون طن من مصنع إينيد للأسمدة.

الولايات المتحدة

السياسة

ازداد الدعم لسياسة احتجاز الكربون وتخزينه في الولايات المتحدة بشكل كبير. حيث خصص الكونغرس في السنة المالية 2021، 228.3 مليون دولار أمريكي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، بزيادة قدرها 10.5 مليون دولار أمريكي عن تمويل العام السابق لمكتب إدارة الطاقة الأحفورية والكربون (9). بموجب هذا التمويل، إضافة الى الأموال المتبقية من السنة المالية السابقة، قامت وزارة الطاقة الأمريكية بالالتزام أو منح اتفاقيات تمويل مشترك لدراسات التصميم الهندسي للواجهات الأمامية لتقنيات التقاط غاز الكربون من مصادر الغاز الطبيعي والصناعي، و التقاط الكربون من الهواء مباشرة، والاستخدام والتخزين الجيولوجي لغاز الكربون. كما أصدرت وزارة الطاقة أيضاً استراتيجية الهيدروجين (10) التي توضح بالتفصيل دور احتجاز الكربون وتخزينه في عملية الانتقال إلى اقتصاد الهيدروجين.

تم تمرير قانون الطاقة الأمريكي لعام 2020 (11) في ديسمبر 2020 كجزء من قانون التحفيز. تمت الموافقة على أكثر من 6 مليارات دولار أمريكي لبرامج البحث والتطوير والبيان العملي المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه في وزارة الطاقة ووكالة حماية البيئة للسنوات المالية 2021 – 2025. ويشمل هذا التمويل الهام ما يلي:

- 2.6 مليار دولار أمريكي لستة مشاريع توضيحية على نطاق تجاري (غاز طبيعي، فحم، صناعي)
- 1 مليار دولار أمريكي للمشاريع التجريبية واسعة النطاق
- 910 مليون دولار أمريكي لوزارة الطاقة للبحث والتطوير لمستوى الجاهزية التقنية 3
- 800 مليون دولار أمريكي لبرنامج تخزين الكربون واسع النطاق والتحقق من صلاحيته
- 200 مليون دولار أمريكي لدراسات الهندسة والتصميم الأولية
- أكثر من 1 مليار دولار أمريكي للأنشطة الأخرى.

قدمت الخزانة و دائرة الإيرادات الداخلية الأمريكية، في يناير 2021، الضمان التنظيمي المنتظر المتعلق بتنفيذ الائتمانات الضريبية الخاصة بـ 45كيو (12). تضمن التشريع توضيحات مهمة حول شهادة التخزين الجيولوجي، وتجميع المشاريع المتعددة، وتقليل فترة المراجعة رقم 4 لاسترداد الائتمان، وتعريف أوسع باستخدامات الكربون. مدد قانون الطاقة الأمريكي لعام 2020، المشار إليه أعلاه، الموعد النهائي لبداية الإنشاء 5 إلى 1 يناير 2026 (11).

تلقت تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه دعماً واضحاً مع مشاريع قوانين رئيسية تم تقديمها إلى الكونغرس خلال العام 2021. وتتضمن التشريعات (التي لم يتم الموافقة على أي منها بعد الى وقت الانتهاء من هذا التقرير) عناصر تدعم تفعيل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه بما في ذلك:

- تعديلات على 45كيو من حيث:
  - ← رفع قيمة الائتمان للتخزين الجيولوجي والاستخدام و التقاط الكربون من الهواء
  - ← توفير خيار الدفع المباشر
  - ← تمديد موعد بداية الإنشاء إلى عشر سنوات

السماح للائتمان بتعويض الالتزامات الضريبية للشركات متعددة الجنسيات بسهولة أكبر

- **1 45كيو هو ائتمان ضريبي أمريكي لاحتجاز الكربون وتخزينه.**

2 دورة ألام فيتفيدت هي تقنية مبتكرة لتوليد الطاقة تعمل بالغاز الطبيعي (أو غاز اصطناعي من تغويز الفحم) مع قدرة متأصلة لالتقاط الكربون.

3 مستوى الجاهزية التقنية (TRL). هناك 9 مستويات للجاهزية التقنية من المستوى 1: البحث الأساسي، حتى المستوى 9: مبرهن تماماً وجاهز للتطبيق التجاري.

4 "فترة الاسترجاع" هي جزء من فترة الاستعادة التي يمكن خلالها لـدائرة الإيرادات الداخلية الأمريكية استرداد أرصدة 45كيو لدى حدوث حادث تسرب (12).

5 الموعد النهائي "لبداية الإنشاء" هو التاريخ الذي يجب أن يبدأ فيه انشاء المشاريع لتخويلها للتأهل للحصول على ائتمان 45كيو الضريبي. قامت دائرة الإيرادات الداخلية بالتعريف بأساليب تحديد بداية الإنشاء (24)

أعلاه: قناة هيوستن شيب. الصورة مُقدمة من إكسون موبيل/روبرت سيل

شبكات احتجاز الكربون وتخزينه واسعة النطاق

شكل الإعلان عن العديد من شبكات احتجاز الكربون وتخزينه الواسعة النطاق تعزيزاً لدور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في تخفيف الانبعاثات ولفوائدها الاقتصادية. كان أكبر تلك الشبكات هو اقتراح شركة إكسون موبيل بناء منطقة ابتكار لاحتجاز الكربون وتخزينه في قناة هيوستن للسفن تسعى إلى الجمع بين أصحاب المصلحة لدعم التقاط ما يصل إلى 100 مليون طن سنوياً من الكربون مع التخزين الجيولوجي الدائم في خليج المكسيك (26)، (27). منذ الإعلان الأولي عن الشبكة في أبريل 2021، أعربت عشر شركات إضافية عن رغبتها في المشاركة في المشروع.

تم الإعلان عن ثلاث شبكات واسعة النطاق لاحتجاز وتخزين الكربون في ألبرتا، كندا. أعلنت شركة شيل كندا عن مشروعها بولاريس، وهو مشروع ذو مرحلتين في مجمع سكوتفورد بالقرب من إدمونتون. ستلتقط المرحلة الأولى فيه حوالي 0.75 مليون طن سنوياً من الكربون من مصفاة ومصنع كيماويات سكوتفورد.

وستنشئ المرحلة الثانية مركزاً لتخزين الكربون لزيادة إزالة الكربون من منشآت شيل وتوفير التخزين لطرف ثالث. سيكون بمقدور المركز عند اتمام بنائه بالكامل تخزين ما يصل إلى 10 مليون طن سنوياً من الكربون بقدرة كلية تصل إلى حوالي 300 مليون طن سنوياً على مدار عمر المشروع.

كشفت بيمبينا و تي سي إنيرجي عن خطط مشتركة لتطوير شبكة الكربون في ألبرتا، وهو عبارة عن نظام مفتوح الوصول وواسع النطاق لنقل أكثر من 20 مليون طن سنوياً من الكربون إلى موقع عزل شمال شرق ريدووتر وإلى مواقع عزل أخرى تابعة لجهات خارجية (28).

تم الإعلان عن شبكة باثويز لاحتجاز وتخزين واستخدام الكربون من قبل شركة أويل ساندز باثوويز تو نت زيرو، وهو تحالف من منتجي الرمال النفطية الكنديين. سيربط الخط الرئيسي المقترح لنقل الكربون ما يصل إلى أكثر من 20 مرفقاً متخصصاً برمال النفط بموقع تخزين بالقرب من كولد ليك. ستلتقط المرحلة الأولى من المشروع 8.5 مليون طن سنوياً من الكربون من ثمانية مرافق، وبعد اكتمال الإنشاء بالكامل، سيلتقط المشروع ما يصل إلى 40 مليون طن سنوياً من الكربون (29).

- تمويل البنية التحتية للكربون وتخزينه وتمويل الموافقة على هذه المشاريع 6
- تعديلات على الإعفاءات الضريبية 48A الحالية لأرصدة احتجاز الكربون وتخزينه في عمليات التعديل التحديثي لمحطة الطاقة التي تعمل بالفحم
- التمكين من استخدام هيكل شراكة محدودة رئيسي يتمتع بامتيازات ضريبية

شراء سندات نشاط خاص معفاة من الضرائب 7 لتمويل عمليات التعديل التحديثي لاحتجاز وتخزين الكربون.

التطورات التنظيمية

تتمثل الخطوة الحاسمة لتطوير مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الحصول على تصاريح لآبار حقن غاز الكربون عبر برنامج الفئة السادسة للتحكم بالحقن تحت الأرض التابع لوكالة حماية البيئة. تدير وكالة حماية البيئة (EPA) عملية السماح بالبئر من الفئة السادسة، باستثناء نورث داكوتا وايومنغ اللتان تحظيان بتفويض الأولوية على القوانين المحلية. قدمت لويزيانا طلب أولوية من الفئة السادسة إلى وكالة حماية البيئة (13). كما عمدت وكالة حماية البيئة، استجابةً للاهتمام المتزايد بتصاريح الآبار من الفئة السادسة، إلى إضافة معلومات إلى موقعها الالكتروني بما في ذلك مخطط طلب تصريح من الفئة السادسة وجدول بآبار الفئة السادسة المسموح بها والمقترحة وبرامج فيديو تعليمية (14).

أصدر مكتب الأراضي العام في تكساس في أبريل 2021 أول طلب تقديم عروض لإنشاء وتشغيل مستودع تخزين جيولوجي لغاز الكربون تحت الأرض المغمورة في مقاطعة جيفرسون البحرية، بما في ذلك إنشاء البنية التحتية للنقل والتخزين (15). كان طلب تقديم العروض هذا هو الأول من نوعه لموقع تخزين متوقع لغاز الكربون في مياه تكساس البحرية.

تطورات التخزين الجيولوجي

تعد التكوينات الملحية العميقة الكبيرة الحجم و العالية النفاذية من الموارد الهامة لشبكات ومشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وذلك كونها مثالية لحقن كميات عالية من الكربون. لقد أدت دراسات التوصيف التي أجراها المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة التابع لوزارة الطاقة الأمريكية، بالإضافة إلى استكشاف وتقييم تكوينات التخزين المحتملة الأخرى بواسطة برنامج كربون سيف (CarbonSAFE) التابع للمختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة، إلى تحديد مواقع تخزين الكربون البرية المناسبة في الولايات المتحدة على وجه أكمل. من المتوقع أن تعمل هذه الدراسات على زيادة الثقة بدعم تطوير احتجاز وتخزين الكربون.

كندا

السياسة

أصدرت حكومة كندا وثيقة "بيئة صحية واقتصاد صحي" في ديسمبر 2020 (16)، اقترحت فيها تطوير استراتيجية شاملة لتقنية احتجاز وتخزين واستخدام الكربون في كندا وأطلقت تحدي زيرو كربون للانبعاثات من القطاعات الصناعية الكبيرة لتشجيع تحقيق وضع خطط صافي انبعاثات صفري بحلول 2050. كما أُعلنت عن "صندوق الابتكار الاستراتيجي لتسريع الوصول الى زيرو كربون" لتوفير 3 مليار دولار كندي على مدى السنوات الخمس المقبلة لتمويل المبادرات بما في ذلك مشاريع إزالة الكربون للقطاعات ذات الانبعاثات الكبيرة. في ديسمبر 2020 أطلقت وزارة الموارد الطبيعية (17) استراتيجية الهيدروجين لكندا، حيث تم توصيف تجربة كندا في إنتاج الهيدروجين الأزرق والإمكانيات المستقبلية لاحتجاز وتخزين الكربون باعتباره جزءاً من استراتيجية موسعة لإنتاج هيدروجين منخفض الكثافة الكربونية.

6 أقر مجلس الشيوخ هذه العناصر في أغسطس 2021 كجزء من قانون البنية التحتية للاستثمار والوظائف المشترك بين الحزبين.

7 سندات النشاط الخاص المعفاة من الضرائب هي سندات معفاة من الضرائب تصدرها الحكومات المحلية أو حكومات الولايات، وهي ذات فترات سداد طويلة.

نصير احتجاز الكربون وتخزينه

د. جينيفر ويلكوكس

نائب مساعد وزير الطاقة الأول، مكتب إدارة الطاقة الأحفورية والكربون، وزارة الطاقة الأمريكية

لم يتبق لدينا سوى القليل من الوقت لتجنب بعض أسوأ آثار التغير المناخي وتهديداته لمجتمعاتنا وصحتنا العامة واقتصاداتنا. يمكننا مواجهة هذا التحدي عبر تجنب انبعاثات الكربون من خلال التقاط الكربون من المصدر وثم تخزينه بشكل جيد وإزالته من الغلاف الجوي. نحن نعلم أن تطبيق إزالة غاز الكربون هو أمر بالغ الأهمية وخاصة في القطاعات الصناعية التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها لتحقيق صافي انبعاثات صفري. لذلك نحن بحاجة لنقل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وإزالة الكربون خارج صوامعها وتوسيع التركيز على إزالة الكربون من سلاسل التوريد، بما فيها مواد البناء والمواد الكيميائية والوقود. لدى القيام بذلك بشكل استراتيجي وتعاوني، فإن تفعيل هذه الأساليب لن يساعدنا فقط على معالجة أزمة المناخ، بل سيدعم أيضاً إنشاء وظائف عالية الجودة ضمن اقتصاد نظيف يساعد السكان والمجتمعات المتأثرة بشكل غير متناسب بتغيرات المناخ.

"نحن بحاجة لنقل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وإزالة الكربون خارج صوامعها وتوسيع التركيز على إزالة الكربون من سلاسل التوريد، بما فيها مواد البناء والمواد الكيميائية والوقود"

د. جينيفر ويلكوكس

3.0 لمحات إقليمية عامة

3.1 أمريكا الشمالية

- **المصافي الحيوية وشبكات احتجاز الكربون وتخزينه**
- ساهمت إمكانية الحصول على الائتمان الضريبي 45كيو والتكلفة المنخفضة نسبياً لالتقاط الكربون من مصانع الإيثانول ومعيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون في الإعلان عن شبكتين واسعتي النطاق لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في
- الغرب الأوسط بالولايات المتحدة:
- أعلنت شركة ساميت كربون سلوشينز عن مشروع من شأنه أن يربط أكثر من ثلاثين مصفاة حيوية، بإجمالي التقاط يبلغ حوالي 8 مليون طن سنوياً في الغرب الأوسط الأمريكي، بمواقع تخزين جيولوجي في شمال داكوتا (34). من المتوقع أن يشكل هذا المشروع أكبر شبكة لاحتجاز الكربون وتخزينه وأكبر مشروع توليد الطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه في العالم.
- اقترحت نافيجيتور 2□□ فينتشرز، بالتعاون مع فاليرو و بلاك روك، شبكة احتجاز الكربون وتخزينه تمتد لأكثر من 1,930 كيلومتراً عبر خمس ولايات في الغرب الأوسط الأمريكي. سينقل خط أنابيب هارتلاند جرينواي غاز الكربون من المصافي الحيوية والمنشآت الصناعية الأخرى في أيوا وإلينوي ونبراسكا ومينيسوتا وساوث داكوتا إلى موقع تخزين جيولوجي في إلينوي بقدرة تصل إلى 5 مليون طن سنوياً (35)، (36).

ساميت كربون سلوشينز - شبكة مصفاة حيوية قيد التخطيط.
مقدمة من ساميت كربون سلوشينز، ذ م م

منشأة نيكستديكييد ريو غراندي للغاز الطبيعي المسال - براونزفيل، تكساس. مُقدمة من مؤسسة نيكستديكييد

دور شبكة احتجاز الكربون وتخزينه في إنتاج الغاز الطبيعي المسال المنخفض الكربون

مع تزايد اهتمام السوق بالغاز الطبيعي المسال المنخفض الكربون، أعلنت مرافق أكثر لإنتاج الغاز الطبيعي المسال العام الماضي عن ادماج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أو التخطيط له:

- أعلنت نيكستديكييد عن ادماج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مشروعها المخطط له نيكستديكييد ريو غراندي للغاز الطبيعي المسال في تكساس كجزء من عملية إزالة الكربون من سلسلة التوريد الخاصة بالغاز الطبيعي المسال. سيلتقط المشروع ما يصل إلى 5 مليون طن سنوياً من الكربون (33).
- أعلنت فينتشر جلوبال للغاز الطبيعي المسال عن خطط لالتقاط واحتجاز ما يقدر بنحو 0.5 مليون طن سنوياً من الكربون من منشأتين للغاز الطبيعي المسال قيد الإنشاء، هما كالكاسيو باس و البرسيمون (34).
- بينت شركة سيمبرا إلى انها تنظر في ادماج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منشأتها كاميرون للغاز الطبيعي المسال. وبالمثل، تدرس تشينير إنيرجي إمكانية تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منشأتيها كوربس كريستي للغاز الطبيعي المسال في تكساس و سابين باس في لويزيانا (35، 36).

كما أعلنت شركة جي2 نت زيرو للغاز الطبيعي المسال، الواقعة على قناة كالكاسيو شيب، عن نيتها استخدام تقنية دورة ألام فيتفيدت التابعة لشركة نت باوير والتي ستزيل انبعاثات الكربون من عملية تسييل الغاز الطبيعي بالمنشأة (37).

نصير احتجاز الكربون وتخزينه

سونيا سافاج

وزير الطاقة بمقاطعة ألبرتا

كمقاطعة رائدة في تطوير تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، استطاعت ألبرتا تقليل الانبعاثات في مجموعة متنوعة من القطاعات، مثل النفط والغاز وصناعة الأسمدة وإنتاج الهيدروجين. نحن نرى في هذه التقنية أساس تحقيق انبعاثات كربونية منخفضة مع إمكانية تطوير نشاطات اقتصادية طويلة المدى ومساعدة كندا على تحقيق أهدافها المناخية. نثني على جهود المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون في تعزيز ودعم تطوير هذه التقنية حول العالم.

"نحن نرى في هذه التقنية أساس تحقيق انبعاثات كربونية منخفضة مع إمكانية تطوير نشاطات اقتصادية طويلة المدى ومساعدة كندا على تحقيق أهدافها المناخية. نثني على جهود المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون في تعزيز ودعم تطوير هذه التقنية حول العالم" سونيا سافاج

تشمل منطقة آسيا والمحيط الهادئ الدول التي تملك بعض من أكبر قطاعات وأسرعها نمواً لانبعاثات غازات الدفيئة في العالم، وحيث سيكون لتطبيق تقنية احتجاز وتخزين الكربون أهمية بشكل خاص لأجل تحقيق أهداف مناخية طموحة. على الرغم من أن المنطقة قد شهدت في الأشهر الـ 12 الماضية العديد من التطورات الإيجابية، إلا أن الاستثمار في مرافق احتجاز وتخزين الكربون التجارية لا يزال متخلفاً جداً عنه أمريكا الشمالية وأوروبا.

نمو مشاريع احتجاز وتخزين الكربون قيد التنفيذ

تمت إضافة خمسة مرافق جديدة واسعة النطاق في منطقة آسيا والمحيط الهادئ إلى قاعدة بيانات المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه. يتمثل أحد أهم العوامل التي تميز تطوير احتجاز وتخزين الكربون في آسيا والمحيط الهادئ عن أوروبا أو أمريكا الشمالية في كون غالبية المشاريع الجديدة تظهر في بلدان النامية حيث نمو الانبعاثات هو الأسرع و دعم السياسات التشريعية الوطنية غير كافٍ. (F12)

أستراليا

المشاريع

تم الإعلان عن مرافق ومراكز جديدة لاحتجاز وتخزين الكربون:

- تعمل بريدجبورت إنيرجي على تطوير مشروع موني الخاص بها، والذي يستهدف التقاط حوالي 1 مليون طن سنوياً من الكربون من محطات الطاقة القريبة، لاستخلاص النفط المحسَّن والتخزين في جنوب شرق كوينزلاند. من المقرر أن يباشر المشروع العمل في عام 2023، ليصل إلى 1 مليون طن سنوياً بحلول 2028.
- أقامت سانتوس و إيني شراكة لتطوير مركز تخزين لاحتجاز الكربون وتخزينه في حقل بايو أوندان في بحر تيمور، قبالة ساحل تيمور الشرقية، بهدف تخزين الكربون المنبعث من عملياتهما الخاصة ومن بواعث أخرى مستقبلية (38). تفاصيل أكثر حول المشروع غير متوفرة بعد.

تم إحراز تقدم في المرافق التي تم الإعلان عنها مسبقاً:

- استكمل مشروع موومبا، التابع لشركة سانتوس، دراسات التصميم الهندسي للواجهات الأمامية وحصل على الموافقة البيئية من حكومة جنوب أستراليا. من المتوقع أن يكون المشروع قادراً على تخزين 1.7 مليون طن سنوياً من الكربون الناتج عن معالجة الغاز الطبيعي في حوض كوبر. ومن المتوقع أن يُتخذ قرار الاستثمار النهائي قبل نهاية عام 2021.
- واجه مشروع غورغون التابع لشركة شيفرون صعوبات فنية متعلقة بالضغط ولن يفي بمتطلبات الحكومة التي تقضي بضرورة عزل 80 بالمائة على الأقل من غاز الكربون في الخزان كل خمس سنوات (المتوسط المتداول) تحت الأرض (39). ومع ذلك، فقد استطاع المشروع ضخ ما يقرب من 5 مليون طن من الكربون من منتصف يوليو 2021.

مشروع توضيحي لسلسلة إمدادات طاقة الهيدروجين

يبين مشروع توضيحي لسلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية كيفية تحويل الفحم البني المستخرج من وادي لاتروب فالي إلى هيدروجين، لإنتاج ما يصل إلى 70 كغم من الهيدروجين يومياً، بالإضافة الى اختبار لوجستيات نقل الهيدروجين بين فيكتوريا واليابان. يتم تنفيذ المشروع بالشراكة بين كاواساكي للصناعات الثقيلة و

جي باور (J-POWER) و ماروبيني كوربوريشن و إي جي إل (AGL) و سوميتومو كوربوريشن بدعم من حكومات فيكتوريا وأستراليا واليابان. من المتوقع، بين الربع الرابع من 2021 والربع الأول من 2022، وصول ناقل الهيدروجين السائل، سويسو فرونتير، إلى فيكتوريا لشحن الهيدروجين السائل إلى محطة الهيدروجين التابعة لمشروع سلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية في كوبي، اليابان (40). يجمع هذا المشروع الإيضاحي بيانات قيّمة حول جدوى إنشاء منشآت تجارية لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأزرق في فيكتوريا. ومن المتوقع في حال استمرار تلك المنشآت أن تقوم بتوظيف مواقع تخزين جيولوجية من الطراز الأول في حوض جيبسلاند لتخزين الكربون الدائم.

السياسة

في عام 2020، أصدرت الحكومة الأسترالية خارطة طريق الاستثمار التقني، وهو أول بيان لتقنية الانبعاثات المنخفضة، الذي حدد احتجاز الكربون وتخزينه والهيدروجين النظيف وتخزين الطاقة والمواد الأولية منخفضة الكربون وكربون التربة كتقنيات ذات أولوية (41). واستناداً إلى خارطة طريق الاستثمار التقني، أعلنت الحكومة الأسترالية عن تمويل جديد بقيمة 263.7 مليون دولار أسترالي لدعم مشاريع ومراكز احتجاز وتخزين الكربون/ احتجاز واستخدام وتخزين الكربون، و 275.5 مليون دولار أسترالي لدعم أربعة مراكز هيدروجين نظيف (42). كما تم منح صندوق تنمية احتجاز واستخدام وتخزين الكربون، المعلن عنه سابقاً، 50 مليون دولار لستة مشاريع تغطي معالجة الغاز الطبيعي والاسمنت و التقاط الكربون من الهواء والغاز الحيوي واستخدام/ تمعدن الكربون (43).

التطورات التنظيمية

في تطور إقليمي ملحوظ، أصدرت الحكومة الأسترالية مسودة قانون احتجاز الكربون وتخزينه والتي سيسمح بإدراج احتجاز الكربون وتخزينه في صندوق الحد من الانبعاثات. سيسمح مشروع القانون لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه المؤهلة بتلقي وحدات ائتمان الكربون الأسترالية (ACCUs)، والتي يمكن بيعها للحكومة بموجب عقد، أو لكيانات خاصة من خلال السوق الثانوية. يشكل ذلك أول مخطط حوافز مالية للحد من انبعاثات الكربون من خلال احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، والذي من شأنه أن يساهم في تفعيل المشاريع على نطاق أوسع. إن تحقيق الاتساق في الولايات القضائية، لا سيما فيما يتعلق بالأهلية والرصد والتحقق، سيكون ضرورياً. ولذلك، أنشأ المعهد شبكة منظمي احتجاز الكربون وتخزينه الاسترالية لتعزيز تبادل المعرفة بين المنظمين.

مرفق احتجاز الكربون وتخزينه	البلد	الصناعة	مرحلة التطوير	بدء التشغيل المتوقع
محطة توليد كهرباء غوديان تايجو مع التقاط الكربون	الصين	كهرباء	قيد الإنشاء	2023
مشروع بتروناس كاساواري لتطوير حقل الغاز	ماليزيا الطبيعية	معالجة الغاز	مرحلة التطوير المبكر	2025
ريبسول ساكاكيمانج لاحتجاز الكربون وتخزينه	إندونيسيا	معالجة الغاز الطبيعي	مرحلة التطوير المبكر	2026
مشروع بريدج بورت إنيرجي موني لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	أستراليا	كهرباء	مرحلة التطوير المتقدم	2028 أو قبل
باو سنترال سولاويزي كلين فيول لإنتاج الأمونيا مع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	إندونيسيا	كيميائي/ أمونيا	مرحلة التطوير المبكر	أواخر عام 2020

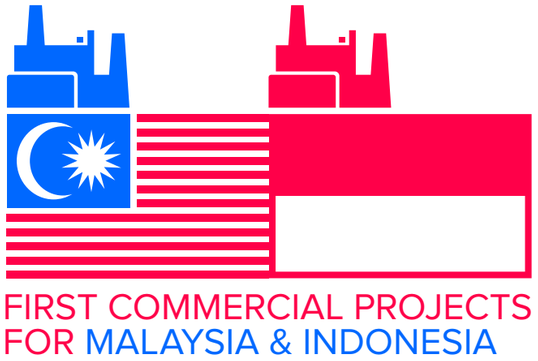
الشكل 12 مشاريع تجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه الجديدة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ (يونيو 2021)

3.2 ASIA PACIFIC

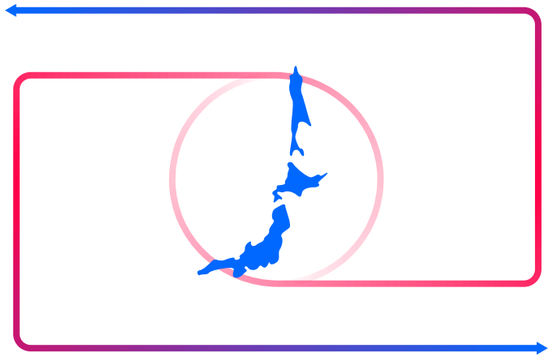
5 new commercial CCS facilities have been added to the Institute's CO2RE database in the Asia Pacific region.

The Australian Government has included CCS in the Emissions Reduction Fund, providing the first financial incentive scheme for CCS in the Asia Pacific region.

The first commercial CCS projects were announced in both Indonesia and Malaysia.



Japan continues to be a regional driver of CCS, promoting regional collaboration and exploring low-carbon energy exports.



China launched its emissions trading system, covering 2,225 power plants, which collectively emit over 4,000 million tonnes of CO_2 per annum.

مشروع بتروناس كسواري

يقع أول مشروع واسع النطاق لاحتجاز وتخزين الكربون التابع لشركة بتروناس في حقل كاساواري 2□□ في ساراواك البحرية. يحتوي الحقل على احتياطي يقدر بثلاثة تريليونات قدم مكعب ويحتوي على مستويات عالية من الكربون. لتحقيق إيرادات من موارد الكربون العالية تلك، لابد لشركة بتروناس من تقليل انبعاثات غاز الكربون منها.

من المتوقع أن يبدأ إنتاج الغاز في عام 2023، حيث سينتج ما يصل إلى 900 مليون قدم مكعب قياسي في اليوم. سيتم معالجة الغاز وتسييله في مجمع بتروناس للغاز الطبيعي المسال الواقع في بينتولو، ماليزيا. من المتوقع أن يضخ المشروع حوالي 4.25 مليون طن من غاز الكربون سنوياً (بتروناس، 2021).

تعمل بتروناس على اكمال المشروع بمختلف جوانبه مع العديد من الشركاء وتخطط لبدء عملية احتجاز الكربون في عام 2025. ومن المرجح أن يكون أول مشروع لاحتجاز الكربون واسع النطاق في جنوب شرق آسيا.

مشاريع ماليزيا وإندونيسيا

لقد شهدت تقنية احتجاز الكربون وتخزينه عاماً حافلاً في العديد من دول جنوب شرق آسيا، حيث تم الإعلان عن المرافق التجارية لأول مرة. بدأت بتروناس العمل في مشروعها الأول لاحتجاز وتخزين الكربون، إضافة الى مركزين إقليميين بحريين محتملين آخرين لاحتجاز الكربون وتخزينه في ماليزيا. لدى مراكز التخزين المقترحة القدرة على تخزين الكربون من بلدان أخرى في جنوب شرق آسيا ومنطقة آسيا والمحيط الهادئ الأوسع.

أعلنت شركة ريبسول عن مشروعها لاحتجاز 2.5 مليون طن من الكربون سنوياً في سايكامانج في جنوب سومطرة، إندونيسيا. ستقوم المنشأة باحتجاز الكربون من معمل معالجة الغاز الطبيعي التابع لشركة ريبسول وتخزينه بشكل دائم في حقول النفط القريبة. تقع المنشأة في موقع ممتاز يخولها لأن تكون مركز احتجاز للكربون يخدم جنوب سومطرة بشكل واسع ويقلل من الانبعاثات الناتجة عن معالجة الغاز ومحطات الطاقة وقطاعات الانبعاثات الأخرى.

يبرز مشروع ريبسول كمثال على توجه الشركات الكبيرة، التي يقع مقرها الرئيسي في البلدان المتقدمة والتي لديها التزامات صافي انبعاثات صفري، لتطوير مشاريع الحد من الانبعاثات واحتجاز وتخزين الكربون حتى في ظل غياب السياسات الداعمة، وذلك حيث تكون تكاليف التقاط الكربون منخفضة للغاية. تم إطلاق دراسة جدوى مشتركة بين مجموعة شركات يابانية إندونيسية لصالح مصنع بي تي بانكا أمارا أوتاما(□□□) لإنتاج وقود الأمونيا النظيف باستخدام تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في سولاويزي في إندونيسيا.

التطورات التنظيمية

يتفق أصحاب المصلحة في القطاعين العام والخاص على أن غياب القانون والتنظيم الخاصين بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه يمثل عائقاً هاماً أمام تفعيل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في هذه المنطقة. مع أنه تم تقديم مشروع قانون احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا في عام 2019، إلا أنه لم يتم اعتماده رسمياً من قبل الحكومة. من المرجح أن يتم إصدار مسودة مرسوم رئاسي بشأن القيمة الاقتصادية للكربون (مخطط تسعير الكربون) في إندونيسيا بعد استقرار الأزمة الصحية الناجمة عن الجائحة. بمجرد صدور المرسوم الرئاسي، يجوز لوزارة الطاقة والثروة المعدنية وضع لوائح تنظيمية محددة لمعالجة الشروط المتعلقة لتطبيق تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه/ واستخدامه. في ماليزيا، بدأ تطوير إطار تنظيمي خاص باحتجاز الكربون وتخزينه، ومن المتوقع اكتماله في النصف الأول من عام 2022. من المرجح أن يعتمد التشريع المقترح على واقع نظام إنتاج النفط والغاز الحالي في ماليزيا.

ولتحقيق فهم أوسع للقضايا القانونية والتنظيمية الخاصة بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، يعمل المعهد مع مركز الطاقة التابع لرابطة أمم جنوب شرق آسيا لإنشاء شبكة منظمي احتجاز الكربون وتخزينه في جنوب شرق آسيا.

ستقوم الشبكة بـ :

- العمل كقناة اتصال بين المنظمين في المنطقة بهدف تعزيز معرفتهم بالأطر القانونية والتنظيمية لاحتجاز ثاني الكربون وتخزينه والحصول على التصاريح اللازمة وأفضل الممارسات
- السعي إلى تطوير المبادئ و التوجيهات القانونية الرئيسية لمساعدة صانعي السياسات والهيئات التنظيمية في المنطقة

الصين

المشاريع

أعلن الرئيس الصيني شي جين بينغ في سبتمبر 2020 التزام بلاده بتحقيق ذروة الكربون قبل عام 2030 وحياد الكربون قبل عام 2060، الأمر الذي ساعد على إعادة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه الى دائرة الاهتمام في الصين وساهم في تسريع وتيرة تطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه:

- بدأ تشغيل منشأة جينجيي لاحتجاز الكربون بعد الاحتراق التابعة لمؤسسة استثمار الطاقة الصينية في أوائل عام 2021، وأكملت المنشأة تشغيلاً تجريبياً لمدة 168 ساعة في يونيو 2021. تتمتع المنشأة بالقدرة على التقاط 150,000 طن من الكربون سنوياً.
- بدأت شركة سينوبك بناء أول مشروع في الصين بقدرة 1 مليون طن كربون من الاستخراج المحسَّن للنفط سنوياً في مقاطعة شاندونغ. سيقوم المشروع باحتجاز الكربون من مصنع كيلو فيرتلايزر وتخزين الكربون في حقل شنغلي للنفط. ومن المقرر أن يبدأ التشغيل نهاية عام 2021 (45).
- أعلنت مجموعة هيبي للحديد والفولاذ عن خطتها لبناء مشاريع توضيحية نموذجية لاحتجاز وتخزين الكربون في مصنعها للفولاذ بحلول عام 2030 (46). 8

السياسة

نتيجة لتعهد الصين بتحقيق الحياد الكربوني، بدأت العديد من الوزارات الحكومية الصينية بالعمل بجدية أكثر على فهم دور احتجاز الكربون وتخزينه في إزالة الكربون، ووضع أسس تطوير السياسة الخاصة به. للمرة الأولى تتضمن الخطة الخمسية للصين (وهي خطتها الرابعة عشرة) مشاريع توضيحية نموذجية واسعة النطاق لاحتجاز واستخدام وتخزين الكربون (47).

في مايو 2021، أعلنت وزارة البيئة وعلم البيئة الصينية مع العديد من الوزارات الأخرى عن دعمها للمشروعات التجريبية والتوضيحية لاحتجاز واستخدام وتخزين الكربون في مناطق التجارة الحرة (48). تم تضمين احتجاز واستخدام وتخزين الكربون أيضاً في البيان الصيني الأمريكي المشترك بشأن أزمة المناخ، الصادر في أبريل 2021 (49). في يونيو 2021، أصدرت اللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح إشعاراً لطلب معلومات عن مشروع احتجاز واستخدام وتخزين الكربون بهدف دعم المشاريع الكبرى في المستقبل القريب (50).

8 قد لا يتضمن هذا التقرير بعض المشاريع التي أعلنت عنها الشركات الصينية الكبرى بنهاية عام 2021.

البروفيسور جين هونغكوانغ

عضو في أكاديمية الصين للعلوم، رئيس مفوض، لجنة احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه المهنية، الجمعية الصينية للعلوم البيئية

لتحقيق حياد الكربون لابد من استخدام تقنيات متعددة، من بينها تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه التي لا غنى عنها. نظراً لخصائصها الخاصة، سيكون لتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه تأثير هام وحاسم في تخفيض الانبعاثات الكربونية على نطاق واسع في قطاعي الطاقة والصناعة بما فيها توليد الكهرباء، والفولاذ، والاسمنت، والمواد الكيميائية، إضافة لكونها مساراً تقنياً متكاملاً نحو تحقيق أهداف الحياد الكربوني. لقد استفادت تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من خبرات واسعة في مجالات السياسة والتقنية والهندسة. كما لديها إمكانات تنموية كبيرة مع مستقبل مليء بالفرص والتحديات.

"لتحقيق حياد الكربون لابد من استخدام تقنيات متعددة، من بينها تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه التي لا غنى عنها"

البروفيسور جين هونغكوانغ

البروفيسور جوتاين تشانغ

الأمين العام للجنة احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه المهنية، الجمعية الصينية للعلوم البيئية

مع نمو الاستجابة العالمية لتغير المناخ، أعلنت العديد من الدول عن استراتيجيتها الخاصة في مجال الحياد الكربوني. وحظي احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه على وجه الخصوص باهتمام غير مسبوق. ويسعدنا أن نرى أن اهتمام المؤسسات الحكومية ومعاهد البحوث ومنظمات الاستثمار بهذا القطاع الحيوي قد أسفر عن تحرك إيجابي لم يشهده العقد الماضي.

تحظى تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بتقدير كبير نظراً لمساهمتها المتوقعة في تحقيق أهداف الحياد الكربوني فيما يتعلق بإطلاق انبعاثات سلبية. تتمتع مصارف أو بالوعات الكربون الزراعية والحرجية بسقف معين مما يعني أن أغلب الانبعاثات السلبية المستقبلية ستُحَقق بفضل تقنيات الانبعاثات السلبية، وخاصة تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. ونظراً إلى إمكانياتها في خفض الانبعاثات، ليس هناك غنى عن تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لإزالة الكربون العميقة في القطاع الصناعي. حتى وإن تم تقليل استخدام الطاقة الأحفورية بشكل كبير، سيتطلب ضمان مرونة عمل وأمن شبكة الطاقة كميات معينة من الطاقة الأحفورية. هنا يأتي دور تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في تحقيق الوصول إلى صافي انبعاثات صفري أو توفير نظام انبعاثات كربونية سلبية.

"هنا يأتي دور تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في تحقيق الوصول إلى صافي انبعاثات صفري"

البروفيسور"

جوتاين تشانغ

بدأ النظام الوطني لتجارة الانبعاثات المنتظر العمل في 16 يوليو 2021. على الرغم من أنه يغطي حالياً قطاع توليد الطاقة فقط، إلا أنه من المتوقع أن يتم توسيعه ليشمل قطاعات صناعية أخرى. لكي تكون تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه مؤهلة بموجب هذا النظام لابد من تطوير منهجية خاصة. ولتحقيق ذلك، تم تشكيل مجموعة عمل للتوحيد القياسي لتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بالتزكية من اللجنة الوطنية الصينية لتقييس انبعاثات الكربون و اللجنة الوطنية للبنية التحتية للطاقة وتقييس الإدارة، واللجنة الوطنية لتقييس إدارة البيئة بهدف تطوير معايير احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه للصناعة الناشئة (51).

بدأت الشركات الدولية في بناء علاقات شراكة مع الموردين والمستهلكين الصينيين في مجالات تغير المناخ و تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. وخير مثال على هذا التوجه هو الشراكة بين بي إيتش بي (BHP) و مجموعة تشاينا باوو للفولاذ التي ستدعم دراسة بحثية في تطبيق تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في أحد المرافق التابعة لمجموعة تشاينا باوو (52).

اليابان

المشاريع

تستمر اليابان بدورها كداعم عابر للحدود لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه من خلال برامجها للطاقة النظيفة:

- في أكتوبر 2020، تم شحن 40 طناً من الأمونيا الزرقاء، وهي الأمونيا المصنوعة من الهيدروكربونات المصاحبة لانبعاثات الكربون التي يتم التقاطها وتخزينها تحت الأرض، والمنتجة من قبل شركة سابك السعودية من المملكة العربية السعودية إلى اليابان لتوليد الطاقة بدون انبعاثات، في تعاون أول من نوعه لكلا البلدين (53).
- في ديسمبر 2020، اتفقت الشركة اليابانية للنفط والغاز والمعادن (JOGMEC) وشركة إيركوتسك للنفط وشركة تويو الهندسية وشركة إتوتشو على دراسة جدوى مشتركة لسلسلة توريد أمونيا منخفضة الكربون بين شرق سيبيريا واليابان. ويشمل، إنتاج الأمونيا من الغاز الطبيعي والتقاط انبعاثات الكربون المصاحبة لعملية الاستخلاص المحسّن للنفط في روسيا (54).

في يوليو 2021، وافقت INPEX و JERA و JOGMEC وشركة بترول أبوظبي الوطنية (أدنوك) على دراسة مشتركة لاستكشاف الجدوى التجارية لإنتاج الأمونيا النظيفة من الغاز الطبيعي، مع احتجاز الكربون الناتج عن الاستخلاص المحسّن للنفط وتخزينه في الإمارات العربية المتحدة (55).

السياسة

تواصل الحكومة اليابانية تعزيز التعاون الثنائي والمتعدد الأطراف في مجال احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. تستخدم اليابان آلية الائتمان المشتركة (JCM) 9 لدعم مشروع غونديه في إندونيسيا وتواصل استكشاف المزيد من فرص تمويل آلية الائتمان المشتركة مماثلة. في يونيو 2021، أطلقت الحكومة اليابانية شبكة آسيا لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لدعم تنمية القدرات وتعزيز تبادل المعرفة (56).

9 تم إطلاق JCM، وهي "آلية ائتمان تعويضي ثنائية قائمة على المشروع" في عام 2013 لدعم مشاريع الحد من الانبعاثات في الدول النامية (59).

نقل وتخزين الكربون عبر الحدود

تقوم البلدان ذات إمكانات التخزين المحدودة بالبحث عن سبل لنقل وتخزين الكربون في دول أخرى. وقد أدى ذلك إلى إعادة النظر في ومعالجة العوائق القانونية أمام نقل وتخزين الكربون عبر الحدود بموجب بروتوكول لندن، وهو اتفاق بحري دولي يحكم إلقاء النفايات في البيئة البحرية، وغيره من القوانين واللوائح التنظيمية المحلية ذات الصلة. وسيكون من الهام تحقيق تعاون أكبر في هذا المجال. مشروع بايو أوندان المقترح هو مشروع عابر للحدود في المنطقة، وسيقوم بأخذ التشريعات المحلية والدولية بعين الاعتبار لدى إرسال غاز الكربون من أستراليا للتخزين في منطقة تيمور ليشتي.

تطورات التخزين الجيولوجي

تم الانتهاء من تقييم إمكانات التخزين الإقليمية من قبل إكسون موبيل والجامعة الوطنية في سنغافورة والمعهد. أشار التقييم إلى وجود إمكانات التخزين حول جنوب شرق آسيا. حددت التقديرات الدقيقة عدة مواقع، مثل جنوب سومطرة، توفر فرصاً لإنشاء مراكز تخزين منخفضة التكلفة.

توشياكي ناكاجيما

رئيس شركة يابان لاحتجاز الكربون وتخزينه

يبين مشروع توماكوماي التوضيحي لاحتجاز الكربون وتخزينه، الذي هو أول مشروع كامل السلسلة في اليابان لاحتجاز الكربون وتخزينه، سلامة وموثوقية تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الخارج في بلدنا المعرض للزلازل.

مع التوقعات المتزايدة باستمرار التوجه نحو تفعيل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على نحو أوسع، بحسب التقرير الخاص لوكالة الطاقة الدولية حول تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، نحن ندرك بأننا وصلنا في مهمتنا إلى مرحلة جديدة.

في ظل ذلك، أنشأت شركة يابان لاحتجاز الكربون وتخزينه ائتلاف تجاري خاص بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لإطلاق مشروع تجريبي للحكومة اليابانية لنقل الكربون بالسفن. كما نأمل أيضاً بتنفيذ مشروع توضيحي لتقنية إعادة تدوير الكربون والهيدروجين من المرافق الحالية.

شركة يابان لاحتجاز الكربون وتخزينه هي أيضاً عضو داعم في "شبكة آسيا لاحتجاز واستخدام وتخزين الكربون"، التي أطلقتها الحكومة اليابانية في يونيو 2021. تقدم هذه الشبكة الدعم لتفعيل احتجاز واستخدام وتخزين الكربون في الدول الآسيوية. نتطلع إلى عرض هذه التطورات الجديدة في التحديث القادم لقاعدة بيانات مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التابعة للمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه.

"مع التوقعات المتزايدة باستمرار التوجه نحو تفعيل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على نحو أوسع، بحسب التقرير الخاص لوكالة الطاقة الدولية حول تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، نحن ندرك بأننا وصلنا في مهمتنا إلى مرحلة جديدة"

توشياكي ناكاجيما

فوتوشى ناسونو

مدير عام مكتب العلوم الصناعية والتقنية وسياسة البيئة، وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة

في أكتوبر 2020، ومع ازدياد التركيز على عمليات إزالة الكربون العالمية، أعلنت اليابان تحقيق هدف الحياد الكربوني بحلول عام 2050، وهي تقوم بتعزيز مكانتها الإقليمية الرائدة في برامج الطاقة النظيفة. احتجاز الكربون وتخزينه هي تقنية حيوية لتحقيق الحياد الكربوني، وتعمل اليابان على استخدامها عملياً. كما في المشروع التوضيحي لتخزين 300,000 طن من الكربون في مدينة توماكوماي ونقل غاز الكربون بين مصادر الانبعاثات ومواقع التخزين.

في آسيا، ستكون تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه تقنية أساسية للحفاظ على نمو اقتصادي قوي مع تحقيق إزالة الكربون. ولإدراكها ذلك، تسعى اليابان إلى أن تلعب دوراً رئيسياً في تعزيز التعاون الإقليمي وتوفير الفرص لمشاركة التقنيات والخبرات والأفكار. تسعى "شبكة آسيا لاحتجاز واستخدام وتخزين الكربون"، التي تم إنشاؤها مؤخراً إلى المساهمة في نشر تقنية احتجاز واستخدام وتخزين الكربون في آسيا من خلال تبادل المعرفة وإجراء الدراسات وبناء القدرات.

"في آسيا، ستكون تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه تقنية أساسية للحفاظ على نمو اقتصادي قوي مع تحقيق إزالة الكربون"

السيد فوتوشى ناسونو

جعل الاتحاد الأوروبي الحياد المناخي هدفاً ملزماً بموجب القانون بحلول عام 2050، إلى جانب خفض صافي انبعاثات غازات الدفيئة لعام 2030 بنسبة 55 في المائة على الأقل بالمقارنة بمستويات عام 1990. تتضمن استراتيجية الاتحاد الأوروبي الطويلة المدى لانبعاثات غازات الدفيئة المنخفضة المُقدمة بموجب اتفاقية باريس، والخاصة بـ 14 دولة في المنطقة الأوروبية، احتجاز الكربون وتخزينه كتقنية من شأنها أن تساعد أوروبا في تحقيق أهدافها المناخية. مع أن الاعتراف المتزايد بدور احتجاز الكربون وتخزينه في إزالة الكربون ينعكس إيجاباً على تعزيز السياسات الداعمة، إلا أن هناك حاجة إلى مزيد من التقدم.

متقدمة غيرها ضمن الاتحاد الأوروبي، اتخذت الحكومة النرويجية في ديسمبر 2020 قرارًا رائدًا للمضي قدمًا في مشروع لانغسكيب قيد الإنشاء حالياً. سيتم التقاط غاز الكربون مبدئيًا من مصنع نورسيم التابع لشركة هايدلبرج سيمنت في بريفيك ومن مصنع فورتوم أوسلو فارم لتحويل النفايات إلى طاقة في حال الحصول على تمويل إضافي لذلك. يجري مشروع نورذرين لايتز المشترك، الذي أنشأته شركات اكوينور و شيل و توتال لإدارة مرافق النقل والتخزين المرتبطة بها، محادثات مع العملاء المحتملين. حيث تبلغ قدرة المشروع 48 مليون طن من الكربون سنوياً، أي ما يعادل أكثر من إجمالي التخزين السنوي الحالي في العالم.

مع قيام الحكومة الهولندية بتخصيص دعم SDE++، تستعد بورثوس لاتخاذ قرار استثماري في أوائل عام 2022، لتصبح أول مشروع تجاري لاحتجاز وتخزين الكربون في دولة عضو في الاتحاد الأوروبي. و من المتوقع أن تنضم باقي دول الاتحاد الأوروبي الى معركة المناخ قريباً. أعلنت شركة توتال إنيرجيز و شيل و إيي بي إن (EBN) و غازوني عن خطط لتطوير مشروع أراميس كمركز رئيسي لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في هولندا. هناك مقترحات لمشروع يسمى دارتاغنان لتطوير البنية التحتية لالتقاط الكربون في منطقة دانكيرك، لإتاحة تصدير غاز الكربون إلى هولندا للتخزين الدائم.

حددت حكومة المملكة المتحدة هدفًا طموحًا لخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 68 في المائة بحلول نهاية عام 2030. حيث نشرت خطة من عشر نقاط لثورة صناعية خضراء، حددت فيها عزمها على إنشاء مجمّعين صناعيين لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بحلول منتصف 2020، وزيادتها الى أربعة مواقع بحلول عام 2030 بقدرة التقاط ما يزيد عن 10 مليون طن من الكربون سنوياً. ولتحقيق ذلك، أعلنت الحكومة أيضاً عن صندوق للبنية التحتية خاص بالتقاط الكربون بقيمة مليار جنيه إسترليني. في وقت كتابة هذا التقرير، لا تزال الحكومة البريطانية في طور اختيار التجمعات الصناعية الأولى التي سيتم تطويرها من بين الطلبات المقدمة من قبل DELPHYNUS، و تجمع إيست كوست كلاستر الصناعي، و هاينت، وتجمع سكوتيش كلاستر الصناعي، و في نت زيرو. ومن المتوقع أن يتم الإعلان عن التجمعات الصناعية الناجحة في الربع الرابع من عام 2021، مع اتخاذ قرارات الاستثمار النهائية في أوائل عام 2022.

المشاريع

يوجد حاليًا 35 مشروعًا قيد التطوير في أوروبا والمملكة المتحدة. يستخدم معظمها بحر الشمال للتخزين، ولكن توجد مناطق أخرى يتم فيها احتجاز الكربون وتخزينه أيضاً:

- من المحتمل أن يصبح مشروع رافينا هاب التابع لشركة إيني من أوائل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة البحر الأبيض المتوسط. سيعمل المشروع في البداية على التكفل بانبعاثات عمليات إيني في رافينا، شمال إيطاليا. مع إمكانية التعامل مع الانبعاثات لأطراف ثالثة في المنطقة مستقبلاً.
- في اليونان، تقوم إنيرجين بتقييم طرق تحويل مرفقها برينوس الى مخزن للكربون بقدرة متوقعة تصل إلى 50 مليون طن.
- تهدف مول ((MOL، وهي شركة مَجرية متكاملة للنفط والغاز، إلى اكتساب الخبرة في التقاط الكربون، المكتسبة في كرواتيا والمجر، لتوفير خدمات تخزين الكربون لأطراف ثالثة.
- تعمل شركة هوريسونت إنيرجي على تطوير ما قد يصبح أول مصنع للأمونيا الزرقاء في أوروبا في منطقة فينمارك، شمال النرويج. بالتعاون مع اكوينور، ستخزن المنشأة غاز الكربون في بحر بارنتس بواسطة منشأة بولاريس. من المتوقع صدور قرار استثماري نهائي بهذا الخصوص في أواخر عام 2022، مع بدء العمليات في عام 2025.
- في أيسلندا، هناك مشروع لتطوير محطة كودا (CODA)، وهي مركز لنقل الكربون وتخزينه عبر الحدود. حيث سيتم إذابة غاز الكربون الذي يتم شحنه إلى المحطة في الماء ثم حقنه في صخر الأساس البازلتي باستخدام تقنية كاربفكس للتعدين (← انظر القسم 4.7).

إنتاج الهيدروجين

يبرز الهيدروجين الأزرق في خطط تفعيل تقنية احتجاز وتخزين الكربون في أوروبا. حيث يظهر الهيدروجين الأزرق كالخيار الأقل تكلفة لإنتاج الهيدروجين النظيف في معظم المواقع. تعتبر تكلفة الإنتاج المنخفضة أمراً بالغ الأهمية لدعم نمو الطلب السريع على الهيدروجين النظيف، إلى جانب القدرة الإنتاجية لتلبية ذاك الطلب (60).

- في مارس، أعلنت شركة بي بي (بريتيش بتروليوم سابقاً) عن خطط لتطوير منشأة رئيسية لإنتاج الهيدروجين الأزرق في تيسايد. باستخدام منشأتها نت زيرو تيسايد لتخزين الكربون، يسعى المشروع إلى تحقيق 20 في المائة من هدف إنتاج الهيدروجين في المملكة المتحدة بحلول عام 2030.
- في يونيو، أعلنت اكوينور عن خطط لمضاعفة القدرة ثلاث أضعاف في منشأتها للهيدروجين المُقترحة، هيدروجين تو همبر (H2H).
- بعد دراسة جدوى H2morrow للفولاذ لتقييم استخدام الهيدروجين الأزرق في مصنع دويسبرغ للفولاذ، أعلن مشغل نظام نقل الغاز الألماني OGE، ومنتج الفولاذ تيسينكروب، و اكوينور تعاونهم. حيث من المتوقع أن يتم تحديد سلسلة القيمة لمشروعهم بحلول عام 2027 فيما يخص تصدير غاز الكربون للتخزين في النرويج أو هولندا.

محطات توليد الطاقة

ظهرت مشاريع هامة لتوليد الطاقة والتي تستخدم تقنية احتجاز وتخزين الكربون في أنحاء مختلفة في المملكة المتحدة وذلك بتشجيع من الحكومة ومن خلال استحداث اتفاقية الطاقة القابلة للتمدد (DPA) التي تؤكد على أهمية الطاقة الشمسية كمصدر من مصادر الطاقة المتجددة.

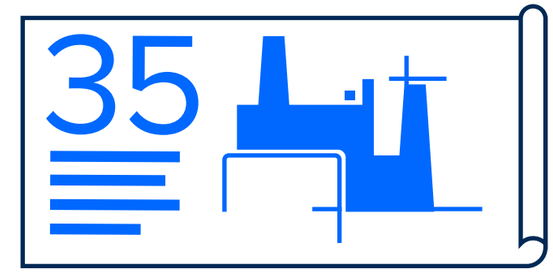
- في أبريل، كشفت شركتا اكوينور و إس إس إيي تيرمال عن خطط لتطوير محطتين لتوليد الطاقة منخفضة الكربون في منطقة همبر الصناعية:
  - ← ستكون كيدبي هيدروجين أول محطة رئيسية في العالم تعمل بالهيدروجين بنسبة 100 في المائة، مع ذروة طلب تصل إلى 1,800 ميغاواط من الهيدروجين. مما من شأنه أن يخلق طلباً كبيراً على منشأة هيدروجين تو همبر (H2H) المذكورة أعلاه.
  - ← ستكون كيدبي 3 محطة طاقة بقدرة 900 ميغاواط مُشغلة بالغاز الطبيعي، ومزودة بتقنية احتجاز الكربون وتخزين للكربون عبر منشأة همبر.
- في مايو، كشفت شركتا اكوينور و إس إس إيي تيرمال النقاب عن خططهما المشتركة لتطوير محطة طاقة تعمل بالغاز بقدرة 900 ميغاواط مزودة بتقنية احتجاز الكربون في بيترهيد. تصل قدرة المشروع إلى 1.5 مليون طن سنوياً، وسيقوم بتخزين الكربون عبر مشروع إيكورن، الذي هو مشروع احتجاز الكربون وتخزينه يهدف إلى إعادة استخدام البنية التحتية وتمكين إزالة الكربون من مجموعة من مصادر الانبعاثات الكربونية في اسكتلندا.

تظهر خطط لتفعيل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في محطات الطاقة في مناطق أخرى في أوروبا. فعلى سبيل المثال، هناك خطط لالتقاط غاز الكربون من محطات التوربينات الغازية ذات الدورة المركبة في رافينا ومانتوا وفيراري، كجزء من مشروع رافينا هاب في شمال إيطاليا. يتم النظر أيضاً في تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لإزالة الكربون من محطات الطاقة في بلجيكا.

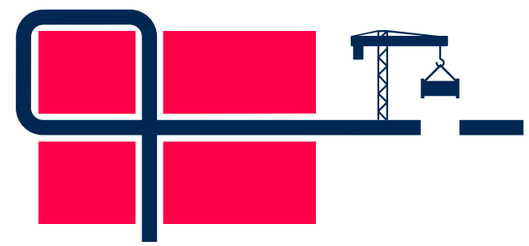
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة

The EU made climate neutrality by 2050 a legally binding target, along with reducing 2030 net GHG emissions at least 55 per cent compared to 1990 levels.

There are now 35 projects in development in Europe.



Construction is underway on the Norwegian project, Langskip.



The Northern Lights Joint Venture, which will manage the transport and storage facility, is in discussions with potential customers representing 48 Mtpa of CO_2 – more than the total current annual storage worldwide.

There are an increasing number of CO_2 removal projects in development across Europe. Blue Hydrogen features prominently.

Plans to build Europe's first large-scale direct air capture facility in Scotland were unveiled. The Dreamcatcher project will use nearby renewable energy and CCS infrastructure to capture 0.5 – 1 Mt of atmospheric CO_2 each year.

The UK outlined its intention to establish four CCUS industrial clusters by 2030, capturing 10 Mtpa of CO_2.

The UK Government announced a £1 billion CCUS infrastructure fund.

د. دومينيك فون أشتين

الرئيس التنفيذي لشركة هايدلبرغسيمنت

ستكون هايدلبرغسيمنت الشركة الرائدة في صناعة الاسمنت العالمية على طريق التحول نحو تحقيق هدف الحياد المناخي. لتحقيق هذا الهدف نقوم بالاعتماد على مجموعة من التدابير، والتي من أهمها زيادة استخدام أنواع الوقود البديلة، والمواد الاسمنتية الثانوية البديلة بما في ذلك المواد المعاد تدويرها، واحتجاز الكربون واستخدامه أو تخزينه. من المهم لإزالة الكربون من صناعتنا إيجاد الحلول التقنية وتطبيقها وتوسيع نطاقها لالتقاط الكربون واستخدامه أو تخزينه بالشكل الأمثل. بعد أن اكتسبنا خبرة قيمة في تقنيات واحتجاز الكربون واستخدامه أو تخزينه في النرويج ودول أخرى مثل كندا والمملكة المتحدة، أعلنا مؤخراً عن اتخاذ خطوة جديدة إلى الأمام مع أول مصنع اسمنت محايد للكربون في العالم في السويد. سيشكل ذلك خطوة نوعية هامة في صناعتنا ومؤشراً حاسماً على قناعتنا بأن احتجاز الكربون وتخزينه سيساهم في تحقيق الحياد الكربوني بطريقة مسؤولة.

"من المهم لإزالة الكربون من صناعتنا إيجاد الحلول التقنية وتطبيقها وتوسيع نطاقها لالتقاط الكربون واستخدامه أو تخزينه بالشكل الأمثل"

د. دومينيك فون أشتين

إزالة غاز الكربون

هناك عدد متزايد من مشاريع إزالة غاز الكربون قيد التطوير في أوروبا:

- تعتبر منشأة ستوكهولم EXERGI KVV8 أكبر محطة توليد الطاقة والحرارة من الكتلة الحيوية في أوروبا. سيؤدي مشروع الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه، المقترح تطبيقه في هذه المنشأة، إلى إزالة ما يصل إلى 800,000 طن من الكربون من الغلاف الجوي سنوياً.
- في الدنمارك، تتعاون شركات أورستد و مايكروسفت وأكر كاربون كابتشر معاً لدراسة تفعيل مشروع الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه في العديد من محطات توليد الطاقة من الكتلة الحيوية.
- لا يزال مشروع الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه المقترح في محطة دراكس للطاقة في يوركشاير، الذي يعتبر الأكبر في المملكة المتحدة، في طور التطوير المتقدم. في يونيو، أعلنت دراكس عن تعاونها مع ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة لالتقاط الكربون في المصنع. ونظراً لدورها الهام في الاستراتيجيات المناخية الوطنية، أعلن دراكس أيضاً عن تعاون استراتيجي مع بشتيل لبحث إنشاء مراكز الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه في العالم.

كشفت ستوريغا و كربون إنجينيرينغ عن خطط لبناء أول منشأة التقاط الكربون من الهواء واسعة النطاق في أوروبا في منتصف 2021. ستستفيد شركة دريم كاتشر في اسكتلندا من الطاقة المتجددة الوفيرة والبنية التحتية المستقبلية لاحتجاز وتخزين الكربون القريبة منها، والتي تتراوح قدرة الالتقاط فيها بين 500,000 ومليون طن من غاز الكربون من الغلاف الجوي سنوياً.

تحويل النفايات إلى طاقة

من الممكن أن يساعد إضافة احتجاز الكربون وتخزينه إلى محطات تحويل النفايات إلى طاقة في جعل النفايات مصدر طاقة صفري أو سلبي الانبعاثات، وذلك بحسب منشأ النفايات المستخدمة.

في ظل ذلك، ظهر عدد من مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه خاصة بمصانع تحويل النفايات إلى طاقة في أنحاء أوروبا.

- من المحتمل أن يكون مركز أماغر للموارد في كوبنهاغن أول مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الدنمارك. وهو مشروع تجريبي ممول من قبل برنامج التطوير والبيان العملي لتقنية الطاقة. ومن المتوقع أن يتم تشغيل منشأة كاملة الحجم بقدرة 500,000 طن سنويًا بحلول عام 2025، مما سيساهم بتحقيق طموح كوبنهاغن بأن تصبح أول عاصمة الحياد الكربوني في العالم.
- في المملكة المتحدة، تقوم سويس بتطوير نظام معياري لالتقاط الكربون من مصانع تحويل النفايات إلى طاقة من خلال مشروع توضيحي يجري النظر فيه حالياً في منشأة هافرتون هيل في تيسايد.

في أماكن أخرى من أوروبا، تجري حالياً العديد من الدراسات المبكرة حول تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في محطات تحويل النفايات إلى طاقة. في سويسرا مثلاً، حيث تعتبر مصانع تحويل النفايات إلى طاقة من أكبر مصادر الانبعاث النقطية فيها، تمت دراسة في تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على مصنع كي في إي لينث.

النقل والتخزين

مع تزايد الاهتمام باحتجاز وتخزين الكربون، ازدادت الحاجة إلى بنية تحتية للنقل والتخزين. وبالنتيجة حدث تطور سريع في تخزين الكربون في أوروبا تعدى القدرات التخزينية لعمالقة شركات الطاقة في العالم. هاربر إنيرجي و نبتون إنيرجي و مول (MOL) وإندبندنت أويل إند غاز، هي فقط بعض الشركات التي أعلنت عن اهتمامها باستخدام المرافق الأوروبية لتخزين الكربون.

الشكل 13 مخطط مخصصات الأسعار في الاتحاد الأوروبي

إن اعتماد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه على نموذج الشبكة سيقلل من تكاليف المشروع والمخاطر. تقوم العديد من الشبكات قيد التطوير بدراسة إدراج عملية شحن الكربون أيضاً لتوسيع نطاق وصولها، وهناك اعتراف متزايد بالدور الذي ستلعبه الموانئ الإقليمية. يجري حالياً تطوير مشاريع كبيرة لاحتجاز وتخزين الكربون مثل أنتويرب@سي، و سينفراكاب، و أراميس حول الموانئ الأوروبية الرئيسية.

من المرجح أن يشمل مستقبل احتجاز وتخزين الكربون شبكات دولية تمتد عبر العديد من التجمعات الصناعية ومواقع التخزين.

السياسة

الاتحاد الأوروبي

يخطط الاتحاد الأوروبي لضخ مبالغ مالية كبيرة من خلال بنوك وأسواق الاتحاد الأوروبي لتحقيق طموحاته المناخية. يحدد تصنيف الاتحاد الأوروبي الأنشطة الاقتصادية التي تساهم في التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه وتم تحديد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضمنها، وهذا يعني إمكانية الحصول على السندات الخضراء الأوروبية.

في يوليو، تم تقديم المقترحات التشريعية "يصلح لـ 55" للاتحاد الأوروبي، والتي تحدد التغييرات اللازمة ذات الصلة باحتجاز الكربون وتخزينه. كان أهمها التعديلات على خطة تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي والتي تمثل 40 في المائة من انبعاثات الاتحاد الأوروبي. التغييرات من شأنها:

- زيادة معدل التخفيض السنوي لبدلات الانبعاث لتحقيق هدف الاتحاد الأوروبي الجديد لعام 2030
- نقل غاز الكربون عن طريق خطوط الأنابيب وغيرها من وسائل نقل غاز الكربون
- مضاعفة حجم صندوق الابتكار (انظر أدناه)
- إضافة آلية جديدة لتعديل حد الكربون يسمح بوضع تسعيرة كربونية على واردات المنتجات المستهدفة، مثل الفولاذ والاسمنت، بهدف تجنب "تسرب الكربون".

تجري المفاوضات حالياً بهذا الخصوص ومن المتوقع أن يتم التوصل إلى تشريعات نهائية في السنوات القليلة القادمة.

وصل سعر بدل الانبعاثات في العام الماضي إلى أعلى مستوى له على الإطلاق، مع زيادة الطموح الوطني المناخي و وجود السياسات الداعمة، بالإضافة إلى زيادة الوعي بمخاطر المناخ بين المستثمرين، بدأت القطاعات الصناعية التي يصعب حد الانبعاثات فيها في أوروبا باستكشاف تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه بشكل متزايد.

لحين كتابة هذا التقرير، أوشكت الدفعة الأولى لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في إطار صندوق الابتكار التابع للاتحاد الأوروبي على الاكتمال، بما في ذلك مشروع فورتوم أوسلو فارم، الذي وصل إلى المراحل النهائية الآن. سيتم إطلاق الدعوة الثانية للمشاريع واسعة النطاق في أكتوبر بميزانية أكبر و عملية تقديم طلب أسرع (انظر الشكل 14).

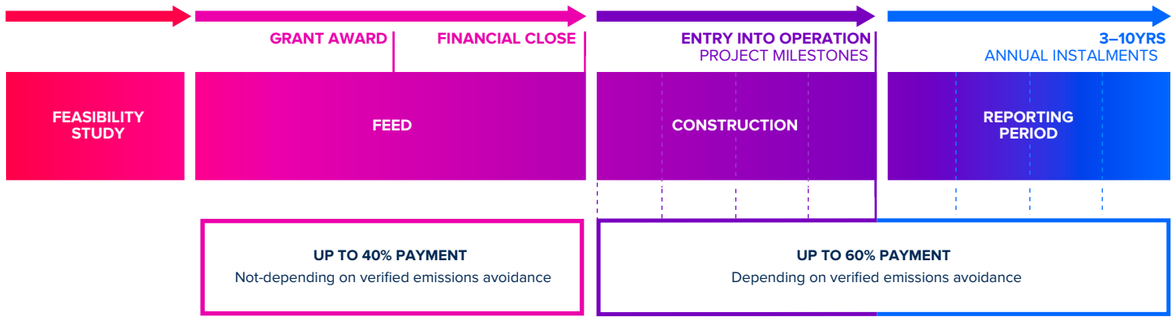


FIGURE 14 EU INNOVATION FUND DISBURSEMENTS BASED ON MILESTONES

النرويج

وافق البرلمان النرويجي على ميزانية مشروع لانغسكيب في عام 2021. وتبلغ التكلفة الإجمالية التقديرية للمشروع 25.1 مليار كرونة نرويجية (2.84 مليار دولار أمريكي)، والميزانية شاملة 17.1 مليار كرونة نرويجية (1.93 مليار دولار أمريكي) للاستثمار و 8 مليارات كرونة نرويجية (910 مليون دولار أمريكي) لتكاليف التشغيل على مدى عشر سنوات. تقدر حصة الدولة من التكاليف بحوالي 16.8 مليار كرونة نرويجية (1.9 مليار دولار أمريكي).

تقتصر مساعدة الدولة لمحطة احتجاز الكربون المقترحة في مصنع فورتوم أوسلو فارم لتحويل النفايات الى طاقة على استثمارات تبلغ ملياري كرونة نرويجية كحد أقصى، ومليار كرون في نفقات التشغيل. مما يعني وجود الحاجة إلى تمويل إضافي كافٍ من الاتحاد الأوروبي ومن مصادر أخرى.

الدنمارك

في فبراير، أوصى المجلس الدنماركي المعني بتغير المناخ حكومته بتطوير استراتيجية وطنية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في أقرب وقت ممكن. قدمت الدنمارك خطتها للانتعاش الاقتصادي و القدرة على الصمود إلى الاتحاد الأوروبي في الصيف، وهي توضح بالتفصيل مخطط دعم تطوير وبيان عملي لمواقع تخزين ثاني أكسيد الكربون في الدنمارك.

ألمانيا

في قضية تاريخية في أبريل، قضت المحكمة العليا في ألمانيا بأن تشريعات المناخ الحكومية غير كافية. نتيجة ذلك ستقوم الحكومة الفيدرالية الألمانية بتطبيق تخفيض بنسبة 55 في المائة من غازات الدفيئة بحلول عام 2030، وتحقيق صافي صفر انبعاثات بحلول عام 2045. ومن خلال برنامجها للعمل المناخي لعام 2030، وافقت الحكومة الفيدرالية على برنامج تمويل خاص لاستخدام وتجنب ثاني أكسيد الكربون في الصناعات الأساسية. يدعم هذا البرنامج استخدام تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في الصناعة بالإضافة إلى الإنشاء السريع والشامل لسلاسل عمليات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون.

بلغت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الصناعة في عام 2019 188 مليون طن سنويًا. وتتطلب أهداف 2030 خفض الانبعاثات الصناعية إلى 140 مليون طن سنويًا. تعتبر ألمانيا أكبر مصنع للفولاذ والاسمنت في الاتحاد الأوروبي. وتتطلع الصناعة إلى الحكومة للحصول على الدعم في تطوير البنية التحتية اللازمة لتمكين تصدير ثاني أكسيد الكربون المحتجز للتخزين في بحر الشمال. تدرك النقابات هناك أهمية احتجاز الكربون وتخزينه لتحقيق الطموح المناخي، بالإضافة الى إمكانية أن يصبح ضرورة تنافسية في عالم يطالب بمنتجات منخفضة الكربون.

السويد

برزت السويد كرائدة في تطوير سياسة المناخ منذ الثمانينيات. في يناير 2021، طلبت الحكومة السويدية من وكالة الطاقة السويدية تطوير خطة دعم لتقنية الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه ليتم تنفيذها في 2022. إما كمزاد عكسي أو كدعم ثابت.

المملكة المتحدة

حددت حكومة المملكة المتحدة هدفًا طموحًا لخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 68 في المائة بحلول نهاية عام 2030. ونشرت خطة من عشر نقاط لثورة صناعية خضراء، حددت فيها عزمها على إنشاء مجمعين صناعيين لاحتجاز وتخزين الكربون بحلول منتصف عام 2020، مع أربعة مواقع أخرى بحلول عام 2030، بقدرة التقاط أو احتجاز تصل إلى 10 مليون طن سنويًا. وتحقيقاً لذلك، أعلنت الحكومة أيضاً عن صندوق دعم للبنية التحتية لتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بقيمة مليار جنيه إسترليني.

تم نشر المعلومات المتعلقة بعملية تسلسل التجمعات الصناعية وإرشادات نماذج الأعمال في مايو. ستحدد المرحلة الأولى من عملية التسلسل تجمعات مشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه الصناعية وترتيبها، وتلك الجاهزة منها لبدء الاستخدام في منتصف عام 2020. حيث سيتاح للمشاريع ضمن المرحلة الأولى الفرصة قبل غيرها للتفاوض بشأن الحصول على الدعم من برنامج احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه التابع للحكومة وصندوق البنية التحتية الذي تبلغ قيمته مليار جنيه إسترليني. من المتوقع صدور قرارات الاستثمار النهائية في أوائل عام 2022. وقد تم تطوير مجموعة متطورة من نماذج الأعمال التكميلية لاحتجاز وتخزين الكربون. وسيتم توفير النقل والتخزين من خلال مخطط منظم. كما تم تحديد نماذج منفصلة أيضاً لمكافآت احتجاز الكربون من الطاقة، واتفاقية الطاقة القابلة للتمدد، واحتجاز الكربون الصناعي، مع مراعاة الخصائص الخاصة لكل منها.

التطورات التنظيمية الأوروبية

كانت للتعديلات الخاصة المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه لبروتوكول لندن لعام 1996، وهي اتفاقية بحرية دولية تحكم إلقاء النفايات في البيئة البحرية، دور مهم في تطوير دعم قانوني وتنظيمي أوسع لهذه التقنية. حيث ألغى التعديل الأصلي للبروتوكول، الذي وافقت عليه جميع الأطراف في عام 2006، حاجزًا دوليًا كبيرًا أمام نشر واستخدام التقنية مُقدماً بذلك أحد الأمثلة الأولى على عملية تنظيم تخزين ثاني أكسيد الكربون.

وصل مُقترح تعديل آخر في عام 2009 متعلق بمعالجة الحظر المفروض على نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود للتخزين الجيولوجي إلى طريق مسدود بسبب عدم وجود تأييد إجماعي له من قبل كافة الأطراف. ولكن تم التوصل إلى اتفاق والسماح بالتطبيق المؤقت في المؤتمر الرابع عشر للأطراف المتعاقدة في أكتوبر 2019. مع أن الاتفاقية تمكن من نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود الدولية، إلا أن هناك قضايا أخرى يجب أخذها بعين الاعتبار:

- يجب تقديم طلب وإخطار مسبق بأي ترتيبات أو اتفاقيات إلى المنظمة البحرية الدولية (IMO).
- لابد من التقييد بالمعايير المنصوص عليها في بروتوكول **لندن**.
- سيتطلب تنفيذ المشاريع العابرة للحدود تعاوناً من المنظمين وواضعي السياسات على الصعيد الوطني وذلك لدعم تلك المشاريع من خلال إبرام الاتفاقات اللازمة وإخطار المنظمة البحرية الدولية.

سيكون لتسريع هذه العملية، ولا سيما في المناطق حيث المشاريع في مراحل تطوير متقدم مثل أوروبا، أولوية ضرورية.

دراسة حالة لمشروع بورثوس

تحدد اتفاقية المناخ للحكومة الهولندية هدف تقليل انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 49 في المائة بحلول عام 2030 و 95 في المائة بحلول عام 2050 عن ما كانت عليه في عام 1990. كما تحدد اتفاقية المناخ أهدافًا محددة لكل قطاع صناعي، إضافة الى تحديد التخفيض المطلوب من الصناعة الهولندية وهو 14.3 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030. تسمح اتفاقية المناخ والسياسة المرتبطة بها بتخفيف ما يصل إلى 7.2 مليون طن سنويًا من خلال احتجاز الكربون وتخزينه.

يتعاون ميناء روتردام، أكبر ميناء في أوروبا، مع قطاع الأعمال والحكومة لتقديم مبادرات مهمة لإزالة الكربون. ومن المتوقع أن يكون مركز نقل ثاني أكسيد الكربون في ميناء روتردام ومشروع التخزين البحري، بورثوس، أول مشروع واسع النطاق لاحتجاز الكربون وتخزينه في دولة عضو في الاتحاد الأوروبي. المشروع يقام بالشراكة بين ميناء روتردام و غاسوني و إي بي إن (EBN))، ويتمتع بورثوس بموقع مثالي من حيث:

- التقاط ثاني أكسيد الكربون من الصناعة في الميناء.
- نقله عبر خطوط الأنابيب.
- تخزينه في أعماق الأرض في آبار الغاز البحرية الناضبة.

تلقى بورثوس دعماً قوياً خلال شهر يونيو عندما أكدت الحكومة الهولندية تخصيص دعم SDE++ له. يتم منح منحة SDE++ على أساس تنافسي، ويتم تمويلها من خلال تكلفة إضافية على استهلاك الطاقة، وتملئ المنحة الفجوة بين تكلفة مخصصات نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات وتقنيات إزالة الكربون. تلقت مصادر الانبعاثات الأولية لمشروع بورثوس، وهي المرافق التي تديرها شيل و إكسون موبيل و إير ليكيد و إير بروداكتز منحة SDE++.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه الأولى الناجحة، جميعها ضمن مشروع بورثوس، كانت من أقل الوسائل تكلفة لإزالة الكربون. ستتيح المنح المالية، التي تقدر قيمتها بنحو 2.123 مليار يورو والممنوحة على مدى 15 عاماً، تخزين 2.34 مليون طن من الكربون سنويًا، أي ما يعادل 60 يورو للطن. تمثل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه حوالي 40 في المائة فقط من الميزانية الإجمالية لبرنامج SDE++ التمويلي الداعم، ولكنها كانت قادرة على تخفيض الانبعاثات الكربونية بنسبة 70 في المائة.

توجد عدة عوامل التي من المحتمل أن تزيد من تعزيز قيمة مشروع بورثوس، هي:

- توسيع البنية التحتية البرية الأولية لتصبح ذات قدرة تصل إلى 10 مليون طن سنوياً. يعمل مشروع ترانسبورتس سي أو تو (CO2TRANSPORTS)، وهو مشروع أوروبي مشترك، على إيجاد أفضل السبل لربط بورثوس بميناء بحر الشمال وميناء أنتويرب حيث يقوم ائتلافا كاربون كونيكت دلتا و أنتويرب@سي بتطوير تجمعات صناعية محلية لاحتجاز الكربون.
- مع بروز دور الهيدروجين الرئيسي في إزالة الكربون في هولندا (وبشكل أوسع في أوروبا)، هناك خطط لبناء خط أنابيب للهيدروجين مفتوح الوصول عبر منطقة الميناء. ستجعل مشاريع، مثل إيتش- فيجن، من ميناء روتردام مركزاً رئيسياً للهيدروجين في أوروبا.
- مع زيادة سعر مخصصات انبعاثات الاتحاد الأوروبي، ستقل مساهمة خطة SDE++ ، مصاحباً بتوقعات ارتفاع الطلب على تخزين ثاني أكسيد الكربون.

مع إثبات الجدوى الاقتصادية لمشروع بورثوس، تتركز الجهود حالياً على إتمام التصاريح اللازمة لاتخاذ قرار الاستثمار النهائي في أوائل عام 2022. لتبدأ عملية الإنشاء بعدها بوقت قصير مع توقعات بدء التشغيل في عام 2024.

10 المصدر:

HTTPS://WWW.RIJKSOVERHEID.NL/DOCUMENTEN/KAMERSTUKKEN/2021/06/08/KAMERBRIEF-VOORLOPIGE-RESULTATEN-SDE-2020-ENVOORTGANG-SDE-2021.

الشكل 15 خريطة بورثوس

المناطق المجاورة

روسيا

مدفوعة من قبل عدد قليل من الشركات، بدأت عملية احتجاز الكربون وتخزينه تحتل جزءاً كبيراً ضمن مناقشات الطاقة في روسيا:

- في وقت مبكر من العام، أشارت نوفاتيك لوجود خطط لاحتجاز الكربون في منشأتها يامال للغاز الطبيعي المسال.
- خلال شهر يونيو، أعلنت شركتا نوفاتيك وسرفستال الروسية لصناعة الصلب عن توقيع مذكرة تعاون لتطوير تقنيات الطاقة البديلة وتقليل انبعاثات غازات الدفيئة. سينظر الطرفان في مشروع تجريبي مشترك لإنتاج الهيدروجين الأزرق من الغاز الطبيعي باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

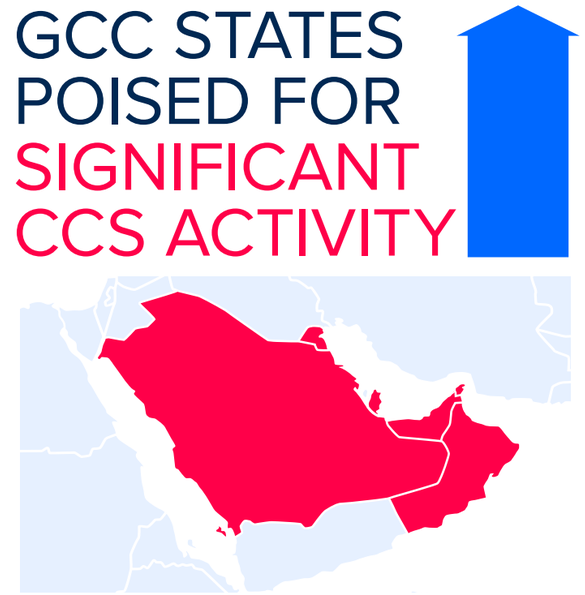
في يونيو، أبرمت شركة الطاقة الروسية العملاقة غازبروم نفط اتفاقية مع شركة شيل لاستكشاف إمكانية استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مشاريعهما المشتركة في روسيا. كما أشارت غازبروم نفط إلى أن الشركتين ستناقشان استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في إنتاج الهيدروجين الأزرق.

إفريقيا

تواجه العديد من الدول الأفريقية صعوبات في محاولاتها تحقيق التوازن بين زيادة الوصول إلى الطاقة وإزالة الكربون والنمو الاقتصادي. لا تزال عملية احتجاز الكربون بطيئة في التقدم، إلا أنه توجد دلائل على ظهور بعض المشاريع. على سبيل المثال، تدرس شركة إيني (ENI) حاليًا إقامة مشروع في ليبيا. تدفع التوقعات بزيادة الطلب على الهيدروجين منخفض الكربون عالمياً الاهتمام بالهيدروجين الأزرق في الدول المنتجة للنفط والغاز مثل موزمبيق وأنغولا ونيجيريا. تأمل تلك الدول في أن يكون بالإمكان استخدام الموارد التي تعتمد عليها اقتصاداتها في إنتاج الهيدروجين الأزرق وبالتالي تجنب تحولها إلى أصول عالقة نتيجة توجه العالم نحو مسارات منخفضة الكربون.

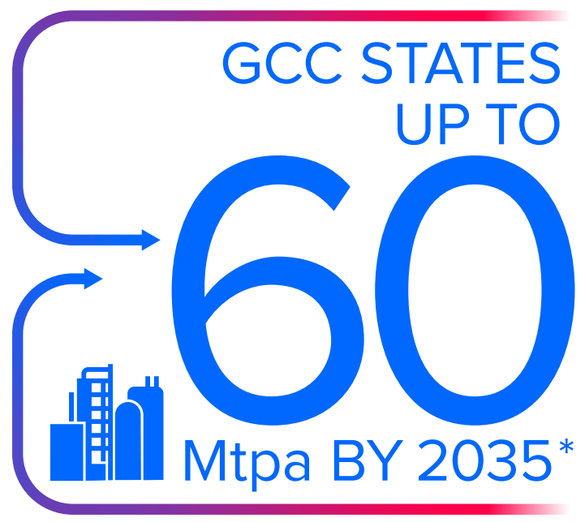
3.4 دول مجلس التعاون الخليجي

The GCC region is poised for a significant take-off in CCS activity over the next decade.



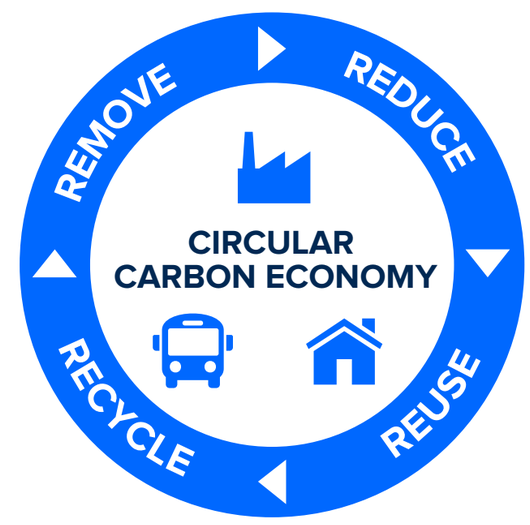
Three facilities in the United Arab Emirates and Saudi Arabia already account for 10% of global CO_2 captured each year, about 3.7 Mtpa.

If efforts to deploy CCS intensify as trends suggest, CO_2 capture might reach 60 Mtpa by 2035 across the GCC region.



*Projection only

In late 2020, the leaders of the G20 endorsed the concept of the 'circular carbon economy' developed by Saudi Arabia's King Abdullah Petroleum Studies and Research Center, which recognises and values all forms of CO_2 mitigation.



غالباً ما يتم التغاضي عن أهمية منطقة دول مجلس التعاون الخليجي في سياق عملية نشر تقنية احتجاز وتخزين الكربون، سواء ضمن نطاقها الحالي أو ضمن الآفاق قصيرة المدى. تحتجز ثلاث مرافق قيد التشغيل لاحتجاز وتخزين الكربون في الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية حوالي 10 في المائة من ثاني أكسيد الكربون العالمي الذي يتم التقاطه سنوياً. [11]

بينما تحتجز أوروبا أربعة في المائة فقط. [12]

من المتوقع أن تشهد منطقة مجلس التعاون الخليجي انطلاقة كبيرة في أنشطة احتجاز وتخزين الكربون خلال العقد المقبل، وذلك لأسباب عدة:

- تكثيف الالتزامات العالمية لإزالة الكربون ضمن وثائق المساهمات المحددة وطنياً لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. [13]
- زيادة العمل الإقليمي بشأن تغير المناخ بما يشمل زيادات جوهرية في مساهمة مصادر الطاقة المتجددة واحتجاز الكربون وتخزينه، وخاصة لتوليد الوقود الأحفوري و قطاعات الطاقة المحلية.
- من المتوقع أن ينمو الطلب على ثاني أكسيد الكربون لاستخدامه في عمليات الاستخراج المحسّن للنفط المحلية خمسة أضعاف على الأقل حتى عام 2030. [14]
- رغبة كل من أرامكو السعودية وأدنوك الإماراتية في مواصلة الحد من انبعاثات الكربون لإنتاج النفط والغاز، وهي حالياً فعلياً الأدنى في العالم. [15]
- دعم زيادة إنتاج وتصدير الهيدروجين منخفض الكربون عبر الشراكة في عمليات إعادة تشكيل الغاز الطبيعي مع احتجاز الكربون وتخزينه.
- بناء قاعدة عريضة من الصناعات الثقيلة "النظيفة والتنافسية" لدعم خطط التنويع الصناعي.
- تأييد قمة مجموعة العشرين الأخيرة (16) لمبادرة الاقتصاد الدائري للكربون الذي تبنته المملكة العربية السعودية وطوره مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية والذي يعطي دوراً مركزياً لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

يعُد تركيز مصادر انبعاث الكربون في منطقة دول مجلس التعاون الخليجي دافعاً إضافياً لاستخدام تقنية احتجاز وتخزين الكربون. فكما يوضح الشكل 16، فإنه من المتوقع أن تأتي أغلب انبعاثات الكربون لعام 2025 من توليد الكهرباء وليس من عمليات النفط والغاز في أربعة من خمسة دول. إضافة إلى تقليل عدد مرافق احتجاز الكربون وتخزينه اللازمة لإزالة الكربون من الصناعة، يمكن للتركيز الجغرافي للانبعاثات الرئيسية على طول ساحل الخليج أن يدعم بناء شبكات البنية التحتية للكربون ويقلل التكاليف الإجمالية ويوفر حوافز لمشاريع جديدة لاحتجاز وتخزين الكربون.

المشاريع

ينتشر نشاط مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في قطر والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة، تحديداً في أبوظبي. يتم التقاط حوالي 3.7 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون في ثلاثة مرافق لاحتجاز وتخزين الكربون:

- قطر غاز تلتقط 2.1 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون من محطة تسييل الغاز في رأس لفان.
- أرامكو السعودية تلتقط 0.8 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون في مصنع الحوية لسوائل الغاز الطبيعي. يستخدم ثاني أكسيد الكربون لإثبات جدوى الاستخلاص المحسَّن للنفط في حقل نفط العثمانية.
- في المرحلة الأولى (من ثلاث مراحل على الأقل) من مشروع الريادة التابع لأدنوك، يتم التقاط 0.8 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون في مصنع الإمارات للصلب في أبوظبي.

يعمل مشروعا رأس لفان والريادة على تطوير خطط توسعية حالياً:

- تتوقع قطر غاز زيادة معدل الاحتجاز لديها إلى 5 مليون طن سنويًا بحلول عام 2025.
- بحسب تقديرات أدنوك، يمكن أن تشهد المرحلة الثانية من مشروع الريادة احتجاز ما يصل إلى 2.3 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2025، والمرحلة الثالثة ما قد يصل إلى 2 مليون طن سنويًا من مصنع حبشان وباب لمعالجة الغاز بحلول عام 2030.

حتى في حالة عدم وجود مشاريع إضافية لاحتجاز وتخزين الكربون، يمكن للمشاريع المذكورة أن ترفع إجمالي احتجاز الكربون الإقليمية إلى ما يقرب من 10 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030.

يوجد مرافقان إقليميان لاستخدام الكربون ولكن دون ضمان استمرارية التخزين فيهما، هما:

- الشركة السعودية للصناعات الأساسية (سابك) بقدرة 0.5 مليون طن سنويًا في منشأة الإثيلين بالجبيل لاستخدام الكربون في إنتاج الميثانول واليوريا.
- شركة قطر للإضافات البترولية المحدودة (كفاك) بقدرة 0.2 مليون طن سنويًا في مصفاة الميثانول التابعة لها.

من المتوقع أن يتم تزويد محطات توليد الفحم الجديدة المخطط لها في كل من سلطنة عمان والإمارات العربية المتحدة بتقنية احتجاز الكربونٌ وتخزينه بما يتماشى مع الأهداف المعلنة ضمن المساهمات المحددة وطنيًا. وهذا يمكن أن يضيف ما بين -5 10 مليون طن سنويًا أخرى إلى معدل التقاط الكربون الإقليمي، ليصل إلى -15 20 مليون طن سنويًا حتى قبل إضافة أي خطط جديدة لاستخدامات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه للصناعات الثقيلة.

	البحرين	الكويت	سلطنة عمان	دولة قطر	المملكة العربية السعودية	الإمارات العربية المتحدة
توليد الطاقة بالغاز	13.3	31.1	12.3	20.7	169.8	38.0
توليد الطاقة بالنفط		12.1	0.3		44.9	
توليد الطاقة من الفحم			7.7			15.4
باقي الصناعات الأخرى	1.2	9.9	17.4	13.4	68.9	12.0

الشكل 16 تقديرات الانبعاثات الكربونية من مصادر كبيرة في 2025، مليون طن سنويًا من الكربون.
المصدر: قمر للطاقة، البث الشبكي للمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، 23 فبراير 2021

[11] (حصة إقليمية تبلغ 3.7 مليون طن سنويًا من 40 مليون طن سنويًا من الكربون الذي تم احتجازه عالمياً في عام 2020 (المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون، 2020.

[12] (حصة إقليمية تبلغ 1.7 مليون طن سنويًا من 40 مليون طن سنويًا من الكربون الذي تم احتجازه عالمياً في عام 2020 (المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون، 2020.

[13] انظر على سبيل المثال تقرير دولة الإمارات العربية المتحدة المعدَّل (الإمارات العربية المتحدة، 2020) حول تقليل انبعاثات عام 2030 بنسبة 23.5 في المائة.

[14] (استنادًا إلى توقعات أدنوك فقط بزيادة الطلب على ثاني أكسيد الكربون بمقدار ستة أضعاف بحلول عام 2030 (ستاندرد آند بورز جلوبال بلاتس، a2020.

[15] (انظر على سبيل المثال تحليل ستاندرد آند بورز جلوبال بلاتس لعام 2020 للبصمات الكربونية للمنتجات النفطية (ستاندرد آند بورز جلوبال بلاتس، 2020.

[16] (بحسب ما أُعلن عنه في نوفمبر 2020 (تشاتام هاوس، 2020.

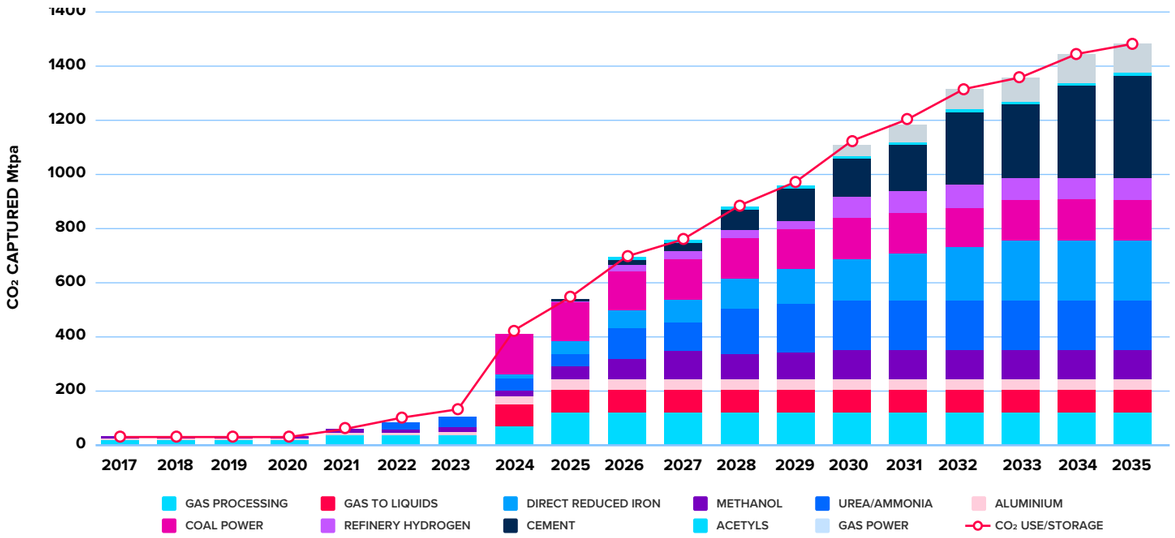
آدم سيمينسكي

رئيس، كابسارك

مع وجود إجماع مطلق على ضرورة العمل للتصدي لتغير المناخ بما يحقق هدف الانبعاثات الصافية الصفرية، لا يوجد اتفاق حول أفضل نهج أو مسار لاتباعه للوصول لهذا الهدف. يدعو البعض إلى الحد من دور الهيدروكربونات، بينما يقترح آخرون نهجاً أوسع بكثير شامل لكافة الخيارات منخفضة الكربون. لدى استعراضنا للمسارات الصافية الصفرية، يبرز الدور الهام لاستخدام تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ليس فقط في خفض التكاليف، بل بما يمنحه لنا من ثقة بتحقيق الأهداف المناخية أيضاً. بدون احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، يقوم المسار نحو صافي الصفر على مجموعة محدودة من التقنيات الموجهة إلى توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بشكل خاص. تُمكّن تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من الاستخدام المستمر للهيدروكربونات في قطاع الكهرباء وكذلك في التطبيقات الصناعية، وتشجع الهيدروجين الأزرق والاحتجاز المباشر من الهواء على سبيل المثال، وجميعها كفيلة بأن تخفض التخفيض وإعادة :(RS التكاليف بشكل كبير. إن مسار الـ 4آر (4 الاستخدام وإعادة التدوير والإزالة نحو صافي الانبعاثات الصفري هو مفتاح الاقتصاد الدائري للكربون.

"لدى استعراضنا للمسارات الصافية الصفرية، يبرز الدور الهام لاستخدام تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ليس فقط في خفض التكاليف، بل بما يمنحه لنا من ثقة بتحقيق الأهداف المناخية أيضاً"

آدم سيمينسكي



الشكل 17 النطاق الفني المُقدَّر لاحتجاز الكربون وتخزينه في منطقة الخليج حتى عام 2035، مليون طن من الكربون.

إن محاولة جمع كافة التوقعات الطويلة المدى حول احتجاز وتخزين الكربون عملية صعبة للغاية. إلا أن تحليلاً لجودة النطاق الفني لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه من شأنه أن يعطي مؤشراً على الاحتمالات. قامت قمر للطاقة بتحليل منطقة دول مجلس التعاون الخليجي، حيث قسمت النطاق السنوي حسب نوع الصناعة الرئيسية (انظر الشكل 17). من المهم التأكيد على أن خط استخدام/تخزين الكربون هو مؤشر يدل على القدرة القصوى أو الإمكانات وليس تنبؤًا. فهو يساعد على تحديد بعض الأحجام الدلالية من الكربون المحتجز المتوقعة المستقبلية في المنطقة.

استنادًا إلى إجمالي تمهيدي يبلغ 15- 20 مليون طن سنويًا من الكربون يتم التقاطه في منطقة مجلس التعاون الخليجي بحلول عام 2030، يمثل الرقم حوالي 20 في المائة من النطاق الفني لنفس العام. وفي حال الحفاظ على هذا المستوى فإنه من المتوقع أن تصل المنطقة إلى 30 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035. إذا تكثفت الجهود لنشر احتجاز الكربون وتخزينه، بحسب ما تشير له الدلائل، مع تطبيق مضاعفة بسيطة محتملة لمعدلات التسليم (ولكن ضمن 40 في المائة فقط من النطاق الفني) قد يصل حتى 60 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035. يتوافق ذلك مع معدل أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه الإقليمية المُدرجة في سيناريو التنمية المستدامة لوكالة الطاقة الدولية. 17 ويبدو قابلاً للتحقيق.

السياسة

إن النمو في استخدام تقنية احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون في منطقة الخليج أقل منه اعتمادًا على الحوافز السياسية عنه في أجزاء أخرى من العالم. فالسياسات المناخية غائبة نسبيًا، مع تركيز الاهتمام الحكومي بإزالة الكربون من منظور استراتيجي وبيئي أكثر بدل تطوير سياسة مناخية شاملة. الدافع الاقتصادي وراء احتجاز الكربون الصناعي يعتمد في الغالب على قيمته في الاستخلاص المحسّن للنفط. مع ذلك تبقى هناك حاجة على المدى القصير إلى وجود أطر تشريعية و/أو تنظيمية لتمكين وتشجيع المزيد من أنشطة احتجاز وتخزين الكربون في المنطقة. فالأطر القوية والسياسات الداعمة من شأنها أن تعزز نمو احتجاز وتخزين الكربون بشكل أكبر.

يشكل أفضل مسار (EPSS) يبدو أن تطبيق معايير أداء الانبعاثات لزيادة احتجاز الكربون وتخزينه مقارنة بالحوافز الضريبية، مثل ضريبة الكربون أو نظام تجارة الانبعاثات. ستشكل معايير أداء الانبعاثات مكملاً فعالاً للاستراتيجية الصناعية الإقليمية لتطوير صناعة ثقيلة منخفضة الانبعاثات الكربونية كشكل من أشكال التنويع. فعلى سبيل المثال، من الضروري أن تضمن معايير أداء الانبعاثات، على الأقل في عُمان والإمارات العربية المتحدة، توافق تصاريح محطات الفحم الجديدة مع الالتزامات بنظم الطاقة ذات الانبعاثات الكربونية المنخفضة. إن ظهور سياسات داعمة لاحتجاز وتخزين الكربون في السنتين إلى الخمس سنوات القادمة سيكون مؤشر توجه نحو النطاق العلوي كما هو موضح في الشكل 17.

إن الفرصة الجديدة نسبياً لدى الحكومات الوطنية للمشاركة في رسم سياستها فيما يخص احتجاز الكربون وتخزينه للمشاركة في تطوير البنية التحتية اللازمة بما يحفز الاستثمار في تقنية احتجاز الكربون من شأنها أن تكون ذا أهمية خاصة في منطقة الخليج. يُعد تركز مصادر الانبعاثات الكبيرة على طول ساحل الخليج العربي، وقربها من مستخدمي الاستخلاص المحسَّن للنفط، عاملاً داعماً لوجود مركز احتجاز الكربون وتخزينه وتجمعاً صناعياً محتمل. يحمل ذلك قيمة مستقبلية محتملة لجميع دول مجلس التعاون الخليجي وفرصة ذهبية لتعاون عبر الحدود. هذه التطورات من شأنها أن تحدث فيما إذا استطاعت المنطقة الوصول الى النطاق الصاعد لمعدلات نمو احتجاز وتخزين الكربون في غضون عامين إلى خمسة أعوام المقبلة.

إن النمو الكبير في مجال تطبيق تقنية احتجاز وتخزين الكربون تشير إلى مدى ثقة وإيمان المنطقة بآفاق احتجاز وتخزين الكربون على مدى 10 – 15 عامًا القادمة. وتدشين مكتب جديد للمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه في أبوظبي إنما هو دليل على تلك الثقة.

كما هو موضح في "الآفاق التقنية للطاقة 2020" الصادر عن وكالة الطاقة الدولية ضمن "تقرير التحول نحو الطاقة النظيفة" (وكالة الطاقة الدولية، 2020).

4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام

1.0 مقدّمة
2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الاقتصادي
2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء العالم 10
2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق 12
2.3 تحديث السياسات العالمية 22
3.0 لمحات عامة إقليمية
3.1 أمريكا الشمالية 26
3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38
3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية
4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام
4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50
4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53
4.4 الصناعة 54
4.5 الهيدروجين 55
4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58
4.7 كَرْبَنَة المعادن 59
5.0 الملاحق
5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62
5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68
5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70
6.0 المراجع 76

4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة

يستمر الاهتمام بالممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات في النمو بسرعة حول العالم، ويبرز ذلك بشكل جلي من خلال العمل الدولي المعني كاعتماد أهداف التنمية المستدامة و اتفاقية باريس، بالإضافة إلى تطوير وتعزيز السياسات المناخية المحلية وسياسات الحماية الاجتماعية والبيئية.

تبرز أهمية العوامل البيئية بشكل خاص لدى تقييم أداء الأنشطة المتعلقة بالممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات. أصبح تغير المناخ مرادفًا للاعتبارات البيئية ضمن تلك الأنشطة في أكثر الأحيان.

ويشكل محور تقارير التقدم والتقييم فيها.

تأثير الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية على الشركات

من المتوقع أن تقوم الشركات بدراسة دقيقة للممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية التي تعتبر جوهرية لأنشطتها الأساسية وتقديم تقارير حولها. وتعتبر كيفية تطرق ومعالجة الشركات لتلك الممارسات ذا أهمية متزايدة للمستثمرين والمساهمين والمجتمع بشكل عام. تطمح العديد من الشركات التقدمية إلى تبني ممارسات أكثر إيثارًا وانسانية واستدامة مدفوعة بأسباب خارجية أيضاً متمثلة بظهور ممارسات استثمارية واعية اجتماعياً، وبزيادة الاهتمام العام بالممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية.

يمكن أن تحقق استراتيجية العمل التي تتضمن الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة فوائد تجارية. تشير الأبحاث إلى أن شفافية الشركات حول الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة هي اعتبار مهم لجميع قطاعات مجتمع الاستثمار، حيث يفضل المستثمرون بشكل متزايد الشركات التي لديها تلك الممارسات مسبقاً. إن اهتمام الممولين بأداء تلك الممارسات وتكلفة زيادة رأس المال أو سهولة الوصول إليه، يشجع الشركات على إيلاء اهتمام أكبر لتأثير أنشطتها الخاصة. تشير الأبحاث إلى وجود صلة مباشرة بين أداء الشركة الأفضل في مجال الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية وإمكانية الوصول إلى رأس مال المنخفض التكلفة.

ربما تكون العلاقة بين الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية والأداء التجاري أقل وضوحاً كما يراها المراقبون في بعض المناطق، بينما يظل البعض الآخر متردداً.

الانتقال إلى تقارير تقدم مُلزمة

يتم استبدال تقارير التقدم الطوعية في مجال الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية بأشكال أكثر رسمية وإلزامية وذلك من خلال تطبيق السياسات والتدخل التنظيمي، أو بدافع الخوف من المخاطر المالية أو التهديد بالتقاضي للممارسات الخاطئة. تشمل التزامات إعداد التقارير المالية الآن، في العديد من الولايات القضائية، تقارير إفصاحية عن الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية والقرارات الاستثمارية.

في أستراليا، يؤكد منظمو الصناعة، مثل البنك الاحتياطي الأسترالي، وهيئة الأوراق المالية والاستثمار الأسترالية، وهيئة التنظيم الاحترازية الأسترالية، على ضرورة إدراج الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية، ولا سيما تغير المناخ، في إجراءات صنع القرار والإفصاح الخاصة بالمدراء. هناك توقعات للمزيد من الشفافية والإفصاح ضمن أطر إعداد التقارير التقليدية.

اتبعت الحكومة البريطانية والهيئات المنظمة للصناعة نهجاً مشابهاً. ففي نوفمبر 2020، أطلقت الحكومة البريطانية خارطة طريق رسمية حددت فيها مساراً بيانياً نحو إعداد تقارير إلزامية متعلقة بالمناخ للشركات ومالكي الأصول تماشياً مع توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ.

تم استبدال أساليب إعداد التقارير التقليدية المتحفظة بنماذج جديدة متقدمة تسعى إلى إدارة الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية للشركات ومعالجة الأخطاء بشكل استباقي.

أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه ضمن خطط الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية الحالية

لم يتم التطرق بشكل موسع إلى الدور الذي يمكن أن تلعبه تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في التخفيف من آثار الأنشطة ذات الانبعاثات الكثيفة للمؤسسة، أو في الحد من الضغوطات الخارجية التي تواجهها نتيجة لذلك. تشير أبحاث المعهد إلى أنه بمجرد تقبل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه كشكل من أشكال التخفيف القابل للتطبيق تجارياً، فإن ذلك سيعود بالفائدة على الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية بطريقة ملحوظة واستثنائية. قد تتبنى المنظمات ذات التعرض الكبير للكربون تقنيات منخفضة الكربون لإثبات التزامها بخفض الانبعاثات الكربونية من جهة، ولتحسين التصور العام والاستثماري لأنشطتها من جهة ثانية.

لم يُؤخذ تأثير احتجاز الكربون وتخزينه على تقييمات أداء الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية بعين الاعتبار المطلوب، باستثناء عدد قليل من النماذج التقييمية التي أشارت إلى دور تقنية احتجاز الكربون أو أقرت بإمكانياتها في إدارة الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية. في حين يتم الإبلاغ أحياناً عن تأثيرات احتجاز وتخزين الكربون المخفضة للانبعاثات، إلا أن حجم تطبيقها أو الأهمية التي يجب أن تعلق عليها تبقى في المجمل غير مدروسة.

النظرة المستقبلية

تنطوي الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية على درجة عالية من عدم اليقين بالنسبة للشركات التي تسعى إلى دعم نشر التقنية على نطاق أوسع. على الرغم من الوعي المبكر بإمكانيات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مجتمعات الاستثمار والتقييم، إلا أن المستويات المنخفضة من استخدام والاستثمار التجاري فيها على مدى السنوات العشر الماضية نتج عنه تجاهل للتقنية بشكل عام ولتأثيرها على أنظمة تقييم بالممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية. ومع ذلك، تواجه العديد من قطاعات الصناعة عالية الانبعاثات ضغوطاً متزايدة لتقييم الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية لأنشطتها ضمن إطار الحد الكربوني.

من المرجح أن تؤدي زيادة استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق تجاري، كما شوهد في العام الماضي، إلى جانب الاعتراف بدورها في دعم أهداف صافي الانبعاثات الصفري، إلى تحسين وضعها أكثر من المرجح أن يدفع التأكيد على ضرورة تضمين أنشطة الحد الكربوني في خطط إعداد التقارير الإلزامية وإعادة توجيه رأس المال نحو استثمارات أكثر استدامة الشركات والمستثمرين إلى أخذ تقنية احتجاز وتخزين الكربون وغيرها من التقنيات بعين الاعتبار. من الأهمية بمكان أن تعي منهجيات إعداد التقارير وخطط تقييم الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية أهمية عملية احتجاز الكربون وتخزينه إلى أبعد مدى. 1

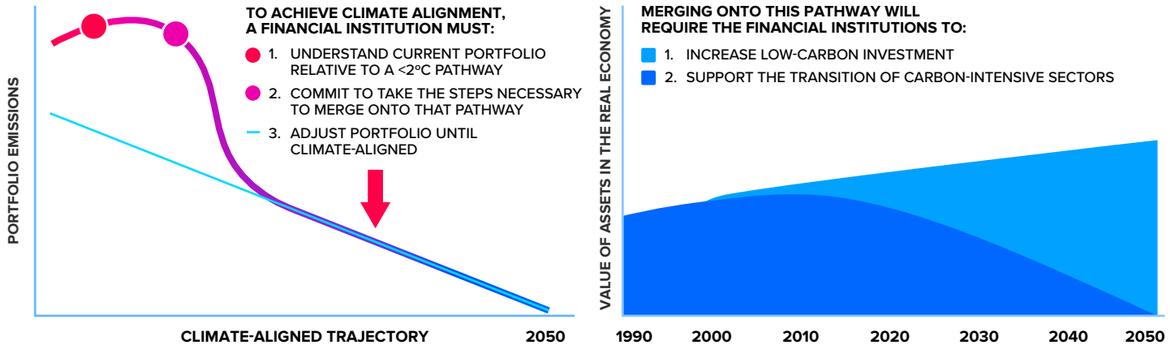
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

الحاجة إلى تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

يبرز التحليل الذي أجرته منظمات موثوقة مثل الوكالة الدولية للطاقة، واللجنة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وغيرها، الدور الهام لتقنية احتجاز وتخزين الكربون في تحقيق الأهداف المناخية الطموحة. أحد الأمثلة على ذلك هو نموذج (الوكالة الدولية للطاقة لسيناريو التنمية المستدامة (الشكل 21.

يحدد نموذج الوكالة الدولية للطاقة لسيناريو التنمية المستدامة مساراً يتم فيه تحقيق 15 في المائة من تخفيضات الانبعاثات في العالم من الآن وحتى عام 2050 باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. وهذا يعادل تشغيل 2,000 مرفقاً كبير الحجم بحلول عام 2050، بمعدل حوالي 100 منشأة سنوياً. سيتراوح رأس المال المطلوب لتحقيق ذلك بين 650- 1300 مليار دولار أمريكي تقريباً 1، وذلك اعتماداً على المعدل الذي يتم به خفض تكاليف احتجاز وتخزين الكربون بحسب قدرة المنشأة. ويتطلب ذلك مستويات غير مسبوقة من التمويل وبخاصة من القطاع الخاص، حيث ترقد معظم السيولة العالمية.

مزيد من المعلومات حول الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية وعلاقتها بـاحتجاز الكربون وتخزينه متوفرة في تقرير المعهد 1 "تقييمات الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة المؤسسية و احتجاز الكربون وتخزينه".



الشكل 18 متطلبات تحقيق الأهداف المناخية و الآثار المترتبة على الأصول شديدة الانبعاثات

دور المخاطر المناخية في دفع عجلة الاستثمار في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

يحمل تغير المناخ في طياته مجموعة من المخاطر غير المسبوقة العالية التأثير والاحتمالية والتي يشار إليها باسم مخاطر المناخ. وهي تشمل مخاطر المرحلة الانتقالية التي تنشأ بسبب الإجراءات الحكومية.

بينما تنفذ الحكومات سياسات للحد من تغير المناخ، مثل تطبيق معايير أداء الانبعاثات وضرائب الكربون، تواجه الشركات ذات الانبعاثات الكبيرة تهديدات لربحيتها، يجعلها تلجئ لاتخاذ إجراءات لحماية نفسها من مخاطر المرحلة الانتقالية. وتواجه المؤسسات المالية ضغوطاً مماثلة لتقليل الخسائر. سيشكل تحقيق التوافق مع اتفاقية باريس المناخية بالنهاية دافعاً رئيسياً للاستثمارات (الخاصة في مجال احتجاز وتخزين الكربون. (الشكل 21

بوجود استثناءات قليلة، لم تحقق كافة القطاعات الصناعية بعد التوافق مع اتفاقية باريس للمناخ. تعتبر قطاعات مثل الصلب والاسمنت والأسمدة والمواد الكيميائية والطاقة ذات انبعاثات كثيفة وباعتبارها توفر السلع والخدمات الأساسية فهي تشكل جزءًا كبيرًا من الاقتصاد العالمي. يمكن للممولين الذين يسعون إلى التخفيف من مخاطر التغير المناخي أن يبتعدوا عن هذه الصناعات الأساسية، أو في حال اختيارهم البقاء، ان يشجعوا تلك القطاعات على تحقيق المواءمة مع الأهداف المناخية سريعاً. في الواقع، مزيج من كلتا الاستراتيجيتين يبدو شائعاً، حيث تختار بعض المؤسسات دعم القطاعات عالية الانبعاثات من خلال استثمارات الديون أو الأسهم. فعلى سبيل المثال، يعمل الصندوق الحكومي للمعاشات التقاعدية في النرويج الذي تبلغ تكلفته 1 تريليون دولار أمريكي والصندوق الحكومي للمعاشات التقاعدية في اليابان الذي تبلغ قيمته 1.36 تريليون دولار أمريكي مع الشركات بشأن تغير المناخ بدلاً من التخلي عن استثمارات الوقود الأحفوري كلياً.

نصير احتجاز الكربون وتخزينه

زوي نايت

المدير العام ورئيس المجموعة، مركز بنك إتش إس بي سي للتمويل المستدام

سيتطلب تحقيق مستقبل صافي انبعاثات صفري كما نصت عليه اتفاقية باريس المناخية تعبئة لكافة وسائل التمويل لمساعدة الشركات ذات التأثير المناخي الشديد على أن تصبح قادة الانخفاض الكربوني غداً. بالنسبة للقطاعات التي يصعب تخفيف انبعاثاتها كقطاعات الاسمنت والصلب والشحن والطيران. يمكن أن تشكل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه حلاً ناجعاً وفعالاً من حيث التكلفة يساعدها على إزالة الكربون على نطاق واسع.

لدينا سندات خضراء وقروض خضراء، لكننا بحاجة للمزيد من المنتجات المالية التي تناسب المرحلة الانتقالية والتي تتيح المزيد من الاستثمار في الشركات التي تقوم بالعمل الشاق لإزالة الكربون باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. تتفق المنظمات المناخية الدولية، كالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، على أن الانتقال إلى اقتصاد صافي صفري يتطلب توسيع نطاق مرافق احتجاز الكربون وتخزينه، وبالتالي، المزيد من التمويل.

تمويل مرافق احتجاز الكربون وتخزينه عامل هام لخفض " الانبعاثات الكربونية

زوي نايت

شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 4.3

ازداد تطوير شبكات احتجاز الكربون وتخزينه التي تقوم بتجميع ثاني أكسيد الكربون من مصادر متعددة. وتوفر تلك الشبكات وفورات الحجم لمواقع احتجاز الكربون وتخزينه الفردية من خلال مشاركة بنية تحتية أكبر لتسييل ثاني أكسيد الكربون ومرافق الموانئ ومرافق ضغط الكربون وخطوط الأنابيب. يوضح (الشكل 22 التكاليف البيانية لخطوط الأنابيب في أستراليا (1.

بعد عملية الالتقاط أو الاحتجاز، يمكن نقل الكربون كغاز (أقل من 74 بار ضغط) أو في المرحلة المتكثفة (فوق 74 بار ضغط). وكما توضح تكاليف خطوط الأنابيب التقديرية في الشكل 22 (بما في ذلك كافة النفقات الرأس مالية والتشغيلية) فإن التدفقات الصغيرة من ثاني أكسيد الكربون تؤدي إلى ارتفاعات كبيرة في تكاليف خطوط الأنابيب لكل طن. و بمجرد تجاوز تلك التدفقات ~ 0.25 مليون طن سنويًا لمرحلة الغاز أو حوالي 1.0 مليون طن سنويًا للمرحلة المتكثفة، يتم استنفاذ معظم وفورات الحجم بغض النظر عن الموقع الذي قد تتباين بحسبه تكاليف خطوط الأنابيب بعض الشيء. هذا يعني وجود حافز واضح وقوي لتقليل تكاليف النقل من خلال تجميع تدفقات الكربون مركزياً من عدة محطات احتجاز أصغر.

عندما يكون شحن ثاني أكسيد الكربون هو الخيار المفضل (كما هو الحال في المواقع الساحلية ذات المسافات البحرية البعيدة عن مواقع التخزين)، فإن وفورات الحجم تتيح خفض التكاليف لكل طن من البنية التحتية المشتركة لإسالة ثاني أكسيد الكربون كما لمرافق الموانئ التي تقوم بتحميل وتفريغ الكربون السائل.

كما تقلل مرافق التخزين المشتركة من التكاليف أيضاً. فحفر الآبار هي عملية مكلفة مع تكاليف كبيرة وثابتة إجمالاً ولكنها قد تتفاوت بعض الشيء أحياناً بحسب قُطر بئر الكربون وقدرته الاستيعابية. لذا فمن المنطقي توزيع الاستثمار على أطنان أكبر من الكربون وتقاسم تكاليف التخزين بين مصادر متعددة.

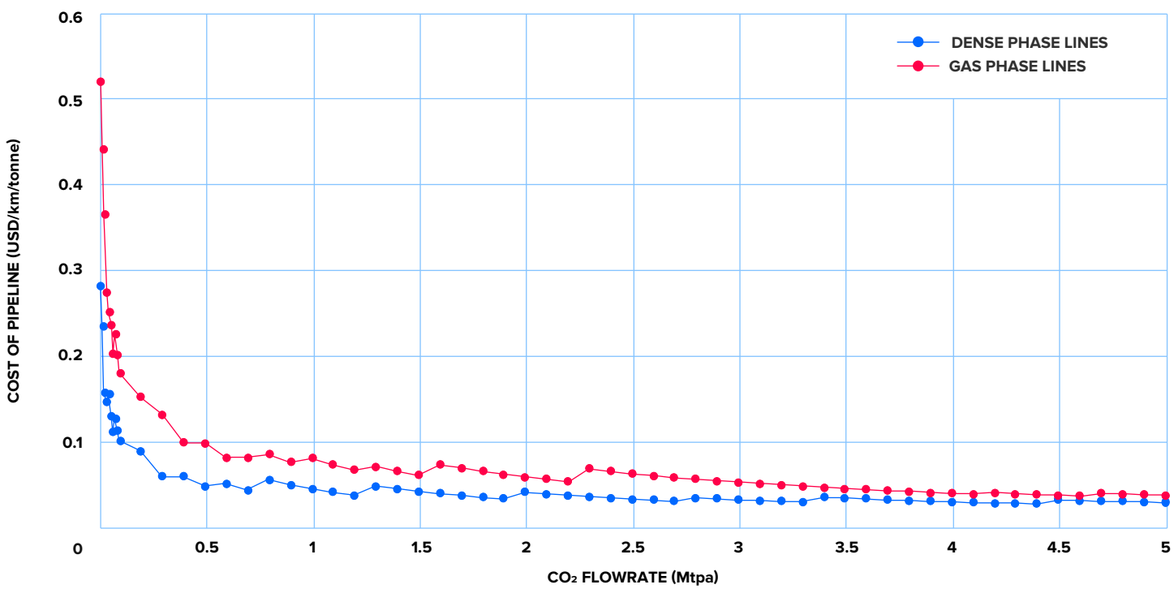
تجعل البنية التحتية المشتركة للنقل والتخزين مشاريع احتجاز الكربون الأصغر حجمًا (حوالي 0.2 مليون طن سنويًا أو أصغر) قابلة للتطبيق. تم إنتاج ما يقرب من 298 مليون طن سنويًا من الكربون في الولايات المتحدة في عام 2019 من 4,931 منشأة فردية (2) ينبعث منها أقل من 200,000 طن كربون سنويًا، وهذا يمثل ما يقرب من 16 في المائة من انبعاثات المنشآت الصناعية الأمريكية. توجد منشآت صغيرة أخرى موزعة في العالم تنشر كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. يتطلب تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري إزالة الكربون من هذه المنشآت ويمكن أن تساعد شبكات احتجاز الكربون وتخزينه في توفير البنية التحتية الاقتصادية الضرورية.

تقلل شبكات احتجاز الكربون وتخزينه من مخاطر العرقلة في سلسلة القيمة

تتطلب سلسلة القيمة لاحتجاز الكربون وتخزينه مجموعة واسعة من المهارات والمعرفة. حيث لن يمتلك مشغل محطة احتجاز ثاني أكسيد الكربون، في معظم الحالات باستثناء فصل الغاز الطبيعي، الكفاءات اللازمة لمعالجة ونقل غازات المرحلة المتكثفة، أو تقييم التخزين الجيولوجي وتشغيله. وبالمثل، من غير المحتمل أن يكون لدى مشغل المصنع المضيف مثل مصنع الاسمنت خبرة في احتجاز الكربون أو نقله أو تخزينه الجيولوجي. في معظم الحالات، لابد لسلسلة القيمة ذات الكفاءة القصوى أن تضم أطراف عدة كل منها متخصص في جزء معين. يتطلب مشروع احتجاز الكربون وتخزينه تنسيقاً بين قرارات استثمارية متعددة ذات مهل إنجاز طويلة.

بمجرد البدء بتشغيل مشروع احتجاز الكربون وتخزينه، يظل الاعتماد المتبادل بين الأطراف المعنية قائماً. يعتمد مشغل التخزين على مشغل الاحتجاز للتزويد بالكربون والعكس صحيح. في حال تعطل أي عنصر من عناصر سلسلة القيمة، ستتعطل السلسلة بأكملها، الأمر الذي سيسبب مخاطر عبر السلسلة. وبشكل عام، يؤدي التموضع الإقليمي الواحد للصناعات والشركات إلى إنشاء نظام بيئي صناعي يعود بالفائدة على الجميع. تعمل شبكات احتجاز الكربون وتخزينه على تقليل مخاطر الطرف المقابل أو عبر السلسلة من خلال توفير مشغلي احتجاز وتخزين للعديد من العملاء أو الموردين.

تُمكن شبكات النقل عبر الحدود الدول التي تفتقر إلى موارد محلية جديدة لتخزين الكربون من تنفيذ مشاريع احتجاز وتخزين الكربون. على سبيل المثال، تخطط المناطق الصناعية مثل دانكرك في فرنسا، و غينت في بلجيكا، و غوتنبرغ في السويد لتجميع ثاني أكسيد الكربون الصناعي لديها ثم تسييله وشحنه للتخزين في بحر الشمال عبر مشروع نورذرن لايتز النرويجي وغيره. حيث يوفر بحر الشمال لهذه الدول موارد تخزين عالية الجودة مع مزايا تكلفة رائعة.



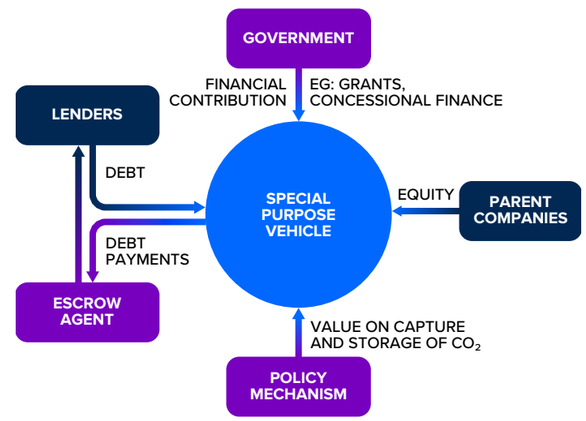
الشكل 22 التكاليف الإرشادية لأنابيب ثاني أكسيد الكربون - المرحلة المتكثفة (< 74 بار ضغط) ومرحلة الغاز

تمويل المشروع

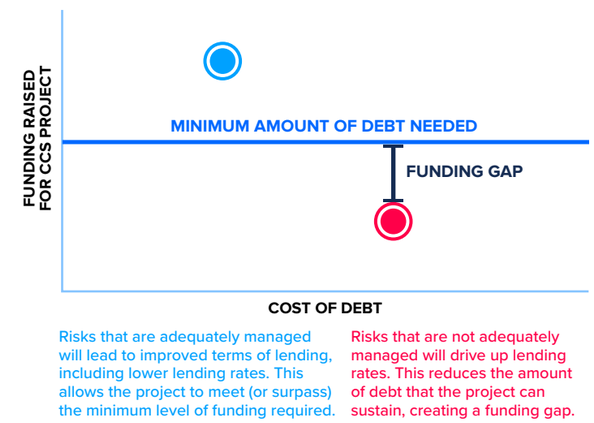
من منظور الأعمال، توجد بعض العقبات أمام تمويل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه حيث يُنظر إليها على أنها عالية المخاطر (تزيد من تكلفة رأس المال) و تتطلب رؤوس أموال ضخمة. تستطيع الشركات الكبيرة من تأمين التمويل من خلال نموذج تمويل الشركات. وهذا يعني أن مخاطر الاستثمار في مجال احتجاز وتخزين الكربون لا تنعكس في تكلفة رأس المال، مع حق الرجوع الكامل للمقرضين. بينما لا تستطيع الشركات الصغيرة وتلك التي لديها ميزانيات محدودة تمويل مرافق احتجاز وتخزين أكسيد الكربون بذات الطريقة. فتلجئ إلى نموذج تمويل المشروع، أي تمويل بدون حق الرجوع، والذي يؤدي إلى تفاقم المخاطر و ارتفاع تكلفة الديون وارتفاع التكاليف الإجمالية للمشروع، خالقاً فجوة في التمويل **الشكل 19**

تعمل الحكومات على خلق بيئة مواتية لاستثمارات احتجاز الكربون وتخزينه

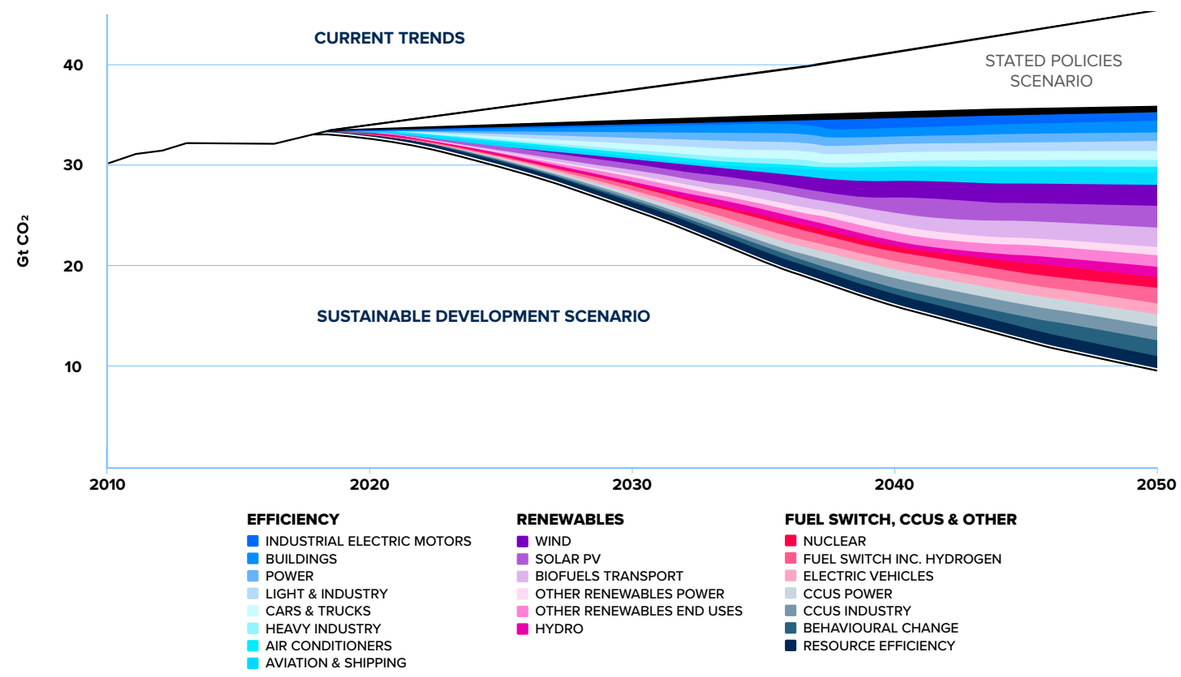
تلعب الحكومات دورًا هاماً في دعم استثمارات احتجاز الكربون وتخزينه. حيث يمكنها تقديم دعم مالي مباشر، مثل منح رأس المال، لتقليل ديون مشاريع احتجاز وتخزين الكربون التجارية. كما يمكن للحكومات تفويض ممولين متخصصين، كبنوك التنمية والبنوك متعددة الأطراف ووكالات ائتمان التصدير، لدعم الاستثمارات في مشاريع احتجاز وتخزين الكربون. يمكن لهؤلاء الممولين المتخصصين تقديم قروض منخفضة التكلفة والتأمين لتمويل أكثر العناصر المعرضة للمخاطر في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. يوضح الشكل 20 هيكلًا نموذجيًا لتمويل المشروع الذي يمكن تطبيقه على الاستثمارات في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه.



الشكل 20 كيف يمكن استخدام هيكل تمويل المشروع لتمكين الاستثمار في احتجاز الكربون



الشكل 19 يمكن أن تؤثر مخاطر المشروع على مبلغ الدين المتاح لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، وفي حال عدم إدارتها بشكل جيد ستؤدي إلى خلق فجوة في التمويل



الشكل 21 سيناريو التنمية المستدامة لوكالة الطاقة الدولية

4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام

4.5 الهيدروجين

4.5 دور الهيدروجين في الهيدروجين النظيف

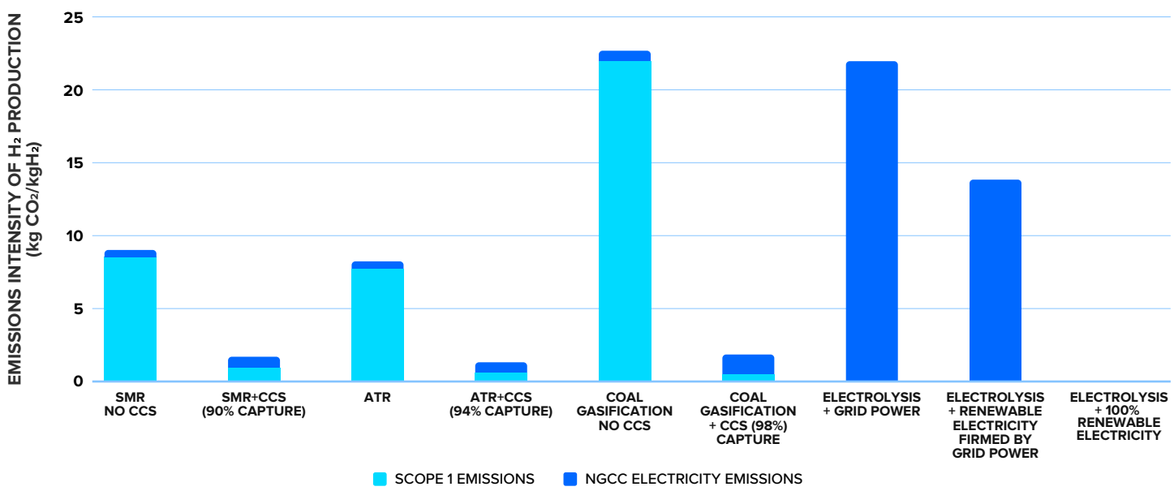
يمكن إنتاج الهيدروجين النظيف بثلاث طرق:

- من الوقود الأحفوري مع احتجاز الكربون وتخزينه (الهيدروجين الأزرق)
- من الكتلة الحيوية
- من المحللات الكهربائية (الكهرلة) التي تعمل بالكهرباء المتجددة (الهيدروجين الأخضر) أو الطاقة النووية

يمكن الهيدروجين النظيف أن يحقق تراجعاً للانبعاثات بعدة غيغا أطنان سنويًا عند استخدامه في الصناعات والنقل والطاقة المستقرة. يقدر مجلس الهيدروجين أن الطلب على الهيدروجين قد يتجاوز 500 مليون طن بحلول عام 2050، محققاً ما يصل إلى 6 غيغا طن سنويًا من التراجع الانبعاثي (8).

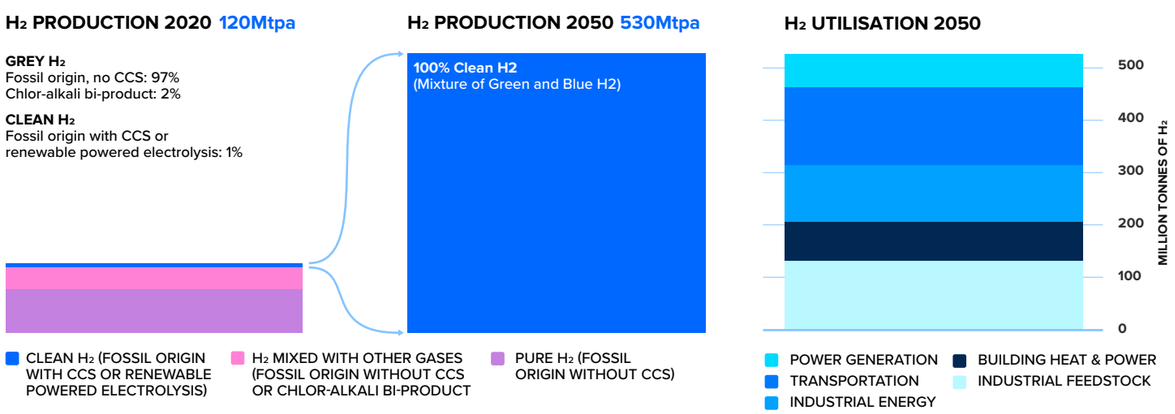
يتطلب تحقيق 6 غيغا طن سنويًا من التراجع الانبعاثي زيادة الطلب على الهيدروجين النظيف وتوريده. هناك عاملان حاسمان لتحقيق ذلك، الحجم والتكلفة:

- يجب أن يرتفع حجم الإنتاج من حوالي 1 مليون طن سنويًا في عام 2020 إلى أكثر من 500 مليون طن سنويًا بحلول عام 2050
- يجب أن تكون تكاليف الإنتاج منخفضة بما يكفي للتنافس مع الوقود الأحفوري، مع مراعاة وضع السياسة الحالية، لتحفيز زيادة الطلب.



بفرض أن كثافة انبعاثات الدورة المركبة للغاز الطبيعي هي 400 كغم من ثاني أكسيد الكربون / ميغاواط في الساعة، و 55 كيلو واط في الساعة / كغم هيدروجين من التحليل الكهربائي؛ يستخدم إنتاج 37 في المائة من الهيدروجين عبر التحليل الكهربائي كهرباء متجددة بدون انبعاثات. تشكل الكهرباء اللازمة لمسارات إنتاج الميثان والفحم دورة حياتية كاملة تشمل الطاقة المستخدمة في إنتاج الميثان والفحم (9)، لم يتم أخذ الانبعاثات المتسربة من إنتاج الغاز الطبيعي والفحم بالاعتبار بشكل مستقل، حيث ستضاف إلى إجمالي الدورة الحياتية لانبعاثات المسارات الأحفورية. كما لم يتم أخذ الدورة الحياتية للانبعاثات من إنشاء وصيانة مرافق توليد الطاقة من المصادر المتجددة في الاعتبار كذلك وستضاف إلى إجمالي انبعاثات مسارات الإنتاج أيضاً.

الشكل 23 إجمالي انبعاثات تقنيات إنتاج الهيدروجين



جميع الأرقام تقريبية. استخدامات الهيدروجين 2050، مأخوذة من مجلس الهيدروجين 2017.

الشكل 24 إنتاج الهيدروجين واستخداماته في 2020 و 2050

مسارات في بؤرة الاهتمام 4.0

4.4 الصناعة

إن احتجاز الكربون وتخزينه هو خيار أساسي للشركات الصناعية العالمية لأجل إزالة الكربون. يُشار أحيانًا إلى القطاعات الرئيسية ذات الانبعاثات الكثيفة مثل الكيماويات والحديد والصلب والاسمنت على أنها "صعبة التخفيف". حيث لا تملك تلك الصناعات القدرة على تصنيع منتجاتها دون إنتاج الكربون المصاحب. إن التحول إلى الطاقة المتجددة أو التركيز على كفاءة الطاقة غير كافي للحد من الجزء الأكبر من انبعاثاتها.

يواجه قطاع الاسمنت العالمي، الذي ينبعث منه ما يقرب من 4.1 مليار طن من الكربون سنويًا (3)، تحديًا كبيرًا في خفض الانبعاثات. على الرغم من محاولات استكشاف خيارات لاستبدال استخدام الوقود الأحفوري وتحقيق كفاءة أكثر في استخدام الطاقة، لا يزال يتعين على القطاع أن يتعامل مع ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تفاعل التكليس، إلى أكسيد الكالسيوم وثاني (CACO3) حيث ينقسم الحجر الكلسي أكسيد الكربون. لكل طن من أكسيد الكالسيوم (المكون الأساسي للاسمنت)، يتم إنتاج 0.785 طن من ثاني أكسيد الكربون، وذلك بغض النظر عن الوقود أو مصادر الطاقة التي يستخدمها القطاع. يمثل ثاني أكسيد الكربون المنبعث من هذه العملية وحدها أكثر من ملياري طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويًا. ولهذا فإن استخدام احتجاز الكربون وتخزينه هنا هو خيار أساسي.

قد يعمل التطبيق الإضافي لتقنيات ما بعد الاحتراق على احتجاز الكربون من غازات الاحتراق ومعالجته. يتم تطوير هذا النهج في مصنع نورسيم بريفيك التابع لشركة هايدلبرج اسمنت في النرويج، وهو منشأة لالتقاط 0.4 مليون طن سنويًا قيد الإنشاء حاليًا (4). تم اختيار أكر كربون كايتشر لاحتجاز الكربون ليكون المقاول المسؤول عن الهندسة والمشتريات والبناء والمزود للتقنية لهذا المشروع (5). أعلنت هايدلبرج اسمنت مؤخرًا عن مشروع أكبر "حيادي الكربون" بقدرة 1.8 مليون طن سنويًا لاحتجاز 1.8 مليون طن سنويًا في مصنع سليت للاسمنت في السويد (6). تبرز أهمية تطوير مصنع سليت ليس فقط لحجمه ولكن لكونه أيضاً أول مرفق اسمنت محايد كربونيًا في العالم.

من أحد مسارات احتجاز الكربون وتخزينه البديلة التي يمكن اتباعها للاسمنت لفصل كربون التكلس، هو عن طريق تسخين المادة الأولية الخام وإبقائها منفصلة عن غازات الاحتراق. كما تم تطبيقه في مشروع التوضيحي في بلجيكا، والذي يقوم بتطبيق تقنية (LEILAC 2) ليلك 2 الجديدة للتكلس. حيث يتم احتجاز ثاني أكسيد (CALIX) كاليكس الكربون العالي النقاء الناتج عن عملية التكليس ليكون جاهزًا للضغط والنقل.

أنتجت صناعة الحديد والصلب العالمية، التي تُعد مساهمًا رئيسيًا آخر في الانبعاثات العالمية، 2.6 مليار طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المباشرة في عام 2019 (7). وقد زاد اهتمام تلك الصناعة باحتجاز الكربون وتخزينه. مع وجود أسطول كبير ومتطور منها حول العالم ومصانع يزيد عمرها عن 50 عامًا، سيكون التعديل التحديثي لها خيارًا ضروريًا. يوجد مصنع واحد فقط قيد التشغيل لاحتجاز وتخزين الكربون في قطاع الحديد والصلب (مصنع الصناعات الحديدية الإماراتي في أبوظبي) والآخر قيد التطوير (مشروع إيفرست التابع لتاتا ستيل في هولندا). لا بد لقطاع الحديد والصلب من ترجمة اهتمامه باحتجاز وتخزين الكربون إلى مشاريع نشطة أكثر ليستطيع تحقيق أهداف إزالة الكربون.

تاريخياً، كان لصهر الألمنيوم تأثير كبير في الانبعاثات نظراً لإستخدام شبكات الكهرباء في ذلك. ومع اعتماد العديد من منتجي الألمنيوم اليوم على إمدادات الكهرباء المتجددة إلى حد كبير، وخاصة على الطاقة الكهرومائية، تحول التركيز إلى النطاق 1 من الانبعاثات (وهي الانبعاثات المباشرة لغاز الدفيئة في موقع المصنع).

صهر الألومنيوم هو عملية كهروكيميائية متطورة للغاية حيث يتم تأكسد أنود الكربون لدى تحول الألومينا إلى معدن الألمنيوم مطلقاً لثاني أكسيد الكربون. يتم يسحب ثاني أكسيد الكربون من أواني الصهر باستخدام هواء نقي ليشكل تدفقاتٍ مُخَفَفة من ثاني أكسيد الكربون. يعتبر احتجاز الكربون وتخزينه خياراً صعباً نظراً لارتفاع تكاليف رأس المال والتشغيل اللازمة لاحتجاز الكربون المخفف، ولكنه يبقى الخيار الأفضل.

لا تزال تقنيات الصهر الأحدث التي لا تستخدم أنود الكربون قيد التطوير، كما من غير المرجح أن يتم استخدامها على النطاق اللازم للوصول بقطاع الألمنيوم إلى الهدف صافي الصفري بحلول عام 2050. إضافة لكونها غير مناسبة للتعديل التحديثي.

نصير احتجاز الكربون وتخزينه

سيغفريد روسفورم

رئيس اتحاد الصناعات الألمانية

تعد تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه عنصراً هاماً في إزالة الكربون من الصناعة. لضمان نجاح كافة الجهود المبذولة لتحقيق حيادية الكربون لابد من إجراء نقاش مفتوح وشفاف وغير متحيز حول أكثر التقنيات فعالية لتجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لن يكون استخدام الطاقات المتجددة وتحسين كفاءة الطاقة وحدهما كافيين لمواجهة هذا التحدي.

لا توجد حالياً بدائل مجدية اقتصاديًا أكثر من احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، خاصة من أجل التخفيف من انبعاثات العمليات الصناعية. في ظل وجود الصناعات كثيفة الانبعاثات والأهداف المناخية الطموحة في ألمانيا، نحتاج إلى النظر بجدية في استخدام تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه باعتباره عنصراً مهماً ضمن أدوات حماية المناخ.

ستكون تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه أيضاً نقطة انطلاق مهمة نحو صافي انبعاثات صفري وجزء من تنمية اقتصاد الهيدروجين المرغوب سياسياً. فمن الواضح أن استخدام تقنيات الحد وإزالة الكربون مرتبط بمدى تقبلها اجتماعياً وسياسياً، وهذا يتطلب معرفة بالحقائق كحد أدنى.

"تُعد تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه عنصراً هاماً في إزالة الكربون من الصناعة"

سيغفريد روسفورم

رفع مستوى إنتاج الهيدروجين النظيف

يتم إنتاج الهيدروجين الأزرق بكميات تجارية (من مئات إلى أكثر من 1000 طن يوميًا في كل منشأة) منذ عام 1982 مما يساهم في زيادة إنتاجه سريعاً. وبالمقارنة، تنتج أكبر منشأة لإنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربائي (الكهرلة) في العالم في فوكوشيما، اليابان، والمُشغلة بواسطة طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية، بافتراض وجود بطارية تخزين بسعة كافية، حوالي 2.4 طن يوميًا من الهيدروجين الأخضر. يوجد حاليًا سبع منشآت تجارية تنتج الهيدروجين الأزرق، تبلغ طاقتها الإنتاجية الإجمالية سوية من 1.3 إلى 1.5 مليون طن سنويًا.

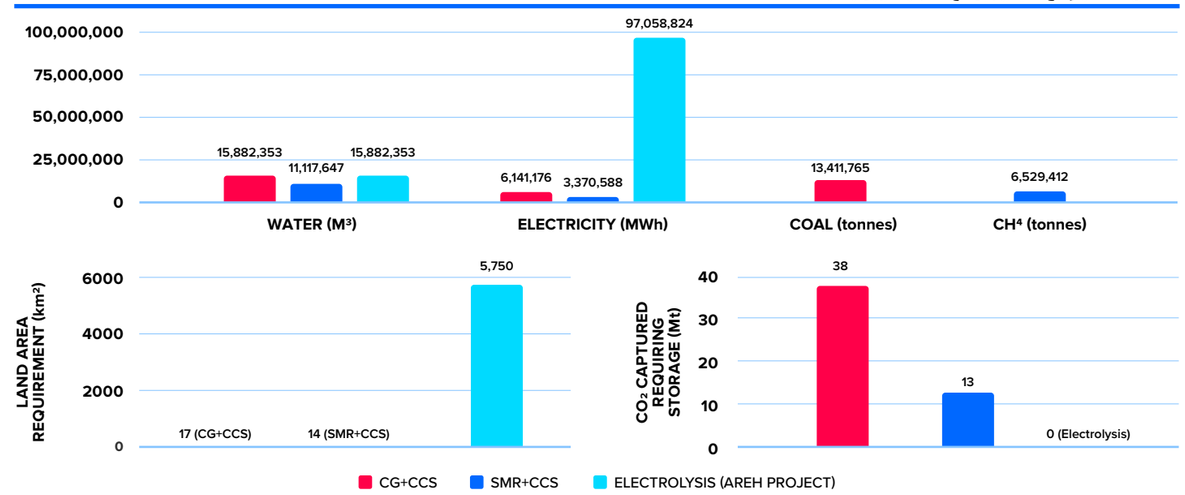
لتوسيع نطاق إنتاج الهيدروجين النظيف بالسرعة الممكنة، لابد من وجود موارد معينة. يتم تحديد أفضل طريقة لإنتاج الهيدروجين النظيف في موقع معين من خلال الأرض والمياه والكهرباء والفحم والغاز والمساحة المسامية لتخزين ثاني أكسيد الكربون:

- يتطلب إنتاج الهيدروجين النظيف بالتحليل الكهربائي (الكهرلة)، أو من الفحم أو الغاز مع احتجاز الكربون وتخزينه، كميات متماثلة من الماء حوالي 6 كغم / لكل كغم من الهيدروجين للغاز + احتجاز الكربون وتخزينه و 9 كغم / كغم من الهيدروجين للفحم + احتجاز الكربون وتخزينه أو التحليل الكهربائي (11، 12).
- التحليل الكهربائي له متطلبات كهربائية عالية للغاية تصل إلى 55 كيلو واط / لكل كغم هيدروجين (13)، مقارنة بـ 1.91 كيلو واط/ لكل كغم هيدروجين للغاز + احتجاز الكربون وتخزينه، و 3.48 كيلو واط / لكل كغم هيدروجين للفحم + احتجاز الكربون وتخزينه - إضافة إلى الكهرباء اللازمة لإنتاج الغاز أو الفحم (9، 13).
- يتطلب الهيدروجين المتجدد أرضاً كافية لاستثمار طاقة الرياح و / أو محطة توليد للطاقة الشمسية الكهروضوئية.

يتطلب الهيدروجين الأحفوري مع احتجاز الكربون وتخزينه أرضاً لخطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون وبنية تحتية للتخزين. كما يحتاج أيضاً إلى الفحم أو الغاز ومساحة مسامية للتخزين الجيولوجي للكربون.

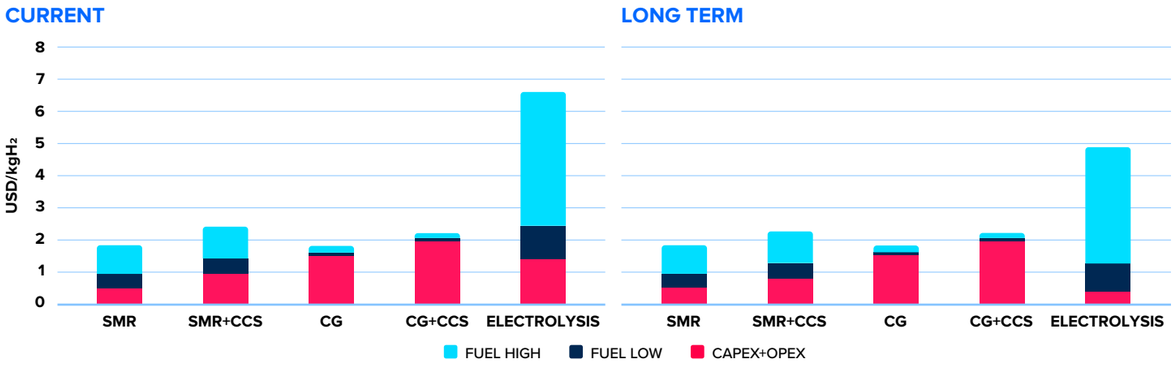
المنشأة	قدرة إنتاج الهيدروجين (طن في اليوم)	عملية إنتاج الهيدروجين	استخدام الهيدروجين	بدء التشغيل
إينيد للأسمدة	200 (من الغاز الاصطناعي)	الإصلاح بالبخار	إنتاج الأسمدة	1982
غريت بلينز سينغوبل	1,300 (من الغاز الاصطناعي)	تغويز الفحم	إنتاج الغاز الطبيعي البديل	2000
إير برودكتز	500	الإصلاح بالبخار	تكرير البترول	2013
كوفيفيل	200	تغويز الكوك البترولي	إنتاج الأسمدة	2013
كويست	900	الإصلاح بالبخار	معالجة البيتومين (إنتاج الزيت الاصطناعي)	2015
أكتل ستيرجن	240	تغويز رواسب الأسفلتين	معالجة البيتومين (إنتاج الزيت الاصطناعي)	2020
أكتل نيوترين	800	الإصلاح بالبخار	إنتاج الأسمدة	2020

الشكل 25 قدرة إنتاج الهيدروجين مع احتجاز الكربون وتخزينه (10)



متطلبات الأرض لمسار التحليل الكهربائي مقتبسة من موقع مشروع المحور الآسيوي للطاقة المتجددة. وهي تفترض عامل قدرة مشتركة 48 في المائة لطاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية و 55 كيلو وات ساعة / لكل كغم من الهيدروجين المنتج بالتحليل الكهربائي (13). تسعة كغم من الماء مطلوبة لكل كغم من الهيدروجين للتحليل الكهربائي (13). متطلبات الكهرباء لتغويز الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه (3.48 كيلو واط ساعة / كغم هيدروجين) و الإصلاح بالبخار مع احتجاز الكربون وتخزينه (1.91 كيلو واط ساعة / كغم هيدروجين)، شاملة الكهرباء المستخدمة في إنتاج الفحم أو الغاز (9). كمية الماء المطلوبة هي 6.3 كغم لكل كغم من الهيدروجين للإصلاح بالبخار مع احتجاز الكربون وتخزينه (12). تسعة كيلوغرامات من الماء مطلوبة لكل كيلوغرام من الهيدروجين لتغويز الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه (11). تفترض متطلبات الأرض لتغويز الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه و للإصلاح بالبخار مع احتجاز الكربون وتخزينه وجود خط أنابيب ثاني أكسيد الكربون بطول 500 كيلومتر ضمن ممر بعرض 20 متراً، مع 2 كيلومتر مربع للمصنع و 10 آبار حقن تزيد مساحتها عن 5 كيلومترات مربعة لتغويز الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه، و 4 آبار حقن تزيد مساحتها عن 2 كيلومتر مربع للإصلاح بالبخار مع احتجاز الكربون وتخزينه. يبلغ مقدار ثاني أكسيد الكربون الذي يتطلب تخزينًا جيولوجيًا لكل كغم من الهيدروجين 21.5 كغم لتغويز الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه، و 7.2 كغم للإصلاح بالبخار مع احتجاز الكربون وتخزينه.

الشكل 26 الموارد المطلوبة لإنتاج 1.76 مليون طن من الهيدروجين من الفحم أو الغاز باستخدام احتجاز الكربون وتخزينه والتحليل الكهربائي بواسطة الكهرباء المتجددة



الإصلاح بالبخار، تغويز الفحم، احتجاز الكربون وتخزينه (15).

الشكل 27 تكاليف إنتاج الهيدروجين الحالية والطويلة الأمد

يخطط مشروع المحور الآسيوي للطاقة المتجددة (AREH) في شمال غرب أستراليا النائي والذي، في حال إتمامه، سيشكل أكبر مشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر في العالم، لإنتاج 10 مليون طن سنوياً من الأمونيا. و يتطلب ذلك ما يقرب من 1.76 مليون طن سنويًا من الهيدروجين، يتم إنتاجه عن طريق التحليل الكهربائي للمياه باستخدام 23 غيغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح على مساحة 5,750 كيلومتراً مربعاً من الأرض (14). 2

يقارن الشكل 26 متطلبات الموارد للهيدروجين المتجدد بناءً على مشروع المحور الآسيوي للطاقة المتجددة مع نفس الكمية من الهيدروجين المُنتج من الغاز أو الفحم مع احتجاز الكربون وتخزينه. بالمقارنة مع الهيدروجين المتجدد، يتطلب إنتاج الهيدروجين الأزرق كميات متواضعة من الأرض والكهرباء. فعلى سبيل المثال، إنتاج 1.76 مليون طن من الهيدروجين (أي ما يعادل مشروع واحد للمحور الآسيوي للطاقة المتجددة) باستخدام الإصلاح بالبخار (SMR) مع احتجاز الكربون وتخزينه، سيتطلب حوالي 14 كيلومتر مربع من الأرض، بافتراض طول خط أنابيب ثاني أكسيد الكربون هو 500 كيلومتر ضمن ممر بعرض 20 مترًا ، و 2 كيلومتر مربع للمصنع، وأربعة آبار حقن الكربون على مساحة 2 كيلومتر مربع.

يتطلب إنتاج الهيدروجين الأزرق أيضاً الوصول إلى الفحم أو الغاز ومساحة مسامية للتخزين الجيولوجي للكربون. إن صناعتي الفحم والغاز على حد سواء صناعتان متطورتان بسلاسل إمداد راسخة، مما يعني أن الوصول إلى الفحم أو الغاز لدعم إنتاج الهيدروجين الأزرق في أي مكان سيكون أمراً سهل التحقيق روتينياً. كما أن وفرة الموارد العالمية للتخزين الجيولوجي للكربون تعني إمكانية استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في إنتاج الهيدروجين في ظل أي سيناريو للتخفيف من حدة المناخ ولجميع الصناعات. فمثلاً، إذا فرضنا أن كامل 530 مليون طن من الهيدروجين النظيف المنتج في عام 2050 هو هيدروجين أزرق، فإن متطلبات تخزين ثاني أكسيد الكربون السنوية ستكون 7.6 مليار طن فقط 3 ، مقارنة مع سعة التخزين العالمية التي تقدر بآلاف المليارات من الأطنان.

تكلفة انتاج الهيدروجين النظيف

لا تتأثر تكاليف إنتاج الهيدروجين النظيف بمتطلبات رأس المال فقط، حيث يؤثر سعر الغاز الطبيعي على تكاليف الهيدروجين الأزرق، بينما تؤثر نوعية مصادر الطاقة المتجددة (التي تؤثر على سعر الكهرباء وقدرة المحلل الكهربائي) على تكاليف الهيدروجين الأخضر. وبشكل عام، يعتبر الهيدروجين النظيف المنتج من الفحم أو الغاز مع احتجاز الكربون وتخزينه الأقل تكلفة. ومن المتوقع أن يبقى كذلك، باستثناء المناطق التي تملك إمكانية الوصول إلى أفضل الموارد المتجددة والكهرباء المتجددة الأقل سعراً. بالإضافة إلى رأس المال المباشر وتكاليف التشغيل المرتبطة بإنتاج الهيدروجين كما هو موضح في الشكل 28، فإن التمويل مطلوب أيضاً للبنية التحتية الأساسية خارج الموقع الداعمة للإنتاج:

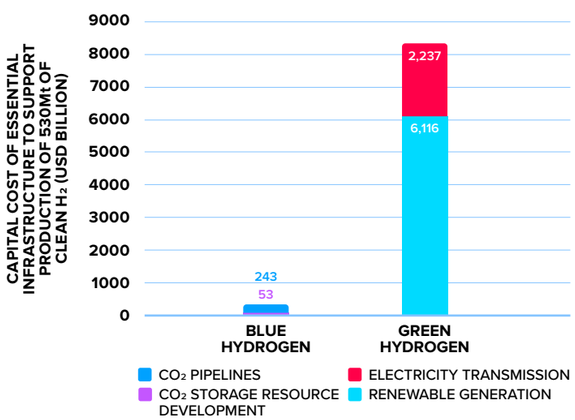
- يتطلب إنتاج الهيدروجين النظيف بالتحليل الكهربائي (الكهرلة)، أو من الفحم أو الغاز مع احتجاز الكربون وتخزينه، كميات متماثلة من الماء حوالي 6 كغم / لكل كغم من الهيدروجين للغاز + احتجاز الكربون وتخزينه و 9 كغم / كغم من الهيدروجين للفحم + احتجاز الكربون وتخزينه أو التحليل الكهربائي (11، 12).
- التحليل الكهربائي له متطلبات كهربائية عالية للغاية تصل إلى 55 كيلو واط / لكل كغم هيدروجين (13)، مقارنة بـ 1.91 كيلو واط/ لكل كغم هيدروجين للغاز + احتجاز الكربون وتخزينه، و 3.48 كيلو واط / لكل كغم هيدروجين للفحم + احتجاز الكربون وتخزينه - إضافة إلى الكهرباء اللازمة لإنتاج الغاز أو الفحم (9، 13).
- يتطلب الهيدروجين المتجدد أرضاً كافية لاستثمار طاقة الرياح و / أو محطة توليد للطاقة الشمسية الكهروضوئية.

يتطلب الهيدروجين الأحفوري مع احتجاز الكربون وتخزينه أرضاً لخطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون وبنية تحتية للتخزين. كما يحتاج أيضاً إلى الفحم أو الغاز ومساحة مسامية للتخزين الجيولوجي للكربون.

- بالنسبة للهيدروجين الأخضر، تشمل البنية التحتية الداعمة بناء قدرة توليد كهرباء متجددة وخطوط نقل مرتبطة عند الضرورة.
- بالنسبة للهيدروجين الأزرق، تشمل البنية التحتية الداعمة خطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون وتطوير موارد التخزين الجيولوجي.

تم تقدير التكلفة الرأس مالية للبنية التحتية الداعمة الأساسية في الشكل 28 لسيناريوهين متطرفين، هما إنتاج 530 مليون طن من الهيدروجين الأزرق أو الأخضر (توقعات الطلب في عام 2050 بحسب تقدير مجلس الهيدروجين)، إن دعم 530 مليون طن من الهيدروجين الأخضر سيكلف أكثر من 8,000 مليار دولار أمريكي، مقارنة بحوالي 300 مليار دولار أمريكي للهيدروجين الأزرق. ويشمل ذلك خطوط الأنابيب وتوليد الكهرباء وتوزيعها (16).

هناك العديد من الافتراضات المُتضَمّنة في تقديرات التكلفة هذه. وعلى الرغم من أنها ليست نهائية، إلا أنها توضح أن البنية التحتية الأساسية المطلوبة لدعم إنتاج الكميات ذات الصلة بالمناخ من الهيدروجين الأخضر يمكن أن تكلف 20 أو 30 مرة أكثر من البنية التحتية المطلوبة لدعم إنتاج نفس الكمية من الهيدروجين النظيف باستخدام الوقود الأحفوري مدعوماً بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.



الشكل 28 تكلفة رأس المال للبنية التحتية الأساسية لدعم إنتاج 530 مليون طن من الهيدروجين الأزرق أو الهيدروجين الأخضر

منشأة	البلد	تاريخ بدء التشغيل المُعلن
مصنع الهيدروجين في وادي واباش للموارد	الولايات المتحدة	2022
مصفاة إير ليكيد روتردام	هولندا	2024
مشروع إنتاج الهيدروجين بواكاي	نيوزيلاندا	2024
مصفاة شل روتردام	هولندا	2024
مصفاة إكسون موبيل بنلوكس	هولندا	2024
مصفاة إير برودكتز روتردام	هولندا	2024
إيكورن الهيدروجين	المملكة المتحدة	2025
محطة الطاقة الكربونية السلبية لأنظمة الطاقة النظيفة - سنترال فالي	الولايات المتحدة	2025
مصفاة بريم	السويد	2025
بارنتس بلو للأمونيا النظيفة مع احتجاز الكربون وتخزينه	النرويج	2025
شبكة نورذرين غاز إيتش21	المملكة المتحدة	2026
رافينا هاب - إيني هيدروجين	إيطاليا	2026
سالتند (H2H) هيدروجين تو همبر	المملكة المتحدة	2026–2027
إن واي نت نورث ويست	المملكة المتحدة	منتصف عام 2020
مشروع بولاريس لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	منتصف عام 2020
نت زيرو تيسايد - بريتش بتروليوم إيتش2 تيسايد	المملكة المتحدة	2027
همبر زيرو - مصفاة 66 فيليبس همبر	المملكة المتحدة	2028
باو سنترال سولاويزي للأمونيا النظيفة مع احتجاز الكربون وتخزينه	إندونيسيا	أواخر عام 2020

استثمار جديد

لقد دعمت إمكانية استخدام الهيدروجين النظيف كبديل منزوع الكربون في الصناعة والطاقة الثابتة والنقل موجة من خطط إنشاء مشاريع جديدة. في 30 سبتمبر 2021، التابعة للمعهد ثمانية CO2RE تضمنت قاعدة بيانات مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه عشر مشروعاً إما لإنتاج الهيدروجين الأزرق لبيعه لأطراف ثالثة، أو لاستخدامه في إنتاج الأمونيا والأسمدة والكهرباء. لا توجد معلومات حول القدرة الإجمالية للمشاريع، ولكن بالنظر إلى المعلومات المتوفرة للعموم فمن المحتمل أن تتجاوز مليوني طن من الهيدروجين سنوياً. 4

بالتأكيد هناك المزيد من منشآت الهيدروجين الأزرق قيد التطوير أكثر من تلك المدرجة. ستتم إضافتها عندما تصبح في مراحل تطوير متقدمة ومحددة بشكل كافٍ. ولكن، حتى مع هذه الزيادة الأخيرة في نشاط المشاريع، لابد من أن تتسارع وتيرة إنتاج الهيدروجين النظيف أكثر. هناك حاجة ماسة إلى نمو أسرع خلال العقود الثلاثة القادمة لدعم تحقيق أهداف الانبعاثات الصافية الصفرية في المستقبل حيث يلعب كلٌ من الهيدروجين الأزرق والأخضر دوراً ضرورياً وهاماً فيه.

4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية

على عكس معظم تقنيات الحد من الكربون التي تقلل الانبعاثات من المصادر النقطية تسحب الكربون من الغلاف الجوي وتخزنه (NETs) الثابتة، فإن تقنيات الانبعاثات السلبية بشكل آمن.

توجد فئتان رئيسيتان من تقنيات الانبعاثات السلبية: تلك القائمة على التمثيل الضوئي (طاقة الكتلة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه)، والإزالة المباشرة للكربون من الغلاف الجوي (التقاط الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه).

على عكس مشاريع إزالة الكربون القائمة على الغابات، يمكن أن توفر تقنيات الانبعاثات السلبية بفيئتيها تخزيناً طويل المدى للكربون المخزن بمأمن من تغيرات الطقس والحرائق والآفات والأمراض. يتميز التقاط أو احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه بالتدرجية ولا يقتصر استخدامه على توفر الأراضي الصالحة للزراعة. ستلعب الحلول الطبيعية دورًا أساسيًا في استجابتنا للتغير المناخي، ولكنها على الأرجح لن تكون كافية بحد ذاتها لتأمين الانبعاثات السلبية التي يحتاجها العالم لتحقيق أهداف الصفر الصافي.

الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه

تستفيد مشاريع الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه من عملية التمثيل الضوئي لالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في الكتلة الحيوية. تُستخدم هذه الكتلة الحيوية لتوليد الطاقة عبر إنتاج الوقود الحيوي أو عبر الاحتراق المباشر. يتم التقاط ثاني أكسيد الكربون الناتج وتخزينه في باطن الأرض.

يشكل الإيثانول الحيوي خياراً ممتازاً ومنخفض التكلفة لـمشاريع الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه. يتطلب ثاني أكسيد الكربون عالي النقاء الناتج عن التخمر قبل تخزينه التجفيف والضغط فقط. نظراً لكون هذا الكربون من الغلاف الجوي، فإن احتجازه وتخزينه يؤدي إلى انبعاثات سلبية. سيقوم مشروع شبكة الإيثانول الحيوي والكربون التابع لشركة ساميت لحلول الكربون الأمريكية بنقل ثاني أكسيد الكربون من 31 مصنعًا فرديًا للإيثانول الحيوي موفراً لها نقلًا وتخزينًا مشتركًا منخفض التكلفة. بقدرة أقل بقليل من 8 مليون طن سنوياً، ستكون أكبر شبكة للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه في العالم.

يعتبر قطاع تحويل النفايات إلى طاقة فرصة رئيسية أخرى للانبعاثات السلبية. تحرق مصانع تحويل النفايات إلى طاقة عادةً نفايات المدن الصلبة المفرزة. بوجود الوقود الذي يحتوي عادةً على أكثر من 50 في المائة كتلة حيوية (مثل بقايا الطعام والنفايات الخضراء)، سينتج المصنع الذي يقوم بحرق جزء أقل من النفايات غير الأحيائية انبعاثات سلبية. أحد المشاريع قيد التطوير المتقدم هو مشروع فورتوم أوسلو فارم لاحتجاز الكربون وتخزينه في مصنع كليمتسرود لتحويل النفايات إلى طاقة في النرويج. من المخطط له أن يقوم بعزل 0.4 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون، مما يساعد على خفض الانبعاثات بشكل كبير في مدينة أوسلو. سيكون التخزين في مشروع نورذرين لايتز (جزء من شبكة لانغسكيب) الواقع غرب النرويج في بحر الشمال.

يعد توليد طاقة الكتلة الحيوية فرصة أخرى لمشروع الطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه. تم تحويل محطة الطاقة دراكس، التي كانت تعمل بالفحم سابقًا، في إنجلترا لاستخدام وقود الكتلة الحيوية المُعالج. في يونيو 2021، وقعت دراكس صفقة مع شركة ميتسوبيشي الخاصة (KS-21) للصناعات الثقيلة لاستخدام تقنية الاحتجاز كي إس21- بها. بقدرة 4.3 مليون طن سنويًا، سيكون المصنع الأكبر الوحيد للطاقة الحيوية في العالم.

احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه

لا تزال مشاريع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة في مرحلة مبكرة من التطوير. وهي تنطوي على إزالة مباشرة لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي دون التمثيل الضوئي. كربون الغلاف الجوي مخفف للغاية مقارنة بالكربون الصناعي مما يُصعّب من عملية عزله. لابد من معالجة كميات كبيرة نسبياً من الهواء لكل طن كربون يتم احتجازه. هناك حاجة إلى معدات احتجاز أكبر، وهذا يعني تكلفة المشاريع ستكون أكبر منها لمشاريع احتجاز وتخزين الكربون الصناعي بذات القدرة. كما أن الديناميكا الحرارية أو التحريك الحراري في فصل الغازات يعني أن ثاني أكسيد الكربون المخفف يتطلب مزيدًا من الطاقة لاحتجازه.

تقع مشاريع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه قيد التطوير حول العالم:

- تقوم شركة كربون إنجينيرينغ لتقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة بالتعاون مع شركة أوكسي لو كربون فينتشرز بتطوير مشروع بقدرة 1 مليون طن سنويًا في حوض بيرميان في تكساس، الولايات المتحدة. مع الميزة المتمثلة بمرونة الموقع يمكن إنشاء مشروع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة بجوار البنية التحتية القائمة لنقل وتخزين الكربون.

تقوم شركة كلايموكس السويسرية، بالتعاون مع شركة التخزين الجيولوجي كربفيكس، ببناء مشروع أوركا لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه على نطاق تجاري في أيسلندا (17). تقدم أيسلندا طاقة متجددة منخفضة التكلفة لعملية الاحتجاز. كما تعتبر طريقة تخزين كربفيكس منخفضة التكلفة مقارنة بالمواقع الأخرى، وهي تعتمد على استخدام المياه المتدفقة من محطة طاقة حرارية أرضية تعمل على إذابة ثاني أكسيد الكربون قبل حقنه في تشكيل بازلتي تحت الأرض. و ستعمل الكربنة المعدنية بعدها على تحويل الكربون إلى مادة صلبة للتخزين الدائم.

تطورات السياسة

لا تزال السياسات المحفزة لتقنيات إزالة الكربون غير موجودة لأسباب عدة منها وجود عدد كبير من أهداف صافي الانبعاثات الصفري، مما يصعب عملية ترجمتها إلى سياسات هادفة تؤدي إلى خفض الانبعاثات، خاصة أن إزالة الكربون لا تزال في بداياتها. إضافة لذلك، هناك قلق بين صانعي السياسات من أنه إذا لم يتم إعطاء الأولوية لخفض الانبعاثات، من الممكن أن تؤخر إزالة الكربون عملية خفض الانبعاثات. سعى قانون المناخ في الاتحاد الأوروبي مؤخرًا إلى معالجة هذا الأمر من خلال وضع حد أقصى لمساهمة عملية الإزالة في تحقيق أهداف الاتحاد الأوروبي المناخية لعام 2030.

تتباين سيناريوهات الصافي الصفري في توقعتها للدور الذي يمكن أن تلعبه تقنيات إزالة الكربون. يعتمد حجم الإزالة المطلوبة على مدى انحدار منحنى خفض الانبعاثات والكمية المتوقعة للانبعاثات الإيجابية المتبقية من القطاعات التي يصعب تخفيفها. تتراوح التقديرات بين الحاجة إلى إزالة عدد قليل إلى إزالة عشرات الغيغا طن من الكربون سنويًا بحلول منتصف القرن. ويشكل عدم الوضوح هذا في أهداف إزالة الكربون عنصراً آخر يُصّعب تصميم السياسة حوله.

لابد من البدء بالعمل فوراً إذا ما أردنا إيجاد المحفزات المناسبة لتقنية إزالة الكربون بحلول أوائل 2030 وما بعده. تحتاج تقنية إزالة الكربون إلى المساهمة الفعّالة في إجراءات التخفيف من آثار تغير المناخ على مدى العقود القادمة للوصول إلى أهداف الصافي الصفري لتكون بعدها المحرك الرئيسي للطموح المناخي (18).

شهدت تقنية إزالة الكربون القائمة على التقنية اهتماماً متزايداً بشكل عام في أسواق الكربون الطوعية، كما تمت الإشارة إليه في القسم 2.3.

4.7 كَرْبَنَة المعادن

الكربنة المعدنية هي عملية جيولوجية يتفاعل فيها ثاني أكسيد الكربون مع الصخور لتكوين منتجات معدنية/ معادن كربونية مستقرة تعرف باسم الكربونات (19). يتوفر البازلت عالميًا (20) ويتمتع بخواص تكوينية ومعدنية ملائمة للكربنة المعدنية. و توجد هذه الصخور، والعديد غيرها من الصخور التفاعلية، بشكل مناسب في مناطق حيث التخزين التقليدي للكربون (مثلاً في حقول النفط والغاز الناضبة) يكون غائباً بشكل عام.

تُستخدم الكربنة المعدنية حالياً لتخزين الكربون بطريقتين مختلفتين:

- يمكن أن يؤدي تعريض الصخور المافية القاتمة أو الصخور فوق المافية (تلك الغنية بالكالسيوم والمغنيسيوم والحديد كالبازلت) للجو أو للهواء المشبع بثاني أكسيد الكربون إلى الكربنة المعدنية. تم استخدام هذه العملية لمعالجة نفايات التعدين وإنتاج مواد البناء. فعلى سبيل المثال، تم حقن غاز المداخن الغني بثاني أكسيد الكربون في نفايات منجم الكمبرلايت المُعالجة فوق الأرض (بما يعرف بالمعالجة خارج النطاق) أثناء التجارب الميدانية في منجم كندي (21).
- يتم تذويب ثاني أكسيد الكربون في الماء ثم ضخه، عن طريق آبار الحقن، في تشكيلات جوفية بازلتية مسامية ونفوذية: نموذج كربفيكس. (انظر 4.6 عن احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه). يقوم مرفق كربفيكس لاحتجاز الكربون وتخزينه في أيسلندا بتخزين ثاني أكسيد الكربون باستخدام الكربنة المعدنية على نطاق صغير منذ عام 2014. حيث يقوم المشروع بتخزين الكربون بشكل دائم في الصخور البازلتية المتشكلة بفعل الانسيابات البركانية. يلزم حوالي 25 طنًا من الماء لكل طن من ثاني أكسيد الكربون. يقوم مشروع كربفيكس بحقن 12,000 طن سنويًا في البازلت الضحل (بعمق 400 - 800 متر) في 12 بئراً. تظهر الدراسة التحليلية للمرحلة التجريبية تمعدن أكثر من 95 في المائة من ثاني أكسيد الكربون في غضون عامين (22). أظهر بحث جديد أنه يمكن تحقيق هذه العملية، ذات الاستهلاك العالي للماء، باستخدام مياه البحر أيضاً وهي مورد وفير (23). تم تطبيق نسخة عن هذه الطريقة في عام 2013 في مشروع وولولا التجريبي في ولاية واشنطن الأمريكية (24). هناك، تم حقن 1,000 طن من ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج مباشرة في البازلت المسامي النفوذي دون استخدام الماء كسائل ناقل. كانت معدلات التمعدن سريعة أيضاً، حيث تم تمعدن 60 في المائة من ثاني أكسيد الكربون المحقون في غضون عامين (24).

تُقدر إمكانات تخزين الكربنة المعدنية بما يتراوح بين 100,000 و 250,000 غيغا طن من الكربون (22). يتضمن هذا الرقم جميع الصخور البازلتية والتي تشكل 70 في المائة من أحواض المحيطات في العالم وخمسة في المائة من قارات الأرض (22). تعد إمكانية تخزين الكربون عبر الكربنة المعدنية مهمة ولكن، مثلها مثل جميع أشكال تخزين الكربون، هي بحاجة إلى مشاريع تشغيلية إضافية واسعة النطاق لدعم استخدامها.

قامت 12 منشأة من أصل 18 بالإفصاح عن قدرة احتجاز الكربون لديها والتي 4 تصل إلى 14.6 مليون طن سنويًا. إذا افترضنا أنه يتم احتجاز 7.6 كغم من ثاني أكسيد الكربون لكل كغم من الهيدروجين الذي يتم إنتاجه، أي ما يعادل 90 في المائة تقريباً من احتجاز الكربون من إنتاج الهيدروجين باستخدام تقنية الإصلاح بالبخار، هذا يعني إن هذه المنشآت الـ 12 مجتمعة تمتلك قدرة إنتاج هيدروجين تبلغ 1.9 مليون طن سنويًا. إذا كان متوسط القدرة الإنتاجية للمرافق الستة المتبقية 100,000 طن سنويًا من الهيدروجين، فإن إجمالي القدرة الإنتاجية سيكون 2.5 مليون طن سنويًا.

5.0 الملاحق

1.0 مقدّمة

2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الاقتصادي

2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء 10

2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق العالم 12

2.3 تحديث السياسات العالمية 22

3.0 لمحات عامة إقليمية

3.1 أمريكا الشمالية 26

3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32

3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38

3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 44

4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام

4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50

4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50

4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53

4.4 الصناعة 54

4.5 الهيدروجين 55

4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58

4.7 كَرْبَنَة المعادن 59

5.0 الملاحق

5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62

5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68

5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70

6.0 المراجع 76

5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه

الاسم	البلد	حالة المرفق	تاريخ التشغيل	صناعة المرفق	قدرة احتجاز الكربون/ مليون الأدنى	الأعلى	كود تخزين المرفق
مصنع تيريل لمعالجة الغاز الطبيعي (المعروف سابقًا باسم مصانع فال فيردي للغاز الطبيعي)	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1972	معالجة الغاز الطبيعي	0.4	0.5	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إينيد للسماد	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1982	إنتاج الأسمدة	0.1	0.2	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع شوت كريك لمعالجة الغاز	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1986	معالجة الغاز الطبيعي	7	7	الاستخلاص المحسَّن للنفط
حقل مول سزانك للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	هنغاريا	قيد التشغيل	1992	معالجة الغاز الطبيعي	0.059	0.157	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سليبنر لتخزين الكربون	النرويج	قيد التشغيل	1996	معالجة الغاز الطبيعي	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص
مصنع غريت بليينز للوقود الاصطناعي و ويبرن ميدال	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2000	الغاز الطبيعي الاصطناعي	1	3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
كور إنيرجي للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2003	معالجة الغاز الطبيعي	0.35	0.35	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سينوبك تشونغ يوان لاحتجاز واستخدام وتخزين	الصين	قيد التشغيل	2006	الإنتاج الكيميائي	0.12	0.12	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سنو ويت لتخزين الكربون	النرويج	قيد التشغيل	2008	معالجة الغاز الطبيعي	0.7	0.7	التخزين الجيولوجي المخصص
مرفق أركالون لضغط الكربون	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2009	إنتاج الإيثانول	0.23	0.29	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع سنتشري	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2010	معالجة الغاز الطبيعي	5	5	الاستخلاص المحسَّن للنفط
حقل نفط ما قبل طبقة الملح بتروبراس سانتوس مع احتجاز الكربون وتخزينه	البرازيل	قيد التشغيل	2011	معالجة الغاز الطبيعي	4.6	4.6	الاستخلاص المحسَّن للنفط
بونانزا بايوإنيرجي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه والاستخلاص المحسَّن للنفط	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2012	إنتاج الإيثانول	0.1	0.1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع تغويز كوفيفيل	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الأسمدة	0.9	0.9	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إير بروداكتز للإصلاح بالبخار	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الهيدروجين	1	1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع لوست كابين للغاز	الولايات المتحدة	التشغيل مُعلق	2013	معالجة الغاز الطبيعي	0.7	0.7	الاستخلاص المحسَّن للنفط
بي سي إس نتروجين	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الأسمدة	0.2	0.3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مرفق باوندري دام 3 لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	قيد التشغيل	2014	توليد الطاقة	0.8	1	يتم النظر في خيارات مختلفة
كويست	كندا	قيد التشغيل	2015	إنتاج الهيدروجين	1.2	1.2	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع عثمانية التوضيحي للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	المملكة العربية السعودية	قيد التشغيل	2015	معالجة الغاز الطبيعي	0.8	0.8	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مشروع كارامي دونوا للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	الصين	قيد التشغيل	2015	إنتاج الميثانول	0.1	0.1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
احتجاز الكربون وتخزينه أبوظبي (المرحلة 1: الإمارات للصناعات الحديدية)	الإمارات العربية المتحدة	قيد التشغيل	2016	انتاج الحديد والصلب	0.8	0.8	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إلينوي لاحتجاز الكربون الصناعي وتخزينه	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2017	إنتاج الإيثانول	0.55	1	التخزين الجيولوجي المخصص
بترا نوفا لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	التشغيل مُعلق	2017	توليد الطاقة	1.4	1.4	الاستخلاص المحسَّن للنفط
حقل نفط سي إن بي سي جيلين للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	الصين	قيد التشغيل	2018	معالجة الغاز الطبيعي	0.35	0.6	الاستخلاص المحسَّن للنفط
غورغون لحقن ثاني أكسيد الكربون	أستراليا	قيد التشغيل	2019	معالجة الغاز الطبيعي	3.4	4	التخزين الجيولوجي المخصص
قطر للغاز الطبيعي المسال مع احتجاز الكربون وتخزينه	دولة قطر	قيد التشغيل	2019	معالجة الغاز الطبيعي	2.2	2.2	التخزين الجيولوجي المخصص

الاسم	البلد	حالة المرفق	تاريخ التشغيل	صناعة المرفق	قدرة احتجاز الكربون/ مليون الأدنى	الأعلى	كود تخزين المرفق
ألبرتا كربون ترنك لاين (أكتل) مع مصفاة ستورجون التابعة لنورث ويست ريد ووتر بارتنرشيب	كندا	قيد التشغيل	2020	إنتاج الهيدروجين	1.3	1.6	الاستخلاص المحسَّن للنفط
ألبرتا كربون ترنك لاين (أكتل) مع نيوترين	كندا	قيد التشغيل	2020	إنتاج الأسمدة	0.2	0.3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
محطة توليد الطاقة غوديان تايتشو لاحتجاز الكربون	الصين	قيد الإنشاء	أوائل 2020	توليد الطاقة	0.3	0.3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سينوبك تشيلو للبتروكيماويات مع احتجاز الكربون وتخزينه	الصين	قيد الإنشاء	2021	الإنتاج الكيميائي	0.71	1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
نورسيم بريفيك - مصنع اسمنت	النرويج	قيد الإنشاء	2024	إنتاج الاسمنت	0.4	0.4	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع زيروز	الولايات المتحدة	قيد الإنشاء	2023	توليد الطاقة	1.5	1.5	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مشروع إنترسكت - مصنع هيرفورد للإيثانول	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2022	إنتاج الإيثانول	0.3	0.35	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع إنترسكت - مصنع بلينفيو للإيثانول	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2022	إنتاج الإيثانول	0.33	0.35	التخزين الجيولوجي المخصص
واباش لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2022	إنتاج الأسمدة	1.5	1.75	التخزين الجيولوجي المخصص
محطة توليد سان خوان مع احتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2023	توليد الطاقة	5.8	6	قيد التقييم
مشروع سانتوس كوبر بيزن لاحتجاز الكربون وتخزينه	أستراليا	مرحلة تطوير متقدم	2023	معالجة الغاز الطبيعي	1.7	1.7	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع بريدجبورت إنيرجي موني لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	أستراليا	مرحلة تطوير متقدم	2023	متنوعة	0.12	0.2	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصفاة إير ليكيد روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	0.8	0.8	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة إكسون موبيل البنلوكس لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة شل روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	0.9	1.4	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة إير بروداكتز روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة أتكينسون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.14	0.16	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة فيرمونت الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.3	0.33	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة أوتر تيل الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.14	0.16	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة شيناندواه الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.21	0.23	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة سوبيرير الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.15	0.17	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة وود ريفير الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.31	0.34	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة يورك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.13	0.14	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة سنترال سيتي الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.3	0.33	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة أبردين الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.12	0.14	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة كاسيلتون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.43	0.5	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة غالفا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.09	0.11	التخزين الجيولوجي المخصص

المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 5.1

الاسم	البلد	حالة المرفق	تاريخ التشغيل	صناعة المرفق	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا الأدنى	الأعلى	كود تخزين المرفق
مصفاة غولدفيلد الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة غراند جانكشن الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة غرانيت فولز الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.5	1	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة هيرون ليك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	1	1.5	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة هورون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	1.6	1.8	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة لامبرتون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	4.3	4.3	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة لولر الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	5	6	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ماركوس الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	1.4	1.4	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ميسون سيتي الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.18	0.18	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ميريل الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.4	0.5	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة مينا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة نيغادا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.18	0.18	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة نورفولك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.32	0.32	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة أونيدا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.5	0.5	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة بليينفيو الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ريدفيلد الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.8	0.8	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة سيوكس سنتر الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	1.5	2	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ستيمبوت الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة ووترتاون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة وينتوورث الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2024	إنتاج الإيثانول	4	4	قيد التقييم
فورتوم أوسلو فارم - مصنع كليمتسرود لتحويل النفايات إلى طاقة	النرويج	مرحلة تطوير متقدم	2024	حرق النفايات	1	2	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع كايوتي الطاقة النظيفة	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2025	توليد الطاقة	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
ستوكهولم إكسيرجي للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	السويد	مرحلة تطوير متقدم	2025	الطاقة الحيوية	1.5	2.6	التخزين الجيولوجي المخصص
كوبنهيل (أماغر باك) لتحويل النفايات إلى طاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	الدنمارك	مرحلة تطوير متقدم	2025	حرق النفايات	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
ليك تشارلز للميثانول	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2025	الإنتاج الكيميائي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
احتجاز الكربون وتخزينه أبوظبي - المرحلة الثانية: مصنع معالجة الغاز الطبيعي	الإمارات العربية المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2025	معالجة الغاز الطبيعي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
احتجاز الكربون وتخزينه أبوظبي - المرحلة الثانية: مصنع معالجة الغاز الطبيعي	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2025	إنتاج الإيثانول	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع تندرا	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2025-2016	توليد الطاقة	1	1	يتم النظر في خيارات مختلفة
همبر زيرو - مصنع في بي آي إمينغهام للطاقة	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2027	توليد الطاقة	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص

الاسم	البلد	حالة المرفق	تاريخ التشغيل	صناعة المرفق	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا الأدنى	الأعلى	كود تخزين المرفق
همبر زيرو - مصفاة فيليبس 66 همبر لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	2028	إنتاج الهيدروجين	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
أنتويرب@سي - باسف أنتويرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	مرحلة تطوير متقدم	2030	الإنتاج الكيميائي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
أوكسي و كربون إنجينيرينغ لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة ومنشأة الاستخلاص المحسَّن للنفط	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	احتجاز الكربون من الهواء مباشرة	0.5	1	التخزين الجيولوجي المخصص
محطة موستانغ التابعة لغولدين سبريد إليكتريك كووبراتيف لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	توليد الطاقة	1	1.5	قيد التقييم
مصنع دانييل لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	توليد الطاقة	1.6	1.8	التخزين الجيولوجي المخصص
محطة جيرالد جنتلمان لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	توليد الطاقة	4.3	4.3	قيد التقييم
محطة توليد بريري ستيت لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	توليد الطاقة	5	6	التخزين الجيولوجي المخصص
كال كابتشر	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير متقدم	منتصف 2020	توليد الطاقة	1.4	1.4	الاستخلاص المحسَّن للنفط
ميدويست أغإنيرجي بلو فلينت الإيثانول مع احتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2022	إنتاج الإيثانول	0.18	0.18	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع بايو للانبعاثات السلبية للوقود التابع لفيلوسيس	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	الإنتاج الكيميائي	0.4	0.5	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع بواكاي لإنتاج الهيدروجين مع تقنية احتجاز ثاني الكربون وتخزينه	نيوزيلاندا	مرحلة تطوير مبكر	2024	متنوع	1	1	قيد التقييم
مشروع ريد تريل إنيرجي للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	إنتاج الإيثانول	0.18	0.18	التخزين الجيولوجي المخصص
محطة الطاقة الكربونية السلبية لأنظمة الطاقة النظيفة - سنترال فالي	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة و إنتاج الهيدروجين	0.32	0.32	التخزين الجيولوجي المخصص
مصفاة بريم لاحتجاز الكربون وتخزينه	السويد	مرحلة تطوير مبكر	2025	إنتاج الهيدروجين	0.5	0.5	التخزين الجيولوجي المخصص
إكورن هيدروجين	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	إنتاج الهيدروجين	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
إن واي نت نورث ويست - هانسن اسمنت لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2026	إنتاج الاسمنت	0.8	0.8	التخزين الجيولوجي المخصص
ريبسول ساكاكيمانغ لاحتجاز الكربون وحقنه	إندونيسيا	مرحلة تطوير مبكر	2026	معالجة الغاز الطبيعي	1.5	2	التخزين الجيولوجي المخصص
رافينا هاب- ايني باور للطاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	إيطاليا	مرحلة تطوير مبكر	2026	توليد الطاقة	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
رافينا هاب- ايني هيدروجين لاحتجاز الكربون وتخزينه	إيطاليا	مرحلة تطوير مبكر	2026	إنتاج الهيدروجين	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
جي2 نت - زيرو للغاز الطبيعي المسال	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2027	معالجة الغاز الطبيعي	4	4	قيد التقييم
نت زيرو تيسايد - بريتش بتروليوم إيتش2 تيسايد	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2027	إنتاج الهيدروجين	1	2	التخزين الجيولوجي المخصص
نت زيرو تيسايد - سويس لتحويل النفايات إلى طاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2027	حرق النفايات	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
زيرو كربون همبر- محطة طاقة كيدي 3 لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2027	توليد الطاقة	1.5	2.6	التخزين الجيولوجي المخصص
أنتويرب@سي- إينيوس أنتويرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	مرحلة تطوير مبكر	2030	الإنتاج الكيميائي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
أنتويرب@سي- مصفاة إكسونموبيل أنتويرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	مرحلة تطوير مبكر	2030	الإنتاج الكيميائي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
أنتويرب@سي- بورياليس أنتويرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	مرحلة تطوير متقدم	2030	الإنتاج الكيميائي	-	-	التخزين الجيولوجي المخصص
كوريا - لاحتجاز الكربون وتخزينه 1 و 2	كوريا الجنوبية	مرحلة تطوير متقدم	2020	توليد الطاقة	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص
مصنع سينوبك شنغلي للطاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	الصين	مرحلة تطوير متقدم	2020	توليد الطاقة	1	1	التخزين الجيولوجي المخصص

5.0 الملحق

5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه

الاسم	البلد	حالة المرفق	تاريخ التشغيل	صناعة المرفق	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا		كود تخزين المرفق
					الأدنى	الأعلى	
مصنع ديف جونستون لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	خلال 2020	توليد الطاقة	2	6	الاستخلاص المحسَّن للنفط
نكست دكيد ريو غراندي للغاز الطبيعي المسال مع احتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	خلال 2020	معالجة الغاز الطبيعي	5	5	قيد التقييم
كاليدونيا للطاقة النظيفة	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2024	توليد الطاقة	3	3	التخزين الجيولوجي المخصص
هيدروجين إلى ماغنوم	هولندا	مرحلة تطوير مبكر	2024	توليد الطاقة	2	2	التخزين الجيولوجي المخصص
دراي فورك إنتغريدت لاحتجاز الكربون التجاري وتخزينه	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة	3	3	التخزين الجيولوجي المخصص
مرفق نت زيرو تيسايد لتوليد الكهرباء	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة	1.7	6	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع إلينوي للوقود النظيف	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2026	الإنتاج الكيميائي	4.1	8.1	التخزين الجيولوجي المخصص
شبكة نورذرين غاز إيتش21 لشمال إنجلترا	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2026	إنتاج الهيدروجين	1.5	1.5	التخزين الجيولوجي المخصص
الهيدروجين إلى همبر سالتند	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2026 - 2027	إنتاج الهيدروجين	1	1.2	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع دراكس للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2027	توليد الطاقة	1	4.3	التخزين الجيولوجي المخصص
إرفيا كورك لاحتجاز الكربون وتخزينه	أيرلندا	مرحلة تطوير مبكر	2028	توليد الطاقة والتكرير	2.5	2.5	التخزين الجيولوجي المخصص
ناوتيكول إنيرجي للميثانول الأزرق	كندا	مرحلة تطوير مبكر	أواخر 2020	إنتاج الميثانول	1	1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
نت زيرو تيسايد - مصنع نت للطاقة	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	أواخر 2020	توليد الطاقة	-	-	قيد التقييم
باو سنترال سولاويزي كلين فيول لإنتاج الأمونيا مع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	إندونيسيا	مرحلة تطوير مبكر	أواخر 2020	إنتاج الأسمدة	0.1	2	قيد التقييم
مصنع ساسكاتشوان نت للطاقة	كندا	مرحلة تطوير مبكر	أواخر 2020	توليد الطاقة	0.95	0.95	قيد التقييم
مشروع تاتا للصلب إيفريست	هولندا	مرحلة تطوير مبكر	أواخر 2020	إنتاج الحديد والصلب	-	-	قيد التقييم
إكورن لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	منتصف 2020	معالجة الغاز الطبيعي وتكرير النفط	0.34	0.34	التخزين الجيولوجي المخصص
إيتش واي نت نورث ويست	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الهيدروجين	1.5	1.5	التخزين الجيولوجي المخصص
لافارج هولسيم اسمنت واحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الاسمنت	1	2	قيد التقييم
بارنتس بلو للأمونيا النظيفة مع احتجاز الكربون وتخزينه	النرويج	مرحلة تطوير مبكر	2025	إنتاج الأسمدة	1.2	2	التخزين الجيولوجي المخصص
مشروع تطوير حقل غاز بتروناس كاساواري	ماليزيا	مرحلة تطوير مبكر		معالجة الغاز الطبيعي	-	-	قيد التقييم
مشروع بولاريس لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	مرحلة تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الهيدروجين	0.75	0.75	التخزين الجيولوجي المخصص
مجمع كارولين للطاقة واحتجاز الكربون	كندا	مرحلة تطوير مبكر	منتصف 2020	توليد الطاقة	1	3	التخزين الجيولوجي المخصص
مرفق إكورن لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة	المملكة المتحدة	مرحلة تطوير مبكر	2026	احتجاز الكربون من الهواء مباشرة	0.5	1	التخزين الجيولوجي المخصص

5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه

الاسم	البلد	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا		صناعة المرفق	نوع النقل	كود تخزين المرفق
		الأعلى	الأدنى			
تجمع أبوظبي الصناعي	الإمارات العربية المتحدة	5.0	2.7	معالجة الغاز الطبيعي، إنتاج الهيدروجين، إنتاج الحديد والصلب	خطوط أنابيب	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إكورن	اسكتلندا	10	5.0	إنتاج الهيدروجين، طاقة الغاز الطبيعي، معالجة الغاز الطبيعي، احتجاز الكربون من الهواء مباشرة	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
شبكة الكربون في ألبرتا	كندا	–	20	غير مُحدد بعد	خطوط أنابيب	غير مُحدد بعد
ألبرتا كربون ترنك لاين (أكتل)	كندا	14.6	1.7	إنتاج الأسمدة، إنتاج الهيدروجين، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب	الاستخلاص المحسَّن للنفط
أنتويرب@سي	بلجيكا	–	9.0	إنتاج الهيدروجين، الإنتاج الكيميائي، تكرير النفط	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
أراميس	هولندا	–	20	تكرير النفط، إنتاج الهيدروجين، حرق النفايات، الإنتاج الكيميائي، صناعة الصلب	خطوط أنابيب وسفن	تكوينات ملحية عميقة
آتوس	هولندا	6.0	1.0	إنتاج الهيدروجين، إنتاج الحديد والصلب، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب	يتم النظر في خيارات متنوعة
بارنتس بلو	النرويج	–	1.8	الإنتاج الكيميائي، إنتاج الهيدروجين، حرق النفايات	سفينة	تكوينات ملحية عميقة
سي4 كوبنهاغن	الدنمارك	–	3.0	حرق النفايات، طاقة الغاز الطبيعي	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
(كاربونكونيكت دلتا (غينت	بلجيكا وهولندا	–	6.5	صناعة الصلب، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب وسفن	تحت التقييم
كربون نت	أستراليا	5.0	2.0	معالجة الغاز الطبيعي، الهيدروجين، الأسمدة، تحويل النفايات إلى طاقة، احتجاز الكربون من الهواء مباشرة	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
كربونسيف إلينوي بمقاطعة ماكون	الولايات المتحدة	15.0	2.0	طاقة حرق فحمية وإنتاج الإيثانول	خطوط أنابيب	يتم النظر في خيارات متنوعة
دارتاغنان	فرنسا	–	10.0	إنتاج الألمنيوم وصناعة الصلب	خطوط أنابيب وسفن	لا ينطبق
إدمونتون هاب	كندا	10	–	طاقة الغاز الطبيعي، إنتاج الهيدروجين، تكرير النفط، الإنتاج الكيميائي، إنتاج الاسمنت	خطوط أنابيب	آبار النفط والغاز الناضبة
غرينساند	الدنمارك	–	3.5	حرق النفايات، إنتاج الاسمنت	خطوط أنابيب وسفن	تكوينات ملحية عميقة
منطقة ابتكار قناة هيوستن للسفن لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	100.0	–	متنوع	خطوط أنابيب	غير مُحدد بعد
همبر زيرو	إنكلترا	–	8.0	إنتاج الهيدروجين، طاقة الغاز الطبيعي	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
إيتش واي نت نورث ويست	ويلز وإنجلترا	–	1.0	إنتاج الهيدروجين	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
إلينوي للتخزين	الولايات المتحدة	–	6.5	طاقة الفحم، البيوثانول	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
المركز المتكامل لتخزين الكربون في منطقة وسط القارة	الولايات المتحدة	19.4	1.9	طاقة حرق فحمية، إنتاج الاسمنت، إنتاج الإيثانول، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب	يتم النظر في خيارات متنوعة
لانغسكيب	النرويج	5.0	1.5	حرق النفايات، إنتاج الاسمنت	خطوط أنابيب وسفن	تكوينات ملحية عميقة
مركز لويزيانا	الولايات المتحدة	10	5	إنتاج الهيدروجين، إنتاج الحديد والصلب، تكرير النفط، الإنتاج الكيميائي، إنتاج الإيثانول	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
نت زيرو تيسايد	إنكلترا	6.0	0.8	طاقة الغاز الطبيعي، إنتاج الأسمدة، إنتاج الحديد والصلب، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
كربونسيف داكوتا الشمالية	الولايات المتحدة	17.0	3.0	إنتاج الحديد والصلب	خطوط أنابيب	يتم النظر في خيارات متنوعة
تجمع بتروبراس سانتوس بيزن الصناعي لاحتجاز الكربون وتخزينه	البرازيل	–	3.0	معالجة الغاز الطبيعي	حقن مباشر	الاستخلاص المحسَّن للنفط

الاسم	البلد	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا		صناعة المرفق	نوع النقل	كود تخزين المرفق
		الأعلى	الأدنى			
بورثوس	هولندا	5.0	2.0	إنتاج الهيدروجين والإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب	آبار النفط والغاز الناضبة
رافينا هاب	إيطاليا	4.0	–	إنتاج الهيدروجين، طاقة الغاز الطبيعي	خطوط أنابيب	آبار النفط والغاز الناضبة
تجمع جنوب ويلز الصناعي	ويلز	–	9.0	طاقة الغاز الطبيعي، إنتاج الهيدروجين، تكرير النفط، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب وسفن	تكوينات ملحية عميقة
ساميت لحلول الكربون	الولايات المتحدة	–	7.9	الإيثانول الحيوي	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة
فاليرو بلاكروك	الولايات المتحدة	–	5.0	الإيثانول الحيوي	خطوط أنابيب	غير مُحدد بعد
واباش كربونسيف	الولايات المتحدة	18.0	1.5	طاقة حرق الفحم، طاقة الغاز الطبيعي، إنتاج الهيدروجين، الإنتاج الكيميائي، إنتاج الاسمنت، طاقة الكتلة الحيوية	حقن مباشر	يتم النظر في خيارات متنوعة
مركز شينجيانغ جونغقار لاحتجاز الكربون وتخزينه	الصين	3.0	0.2	طاقة حرق الفحم، إنتاج الهيدروجين، الإنتاج الكيميائي	خطوط أنابيب، شاحنة صهريج	الاستخلاص المحسَّن للنفط
زيرو كربون همبر	إنكلترا	18.3	–	إنتاج الهيدروجين، إنتاج الحديد والصلب، الإنتاج الكيميائي، إنتاج الاسمنت، إنتاج الإيثانول	خطوط أنابيب	تكوينات ملحية عميقة

ملخص حول آليات التخزين و الأمان

يتم تخزين ثاني أكسيد الكربون عبر أربع آليات حصار أو احتجاز. تحدث هذه الآليات في وقت واحد لدى الحقن داخل الجوف المسامي لبئر التخزين، إلا أن أهمية كل آلية احتجاز: فيزيائية: رواسبية: انحلالية/ تذوبية: تمعدن، تتغير مع الزمن ومع تغيرات عمود ثاني أكسيد الكربون. يعتمد حصار الكربون كثيراً على جيولوجيا الموقع وأوضاع التكوين المحلية (السوائل، والضغط، ودرجة الحرارة).

هيكلي

يشمل الحصار الفيزيائي احتواء هيكلي أو طبقي للكربون، وهي نفس الآلية المستخدمة في حصار الهيدروكربونات. يتم حصار ثاني أكسيد الكربون الحر تحت غطاء صخري واسع النطاق ومنخفض النفوذية. في بعض البيئات الجيولوجية، يحدث حصار الكربون الفيزيائي عندما يتم إنهاء خدمة بئر/خزان لوجود صدع فيه أو حدوث ترقق من الناحية الطبقية.

يُعتبر الحصار الفيزيائي للكربون في مرحلته الحرة في العقود القليلة الأولى من عملية التخزين النموذجية الآلية الأساسية الملائمة. قد يبقى جزء من عمود ثاني أكسيد الكربون في مرحلته الحرة دائماً ولكن يمكن اعتباره دائمًا فقط في حال بقاء الظروف الجيولوجية مستقرة وبقاء عمود ثاني أكسيد الكربون دون تغيرات داخل البئر.

رواسبي

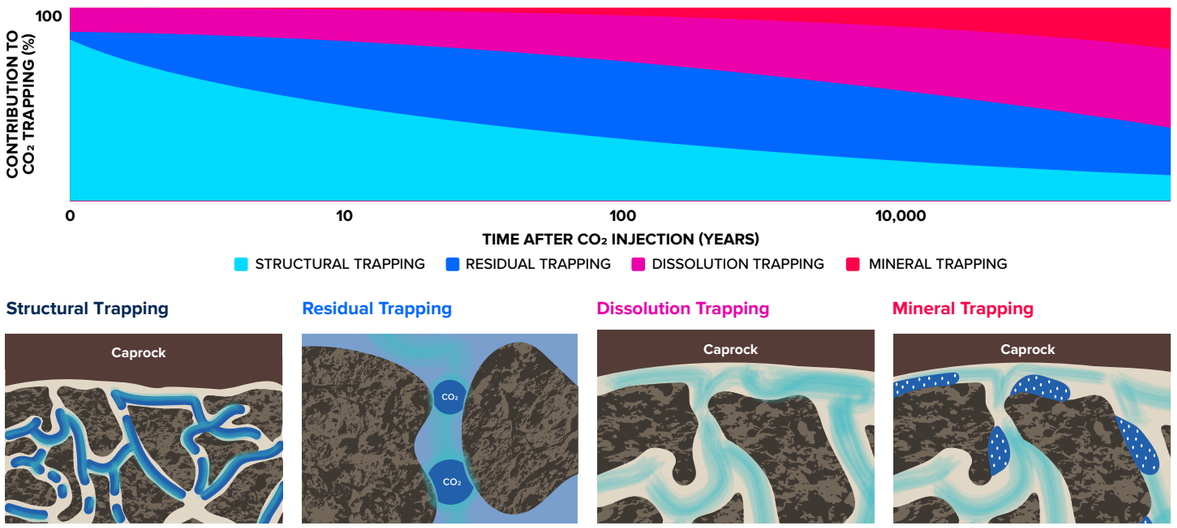
عندما ينزح عمود ثاني أكسيد الكربون في الخزان، يبقى جزء منه محتجزاً في المسام والأسطح غير المتجانسة المجهرية الحجم بفضل الخواص الشعرية. تسمى هذه العملية بالحصار الرواسبي الذي يعتمد على الترابط بين المسام والخصائص الحجرية للخزان وكيمياء سوائل المسام الموجودة مسبقًا. عادةً ما يكون حجم المسام في الخزانات المناسبة أقل من 1 مم، وهي متراصة جيدًا، وغالبًا ما تشكل 10– 30 في المائة من حجم الصخر. تكون قوى الطفو للجزء الرئيسي من عمود ثاني أكسيد الكربون قوية بما يكفي للتغلب على قوى المسام الشعرية، ولكن لا تستطيع كميات صغيرة على طول هوامش وذيل عمود ثاني أكسيد الكربون المتحرك من الثبات مكانها فتسقط في المسام التي تحتجزها بشكل دائم على سطح الحبيبات المعدنية. ومع نزوح عمود ثاني أكسيد الكربون بعيدًا عن مستوى الضغط الأعلى داخل بئر الحقن، تبرز عملية الترسيب بشكل أوضح. مع أن الحصار الرواسبي يحدث على المستوى المجهري، فإن حجم ثاني أكسيد الكربون المحاصر بواسطة هذه الآلية يكون مهمًا عند تحجيمه إلى خزان بسماكة عشرات الأمتار وبعرض كيلومترات. يعتبر الحصار/الاحتجاز الرواسبي أمرًا بالغ الأهمية في الفترة (العقدية) المبكرة لمشروع التخزين.

التذويب

الحصار بالتذويب هي آلية بسيطة تحدث عندما يتلامس ثاني أكسيد الكربون مع محلول ملحي ويذوب فيه مكونًا محلولاً. تعتمد قدرة ثاني أكسيد الكربون على الذوبان (قابلية الذوبان) في محلول ملحي على درجة الحرارة والضغط في الخزان. يكون المحلول الملحي المشبع بثاني أكسيد الكربون أكثر كثافة من المحلول الملحي غير المشبع وبالتالي يهبط نحو قاع الخزان حيث يعتبر بحالة تخزين دائم. ومع مرور الزمن ينتشر المحلول الملحي المشبع بثاني أكسيد الكربون ويتوزع داخل النظام الهيدروجيولوجي للحوض. يذوب ثاني أكسيد الكربون في المحلول الملحي فور ملامسته، لكن مرحلة الحصار تلك لا تعتبر مهمة قبل مرور عقود إلى قرن من الزمن في آبار التخزين التقليدية.

الحصار المعدني

يمكن أن يؤدي تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع المحلول الملحي والخصائص الحجرية للخزان إلى ما يسمى بالحصار المعدني للكربون. حيث يتفاعل ثاني أكسيد الكربون المحقون كيميائيًا مع المعادن الموجودة في الصخر لتكوين منتج معدني عادة ما يكون معدن كربوني. تعتمد تفاعلات ثاني أكسيد الكربون - محلول ملحي - صخور ، وما ينتج عن ذلك من منتج معدني، على ظروف الضغط ودرجة الحرارة في الخزان، وعلم المعادن. و من حسن الحظ، تمتلك الخزانات المستخدمة لتخزين الكربون خواص ملائمة للتمعدن. تبدأ الكربنة المعدنية فور الحقن، ولكنها لا تلعب دوراً هاماً في مشروع التخزين قبل مرور آلاف السنين، مما يعني أنه في بئر التخزين التقليدي ستكون غالبية ثاني أكسيد الكربون قد تخزنت بشكل دائم بواسطة الآليات الثلاث المذكورة أعلاه. ومع ذلك،



الشكل 30 أربع آليات للاحتجاز أثناء حقن وتخزين الكربون

(المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2005 (2)

يمكن أن يؤدي الحقن في ظل ظروف معينة وفي صخور معينة (مثل البازلت) إلى تمعدن سريع لغالبية ثاني أكسيد الكربون خلال فترة عملية التخزين الفعلية (1).

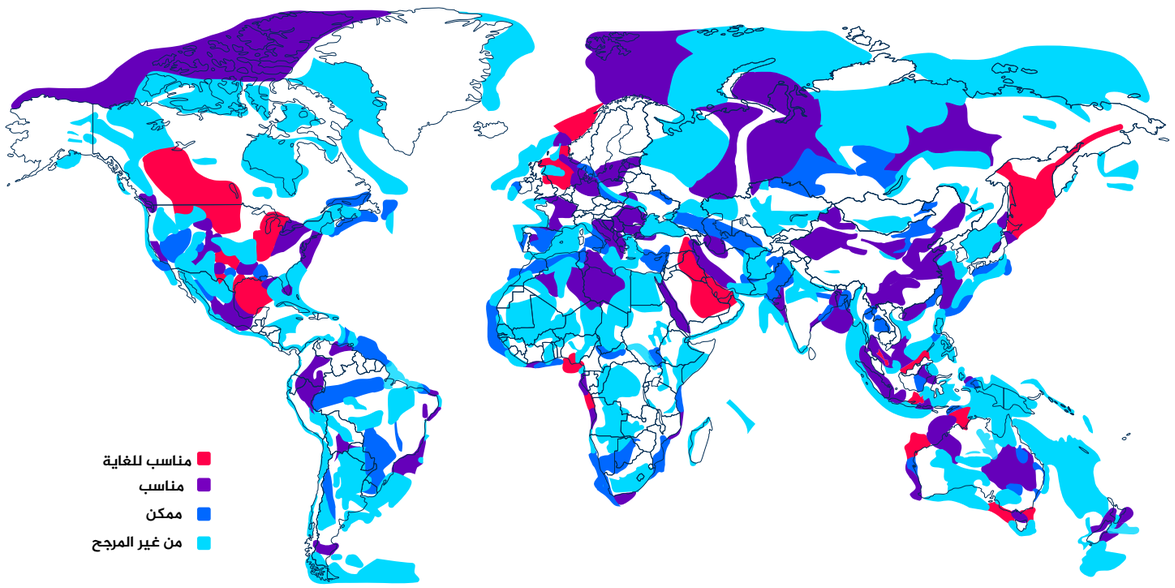
خريطة التخزين العالمية

أكمل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه مراجعة للأحواض الرسوبية حول العالم وملاءمتها للتخزين. تم تصنيف الأحواض على أنها غير مرجحة أو ممكنة أو مناسبة أو مناسبة للغاية. اعتمد تصنيف الملاءمة على التحليل المكاني للبيانات الجيولوجية، وبيانات الطاقة، وبيانات البنية التحتية. استخدم التحليل المكاني النتائج المستخلصة من تقييمات التخزين المنشورة سابقًا، وقاعدة بيانات مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه الخاصة بالمعهد، إضافة إلى الخبرة الفنية الداخلية.

خلصت المراجعة إلى ملاحظتين هامتين حول توزيع الأحواض المناسبة. أولاً، تقع الدول ذات الأحواض المناسبة عموماً بالقرب من مناطق كثيفة الانبعاثات. مما سيساهم في تسهيل تطوير مشاريع احتجاز وتخزين الكربون. تشكل تلك المناطق أجزاء من أوروبا والولايات المتحدة والشرق الأوسط وروسيا وبعض الدول في جنوب شرق آسيا.

ثانيًا، يتوافق توزيع أحواض التخزين المناسبة مع الدول التي قيَّمت رسميًا أحواضها الرسوبية للتخزين الجيولوجي. حققت الأحواض التي خضعت لتقييم مفصل درجات أعلى في تحليل المعهد. على سبيل المثال، فإن حوضًا تم تقييمه كجزء من مراجعة عامة يسجل درجات أقل من واحد تم تقييمه بشكل تفصيلي للتخزين. كذلك، من المهم ملاحظة أن التقييم التفصيلي لا يضمن الحصول على تصنيف مناسب عالي بالضرورة. بعض الأحواض الأوروبية، على سبيل المثال، خضعت لتحليل تفصيلي لكنها لم تحقق إلا مرتبة تصنيفية منخفضة بسبب خصائصها الجيولوجية.

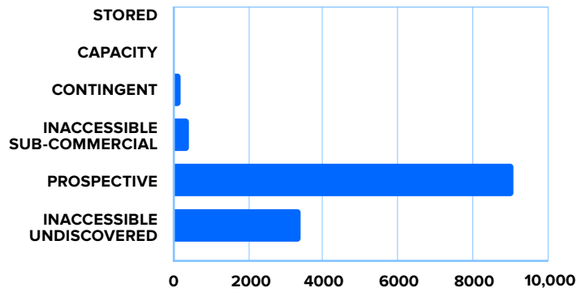
من الضروري فهم التوزيع العالمي لمواقع التخزين المناسبة والتي يمكن الوصول إليها بسهولة لتمكين نشر وتفعيل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في العالم.



الشكل 31 مناطق التخزين المناسبة في العالم بحسب قاعدة بيانات تقييم أحواض التخزين التابعة للمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه

فهرس موارد التخزين

أضاف فهرس موارد تخزين**CATALOGUE** (**CO2 STORAGE RESOURCE**) المُحَدَّث لعام 2021 أكثر من 1000 غيغا طن من موارد التخزين، مُعززاً بذلك قدرة التخزين المتوفرة في العالم. استمدت هذه النتائج من مشروع ممول لمبادرة النفط والغاز للمناخ (**OGCI**)، وتم إتمامه من قبل شركة بل بلو دوت إنيرجي والمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه. إن الهدف من فهرس موارد التخزين هو إنشاء قاعدة بيانات عالمية لموارد التخزين المتوفرة باستخدام نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول (**SRMS**). يقوم نظام إدارة موارد التخزين، باستخدام منهجية متسقة ومجموعة من التعريفات، بتصنيف موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون بحسب جدواها التجاري.



الشكل 31 نتائج فهرس موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون لعام 2021 بالغيغا طن

تضيف المرحلة الثانية من الفهرس 715 موقعًا من 18 دولة، ما يشكل 13,000 غيغا طن من إجمالي موارد تخزين الكربون المذكورة في الفهرس. من المهم الإشارة إلى أن الموارد المصنفة تحت "مكتشفة"، بحسب البيانات الجوفية، استمرت بالنمو إلى أكثر من 550 غيغا طن. ولكن للأسف، تم تصنيف 254 مليون طن فقط من الموارد على أنها "تجارية". لابد أن تكون الموارد التجارية جاهزة لعملية التخزين ليتم استخدامها وأن:

- يكون لها بيئة تنظيمية تتيح تخزين ثاني أكسيد الكربون
- يتم تطبيق تحليل دقيق لها باستخدام البيانات الجوفية للتأكد من مناسبتها للتخزين.

يوضح اختلاف القيمة الأسية بين إجمالي الموارد و الموارد التي أثبت جدواها التجاري فرصة رائعة لاستكشاف موارد التخزين وتطويرها وتقييمها حول العالم.

البلد	مُخزن	القدرة	مشروط	تجاري فرعي متعذر الوصول	محتمل	متعذر الوصول غير مكتشف	إجمالي
أستراليا	0.001	0.120	17.956	13.400	470.953	0	502.430
الولايات المتحدة	0.003	0.004	55.288	202.691	7,803.826	0	8,061.812
المملكة المتحدة	0	0	17.111	0	60.565	0	77.676
كوريا الجنوبية	0	0	0	0.021	201.281	2.060	203.362
باكستان	0	0	0	1.702	0	30	31.702
النرويج	0.026	0.0368	39.813	16.200	37.550	0	93.626
المكسيك	0	0	0	89.540	0	11.260	100.8
ماليزيا	0	0	0	0	0	149.573	149.573
اليابان	0	0	5.226	31.000	116.040	0	152.266
إندونيسيا	0	0	0	2.460	0	13.395	15.855
الهند	0	0	0	0.835	0	63.3	64.135
ألمانيا	0	0	0	0	0.108	0	0.108
الدنمارك	0	0	0.093	0	1.536	0	1.629
الصين	0	0	4.795	5.736	0	3,066.900	3,077.431
كندا	0.005	0.056	25.625	18.016	360.270	0	403.972
بنغلاديش	0	0	0	1.133	0	20	21.1330
البرازيل	0.001	0	0	2.469	0	0	2.470
إجمالي	**0.036**	**0.2168**	**165.907**	**385.203**	**9,052.129**	**3356.488**	**12,959.980**

الشكل 32 إجمالي موارد التخزين بالغيغا طن

6.0 المراجع

1.0 مقدّمة
2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه الاقتصادي
2.1 احتجاز الكربون وتخزينه، والانبعاثات الصافية الصفرية، والرخاء العالم 10
2.2 تحديث واتجاهات مرافق احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق 12
2.3 تحديث السياسات العالمية 22
3.0 لمحات عامة إقليمية
3.1 أمريكا الشمالية 26
3.2 آسيا والمحيط الهادئ 32
3.3 أوروبا والمناطق المجاورة 38
3.4 دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 44
4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام
4.1 الأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكَمَة 50
4.2 تمويل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 50
4.3 شبكات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه 53
4.4 الصناعة 54
4.5 الهيدروجين 55
4.6 إزالة ثاني أكسيد الكربون القائمة على التقنية 58
4.7 كَرْبَنَة المعادن 59
5.0 الملاحق
5.1 المرافق والمشاريع التجارية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه 62
5.2 شبكات احتجاز الكربون وتخزينه 68
5.3 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 70
6.0 المراجع 76

6.0 المراجع

2.0 الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه

1. CO2RE Database (2021) *Global CCS Institute*. Available at: https://co2re.co/ (Accessed: 25 June 2021).
2. IPCC (2018) *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, Ipcc - Sr15*.
3. Friedmann, J., Zapantis, A. and Page, B. (2020) 'Net-Zero and Geospheric Return: Actions Today for 2030 and Beyond', *Center on Global Energy Policy*.
4. IEA (2021) 'Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector', International Energy Agency, p. 222. Available at: https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050.
5. Climate Ambition Alliance: *Net Zero 2050* (2021).
6. Pacala, S. and Socolow, R. (2004) 'Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies', *Science*, 305(5686), pp. 968 LP-- 972. doi: 10.1126/science.1100103.
7. Townsend, A., Raji, N. and Zapantis, A. (2020) *The Value of Carbon Capture and Storage*. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/the-value-of-carbon-capture-ccs/.
8. International Energy Agency (2020) *Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*.
9. Rassool, D. (2021) *Unlocking Private Finance to Support CCS Investments*.
10. International Energy Agency (2019) 'World Energy Investment 2019', *World Energy Investment 2019*, p. 2021. doi: 10.1787/4f4f25b4-en.
11. Porthos Development C.V (2021) *Dutch government supports Porthos customers with SDE++ subsidy reservation, Website*. Available at: https://www.porthosco2.nl/en/dutch-government-supports-porthos-customers-with-sde-subsidy-reservation/ (Accessed: 23 June 2021).
12. Norwegian Ministry of Petroleum and Energy (no date) *Langskip website*. Available at: https://langskip.regjeringen.no/longship/northern-lights-en/ (Accessed: 15 July 2021).
13. Air Products (2021) *Air Products Announces Multi-Billion Dollar Net-Zero Hydrogen Energy Complex in Edmonton, Alberta, Canada*. Available at: https://www.airproducts.com/campaigns/alberta-net-zero-hydrogen-complex (Accessed: 23 June 2021).
14. ExxonMobil (2021) *ExxonMobil Low Carbon Solutions to commercialize emission-reduction technology*. Available at: https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/News-releases/2021/0201_ExxonMobil-Low-Carbon-Solutions-to-commercialize-emission-reduction-technology (Accessed: 23 June 2021).
15. Tamme, E. and Scowcroft, J. (2020) 'The Role of CCS in the Paris Agreement and its Article 6', (April). Available at: https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/05/Article-6-and-CCS-GCCSI-April-2020-final.pdf.
16. Tamme, E. (2021a) 'Carbon removal with CCS technologies'. Global CCS Institute. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/carbon-removal-and-ccs/.
17. Rassool, D. and Havercroft, I. (2021) *Financing CCS in Developing Countries*. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/financing-ccs-in-developing-countries/.
18. IEA (2013) *IEA Technology Roadmap - Carbon Capture and Storage*. Available at: technology-roadmap-carbon-capture-and-storage-2013.
19. TSVCM (2021) *Public Consultation Report*. Available at: https://www.iif.com/tsvcm.
20. Tamme, E. (2021b) 'Institute's experts review the upcoming IPCC Sixth Assessment report'. Global CCS Institute. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/institutes-experts-review-the-upcoming-ipcc-sixth-assessment-report/.

3.0 لمحات إقليمية عامة

1. Air Products (2021) *Air Products Announces Multi-Billion Dollar Net-Zero Hydrogen Energy Complex in Edmonton, Alberta, Canada*. Available at: https://www.airproducts.com/campaigns/alberta-net-zero-hydrogen-complex (Accessed: 23 June 2021).
2. Enhance Energy (2021a) *Enhance Energy - Megatonne Milestone - Charting a New and Cleaner Path Forward by Capturing Co2 and Producing Lower Carbon Energy*. Available at: https://www.prnewswire.com/news-releases/enhance-energy--megatonne-milestone---charting-a-new-and-cleaner-path-forward-by-capturing-co2-and-producing-lower-carbon-energy-301243654.html (Accessed: 5 July 2021).
3. 8 Rivers Capital (2021b) *8 Rivers Capital and City of Estevan Awarded Federal Grant to Perform A Feasibility Study on a NET Power Plant Deployment in Saskatchewan*. Available at: https://www.prnewswire.com/news-releases/8-rivers-capital-and-city-of-estevan-awarded-federal-grant-to-perform-a-feasibility-study-on-a-net-power-plant-deployment-in-saskatchewan-301206842.html (Accessed: 5 July 2021).
4. 8 Rivers Capital (2021a) *8 Rivers Capital, ADM Announce Intention To Make Illinois Home To Game-Changing Zero Emissions Project*. Available at: https://www.prnewswire.com/news-releases/8-rivers-capital-adm-announce-intention-to-make-illinois-home-to-game-changing-zero-emissions-project-301269296.html (Accessed: 5 July 2021).
5. 8 Rivers Capital (2021c) *8 Rivers Capital and the Southern Ute Growth Fund Announce Joint Development of Zero Emissions NET Power*. Available at: https://www.prnewswire.com/news-releases/8-rivers-capital-and-the-southern-ute-growth-fund-announce-joint-development-of-zero-emissions-net-power-plant-301269105.html (Accessed: 5 July 2021).
6. Microsoft (2021) *Sustainability: A Year of Progress and a Decade of Action - Microsoft On the Issues*. Available at: https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2021/01/28/sustainability-year-progress-decade-action/ (Accessed: 14 July 2021).
7. Shopify (2021) *Shopify Purchases More Direct Air Capture (DAC) Carbon Removal Than Any Other Company*. Available at: https://news.shopify.com/shopify-purchases-more-direct-air-capture-dac-carbon-removal-than-any-other-company (Accessed: 14 July 2021).
8. Global CCS Institute (2020) 'Cumulative Global CO2 Capture Data'.
9. United States Congress (2020b) *Energy and Water Development Appropriations explanation of the accompanying bill making appropriations. United States House of Representatives*. Available at: https://www.congress.gov/116/crpt/hrpt449/CRPT-116hrpt449.pdf.
10. United States Department of Energy (2020) *Enabling A Low-Carbon Economy*. Available at: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July2020.pdf.
11. United States Congress (2020a) *Consolidated Appropriations Act, 2021*. Available at: https://rules.house.gov/sites/democrats.rules.house.gov/files/BILLS-116HR133SA-RCP-116-68.pdf.
12. Internal Revenue Service (2021) *Federal Register. Available at*: https://www.federalregister.gov/documents/2021/01/15/2021-00302/credit-for-carbon-oxide-sequestration.
13. State of Louisiana (2021) *Class VI USEPA Primacy Application for Underground Injection Control Program*. Available at: http://www.dnr.louisiana.gov/assets/OC/im_div/uic_sec/ClassVIPrimacyApplicationstamped.pdf.
14. US EPA (2021) *Class VI Wells Used for Geologic Sequestration of CO2*. Available at: https://www.epa.gov/uic/class-vi-wells-used-geologic-sequestration-co2 (Accessed: 4 July 2021).
15. Texas General Land Office (2021) *Texas General Land Office/ Lease of Permanent School Fund Land*. Available at: http://www.txsmartbuy.com/esbddetails/view/21-SLB-1-ST.
16. Environment and Climate Change Canada (2020) *A Healthy Environment and a Healthy Economy: Canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet*. Available at: https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/climate-plan-overview/healthy-environment-healthy-economy.html.
17. NRCan (2020) *Hydrogen Strategy For Canada - Seizing the Opportunities for Hydrogen*. Available at: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf.
18. Government of Canada (2020) *Canada Gazette , Part I , Volume 154, Number 51 : Clean Fuel Regulations*. Available at: https://canadagazette.gc.ca/rp-pr/p1/2020/2020-12-19/html/reg2-eng.html#reg (Accessed: 4 July 2021).
19. Government of Canada (2021b) *Compliance options to meet the Clean Fuel Standard How it drives innovation and economic growth Timelines to implement the standard*. Available at: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-pollution/energy-production/fuel-regulations/clean-fuel-standard/compliance-options.html (Accessed: 5 July 2021).
20. Government of Canada (2021a) *Budget 2021 A Healthy Environment for a Healthy Economy*. Available at: https://www.canada.ca/en/department-finance/news/2021/04/budget-2021-a-healthy-environment-for-a-healthy-economy.html.
21. Government of Alberta (2020) *Jobs for Alberta, Innovative Tech for the World*. Available at: www.eralberta.ca/media-releases/jobs-for-alberta-innovative-tech-for-the-world/ (Accessed: 4 July 2021).
22. Alberta Energy (2020) *Natural Gas Vision and Strategy*. Available at: https://open.alberta.ca/publications/getting-alberta-back-to-work-natural-gas-vision-and-strategy.
23. Government of Alberta (2021) *Information Letter 2021-19: Carbon Sequestration Tenure Management*. Available at: https://inform.energy.gov.ab.ca/Documents/Published/IL-2021-19.pdf.
24. Supreme Court of Canada (2021) *Case in Brief*. Available at: https://www.scc-csc.ca/case-dossier/cb/2021/38663-38781-39116-eng.aspx 1 (Accessed: 4 July 2021).
25. Government of Canada (2021c) *GOC Carbon Tax 2030*. Available at: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/annex_pricing_carbon_pollution.pdf.
26. ExxonMobil (2021b) *The promise of carbon capture and storage, and a Texas-sized call to action*. Available at: https://energyfactor.exxonmobil.com/insights/partners/houston-ccs-hub/ (Accessed: 4 July 2021).
27. ExxonMobil (2021a) *Charting a bold concept for a lower-carbon future*. Available at: https://energyfactor.exxonmobil.com/reducing-emissions/carbon-capture-and-storage/lcs-houston-ccs-concept/ (Accessed: 4 July 2021).
28. Pembina Energy (2021) *Pembina and TC Energy Partner to Create World-Scale CarbonTransportation and Sequestration Solution: The Alberta Carbon Grid*. Available at: https://www.pembina.com/media-centre/news/details/135509/ (Accessed: 4 July 2021).
29. Oil Sands Pathways to Net Zero (2021) *Canada's largest oil sands producers announce unprecedented alliance to achieve net zero greenhouse gas emissions*. Available at: https://www.cenovus.com/news/news-releases/2021/06-09-2021-canadas-largest-oil-sands-producers-announce-unprecedented-alliance.pdf (Accessed: 5 July 2021).
30. Summit Carbon Solutions (2021) *Summit Carbon Solutions Announces Expansion into Nebraska and Consultant Partnerships*. Available at: https://www.summitcarbonsolutions.com/news/scsexpansionannouncement (Accessed: 4 July 2021).
31. Valero (2021) *Valero and BlackRock Partner with Navigator to Announce Large-Scale Carbon Capture and Storage Project*. Available at: https://static1.squarespace.com/static/6037ccf97a5a7822414fbce3/t/6050ff25e032a677ff2bb4f0/1615920933287/CCS+Press+Release_Final.pdf (Accessed: 5 July 2021).
32. Navigator CO2 Ventures (2021) *Navigator Announces Binding Open Season For Carbon Capture Project*. Available at: https://www.prnewswire.com/news-releases/navigator-announces-binding-open-season-for-carbon-capture-project-301309008.html (Accessed: 5 July 2021).
33. NextDecade (2021) *NextDecade Announces NEXT Carbon Solutions*. Available at: http://investors.next-decade.com/news-releases/news-release-details/nextdecade-launches-next-carbon-solutions (Accessed: 5 July 2021).
34. Venture Global LNG (2021) *Venture Global Launches CarbonCapture and Sequestration Project*. Available at: https://ventureglobalIng.com/press/venture-global-launches-carbon-capture-and-sequestration-project/.

35. Seeking Alpha (2021b) *Sempra Energy Earnings Call Transcript - CEO Jeff Martin on Q1 2021 Results*. Available at: https://seekingalpha.com/article/4424717-sempra-energy-sre-ceo-jeff-martin-on-q1-2021-results-earnings-call-transcript.

36. Seeking Alpha (2021a) *Cheniere Energy Earnings Call Transcript - CEO Jack Fusco on Q1 2021 Results*. Available at: https://seekingalpha.com/article/4424219-cheniere-energy-inc-lng-ceo-jack-fusco-on-q1-2021-results-earnings-call-transcript.

37. G2 Net-Zero LNG and NET Power (2021) *G2 and NET Power Accelerate G2 Net-Zero LNG's Project Development*. Available at: http://g2net-zerolng.com/21 05 05 G2 FINAL NET Power Press Release.pdf.

38. Santos (2021) *SANTOS AND ENI SIGN MOU TO COLLABORATE IN NORTHERN AUSTRALIA AND TIMOR-LESTE*. Available at: https://www.santos.com/news/santos-and-eni-sign-mou-to-collaborate-in-northern-australia-and-timor-leste/ (Accessed: 22 June 2021).

39. Australian Financial Review (2021) *Gorgon CCS headaches to increase emissions bill*. Available at: https://www.afr.com/companies/energy/gorgon-ccs-headaches-to-increase-emissions-bill-20210114-p56u0l (Accessed: 12 July 2021).

40. HESC (2021) *Suiso Frontier arriving in Australia in the second half of the 2021 Japanese fiscal year*. Available at: https://hydrogenenergysupplychain.com/suiso-frontier-arriving-in-australia-in-the-second-half-of-the-2021-japanese-fiscal-year/ (Accessed: 20 June 2021).

41. Department of Industry Science Energy and Resources (2020) *Technology Investment Roadmap: First Low Emissions Technology Statement in 2020.* Canberra. Available at: https://www.industry.gov.au/sites/default/files/September 2020/document/first-low-emissions-technology-statement-2020.pdf.

42. Prime Minister of Australia (2021a) *Jobs Boost From New Emissions Reduction Projects*. Available at: https://www.pm.gov.au/media/jobs-boost-new-emissions-reduction-projects (Accessed: 20 June 2021).

43. Department of Industry Science Energy and Resources (2021) *$412 million of new investment in carbon capture projects*. Available at: https://www.minister.industry.gov.au/ministers/taylor/media-releases/412-million-new-investment-carbon-capture-projects (Accessed: 21 June 2021).

44. Prime Minister of Australia (2021b) *Joint Statement by the Prime Ministers of Singapore and Australia*. Available at: https://www.pm.gov.au/media/joint-statement-prime-ministers-singapore-and-australia (Accessed: 9 July 2021).

45. Sinopec (2021) *Sinopec launches China's first million tonne per annum CCUS Project*. Available at: http://qlsh.sinopec.com/qlsh/news/all_media/20210707/news_20210707_400476138102.shtml (Accessed: 9 July 2021).

46. Hebei Iron and Steel Group (2021) *HBIS Group Accelerate Low Carbon Green Development*. Available at: https://www.hbisco.com/site/group/newsinfo/info/2021/16031.html (Accessed: 9 July 2021).

47. Congress, N. P. (2021) *14th Five-Year Plan*. Available at: http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.

48. Ministry of Ecology and Environment (2021) *Guidance on strengthening ecology and environment protection and promoting quality development in Free Trade Zone*. Available at: http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202105/t20210531_835481.html?keywords= (Accessed: 20 June 2021).

49. Xinhua (2021) *China-U.S. Joint Statement Addressing the Climate Crisis*. Available at: http://www.xinhuanet.com/world/2021-04/18/c_1127342714.htm (Accessed: 20 June 2021).

50. National Development and Reform Commission (2021) *Notice on submitting CCUS projects information*. Available at: https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202106/t20210623_1283822.html.

51. Netease (2021) *National CCUS Standards Working Group Established*. Available at: https://www.163.com/dy/article/G556ROD50514R9OJ.html (Accessed: 21 June 2021).

52. BHP (2020) *BHP partners with China Baowu to address the challenges of climate change*. Available at: https://www.bhp.com/media-and-insights/news-releases/2020/11/bhp-partners-with-china-baowu-to-address-the-challenges-of-climate-change/ (Accessed: 21 June 2021).

53. Ammonia Energy Association (2020) *Saudi Arabia ships low-carbon ammonia to Japan*. Available at: https://www.ammoniaenergy.org/articles/saudi-arabia-ships-low-carbon-ammonia-to-japan/ (Accessed: 9 July 2021).

54. JOGMEC (2020) *Initiation of Joint Feasibility Study of Ammonia Value Chain between eastern Siberia and Japan for future low-carbon ammonia introduction*. Available at: http://www.jogmec.go.jp/english/news/release/news_08_000019.html (Accessed: 20 June 2021).

55. JOGMEC (2021) *INPEX, JERA and JOGMEC Sign Joint Study Agreement withADNOC on Exploring the Commercial Potential of CleanAmmonia Production Business in the United Arab Emirates*. Available at: http://www.jogmec.go.jp/english/news/release/news_15_000001_00021.html (Accessed: 9 July 2021).

56. Ministry of Economy, Trade and Industry, J. (METI) (2021) *'Asia CCUS Network' has launched*. Available at: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0622_001.html (Accessed: 9 July 2021).

57. PETRONAS (2021) *An Offer Like No Other*. Available at: https://www.petronas.com/flow/business/offer-no-other (Accessed: 20 June 2021).

58. Internal Revenue Service (2020) *Notice 2020-12: Beginning of Construction for the Credit for Carbon Oxide Sequestration under Section 45Q*. Available at: https://www.irs.gov/pub/irs-drop/n-20-12.pdf.

59. ADB (2019) *ARTICLE 6 OF THE PARIS AGREEMENT Drawing Lessons from the Joint Crediting Mechanism. Manila*. Available at: https://www.adb.org/sites/default/files/publication/541116/article6-paris-agreeement-jcm.pdf.

60. Zapantis, A. (2021) Blue Hydrogen. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/blue-hydrogen/.

4.0 مسارات في بؤرة الاهتمام

1. Kearns, D., Liu, H. and Consoli, C. (2021) Technology Readiness and Costs of CCS. Melbourne, Australia. Available at: globalccsinstitute.com.

2. United States Environmental Protection Agency (2019) 'Facility Level Information on GreenHouse Gases Tool (FLIGHT)'. United States Environmental Protection Agency.

3. International Energy Agency (IEA) (2020a) *Cement*. Paris.

4. AggNet (2020) 'Brevik CCS facility gets the go-ahead', *AggNet*, 18 December.

5. Aker Solutions (2020) *Aker Solutions Awarded Contract for the Brevik Carbon Capture Project*. Available at: https://www.akersolutions.com/news/news-archive/2020/aker-solutions-awarded-contract-for-the-brevik-carbon-capture-project/ (Accessed: 6 July 2021).

6. Dempsey, H. (2021) *HeidelbergCement aims to tackle emissions with new carbon-neutral cement plant, Financial Times*.

7. International Energy Agency (2020) *Direct CO2 emissions in the iron and steel sector by scenario, 2019-2050*. Available at: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/direct-co2-emissions-in-the-iron-and-steel-sector-by-scenario-2019-2050 (Accessed: 6 July 2021).

8. Hydrogen Council (2017) 'Hydrogen scaling up : A sustainable pathway for the global energy transition. www.hydrogencouncil.com', *Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition*, (November), p. 80.

9. Mehmeti, A. et al. (2018) 'Life Cycle Assessment and Water Footprint of Hydrogen Production Methods: From Conventional to Emerging Technologies', *Environments*, 5(2), p. 24. doi: 10.3390/environments5020024.

10. CO2RE Database (2021) *Global CCS Institute*. Available at: https://co2re.co/ (Accessed: 25 June 2021).

11. Bruce, S. et al. (2018) *National Hydrogen Roadmap*.

12. Naterer, G. F., Jaber, O. and Dincer, I. (2010) 'Environmental Impact Comparison of Steam Methane Ref- ormation and Thermochemical Processes of Hydrogen Pro- duction Environmental Impact Comparison of Steam Methane Reformation and Thermochemical Processes of Hydrogen Production', *Essen Schriften des Forschungszentrums Jülich / Energy & Environment*, 78, pp. 1–7.

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

14. *The Asian Renewable Energy Hub* (2020).

15. International Energy Agency (IEA) (2020b) *Circular Carbon Economy: Cross-Cutting: Hydrogen*.

16. Fan, Z. et al. (2021) *Green Hydrogen in a Circular Carbon Economy: Opportunities and Limits*.

17. Wurzbacher, J. A. (2021) *The world's biggest climate-positive direct air capture plant: Orca!, Climeworks website*. Available at: https://www.climeworks.com/orca (Accessed: 18 June 2021).

18. Tamme, E. (2021) 'Carbon removal with CCS technologies'. Global CCS Institute. Available at: https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/carbon-removal-and-ccs/.

19. National Academies (2019) *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration*. Washington, D.C.: National Academies Press. doi: 10.17226/25259.

20. CARBFIX (2020) *Mineral Storage Atlas*, https://www.carbfix.com/atlas.

21. AngloAmerican (2020) *Sustainability Report 2020*.

22. Snæbjörnsdóttir, S. Ó. et al. (2020) 'Carbon dioxide storage through mineral carbonation', *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(2). doi: 10.1038/s43017-019-0011-8.

23. Voigt, M. et al. (2021) 'An experimental study of basalt–seawater–CO2 interaction at 130 °C', *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 308. doi: 10.1016/j.gca.2021.05.056.

24. White, S. K. et al. (2020) 'Quantification of CO_2 Mineralization at the Wallula Basalt Pilot Project', *Environmental Science & Technology*, 54(22). doi: 10.1021/acs.est.0c05142..

5.0 الملاحق

1. White, S. K. et al. (2020) 'Quantification of CO_2 *Mineralization at the Wallula Basalt Pilot Project*', Environmental Science & Technology, 54(22). doi: 10.1021/acs.est.0c05142.

2. Metz, B. et al. (2005) *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*. Cambridge: Cambridge University Press.

لمعرفة المزيد
يقدّم المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه (GCCSI) المعرفة والبيانات وشبكة العلاقات وخدمات المناصَرة لأعضائه ويوفر مجموعةً شاملةً من الخدمات الاستشارية المتعلقة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

للاستفسار
الرجاء التواصل مع أحد أعضاء فريق خدمات المناصَرة والاتصالات:
globalccsinstitute.com/contact

المكتب الرئيس
Level 16, 360 Elizabeth Street,
Melbourne VIC 3000
Australia
هاتف: 7300 8620 3(0) +61

حقوق النشر محفوظة
©Global Carbon Capture and Storage Institute Ltd 2021
ما لم يُنَصّ على خلاف ذلك، حقوق تأليف ونشر هذا المنشور مرخَّصة بموجب:
Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Licence

توخَّى المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه أن تتسمَ المعلومات الواردة في هذا المنشور بأكبر قدر ممكن من الدقة. ومع ذلك، فإنَّ المعهد لا يضمن أن تكون المعلومات الواردة ضمن هذا المنشور موثوقةً أو دقيقةً أو كاملةً تماماً. وعليه، ينبغي عدم الاعتماد على المعلومات الواردة في هذا المنشور بشكل منفرد عند اتخاذ قراراتٍ استثماريةٍ أو تجاريةٍ.
ولا يتحمّل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه مسؤوليةَ استمراريةِ أو دقةِ عناوين الإنترنت (URLs) التي تقود إلى مواقع إنترنتية خارجية أو تابعة لطرف ثالثٍ مِن تلك المشار إليها في هذا المنشور، كذلك لا يضمن المعهد أن يكون محتوى مثل هذه المواقع دقيقاً أو ملائماً في حينه، أو سيظلُّ كذلك.
وإلى أقصى درجةٍ ممكنةٍ، لا يقبل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، ومستشارو المعهد وموظفوه، المسؤولية (بما في ذلك مسؤولية الإهمال) عن أيّ استخدام للمعلومات الواردة في هذا المنشور أو أي اعتماد عليها، بما في ذلك أي قرارات تجارية أو استثمارية تُتَّخذ على أساس المعلومات الواردة بين دفَّتي هذا المنشور.

الرجاء استخدام الإشارة المرجعية الواردة أدناه عند الإشارة إلى التقرير في نسخته الإنجليزية:
Global CCS Institute, 2021. The Global Status of CCS: 2021. Australia.

أنجز التصميم Fluid Branding
Fluid.com.au

GLOBAL CCS INSTITUTE