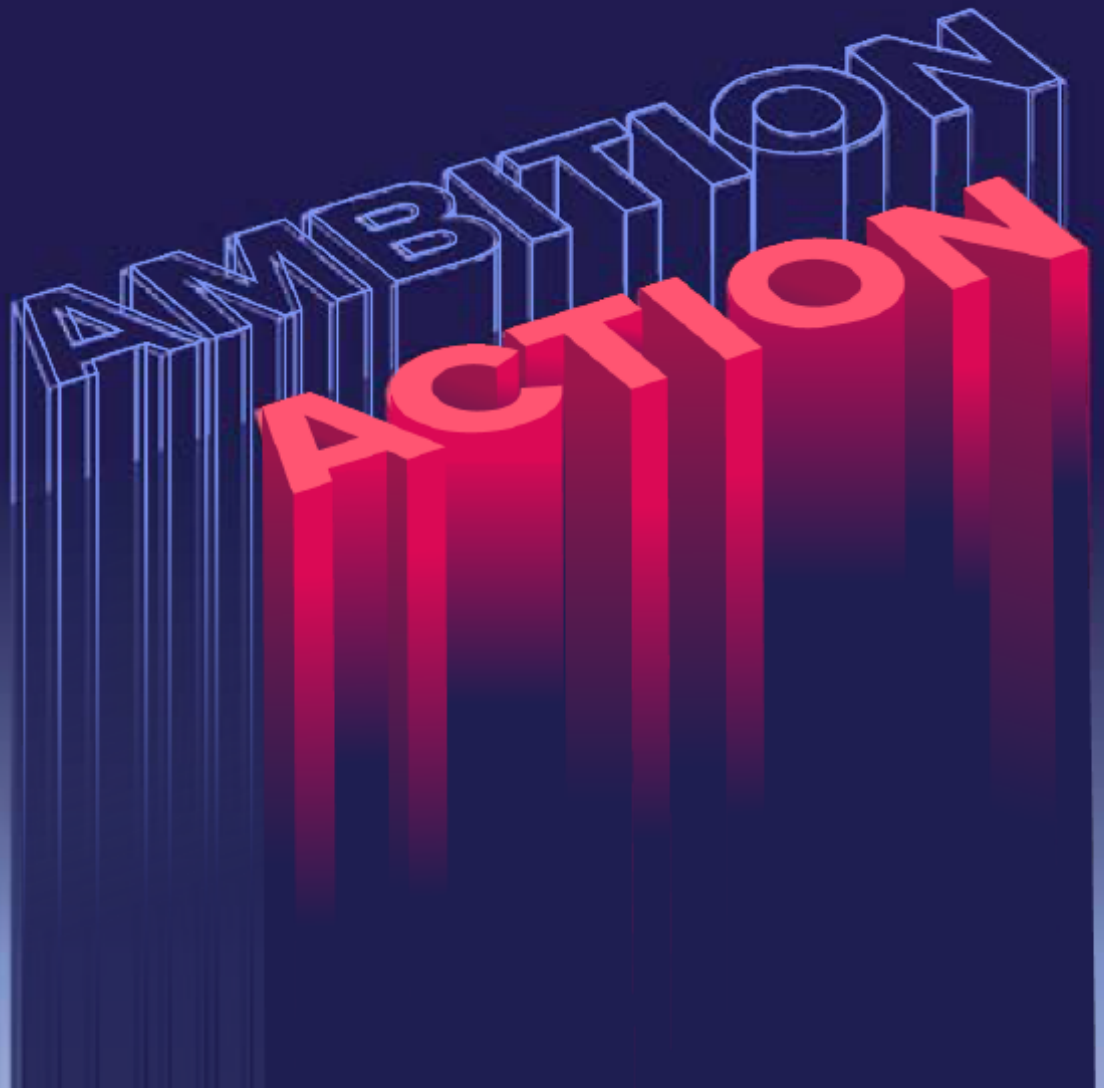
GLOBAL CCS INSTITUTE

المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه

تقرير حول الحالة العالمية لاحتجاز الكربون وتخزينه لعام 2022



حول التقرير

المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه هو مؤسسة فكرية دولية رائدة في مجال تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (CCS). مهمتنا هي تعزيز استخدام وتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه حول العالم باعتبارها جزء حيوي وهام لمجابهة التغيرات المناخية وتحقيق الحياد المناخي. يسعى المعهد إلى التعاون بشكل وثيق مع الشركاء المعنيين من حكومات ومؤسسات وشركات خاصة وهيئات بحثية ومنظمات غير حكومية، لتحقيق الأهداف المتعلقة باحتجاز وتخزين الكربون بما يحقق مستقبل خال من الكربون.

لدى المعهد مكاتب في واشنطن وهيوستن ولندن وبروكسل وأبوظبي وبكين وطوكيو وملبورن.

حول التقرير

احتجاز الكربون وتخزينه هو تقنية للحد من الانبعاثات الكربونية ذات أهمية بالغة للغاية لتحقيق أهداف المناخ العالمية. يُوثق تقرير الحالة العالمية لاحتجاز الكربون وتخزينه للعام 2022 أهم الإنجازات التي تحققت، والأشواط التي قُطعت خلال الاثني عشر شهراً الماضية حول العالم، بالإضافة إلى تسليطه الضوء على أهم الفرص والتحديات التي تواجهها تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى العالم.

كلنا أمل أن تتم قراءة هذا التقرير والاستفادة منه من قبل الحكومات وصانعي السياسات والأكاديميين والمعلقين الإعلاميين والملايين من الأشخاص والنشطاء المهتمين بالمناخ.

المؤلفون

تم إعداد هذا التقرير من قبل مات ستاين، و جيسيكا أوغليسبي، و غولورن توران، و أليكس زابانتيس، و روث غيبريميدين. وشمل فريق المؤلفين أليكس زابانتيس، و نورا العامر، و إيان هافركروفت، و روث إيفوري مور، و مات ستاين، و شياوليانغ يانغ، و روث غيبريميدين، و محمد أبو زهرة، و إرول بينتو، و دومينيك رسول، و إريك ويليامز، وكريس كونسولي، وجوي مينيرفيني.

المصطلحات

ACCU: وحدة ائتمان الكربون الأسترالية

ADNOC: شركة بترول أبوظبى الوطنية (أدنوك)

BECCS : الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه

CCS : احتجاز الكربون وتخزينه

CCUS احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه

CDR: إزالة ثانى أكسيد الكربون

CO2 ثانى أكسيد الكربون

COP مؤتمر الأطراف

DAC: الاحتجاز المباشر من الهواء

DACCS احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه

DOE: وزارة الطاقة الأمريكية

EC: المفوضية الأوروبية

EOR الاستخلاص المعزز للنفط

EPA: وكالة حماية البيئة

EPC: عقود الهندسة والمشتريات والبناء

EPSs: معايير الانبعاث أو الانبعاث المعيارى

ESG: الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات

ETS نظام تداول الانبعاثات

EU: الاتحاد الأوروبى

FEED: أعمال الهندسة والتصميم الأولية

GFC: صندوق المناخ الأخضر

GHG غازات الاحتباس الحرارى

Gt جيجاتون

GW جيجاوات

IEA: وكالة الطاقة الدولية

IEA-SDS: سيناريو التنمية المستدامة لوكالة الطاقة الدولية

IMO المنظمة البحرية الدولية

IPCC: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

IRS: دائرة الخزينة والإيرادات الداخلية

JCM آلية ائتمان الكربون المشتركة

LEDS: إستراتيجيات طويلة المدى لخفض انبعاث غازات الدفيئة

LNG غاز طبيعى مُسال

MEE: وزارة البيئة والإيكولوجيا

MMV: الرصد والقياس والتحقق

Mt: مليون طن مترى

MTPA: مليون طن سنوياً

MW: ميغاواط

NDC: مساهمة محددة وطنياً

NET: تقنية الانبعاثات السلبية

NETL: المختبر الوطنى لتكنولوجيا الطاقة

NPV: صافى القيمة الحالية

NZE: صافى الانبعاثات الصفرى

PV: عملية كهروضوئية

R&D: البحث والتطوير

RD&D: البحث والتطوير والتوضيح/البيان العملى

SDS: سيناريو التنمية المستدامة

SLL قرض مرتبط بالاستدامة

SMR: الإصلاح البخارى للميثان

SOE مؤسسات مملوكة للدولة

TWH: تيراواط ساعى

UNFCCC: اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن التغير المناخى

UAE: الإمارات العربية المتحدة

UN SDGs: أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة

VCM: سوق الكربون الطوعى

WTE: تحويل النفايات إلى طاقة

JOGMEC: الشركة الوطنية اليابانية للنفط والغاز والمعادن

LCFS: معيار الوقود منخفض الكربون

الفهرس

حول التقرير 2

1. كلمة الرئيس التنفيذي 4

2. من الطموح إلى العمل 5

3. الحالة العالمية لتقنية الكربون وتخزينه 7

3,1 المنشآت والتوجهات العالمية 7

3,2 تحديثات السياسات والأطر القانونية والتنظيمية 12

4. نظرة إقليمية عامة 15

4,1 نظرة إقليمية عامة: أمريكا 15

4,2 نظرة إقليمية عامة: آسيا والمحيط الهادئ 19

4,3 نظرة إقليمية عامة: أوروبا والمملكة المتحدة 24

4,4 نظرة إقليمية عامة: منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 29

5. التحليل 33

5,1 أسواق الكربون 33

5,2 إزالة الكربون 35

5,3 الهيدروجين 38

5,4 التمويل 40

5,5 الصناعة 41

5,6 تطور التخزين 42

5,7 البنية التحتية 45

5,8 الجداول الزمنية لتطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه 47

6. الملاحق 49

6,1 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون 49

6,2 قائمة المنشآت لعام 2022 53

7,0 المراجع 63

لابد من أن تتم ترجمة الطموح الآن إلى إجراءات عاجلة وشاملة وواسعة النطاق للحفاظ على مناخ صالح للعيش

جارد دانيلز

الرئيس التنفيذي، المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه

شاهد الفيديو

كلمة الرئيس التنفيذي

يبدو جلياً من خلال تقرير الحالة العالمية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لعام 2022 أننا أصبحنا، وأكثر من أي وقت مضى، بحاجة إلى تطبيق استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وذلك لكونها واحدة من أهم الأدوات للتصدي لأزمة المناخ اليوم. وفعلياً، بدون تلك التقنية سيكون تحقيق أهدافنا المناخية المشتركة أمراً مستحيلاً على المستوى العملي.

عندما يتعلق الأمر بالحد من ظاهرة الاحتباس الحراري، فقد تميزت السنوات القليلة الماضية بتزايد طموح الدول والشركات على حد سواء لتحقيق ذلك. ولكن لابد من أن تتم ترجمة ذاك الطموح الآن إلى إجراءات عاجلة وشاملة وواسعة النطاق للحفاظ على مناخ صالح للعيش.

لقد شهدت تقنية احتجاز الكربون وتخزينه دفعاً قوياً ومستمراً، وذلك لكونها تقنية ناضجة ومفهومة بشكل كبير، وهو ما حدا بالشركات الساعية لنشر وتفعيل استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه إلى تبني سياسات قوية لتعزيز جدوى ومبررات قيامها بذلك.

يوجد هناك أكثر من 190 منشأة لاحتجاز الكربون وتخزينه قيد التنفيذ في وقت نشرنا لهذا التقرير.

شهدنا في عام 2022 كيف أصبح احتجاز وتخزين الكربون عملية تجارية وتنافسية بشكل متزايد في العديد من دول العالم. ونحن نتوقع رؤية المزيد من الشراكات الاستراتيجية والتعاون لزيادة استخدام ونشر تلك التقنية، ولا سيما من خلال شبكات احتجاز الكربون وتخزينه.

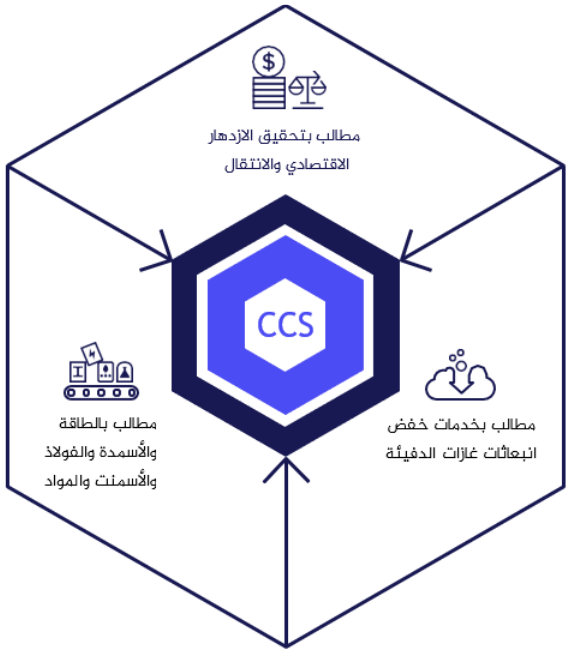
يلعب الهيدروجين النظيف وأنواع الوقود الأخرى منخفضة الكربون دوراً أساسياً في عملية احتجاز الكربون وتخزينه، مع وجود العشرات من مشاريع الهيدروجين الأزرق قيد التطوير الآن حول العالم.

كما شهدنا هذا العام أيضاً اهتماماً واستخداماً غير مسبوقين لتقنية احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه (DACCS)، مع تخصيص مليارات من الدولارات لتمويل عملية توسيع نطاق استخدام هذه التقنية الأساسية.

تبدو النظرة المستقبلية لاحتجاز الكربون وتخزينه أكثر إيجابية اليوم مقارنة بأي وقت مضى، وهذا أمر جيد فيما يخص التخفيف من آثار التغير المناخي. ومع ذلك، فإن الجهود العالمية الرامية للحد من الانبعاثات، بما في ذلك الاستثمار في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، لا تزال غير كافية بتاتاً. إذ لابد من الجمع بين رأس المال الخاص والسياسات الحكومية لتفعيل كامل الإمكانات الكامنة في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بما يحقق الحفاظ على درجة الاحترار العالمي أقل من 1,5 درجة. ببساطة أكثر، يجب الانتقال من الطموح إلى العمل.

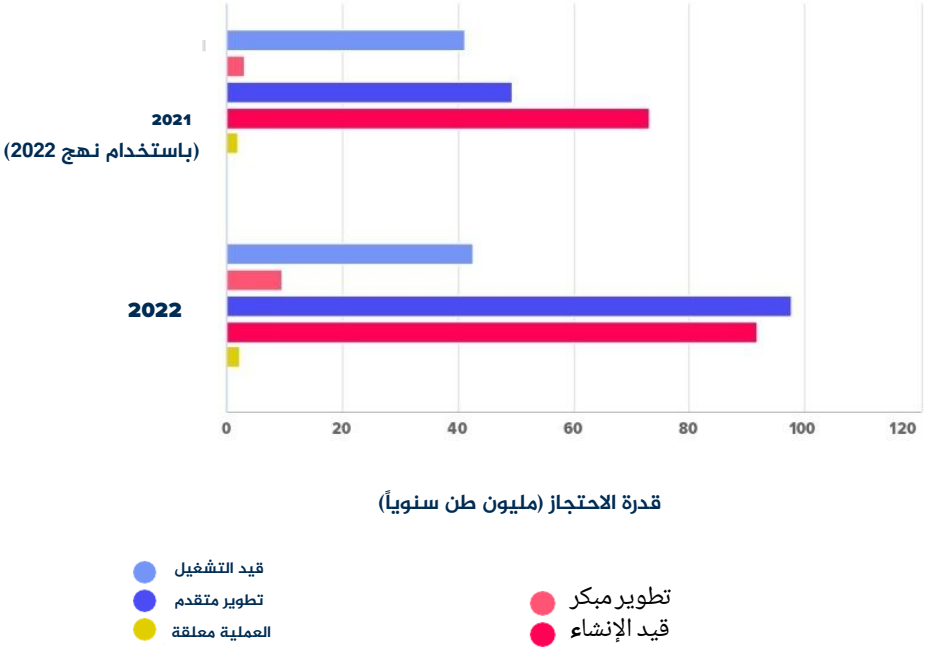
2.1 من الطموح إلى العمل

شهدت السنوات القليلة الماضية تصعيداً في لغة التغير المناخي. حيث أصبحت ضرورة تعديل الاقتصاد العالمي لتحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول منتصف القرن الحالي أمراً مفروغاً منه في خطاب تغير المناخ العالمي. ويتطلب هذا المستوى من الطموح الضروري لتجنب المزيد من التدخل البشري في النظام المناخي تسريعاً للاستثمار في تقنيات الانبعاثات شبه الصفرية بجميع أنواعها وفي القطاعات كافة. بتعبير آخر، تشهد الاستجابة العالمية للتغيرات المناخية فترة انتقالية من الطموح إلى العمل، وهذا يبدو جلياً من خلال البيانات الاستثمارية في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (CCS). إذ استمرت الزيادة الكبيرة في نشاط تطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه الواردة في تقرير الحالة العالمية لاحتجاز الكربون وتخزينه لعام 2021 طوال عام 2022 أيضاً. حيث بلغت القدرة الإجمالية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه قيد التطوير، وذلك اعتباراً من سبتمبر 2022، 244 مليون طن سنوياً (Mtpa) من ثاني أكسيد الكربون - بزيادة قدرها 44٪ خلال الاثني عشر شهراً الماضية، كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل 2: محركات الطلب على تقنية احتجاز الكربون وتخزينه

وتأتي تلك الزيادة كنتيجة استجابة القطاع الخاص للتوقعات المتزايدة للمجتمع المدني للانتقال إلى مستقبل خالٍ من الانبعاثات، وتطور السياسة الحكومية واللوائح التنظيمية التي تعزز جدوى الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه. وتخضع مخاطر وفرص العمل التي يخلقها التغير المناخي لتحليل ودراسات أوثق. حيث تُعد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بالنسبة لبعض الشركات أداة مهمة في تقليل تعرضها للانبعاثات الكربونية، إما بشكل مباشر أو في سلسلة القيمة الخاصة بهم، مما يقلل بالنتيجة من مخاطر الأعمال الاستراتيجية. بينما يعتبر آخرون تقنية احتجاز الكربون وتخزينه فرصة ذهبية لإمداد صناعة جديدة ومتنامية. وبالمثل، فإن الحكومات التي تسعى إلى اعتماد المسار الأقل تكلفة والأكثر كفاءة نحو تحقيق الصافي الصفري تنظر إلى تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، إضافة إلى جميع خيارات التخفيف الأخرى، على أنها ضرورية لتحقيق الأهداف المناخية، وبما يضمن انتقالاً اقتصادياً عادلاً لمجتمعاتها.



الشكل 1: قدرة منشآت احتجاز وتخزين الكربون قيد التطوير

إذا ما نظرنا في تقديم خدمات خفض الانبعاثات بذات الطريقة التي يُنظر فيها لأي خدمة أخرى في السوق، فمن المتوقع أن يستمر نمو الاستثمار في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. حيث نرى تزايد الطلب على خدمات خفض الانبعاثات نتيجة استنفاد ميزانية الكربون اللازمة لتحقيق الأهداف المناخية. ومن المتوقع أن يرتفع الطلب المستقبلي أكثر مستدعياً الحاجة إلى صناعة سريعة النمو لتلبية هذا الطلب. في ذات الوقت يتزايد الطلب على الطاقة والمواد والمنتجات الأساسية الأخرى التي يحتاجها المجتمع الحديث، كالأسمدة والفولاذ والكيماويات والأسمنت، مع تطور الاقتصادات الناشئة وارتفاع مستوى معيشتها لتتناسب مع الاقتصادات المتقدمة. تحتل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه موقعاً مركزياً في مخطط فين (Venn) لمحركات الطلب هذه والنمو الاقتصادي، من حيث ما توفره من خدمات خفض الانبعاثات في الصناعات الأساسية ودعم للتوظيف والازدهار الاقتصادي.

وإدراكاً منها لإمكانات تقنية احتجاز الكربون وتخزينه الكبيرة، تستمر الحكومات بسن سياسات داعمة لنشرها، الأمر الذي يحفز على زيادة مستويات الاستثمار فيها من قبل القطاع الخاص. حافظت أمريكا الشمالية وأوروبا والمملكة المتحدة على دورها الريادي في سياساتها الداعمة لنشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، بل وعززتها على مدار الاثني عشر شهراً الماضية. يقدم هذا التقرير وصفاً تفصيلياً لتلك التطورات في أقسام لاحقة، ولكن فيما يلي بعض الأمثلة.

في الولايات المتحدة، تم تمرير تشريع الاستثمار والوظائف في البنية التحتية ليصبح قانوناً، ليدعم قطاع احتجاز الكربون وتخزينه والأنشطة ذات الصلة بأكثر من 12 مليار دولار أمريكي، بما في ذلك:

- 2,5 مليار دولار للتحقق من تخزين الكربون
- 8 مليارات دولار لمراكز الهيدروجين، بما فيها الهيدروجين الأزرق
- أكثر من 200 مليون دولار تم الإعلان عنها أو منحها من قبل وزارة الطاقة الأمريكية لتطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

كما فعّلت الولايات المتحدة كذلك قانون خفض التضخم التاريخي، والذي يتضمن تحسينات على الائتمان الضريبي Q45 ويسرع نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من خلال تمديد وقت بدء الإنشاء، وخفض عتبات الاحتجاز، وتوسيع قابلية النقل، كما عمدت ولايات أمريكية، ولا سيما ولايات: بنسلفانيا، وفرجينيا الغربية، وداكوتا الشمالية، وكاليفورنيا، إلى سن تشريعات متعلقة بتخزين غاز الكربون، إضافة إلى اقتراح وتفعيل برامج لدعم احتجاز الكربون وتخزينه.

أنشأت كندا ائتماناً ضريبياً بقيمة 2,6 مليار دولار كندي لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، ووسعت ساسكاتشوان ائتمانها الضريبي بنسبة 20 في المائة ضمن إطار برنامج استثمار البنية التحتية للنفط في المقاطعة ليشمل خطوط أنابيب ناقلة لثاني أكسيد الكربون.

في أوروبا، أعلنت الدنمارك عن دعم بقيمة 5 مليارات يورو لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، وأعلنت النرويج عن مليار كرونة نرويجية (100 مليون دولار أمريكي) لدعم ثلاثة مشاريع كبيرة للهيدروجين الأزرق، بينما اختيرت أربعة مشاريع – جميعها مشاريع لاحتجاز الكربون وتخزينه – من ضمن سبعة مشاريع مرشحة، لتلقي المنح المالية بموجب الدعوة الأولى لصندوق الابتكار التابع للاتحاد الأوروبي.

تشمل تلك المشاريع مشروع توليد الطاقة الحيوية من احتجاز الكربون وتخزينه في ستوكهولم؛ منشأة أسمنت في فرنسا؛ منشأة لإنتاج الهيدروجين في فنلندا؛ ومصنع للهيدروجين والأمونيا والإيثيلين في بلجيكا. كما اختيرت سبعة مشاريع أخرى لاحتجاز وتخزين الكربون ضمن الدعوة الثانية لصندوق الابتكار الأوروبي.

نشرت حكومة المملكة المتحدة "خارطة طريق المستثمر المتعلقة بمشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) ، والتي بينت فيها خطتها لإنشاء أربع تجمعات صناعية منخفضة الكربون مع تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) بحلول عام 2030، كما اختارت المجمعين الأولين وهما: إيست كوست و هاي نت .

تملك أمريكا الشمالية وأوروبا أقوى آليات سياسة المناخ واحتجاز الكربون وتخزينه، إلا أن سياسات المناخ وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ تشهد تقدماً بدورها. خصصت الحكومة الأسترالية مساحة إضافية للتخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون، ووافقت على آلية تسمح لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه بإنشاء أرصدة كربون أسترالية، كما أعلنت عن تخصيص ما يزيد على 200 مليون دولار أسترالي لدعم تمويل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. وافقت الحكومة اليابانية على خطتها الاستراتيجية السادسة للطاقة التي تبين كيف ستحقق اليابان صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050، والتي تلعب فيها تقنية احتجاز الكربون وتخزينه دوراً بارزاً. وأصدر مجلس الدولة الصيني أكثر من 10 سياسات وإرشادات وطنية لتعزيز احتجاز وتخزين الكربون، بما في ذلك مخطط الخطة الخمسية الرابعة عشرة (2021–2025) للتنمية الاقتصادية والاجتماعية الوطنية، ورؤية الصين 2035. اتخذت كل من إندونيسيا وماليزيا خطوات لتطوير تشريعات خاصة بالتخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون، وأشارت حكومة تايلاند إلى أنها ستقوم بسن تشريعات خاصة أيضاً.

يتوافق هذا التكثيف الملحوظ في سن السياسات والتشريعات من قبل الحكومات الوطنية مع الشعور المتزايد بضرورة خفض انبعاثات الغازات الدفيئة إلى أبعد مدى وبأسرع ما يمكن، مع تحديد المسار نحو صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050، يشكل عام 2030 علامة بارزة في مفاوضات المناخ الدولية وفي تحديد أهداف خفض الانبعاثات الوطنية، إلى جانب العلاقة الوطيدة بين تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ومتوسط درجة الحرارة العالمية، تدرك تلك الأهداف بأن تحقيق انبعاثات صافية صفرية بحلول عام 2050 يتطلب أن تتخذ الانبعاثات مساراً منحدراً بحلول عام 2030 بتعبير آخر، أصبحت نهاية هذا العقد تحظى بتركيز أكبر من 2050 فيما يخص السعي إلى تحقيق أهداف خفض الانبعاثات خلاله.

لم يبدو مستقبل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أكثر إشراقاً كما هو عليه اليوم. ومع ذلك، لا تزال الجهود العالمية الرامية للحد من الانبعاثات، بما فيها الاستثمار في احتجاز الكربون وتخزينه، غير كافية بتاتاً. بعد الصدمة التي تلقاها الاقتصاد العالمي في أعقاب جائحة كوفيد-19، عادت الانبعاثات إلى ما كانت عليه. لذا لابد من نشر تقنيات الحد من الانبعاثات وبمعدلات غير مسبوقة لوقف هذا الازدياد المطرد في الانبعاثات. في حين يملك القطاع الخاص رأس المال والموارد والخبرة لمجابهة هذا التحدي، تملك الحكومات القدرة على إطلاق العنان لتلك الإمكانات ودفع عجلة الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وذلك من خلال السياسات والتشريعات.

3.1 المنشآت والتوجهات العالمية

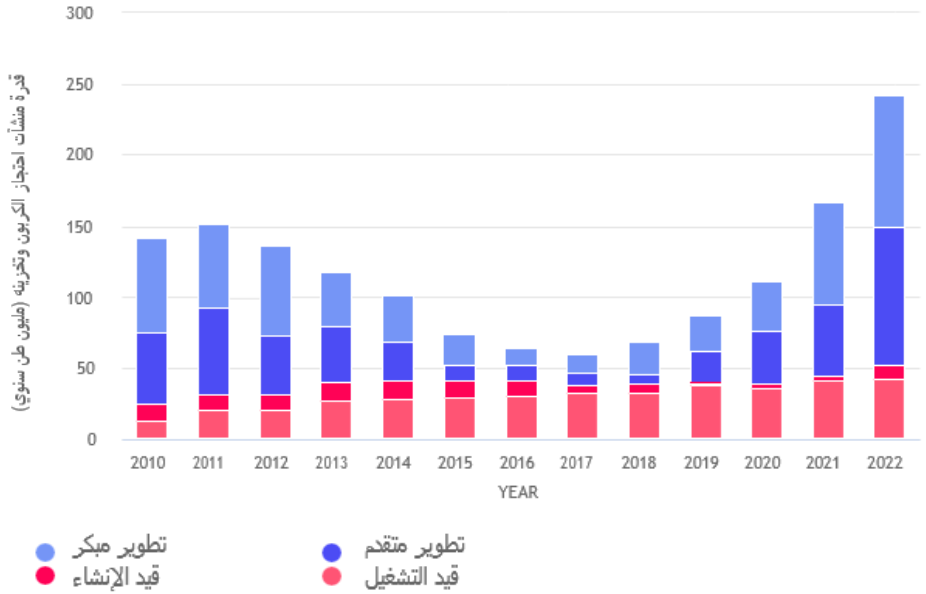
تم الإعلان عن مشاريع جديدة لاحتجاز الكربون وتخزينه كل شهر خلال عام 2022، حتى سبتمبر 2022، يوجد هناك 196 مشروعاً (بما في ذلك مشروعان معلقان) قيد التنفيذ [1]. ويشكل ذلك نمواً بنسبة 44٪ في عدد منشآت احتجاز الكربون وتخزينه منذ صدور تقرير الحالة العالمية لعام 2021، مع استمرار نمو المشاريع قيد التطوير بشكل عام منذ 2017.

	قيد التشغيل	قيد الإنشاء	تطوير متقدم	تطوير مبكر	العملية	إجمالي
عدد المنشآت	30	11	78	75	2	196
قدرة الاحتجاز (مليون طن سنوي)	42.5	9.6	97.6	91.8	2.3	243.9

الشكل4: المنشآت التجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه بحسب العدد وإجمالي قدرة احتجاز الكربون (منتصف سبتمبر 2022)

يشمل تعداد المنشآت في الشكل 4 مشاريع النقل والتخزين أيضاً والتي لا تقوم بعملية الاحتجاز، وهي توفر البنية التحتية الأساسية الازمة لتطوير الصناعة. ولكنها، وكما هو موضح في الملاحظات أدناه، لا تدخل في حساب إجمالي قدرة احتجاز الكربون وذلك لتفادي الحساب المزدوج

يوضح الشكل 3 الزيادة في قدرة مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه من عام 2010 حتى سبتمبر 2022 (يمثل الخط البياني الأخير المرحلة التطويرية للمشروع اعتباراً من منتصف سبتمبر 2022). في عام 2022، اعتمد المعهد رسمياً نهجاً معدلاً لتقدير إجمالي قدرة احتجاز الكربون وتخزينه (انظر أدناه).



الشكل 3: المنشآت التجارية قيد التنفيذ منذ عام 2010 بحسب قدرة الاحتجاز (مليون طن سنوياً)

تم تعديل حساب قدرات 2021 لتعكس التعديل الذي طرأ هذا العام على نهج تقدير إجمالي القدرة لتسهيل المقارنة مع أرقام 2022.

[1] يشمل ذلك مشاريع النقل والتخزين المخصصة

تشمل التطورات البارزة في مشاريع احتجاز وتخزين الكربون خلال الاثني عشر شهراً منذ تقرير الحالة العالمية الأخير ما يلي:

- أعلنت محطة دراكس (Drax) للطاقة في المملكة المتحدة عن أكبر مشروع منفرد في العالم لتوليد الطاقة الحيوية باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (BECCS) بقدرة عالمية تبلغ 8,0 مليون طن سنوياً وذلك عبر وحدتين.
- دخل مشروع كليمتسرود (Klemetsrud) النرويجي، وهو مشروع تحويل النفايات إلى طاقة باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، مرحلة قيد الإنشاء وذلك إثر حصوله على تمويل مضمون. وهو أول مشروع تجاري لاحتجاز وتخزين الكربون يتم تطبيقه على منشأة لتحويل النفايات إلى طاقة.
- غلاسير بروجيكت (Glacier) لاحتجاز الكربون وتخزينه: قامت شركة إنثروبي (Entropy) المتخصصة بتقنية الاحتجاز بتكليف منشأة لاحتجاز غاز الكربون من محرك مكبس يعمل بالغاز الطبيعي، وهو الأول من نوعه على المستوى التجاري، ويُعد إنجاز بارز نظراً لأهميته في عمليات الاحتجاز المستقبلية لغاز الكربون من تدفقات احتراق الغاز الطبيعي حول العالم.
- أعلنت شركة إير برودكتس (Air Products) عن مشروعها للهيدروجين الأزرق في لويزيانا، والذي يتضمن تقنية تعزيز الغاز الطبيعي.
- تم التكليف بإنشاء أوركا (ORCA)، وهي أول منشأة تجارية لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة في عالم الكربون (DACCS)، في أيسلندا. وتبع ذلك الإعلان عن مشروع لاحق وهو مشروع ماموث (MAMMOTH).
- في أستراليا، دخل مشروع بايو أوندان (Bayu-Undan) التابع لشركة سانتوس (Santos) مرحلة أعمال الهندسة والتصميم الأولية (FEED). سيقوم هذا المشروع باحتجاز ثاني أكسيد الكربون من إنتاج الغاز الطبيعي المسال في داروين ونقله عبر خط أنابيب عبر الحدود البحرية بين أستراليا وتيمور الشرقية للتخزين الجيولوجي البحري. الميزة الرئيسية لهذا المشروع هي في إعادة استخدام خط أنابيب الغاز الطبيعي الحالي في نقل غاز الكربون.

أعلنت شركة أوكسيدنتال (Occidental)، بالشراكة مع شركة كاربون إنجينيرينغ (Carbon Engineering) لتقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة (DACCS)، عن بدء أعمال الإنشاء في مشروع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة بقدرة 500 كيلو طن سنوياً في حوض بيرميان في الولايات المتحدة. ويُتوقع أن يكون المصنع قادراً على زيادة قدرته إلى 1 مليون طن سنوياً. ويأتي ذلك في سياق خطط أوكسيدنتال المُعلنة لتطوير أسطول يضم ما يصل إلى 70 منشأة من هذا القبيل حول العالم بحلول عام 2035.

قياس قدرة احتجاز الكربون وتخزينه العالمية عبر قدرة الاحتجاز

كانت معظم مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في السنوات السابقة عبارة عن سلسلة قيمة كاملة. هذا يعني أنها كانت تميل إلى دمج مصنع واحد لاحتجاز غاز الكربون مع أنظمة ضغط لغاز الكربون ونقل (عادة ما تكون خط أنابيب) وأنظمة تخزين مخصصة لديها. مما يعني أنه عندما يتم تحديد سعة تدفق غاز ثاني أكسيد الكربون (بالأطنان سنوياً) لتلك الأنظمة، كان يؤخذ بالحسبان أيضاً قدرة مصنع الاحتجاز وأنظمة النقل والتخزين كونها نظام متكامل واحد.

اليوم، أصبحت شبكات احتجاز الكربون وتخزينه هي النمط السائد لنشر هذه التقنية. تتضمن شبكات احتجاز الكربون وتخزينه استخدام بنية تحتية مشتركة للنقل والتخزين. لا تشمل بعض المنشآت المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه، كمشاريع الشحن أو خطوط الأنابيب أو مرافق التخزين الجديدة، احتجاز للكربون بحد ذاته، حيث تقوم فقط بمعالجة غاز الكربون الذي تم احتجازه من قبل أطراف ثالثة.

إذا تضمنت إحصاءاتنا حساب سعات تدفق ثاني أكسيد الكربون في مواقع لا تحتجز الكربون فعلياً، فمن المحتمل أن ينتج عن ذلك حساب مزدوج للقدرة العالمية لاحتجاز وتخزين الكربون، باعتبار أن سعة غاز الكربون قد تم احتسابها سابقاً في أرقامنا الخاصة بمحطات الاحتجاز في المنبع.

لتجنب هذه المشكلة، ولضمان تحقيق التوافق مع إحصائيات القدرة القائمة، سيتم احتساب قدرة احتجاز ثاني أكسيد الكربون فقط عند قياس قدرة نظام احتجاز الكربون وتخزينه العالمي (بالمليون طن سنوياً). ولذلك ستعتمد الرسوم البيانية والأشكال الخاصة بتطوير المشاريع عنوان "بحسب قدرة الاحتجاز"، وهو تعديل على العنوان السابق "قدرة منشآت احتجاز الكربون وتخزينه".

سيستمر احتساب مشاريع النقل و / أو التخزين المخصصة ضمن أرقام المنشآت الإجمالية، ولكن لن يتم احتسابها ضمن قدرة نظام احتجاز الكربون وتخزينه العالمي، كما وستكون تقديرية بعض الشيء. لذا، فإن قياس قدرة النظام الإجمالية هي دليل أفضل على نمو قطاع احتجاز الكربون وتخزينه من تعداد المنشآت أو المشاريع.

ملاحظة حول تعديل تفسير حمولات القدرة في عام 2022

تاريخياً قدرت تقارير الحالة العالمية حول احتجاز الكربون وتخزينه حمولات القدرة بملايين الأطنان سنوياً (Mtpa) بناءً على متوسط نطاق قدرة المشروع المُعلنة. فعلى سبيل المثال، إذا قال أحد مؤيدي المشروع أن الهدف هو 1 – 1,3 مليون طن سنوياً، يتم كتابة ذلك في تقاريرنا على أنه 1,15 مليون طن سنوياً.

فيما يتعلق بالمشاريع في مرحلة التطوير المبكر، فغالباً ما يتم توفير هذه النطاقات المتوسطة بسبب عدم ثبوت المواصفات النهائية للمشروع. مع دخول المشاريع مراحل لاحقة والإنشاء، يتم عندها تثبيت السعات التصميمية عند سعة تصميمية واحدة. قد يؤثر ذلك على دقة حساب القدرة/السعة، خاصة إذا تم ترحيل التقدير الأدنى للقدرة من مراحل المشروع الأولى، وبالنتيجة التقليل الإجمالي لقدرة احتجاز غاز الكربون للقطاع ككل.

بدءاً من هذا التقرير، سيتم اعتماد السعات التصميمية (الحد العلوي من نطاق السعة، في حال توفرها). في حال تمت مراجعة نطاق السعة لدى الانتقال من مرحلة التطوير المبكر إلى مرحلة التطوير المتقدم، فسيتم اعتماد رقم السعة الجديدة وتحديث بيانات المنشأة وفقاً لذلك. مما يعني أنه من المحتمل أن يتم تعديل السعة المُعلنة لمشروع معين أكثر من مرة خلال دورة حياة المشروع.

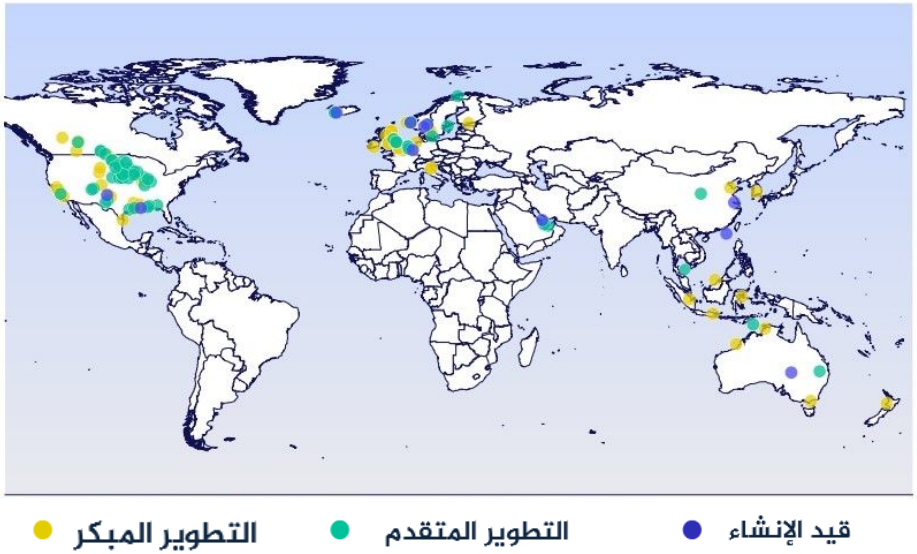
إحدى النتائج المترتبة على هذا التعديل هي أنه لا يمكن مقارنة قدرة الاحتجاز لعام 2022 في المخطط البياني لتطوير المشاريع بشكل مباشر بقدرات الاحتجاز السابقة. ويرجع جزء من الزيادة الطارئة على القدرة بين عامي 2021 و2022 إلى هذا التعديل في آلية القياس، بينما يرجع جزء آخر إلى النمو في المشاريع.

يعرض الشكل 3 أرقام عام 2021 الأصلية والمُعَدَلة بما يسمح بالمقارنة مع أرقام قدرات مشاريع 2022 القيد التطوير.

تقع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه قيد التطوير حالياً عند مستوى قياسي من حيث عدد المنشآت وسعتها الاحتجازية. حيث نمت القدرة الاحتجازية منذ عام 2017 بمعدل نمو سنوي مركب يزيد على 34٪. نمت قدرة الاحتجاز (بالاعتماد على احصائيات 2022 - انظر الملاحظة التوضيحية أعلاه) للمشاريع قيد التطوير بشكل كبير فى الأشهر الـ 12 الماضية. ويشمل ذلك زيادة مضاعفة تقريباً لقدرة الاحتجاز للمشاريع في مرحلة التطوير المتقدم (أي المشاريع في مرحلة أعمال الهندسة والتصميم الأولية) من 49,4 مليون طن سنوياً فى عام 2021 إلى 97,6 مليون طن سنوياً فى عام 2022.

تعني مرحلة التطوير المتقدم أن المشاريع فيها قد تلقت تمويلاً كبيراً للتطوير الهندسي، مما يشير إلى مستوى عالي من الالتزام بتطوير المشروع واحتمال أكبر للانتقال إلى الموافقة على التمويل والبناء، الأمر الذي يشكل عاملاً هاماً لنمو المشروع المستقبلي.

تستمر الولايات المتحدة بتصدر دول العالم من حيث الزيادة في عدد المنشآت، مع 34 مشروعاً جديداً منذ عام 2021 وتشمل قائمة الدول الرائدة الأخرى خلال العام الفائت: كندا (19 مشروعاً جديداً)، والمملكة المتحدة (13)، والنرويج (8)، وأستراليا وهولندا وأيسلندا (6 مشاريع جديدة لكل منها).



الشكل 5: الخريطة العالمية لمنشآت احتجاز الكربون وتخزينه في مراحل تطوير متنوعة

يوضح الجدولان أدناه أهم المساهمين في نمو المشاريع قيد التطوير المبكر و المتقدم.

الاسم	البلد	الصناعة	قدرة الاحتجاز (مليون طن سنوي)
مشروع إلينوي للوقود النظيف	الولايات المتحدة	الإنتاج الكيميائي	8.1
دراكس (Drax) للطاقة	المملكة المتحدة	توليد الطاقة	8.0
محطة دامهيد (Damhead) للطاقة	المملكة المتحدة	توليد الطاقة	7.6
نت زيرو تيساید بريتش بتروليم BP H2Teesside –	المملكة المتحدة	إنتاج الهيدروجين	2.0
سايكلوس (Cyclus) لتوليد الطاقة	الولايات المتحدة	الطاقة الحيوية	2.0
مركز احتجاز الكربون بجنوب شرق أستراليا	أستراليا	معالجة الغاز الطبيعي	2.0

الشكل 6 – المساهمون الرئيسيون في نمو المشاريع قيد التطوير المبكر خلال 2021–2022

الاسم	المنشأة البلد	الصناعة	قدرة الاحتجاز (مليون طن سنوي)
صناعة المنشأة	قدرة الاحتجاز (مليون طن سنوي)	الإنتاج الكيميائي	8.1
بايو أوندان لاحتجاز الكربون وتخزينه (Bayu-Undan)	تيمور ليستي	معالجة الغاز الطبيعي	10.0
مركز دير بارك (Deer Park) للطاقة لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	توليد الطاقة	5.0
التعاونيات الفيدرالية المحدودة (Federated Co-operatives Limited)	كندا	إنتاج الإيثانول	3.0
هواننغ لونغ دونغ للطاقة لاحتجاز الكربون وتخزينه (Huaneng Longdong Energy Base)	الصين	توليد الطاقة	1.5
التعاونيات الفيدرالية المحدودة (مصفاة نفط)	كندا	تكرير البترول	1.0

الشكل 7 – المساهمون الرئيسيون في نمو المشاريع قيد التطوير المتقدم خلال 2021–2022

3,2 تحديثات السياسات والأطر القانونية والتنظيمية

اتجاه وتحليل السياسات المناخية

أدى نشر تقرير الفريق العامل الثالث (WG3) المنتظر للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCCC)، حول الحد من آثار التغير المناخي، إلى زيادة الوعي بالحاجة الماسة إلى تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، حيث سلط التقرير الضوء على فعاليتها وقابليتها للتطبيق على نطاق واسع عبر سيناريوهات وقطاعات مختلفة. ومع تزايد اعتماد مصادر الطاقة والصناعة القائمة على الوقود الأحفوري على تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضمن المسارات النموذجية للحد من الاحترار إلى 1,5 درجة مئوية، إلا أن معدلات نشر التقنية الحالية لا تزال أقل بكثير من تلك المحددة في المسارات النموذجية. تأتي أهمية العلاقة بين احتجاز الكربون وتخزينه وإزالة الكربون القائمة على التكنولوجيا (CDR) من دورها في موازنة الانبعاثات عندما لا يمكن الحد منها. إذا ما تم النظر في التأثيرات الاجتماعية والبيئية والاقتصادية لخيارات خفض الاحترار العالمي، نرى وجود ارتباط بين تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وأهداف التنمية المستدامة (SDG) 3و7و8و9 و12.

نشر المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه ملخصاً يناقش بمزيد من التفصيل الملاحظات الرئيسية المتعلقة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه التي خلص إليها تقرير الفريق العامل الثالث (WG3) (1).

الشكل 8: أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة (المصدر: الأمم المتحدة)

تُعد المادتان 6 (آليات السوق والنُهج غير السوقية)، والمادة 14 (عملية استخلاص الحصيلة العالمية) من اتفاق باريس الأهم فى مفاوضات المناخ الدولية الحالية فيما يخص تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. مع استمرار العمل على تطوير المادة 6، فيما يتعلق بالعمل الفنى وإنشاء هيئة إشرافية لها، لا تزال هناك حاجة ماسة إلى وجود خطوات توضيحية أكثر حول كيفية نقل منهجيات احتجاز الكربون وتخزينه الحالية من آلية التنمية النظيفة إلى الآلية الاستثمارية بموجب المادة 6. وبالنظر إلى المادة 14، المعنية بعملية استخلاص الحصيلة العالمية (GST) التى يتعين القيام بها دورياً (كل خمس سنوات اعتباراً من عام 2023)، نرى أنها توفر فرصة مناسبة لخبراء احتجاز ثانى الكربون وتخزينه للمشاركة فى الحوارات التقنية مع الأطراف التى يمكن أن توفر المعرفة اللازمة للمساهمات المحددة وطنياً المُحدثة بما يحقق أهداف اتفاق باريس.

نحو تعاون إقليمي أوثق

برز دور التعاون الوثيق على المستوى الإقليمى لنشر تقنية احتجاز وتخزين الكربون كعامل إضافى وهام لكل من الحكومات والصناعة خلال السنة الماضية. وأدى ظهور أسواق وتطبيقات جديدة لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه إلى تعزيز الالتزامات الوطنية لتحقيق صافى انبعاثات صفرى، بينما عملت الفرص التجارية التى قدمتها شبكات احتجاز الكربون وتخزينه إلى زيادة التدقيق فى الفرص الاستثمارية خارج الحدود الوطنية. وهو ما ظهر جلياً من خلال التقدم المحرز فى المشاريع قيد التطوير فى بحر الشمال، والأنشطة المقترحة فى جنوب شرق آسيا ومنطقة آسيا والمحيط الهادئ.

ولدعم هذا الطموح، كان لابد من تحول الاهتمام نحو المتطلبات اللازمة لتحقيق وتطوير سياسات وأطر قانونية وتنظيمية داعمة. واليوم تدرس الحكومات والشركات الوطنية المهتمة بتطوير المشاريع عابرة للحدود كيفية تطوير وتعزيز اللوائح التنظيمية العابرة للحدود بشكل مكثف، جنباً إلى جنب مع تطوير الأطر والآليات الإقليمية التى ستدعم تطوير شبكات احتجاز وتخزين الكربون.

تبرز التحديات المرتبطة بالنهج الإقليمى على وجه أخص فيما يتعلق بعملية نقل غاز ثانى أكسيد الكربون من بلد ما للتخزين فى أراضى بلد آخر. وقد عبرت العديد من الأطراف الحكومية والصناعية عن قلقها تجاه مدى قدرة مؤيدى المشروع على إدراك أهمية أنشطة التخزين العابرة للحدود ضمن مخططات تسعير الكربون الوطنية. كما أن غياب أنظمة قانونية وتنظيمية مفصلة حول التقنية فى العديد من دول العالم يخلق حالة من عدم اليقين بشأن كيفية تنظيم عمليات التخزين. إضافة إلى ذلك، ستستدعى مشاريع التخزين العابر للحدود هذه الحاجة إلى تفعيل العديد من الأطر القانونية الدولية والإقليمية والمحلية الأوسع نطاقاً والتى ستتطلب جميعها تحقيقاً دقيقاً لضمان أنها لا تشكل دون قصد حواجز إضافية أمام الأنشطة المقترحة.

توجد حالات قليلة تناولت هذه القضايا المتعلقة باحتجاز الكربون واحتجازه. إن النظر فى قضايا التعاون والتخزين العابر للحدود يمكن أن يتم كذلك فى إطار الاتفاقات البحرية الدولية. حيث تشير التعديلات على بروتوكول لندن والنهج الذى اعتمدته الأطراف حتى الآن إلى الحاجة الماسة إلى معالجة هذه التحديات بسرعة أكبر.

إن اتفاقية 2019 بين أطراف البروتوكول للسماح بالتطبيق المؤقت لتعديل 2009 للمادة 6، تمكن الأطراف أخيرًا من الاستفادة من الأحكام التي تهدف إلى دعم نقل غاز الكربون عبر الحدود لأغراض التخزين الجيولوجي. إلا أنه لم تقدم إلى الآن سوى جمهورية كوريا والدانمارك والنرويج وهولندا إعلاناً رسمياً بشأن التطبيق المؤقت لتعديل عام 2009. وكما يبين التحليل الخاص بالمعهد، توجد هناك إمكانات كبيرة لتحقيق المزيد من خلال معاهدة بروتوكول لندن لمواجهة هذه التحديات ولدفع التعاون الإقليمي نحو الأمام (2). يؤكد التركيز المتزايد على تطوير الشبكات الإقليمية أو المشاريع الفردية، والتي تتطلب في كثير من الحالات نقل غاز الكربون عبر الحدود البحرية الدولية، على الحاجة إلى تجديد النظر في دور المعاهدة والأطر الوطنية في دعم نشر تقنية الكربون واحتجازه.

السياسات الإقليمية وتطورات الأطر القانونية والتنظيمية

شهدت السياسات العالمية والأطر القانونية والتنظيمية الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه مزيداً من التطورات الهامة في العديد من الدول خلال العام الماضي. وفي حين عمد عدد من الدول الرائدة إلى تبني نهج محدث لمعالجة هذه القضايا، دخلت العديد من الدول طور المراحل الأولى من تطوير استجابتها التشريعية لدعم وتسهيل نشر التقنية في أمريكا الشمالية، واصل المنظمون وواضعو السياسات تعزيز أطرهم الحالية الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه لتقديم المزيد من الحوافز المالية وتوفير أطر تنظيمية إضافية جديدة. عمدت كندا إلى تعزيز السياسة والبيئة التنظيمية القوية لديها من خلال مقترح ائتمان ضريبي استثماري اتحادي لاحتجاز الكربون وتخزينه، بينما التزمت الحكومة الفيدرالية في الولايات المتحدة بمزيد من التمويل الخاص بالمشروع والبنية التحتية من خلال قانون الاستثمار في البنية التحتية والوظائف. كما تم إجراء تحسينات إضافية على خطة الائتمان الضريبي الناجحة في الولايات المتحدة (45Q) من خلال إقرار قانون خفض التضخم لعام 2022، مع الاستمرار في توسيع التشريعات المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه في البلاد والمخطط لها على مستوى الولاية والمستوى الفيدرالي لتنظيم التأجير وتوفير الإشراف على عمليات احتجاز وتخزين الكربون في الخارج. ويستمر الإعلان عن دعم المشروع من قبل صندوق الابتكار التابع للاتحاد الأوروبي الخاص باحتجاز الكربون وتخزينه، إلى جانب نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات (EU ETS) وغيرها من المبادرات الفردية من الدول الأعضاء، في تعزيز بيئة السياسات الداعمة للتقنية في أوروبا. حيث عمدت العديد من دول المنطقة إلى الإعلان عن مبادرات جديدة وتجديد الالتزام بمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه لديها. في المملكة المتحدة، أعلنت الحكومة البريطانية ضمن خطة ما بعد البريكست للتحول إلى الطاقة المستدامة عن مركزين أوليين وعن المزيد من التحسينات فيما يخص النقل والتخزين. كما سعت النرويج وهولندا إلى تعزيز سياساتها والتزاماتها التنظيمية تجاه التقنية، وكانت الدولتان أول من قامتا بالإعلان عن تفعيل التطبيق المؤقت لتعديلات بروتوكول لندن. تسعى العديد من الدول الأعضاء الأخرى أيضاً إلى استكمال الأطر التنظيمية وإزالة الحواجز وتقديم الدعم التشريعي اللازم.

تسلط التطورات في السياسات والأطر القانونية والتنظيمية الأخيرة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ الضوء على الاهتمام الحكومي والصناعي المتزايد بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، بالإضافة إلى أهمية تلك التطورات في دعم نشرها على نطاق أوسع. في أستراليا، التزمت حكومة العمال الجديدة بتقديم المزيد من الدعم لمسببي الانبعاثات الرئيسيين بموجب آلية الحماية الحالية، وهو قرار من المتوقع أن يقدم مزيداً من الدعم لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. يضاف هذا التطوير إلى منهجية احتجاز الكربون وتخزينه السابقة والمحددة في إطار الصندوق الوطني الأسترالي للحد من الانبعاثات، بما يخلق مساراً رسميًا للإيرادات عبر آلية الائتمان الكربوني. كما اتخذت حكومتا اليابان والصين خطوات إضافية خلال العام الماضي بالإعلان عن سياسات جديدة للمناخ والطاقة، حيث أعلنت اليابان مثلاً عن التزامها بتطوير إطار تنظيمي خاص باحتجاز الكربون وتخزينه.

قادت الإمكانات الإقليمية الكبيرة للتقنية إلى العديد من التطورات الهامة في جنوب شرق آسيا. حيث قامت حكومتا إندونيسيا وماليزيا بالإعلان عن عدة سياسات داعمة تماشياً مع التزاماتها بتعزيز نشر التقنية على نطاق أوسع. أصدرت حكومة إندونيسيا مسودة أول إطار قانوني وتنظيمي خاص بالمنطقة. بينما أعلنت ماليزيا أنها بصدد تطوير نظام تنظيمي خاص باحتجاز الكربون وتخزينه. وفي حين أعلنت دول أخرى في المنطقة عن مشاريع أو اتخذت خطوات مبدئية لتفعيل نشر التقنية، إلا أن سياساتها وأطرها التنظيمية لا تزال متأخرة وتتطلب مزيداً من التطوير لدعم نشر أوسع للتقنية.

4.1 نظرة إقليمية عامة: الأمريكتان

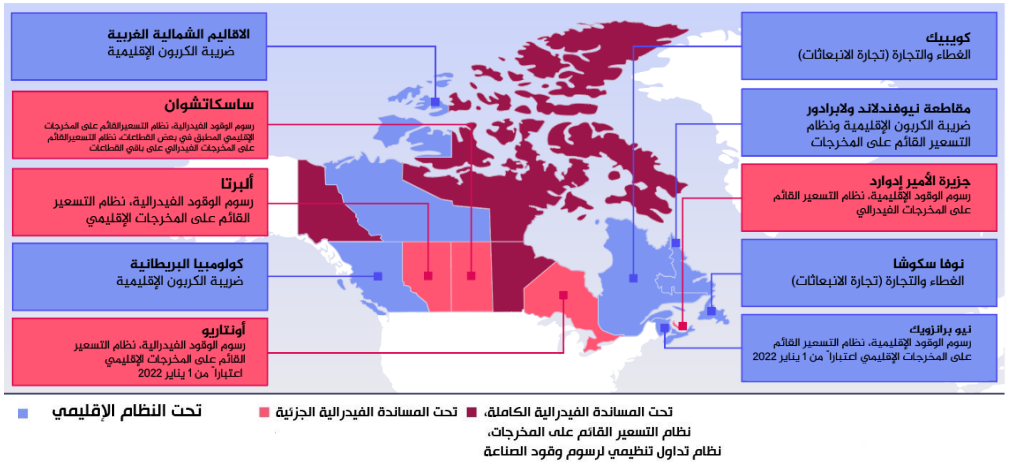
تواصل الأمريكتان، ولا سيما أمريكا الشمالية، دورها الريادي في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. حيث رأت إدارة الرئيس الأمريكي بايدن أن تحقيق تحول عادل إلى اقتصاد صافي صفري بحلول عام 2050 لابد أن يشمل سياسات تسمح بتوفير تمويل كبير للتقنيات المتطورة لأجل احتجاز الكربون وإزالته وتخزينه بطريقة آمنة وكفاءة عالية. ويحظى احتجاز الكربون وتخزينه بدعم سياسي من الحزبين الرئيسين في الولايات المتحدة. وبالمثل، تلعب تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) في كندا دوراً بالغ الأهمية في خططها الاقتصادية والبيئية لتحقيق هدف الصافي الصفري بحلول عام 2050. حيث يستمر دور الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات (ESG) في النمو.

كندا

السياسة

أعلنت مقاطعة ساسكاتشوان في نوفمبر 2021 أهلية خطوط الأنابيب التي تنقل غاز الكربون لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS)، بما في ذلك الاستخلاص المعزز للنفط (EOR)، لبرنامج الاستثمار في البنية التحتية للنفط بالمقاطعة (OIIP) (1). كما أعلنت مقاطعة ألبرتا في الربع الأخير من عام 2021 عن خارطة طريق ألبرتا الهيدروجيني، الذي عرضت فيها خططتها في جعل ألبرتا رائدة دولية في مجال الهيدروجين النظيف. يُعد احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ذا أهمية خاصة في خارطة الطريق (2). في الربع الأول من عام 2022، أصدرت حكومة كندا خطة خفض الانبعاثات لعام 2030 (3). وتهدف كندا إلى جعل صناعاتها صديقة للبيئة مع الحفاظ على تنافسيتها، وهذا يعني ضرورة تطوير استراتيجية خاصة بتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لتحفيز تطوير واعتماد هذه التقنية. توفر الخطة خارطة طريق للخطوات التي ستتبعها كندا لتحقيق هدف المساهمات المحددة وطنياً بموجب اتفاقية باريس للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة إلى 40-45٪ دون مستويات 2005 بحلول عام 2030 في الاقتصاد الكندي، ووضع البلاد على طريق تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050.

بعد الإعلان عن الخطة، أقرت كندا ميزانيتها الفيدرالية لعام 2022 والتي خصصت فيها دعماً لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه عبر ائتمان ضريبي استثماري (4). وبلغ معدل الائتمان الضريبي 60٪ لمشاريع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة، و50٪ لجميع مشاريع احتجاز الكربون الأخرى، و37,5 % للنقل والتخزين والاستخدام، وذلك من عام 2022 حتى عام 2030. لينخفض بعدها، في الأعوام من 2031 إلى 2040، إلى 30٪ و25٪ و18,75٪ على التوالي. يمكن للشركات التي قامت، اعتباراً من 1 يناير 2022، بالإنفاق على شراء وتركيب معدات في مشروع متعلق باحتجاز غاز الكربون التقدم للحصول على الائتمان الضريبي، وفقط في حال الموافقة على الخضوع لكافة إجراءات التحقق والتحقيق اللازمة، وإثبات أن المشروع يفي بمتطلبات تخزين الكربون، وإصدار تقرير الإفصاح المالي المتعلق بالمناخ.



الشكل 10: تسعير الكربون في كندا

الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة

في ديسمبر 2021، وجه رئيس الوزراء الكندي جاستن ترودو مجلس الوزراء بالتحرك نحو إقرار إلزامية الإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ كجزء من استراتيجية كندا نحو تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050 (5). تضمنت ميزانية عام 2022 مطلب الإفصاح المالي الإلزامي لمجموعة واسعة من الأنشطة الاقتصادية، وذلك بحسب توصيات فريق العمل المعني بالإفصاحات المالية المتعلقة بالمناخ (TCFD) (6).

مقاطعات أخرى - أونتاريو

لا تملك القطاعات التي يصعب إزالة الكربون منها في اقتصاد أونتاريو، مثل صناعة الصلب والأسمنت، مسارات واضحة لتحقيق مستقبل خال من الكربون. من المتوقع أن تشكل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه الخيار الأكثر قابلية للتطبيق لإزالة الكربون في تلك القطاعات. لذلك تقوم الحكومة بتقييم تخزين غاز الكربون كخيار محتمل لإزالة الكربون. ستكون منطقة التخزين المحتملة في الجزء الغربي من المقاطعة في طبقات المياه الجوفية المالحة. تحظر القوانين الحالية التخزين، مما يعني أنه يجب على المقاطعة مراجعة القوانين القائمة من خلال تخفيف الحظر المفروض على حقن ثاني أكسيد الكربون في بئر منظم بموجب قانون موارد النفط والغاز والملح في كندا، والسماح بتخزين الكربون على أرض التاج في أونتاريو بموجب قانون التعدين (7).

المشاريع

تُعد مقاطعتا ألبرتا وساسكاتشوان الموقعان الرئيسان لأعمال احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في كندا. حيث تعمل ألبرتا على تطوير مراكز تخزين الكربون للمساعدة في خفض انبعاثات الاحتباس الحراري عن طريق عزل ثاني أكسيد الكربون بشكل دائم تحت الأرض. في مارس 2022، اختارت المقاطعة ست مقترحات تمكنها من المضي قدُماً في تطوير أول مراكز لتخزين الكربون في كندا تخدم منطقة ألبرتا الصناعية، بالقرب من إدمونتون. أتت المقترحات المختارة من شركات: إنبريدج (Enbridge Inc)؛ شل كندا المحدودة (Shell)؛ أتكو لحلول الطاقة المحدودة (ATCO Energy Solutions Ltd)؛ صنكور للطاقة (Suncor Energy)؛ وولف كاربونز سوليوشنز(Wolf Carbons Solutions)؛ مشاريع بيسون منخفضة الكربون (Bison Low Carbon)؛ إنهانس للطاقة (Enhance Energy)؛ والمشروع المشترك بين تي سي إنرجي (TC Energy) و بيمبينا بايبلاين كورب (Pembina Pipeline Corp) (8،9). تزخر مقاطعة ألبرتا بالتكوينات الجيولوجية الملائمة لتخزين الكربون مما يجعلها موقعاً مثالياً لتطوير سلسلة من مراكز احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (10).

أعلنت شركة إنتروبي (Entropy Inc) عن بدء تشغيل أول مشروع لها لاحتجاز الكربون وتخزينه في مصنع غلاسير للغاز (Gas Glacier) في ألبرتا. ويعتبر المشروع أول مشروع تجاري في العالم لاحتجاز وتخزين غاز الكربون الناتج عن احتراق الغاز الطبيعي (11).

ستقوم وزارة الطاقة والموارد في ساسكاتشوان وجهات أخرى بدعم دراسة تابعة لمجلس أبحاث ساسكاتشوان وتسريع التحول إلى الطاقة المستدامة، وهي دراسة تسعى لتزويد المستثمرين بتحليل للفرص التجارية التي يوفرها الهيدروجين ومدى توافقها مع البنية التحتية لاحتجاز الكربون وتخزينه في ساسكاتشوان.

الولايات المتحدة

السياسة

يعتمد تحقيق الأهداف المناخية الوطنية المتمثلة بتوفير كهرباء نظيفة 100% بحلول عام 2035 واقتصاد خال من الانبعاثات بحلول عام 2050 على تطبيق ونشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بكثافة. ولتلك الغاية، أقرت الولايات المتحدة مجموعة من التشريعات في أواخر عام 2021 وخلال عام 2022، التزمت من خلالها بأرقام قياسية من الاستثمارات في تقنيات احتجاز الكربون، إضافة إلى النظر في قضايا العدالة البيئية.

التشريع

في نوفمبر 2021، سنت الولايات المتحدة قانون الاستثمار في البنية التحتية والوظائف (IIJA)، والذي تضمن تخصيص أكثر من 12 مليار دولار أمريكي ليتم إنفاقها على مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه على مدى السنوات الخمس المقبلة. يشتمل التشريع على تمويل البحث والتطوير والعرض التوضيحي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، والبنية التحتية لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون، وتطوير سوق استخدام الكربون، وأربعة مراكز إقليمية لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه (DACCS)، ومسابقة تطوير تقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة (12).

أقرت الولايات المتحدة قانون البحث والتطوير والمنافسة والابتكار لعام 2022، أو ما يعرف بقانون CHIPS، ويوفر قانون CHIPS التمويل لزيادة عمليات البحث والتطوير والبيان في مجال إزالة الكربون (13).

كما أقرت الولايات المتحدة أيضاً قانون خفض التضخم لعام 2022، والذي يتضمن تحسينات على دائرة الإيرادات الداخلية Q45. يزيد القانون من مبلغ الائتمان لكل طن للكيانات التي تفي بمتطلبات الأجور والتدريب السائدة (14، 15). كما يمدد التشريع وقت بدء الإنشاء حتى نهاية عام 2032، مع خفض عتبة قدرة الاحتجاز، وتوفير خيار الدفع المباشر وإمكانية تحويل الائتمان الضريبي.

توجيهات وإعلانات السياسة

أصدر مجلس الجودة البيئية (CEQ) إرشادات لتعزيز التطوير المسؤول والتصريح لمشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. وتتضمن التوجيهات تسهيل إجراءات اتخاذ القرار الفيدرالي بشأن مشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه وخطوط أنابيب نقل ثاني أكسيد الكربون، والمشاركة العامة، واستيعاب للآثار البيئية المترتبة، وإزالة غاز الكربون.(16)

نشر مكتب إدارة الطاقة الأحفورية والكربون التابع لوزارة الطاقة (FECM) استراتيجيته للنهوض بمشاريع تخزين الكربون وتخزينه. وتؤسس الرؤية الإستراتيجية إطار عمل لاتخاذ قرارات مُطلعة بشأن إدارة الكربون الخاصة بإزالة الكربون ومعالجة الانبعاثات القديمة. يعطي مكتب إدارة الطاقة الأحفورية والكربون الأولوية للعدالة والعمل والمشاركة، ونهج إدارة الكربون الهادفة إلى إزالة الكربون بشكل عميق، وتطوير تكنولوجيات الطاقة المستدامة (17).

أعلنت إدارة سلامة خطوط الأنابيب والمواد الخطرة (PHMSA) عن تدابير سلامة جديدة لأنابيب نقل غاز الكربون، وبدأت في وضع قواعد جديدة. كما أصدر إدارة سلامة خطوط الأنابيب والمواد الخطرة نشرة استشارية مُحدثة تتناول القضايا الناتجة عن المخاطر الجيولوجية (18).

أصدر مكتب إدارة الأراضي (BLM) إرشادات بشأن تخزين غاز الكربون بما يتماشى مع قانون سياسة إدارة الأراضي الفيدرالية الأمريكية. تناولت مذكرة تعليمات مكتب إدارة الأراضي لتخزين الكربون في الأراضي العامة، بما فيها المساحات المسامية التي يديرها مكتب إدارة الأراضي (19).

التخزين في الخارج

يُعدل قانون الاستثمار في البنية التحتية والوظائف (IIJA) قانون أراضي الجرف القاري الخارجي الأمريكي، ويوجه وزارة الداخلية إلى تطوير لوائح تنظيمية لإنشاء إطار تصاريح خاصة بتخزين ثاني أكسيد الكربون في الخارج.

القرارات القضائية

أصدرت المحكمة العليا الأمريكية قرارها في قضية وست فرجينيا ضد وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA)، وهي قضية تتحدى قانون خطة الطاقة النظيفة (CPP) التي وضعتها إدارة أوباما عام 2015. حيث رأت المحكمة أن وكالة حماية البيئة الأمريكية تجاوزت صلاحياتها القانونية بموجب قانون الهواء النظيف في محاولة لتنظيم قطاع الطاقة في البلد من خلال قانون خطة الطاقة النظيفة. وقضت المحكمة بأن الوكالة لا تستطيع "فرض تحول إلى الطاقة النظيفة، بعيداً عن استخدام الفحم، على الصعيد الوطني" (21). يحد القرار من قدرة وكالة حماية البيئة الأمريكية على تنظيم غازات الاحتباس الحراري، مخولاً كل ولاية تنظيم غازات الدفيئة لديها بشكل منفرد.

الولايات

قامت العديد من الولايات بتطوير سياسات إدارة الكربون لديها. حيث أصدر مجلس موارد الهواء في كاليفورنيا (CARB) مسودة تحديد النطاق 2022 ليتم التعليق عليها تقدم خطة تحديد النطاق مسارًا نحو تحقيق حياد الكربون بحلول عام 2045، مع دعم للأولويات الاقتصادية والبيئية وأمن الطاقة والعدالة والصحة. تدعو خطة تحديد النطاق إلى نشر تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه في القطاعات التي تكون فيها خيارات عدم الاحتراق غير مجدية تقنياً أو اقتصادياً لتحقيق أهداف 2045 (22).

سنت العديد من الولايات الأخرى تشريعات أو سياسات تغطي تخزين ثاني أكسيد الكربون، وتشمل ولايات إنديانا، و وست فرجينيا، و وايومنغ. لا تزال معظم الولايات تواجه مخاوف تتعلق بالتصاريح حيث تملك ولايتان فقط، هما وايومنغ ونورث داكوتا، السلطة لإصدار تصاريح لآبار الفئة السادسة في إطار برنامج التحكم بالحقن الكربوني تحت الأرض الخاص بآبار الحقن للتخزين الجيولوجي لغاز الكربون. قد تستغرق عملية إصدار التصاريح الحالية سنوات. لدى ولاية لويزيانا طلب معلق بإصدار التصاريح. ولا تزال ولايات تكساس وأريزونا وويست فيرجينيا في مرحلة ما قبل عملية تقديم طلب إصدار التصاريح.

الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة

اقترحت لجنة الأوراق المالية والبورصات قانوناً يتناول الإفصاحات المتعلقة بالمناخ. حيث يتم الطلب من الشركة بموجب القانون المقترح بالإفصاح عن كيفية تخطيطها لتحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ (كالاستثمار في الطاقة المتجددة أو تقنية احتجاز الكربون). يشير الاقتراح إلى الدور الهام الذي من المتوقع أن تلعبه تقنية احتجاز الكربون واحتجازه في الممارسات البيئية والاجتماعية والحوكمة لبعض الشركات (20).

دور الشراكات المتنوعة في تعزيز نشر تقنية الاحتجاز

يشـهد الإعلان عن تطوير مشـاريع جديدة لاحتجاز الكربون وتخزينه نمواً متزايداً في مختلف القطاعات، والتي قد يرجع سببه إلى مجموعة من الأسباب التي تشمل التعاون المشترك والشراكات بين الشركات ذات القدرات والمتطلبات المختلفة فيما يتعلق باحتجاز وتخزين الكربون، إضافة إلى تغييرات السياسة كالتعديلات على الائتمانات الضريبية (Q45)، واستخدام خطوط الأنابيب المبتكرة المستخدمة في نقل الغاز الطبيعي لنقل غاز الكربون. تشمل بعض تلك المشاريع المبتكرة ما يلي:

- أعلنت شركات Talos Energy و Carbonvert و Chevron عن مشروع مشترك موسع لتطوير مركز Bayou Bend لاحتجاز الكربون وتخزينه، مع شركة Talos Energy كمشغل. (23)
- أعلنت شـركة NEXT Carbon Solutions وشـركة California Resources Corporation عن اتفاقية مشـتركة لاسـتكشـاف المزيد من السـبل لإزالة الكربون من محطة توليد الكهرباء Elk Hills التابعة لشركة CRC. تسعى الشركات لاحتجاز واستخدام الانبعاثات من مصنع Elk Hills Power ليتم تخزين الكربون بشكل دائم في خزانات النفط (24).
- سـتقوم شـركة Carbon America بتمويل وتشـغيل أنظمة لالتقاط 95٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتخزينها تحت الأرض من محطتين لإنتاج الإيثانول في كولورادو (25).
- تخطط Tallgrass لتحويل خط أنابيب الغاز الطبيعي لديها (Trailblazer) لنقل غاز الكربون المحتجز من مشروع احتجاز الكربون في مجمع لمعالجة الذرة في نبراسكا التابع لشركة آرتشر دانيلز ميدلاند (ADM). يسـمح خط الأنابيب الذي يبلغ طوله 400 ميل (644 كم) بزيادة مدى وصول مركز احتجاز وايومنغ الشرقي (26).
- مشـروع Red Trail Energy لاحتجاز الكربون وتخزينه في منشـأة الإيثانول بالقرب من ريتشـاردتون، داكوتا الشـمالية. المشـروع هو الأول في الولايات المتحدة يعمل تحت سـلطة تنظيمية تابعة للولاية لتخزين الكربون (27). تم دعم المشـروع بتمويل من الائتمان الضـريبي (Q45).
- أعلنت المزيد من الشركات عن دعمها للمركز المقترح انشائه لاحتجاز الكربون وتخزينه في قناة هيوستن للسفن، مما يرفع عدد المنشآت الصناعية إلى 14 (28).
- تخطط شـركة Occidental لبناء 70 منشـأة لاحتجاز الكربون بحلول عام 2035. ومن المتوقع أن تزيل كل منشأة ما يصل إلى مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون مباشرة من الجو (29).

التطورات في البرازيل

تستضيف البرازيل منشأة لاحتجاز وتخزين الكربون في حوض سانتوس حيث تواصل بتروبراس العمل على تحقيق هدفها المتمثل في حقن 40 مليون طن من غاز الكربون بحلول عام 2025. وطرأت تطورات مهمة في السياسة المتعلقة بنشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في 2021 و2022 في البرازيل. كما تم تحديث المسـاهمات المحددة وطنياً (NDC)، وإدخال تشـريعات مهمة (30). يحدد المرسـوم رقم 11,425/ 2022 الإطار القانوني للتخزين الجيولوجي لغاز الكربون، ويتناول حقوق ملكية المسـاحات المسـامية، والمسـؤوليات طويلة الأجل وتحويلها من الوكيل الخاص إلى الوكيل العام، وتحديد الهيئات التنظيمية، وفترة المراقبة (31).

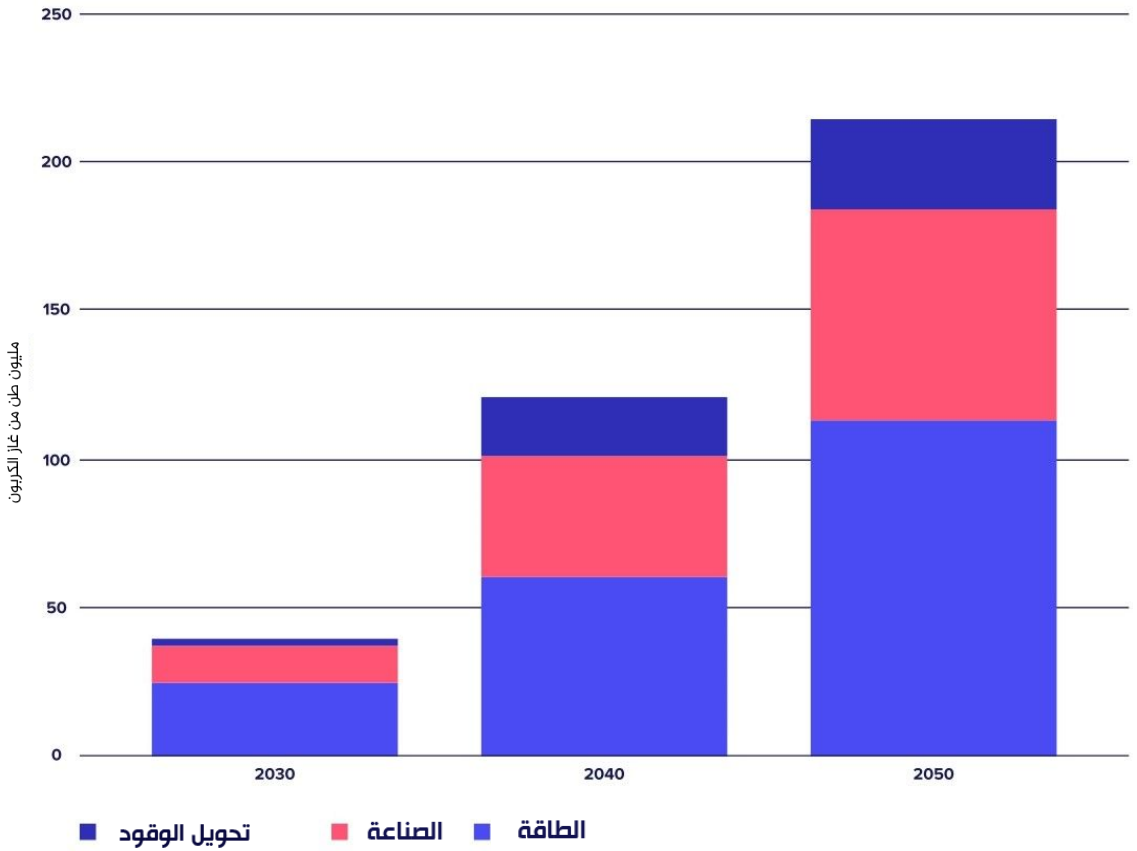
كما يحدد المرسـوم 11,075/ 2022 إجراءات إعداد "الخطط القطاعية للحد من التغيرات المناخية" ويضع النظام الوطني للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة (31).

4.2 نظرة إقليمية عامة: منطقة آسيا والمحيط الهادي

تشـهد عملية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسـيا والمحيط الهادئ، بصـفتها واحداً من أدوات الحد من التغير المناخي، تناقضاً مستمراً بين التطور الكبير والنشر المتأخر للتقنية.

ومع مواصـلة القطاعين العام والخاص في المنطقة إطلاق خطط التخفيف من آثار المناخ وتكثيف جهود إزالة الكربون ، لا تزال هناك حاجة إلى بذل المزيد من الجهود وبأسـرع وقت (1). ما يزيد من تعقيد تحقيق الطموح المناخي الإقليمي أيضـاً هو أن العديد من الاقتصـادات الآسيوية، ولا سيما في جنوب شرق آسيا، تعتمد على الوقود الأحفوري في نموها الاقتصادي. ويشـكل العديد منها موطناً لجزء كبير من الصـناعات كثيفة الانبعاثات في العالم، الأمر الذي يؤكد على ضـرورة اسـتخدام احتجاز الكربون وتخزينه للحفاظ على النمو الاقتصـادي وإزالة الكربون معاً.

شـهدت الأشـهر الاثني عشـر الماضـية بعض التقدم الملحوظ. حيث تم الإعلان عن العديد من المشـاريع الجديدة، بما فيها أول مشـروع تجاري في تايلاند التي شـهدت مؤخراً تطوير للوائح تنظيمية وآليات السـياسـة المعنية باحتجاز الكربون وتخزينه في البلاد. كما يسـتمر تعزيز التعاون المشترك من خلال إبرام مذكرات تفاهم في كل من القطاعين العام والخاص. ومع ذلك، لا تزال هناك ثلاثة حواجز عريضة تقف أمام احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ بدرجات متفاوتة، هي: بيانات موارد التخزين الجيولوجي، والأطر القانونية والتنظيمية، وسياسات التحفيز.



الشكل 11: نشر تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في جنوب شرق آسيا في سيناريو التنمية المستدامة (المصدر: وكالة الطاقة الدولية 2021)

* القيم الموضحة مأخوذة من سيناريو التنمية المستدامة للوكالة الدولية للطاقة. مستويات نشر تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه المقابلة لها في خريطة طريق العالمية إلى الصافي الصفري للعام 2050 للوكالة الطاقة الدولية هي أعلى بشكل عام

ماليزيا

تبرز ماليزيا بفضل صناعة النفط والغاز فيها كدولة رائدة في مجال احتجاز وتخزين الكربون في جنوب شرق آسيا. حيث صرح ممثل شركة بترونـاس للنفط والغاز الوطنية الماليزية خلال فعالية للمعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه في أبريل، أن الرؤية الوطنية تمحورت سابقاً حول جعل ماليزيا مركزاً للتخزين البحري بنهاية العقد (2). وصرح محمد فيروز أسنان، نائب الرئيس في إدارة البترول الماليزية، أنه "سيتم تخصيص ستين بالمائة من سعة التخزين لماليزيا، وتحديداً لشركة بترونـاس وشركائنا، بينما سيتم تخصيص الـ 40 بالمائة المتبقية للمستخدمين الآخرين" (3).

المشاريع

تم الإعلان عن مزيد من المعلومات بخصـوص مشـروع كاسـاواري، الواقع قبالة سـواحل سـاراواك. يرتبط المشروع بحقل كاساواري 2، ويشكل المشروع جزءاً من استراتيجية لتحقيق إيرادات من موارد غاز الكربون، ولتحقيق هدف صـافي الصـفري بحلول عام 2050 من جهة أخرى. ويسـعى المشـروع إلى احتجاز حوالي 4,5 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون، بدءاً من عام 2025، ليتم نقله بعدها عبر خط أنابيب 135 كم إلى خزان نفط مستنفد في حقل M1 (2).

المشـروع الناشـئ الثاني في ماليزيا هو مشـروع لانج ليبا (Lebah Lang) لاحتجاز الكربون وتخزينه. يقع المشروع خارج شواطئ إقليم ساراواك، وهو أكبر اكتشاف لمشغل النفط الوطني (PTTEP) في تايلاند (4). وتقدر كمية المخزن من غاز الكربون بـ 17٪، مما يستدعي استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (5).

السياسة

في سـبتمبر 2021، أصـدرت ماليزيا الخطة الاسـتراتيجية الثانية عشـرة 2021-2025 والتي التزمت فيها الحكومة الماليزية بتحقيق صـافي الصـفري بحلول عام 2050 "على أقرب تقدير"، مع الالتزام بخفض الانبعاثات بنسبة 45٪ بحلول عام 2030، بالاستناد إلى مستويات عام 2005 (6). الالتزام الوطني، متماشياً مع ذات الالتزام من شـركة بترونـاس، يسـلط الضـوء على مدى أهمية اسـتخدام احتجاز الكربون وتخزينه بالنسبة لرابع أكبر منتج للغاز الطبيعي المسال في العالم (7).

كما تم الإعلان في ذات الخطة عن إدخال آلية تسـعير الكربون (6). ولكن لا تزال المعلومات المتوفرة ضـئيلة فيما يخص المعدلات والإدارة. من المتوقع أن يتم وضـع إطار قانوني وطني متعلق بالتغير المناخي بنهاية عام 2022، ويُعتقد أن تكون اللوائح التنظيمية لاحتجاز الكربون واسـتخدامه وتخزينه قيد التطوير حالياً.

إندونيسيا

تستمر إندونيسيا في دعم احتجاز الكربون وتخزينه ويبدو أنها المرشح الأوفر حظاً لنشر تلك التقنية في منطقة جنوب شرق آسيا. كما هو الحال في ماليزيا، فإن الرؤية الواسعة لتكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا تشمل مشاريع الحد من الانبعاثات مع توفير فرص لتخزين الكربون في البلد. تعمل الحكومة الإندونيسية حالياً على تطوير السياسات والتشريعات التنظيمية بوجود مشغلين للنفط والغاز أجانب على رأس إدارة المشاريع بالبلد.

المشاريع

في أواخر عام 2021، أعلنت شركة بريتش بيتروليم (BP) موافقة الجهة المسؤولة عن تنظيم أعمال النفط والغاز الإندونيسي (Migas SKK)، على توسيع مشروع Tangguh للغاز الطبيعي المسال، وتطوير مشروع فوروتا (Vorwata) لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (8). سيقوم المشروع، المقرر الانتهاء منه بحلول عام 2026 أو 2027، بحقن ما يصل إلى 4 مليون طن سنوياً من الغاز القابل للاسترداد والتخزين الدائم (9).

تخطط شركة ريبسول (Repsol) للقيام بعملية الحقن الأولى في مشروع ساكيمانغ (Sakekamang) لاحتجاز الكربون وتخزينه بحلول عام 2027، والذي تُقدر قدرته التخزينية بـ 2,5 مليون طن سنوياً من التخزين الدائم.

في مايو، أعلنت بيرتامينا (Pertamina) عن تعاونها مع إير ليكويد إندونيسيا (Air Liquide Indonesia) لتطوير تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في وحدة معالجة مصفاة باليكبابان (Balikpapan)، مع إمكانية لاستخدام غاز الكربون أو تخزينه في حوض كوتاى (Kutai) (10). هذا وتقوم أربع منظمات في مواقع أخرى، هي: الشركة الوطنية اليابانية للنفط والغاز والمعادن (JOGMEC)؛ شركة ميتسوبيشي (MC)؛ معهد باندونغ للتكنولوجيا (ITB)؛ و بي تي بانكا أمارا أوتاما (PAU)، بإجراء دراسة مشتركة حول إنتاج الأمونيا مع احتجاز الكربون وتخزينه.

السياسة والتطورات التنظيمية

أنشأت إندونيسيا فريق عمل في منتصف عام 2021، تحت إدارة وزارة الطاقة والموارد المعدنية، لصياغة اللوائح التنظيمية الخاصة باحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. ومن المتوقع أن يتم الإعلان عن تلك اللوائح بنهاية عام 2022. كان من المفترض إطلاق اللائحة الرئاسية 201/98 بشأن أداة القيمة الاقتصادية للكربون لتحقيق المساهمات المحددة وطنياً والضبط، وهي آلية لتسعير الكربون، في أوائل عام 2022، إلا أنه تم تأجيلها مرات عدة. تصيغ الآلية إطاراً قانونياً فعالاً لكل من التسعير المحلي وتجارة الكربون، وستعمل جنباً إلى جنب مع ضريبة الكربون التي سيتم فرضها على محطات الطاقة العاملة بالفحم بسعر 2,09 دولار أمريكي للطن من غاز الكربون.

أستراليا

المشاريع الجديدة والمحدثة

قد يكون التطور الأهم في مشهد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في أستراليا هو التقدم المحرز في منطقة التنمية المستدامة في الذراع الوسطى (Middle Arm)، وهي مركز لمعالجة الغاز الطبيعي وتصنيع منخفض الكربون في الإقليم الشمالي من أستراليا. يوجد مركز Arm Middle الآن في مراحل التخطيط المبكرة، بعد أن تلقى التزامات مالية بالمشروع من الحكومة الفيدرالية السابقة ومن مشغلي الغاز الطبيعي الرئيسيين INPEX (إنبكس) وSantos (سانتوس) خلال الاثني عشر شهراً الماضية.

في نوفمبر 2021 أعلنت سانتوس عن قرار استثماري نهائي بشأن مشروع Moomba (موبا لاحتجاز الكربون وتخزينه) والذي سيبدأ عملياته في عام 2024، وسيضخ 1,7 مليون طن سنوياً (11). في مارس، دخلت سانتوس في مرحلة أعمال الهندسة والتصميم الأولية الخاصة بمشروع Bayu-Undan (بايو أوندان لاحتجاز الكربون وتخزينه) المقترح في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، الواقع خارج ساحل تيمور الشرقية (12). يمكن لمشروع Bayu-Undan أن يخزن ما يصل إلى 10 مليون طن سنوياً من غاز الكربون، ما يؤهله ليكون مركز تخزين إقليمي (12).

في أبريل، أشارت ExxonMobil (إكسون موبيل)، عبر شركة Esso Australia (إيسو أستراليا) التابعة لها، إلى أنها بدأت بإجراء دراسات ما قبل مرحلة أعمال الهندسة والتصميم الأولية لتحديد إمكانية إنشاء مركز احتجاز الكربون وتخزينه في حوض جيبسلاند (13). تجري شركات Woodside وBP و Japan Australia للغاز الطبيعي المسال دراسات جدوى لشبكة احتجاز الكربون وتخزينه في شبه جزيرة بيروب الواقعة شمال غرب أستراليا (14). كما تقوم شركة Mitsui E&P Australia بتقييم الجدوى التسويقية لمركز Mid-West Modern Energy، وهي منشأة لمعالجة الغاز الطبيعي والهيدروجين الأزرق (15).

السياسة والتطورات التنظيمية

الجدير بالذكر أنه تم انتخاب حكومة أسترالية جديدة في مايو. وتعهدت حكومة العمل الجديدة بتعزيز الدعم المقدم لمسببي الانبعاثات الرئيسية بموجب آلية الضمانات الحالية، مما يعني أنه سيكون بمقدور الشركات إصدار انبعاثات أقل كل عام أو دفع تعويضات. ونتيجة لذلك قد يتم تحفيز نشر تقنية احتجاز الكربون في القطاعات الصناعية التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها، وهو أمر مهم بالنسبة لاحتجاز الكربون وتخزينه.

في أواخر عام 2021 تم تضمين منهجية احتجاز الكربون وتخزينه في صندوق الحد من الانبعاثات، مما سمح للمشاريع بتوليد وحدات ائتمان الكربون الأسترالية (ACCU) وبالتالي إمكانية توليد دخل (16). في يونيو، أعلن وزير التغير المناخي والطاقة، كريس بوين، عن مراجعة مستقلة لصندوق الحد من الانبعاثات، وسلط الضوء على احتجاز الكربون وتخزينه كواحدة من بين العديد من المنهجيات التي تم تبنيها مؤخراً لتتم دراستها بشكل دقيق.

في مارس، وافق وزير المناجم والبترول لغرب أستراليا، بيل جونستون، على صياغة مشروع قانون تخزين غازات الاحتباس الحراري ونقلها، وهو ما سيعزز النظام التنظيمي لاحتجاز الكربون وتخزينه في الولاية (17).

اليابان

دفع الاعتماد على واردات الطاقة والقدرة المحدودة على تخزين غاز الكربون، إلى جانب الالتزام بتحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050 وأهداف إزالة الكربون المرتبطة به، باليابان للعمل كمنظم للمناخ والطاقة في المنطقة. وتماشياً مع ذلك، تواصل اليابان تعزيز تعاونها الثنائي والمتعدد الأطراف في مجال احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.

المشاريع وأبرز التحديثات

تنشط شركات الشحن اليابانية بشكل متزايد في نقل غاز الكربون المسال من أجل احتجاز الكربون وتخزينه. تعمل شركة جابان لاحتجاز الكربون وتخزينه مع شركة Kansai Electric Power (كانساي إيليكتريك باور) على مشروع توضيحي لنقل غاز الكربون من مجمع الطاقة الذي يعمل بالفحم التابع لشركة Kansai Electric Power في كيوتو إلى مشروع Tomokomai (توموكوماي) لاحتجاز الكربون وتخزينه، والذي سيبدأ تشغيله عام 2024 (18). قامت NYK ومجموعة Knutsen بتأسيس شركة جديدة لنقل وتخزين غاز الكربون المسال. وتعمل شركة Shipbuilding Mitsubishi (ميتسوبيشي لبناء السفن) على بناء سفينة توضيحية لنقل غاز الكربون، بينما وقعت MOL وPetronas مذكرة تفاهم متعلقة بنقل غاز الكربون المسال لأغراض احتجازه واستخدامه وتخزينه (19-21).

في يناير، وصلت Suiso Frontier (سويسو فرونتير)، أول ناقل للهيدروجين المسال في العالم، إلى فيكتوريا في أستراليا لنقل الهيدروجين إلى اليابان (22). شكلت الشحنة خطوة بارزة في سلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية (HESC)، وهو مشروع تجريبي لتغويز الفحم بالهيدروجين. في حال أن انتقلت HESC إلى المرحلة التجارية، سيتم تخزين غاز الكربون المحتجز في مشروع CarbonNet (كربون نت). وتلعب INPEX دوراً رائداً في تطوير مركز Middle Arm لاحتجاز الكربون وتخزينه في داروين، في أستراليا أيضاً.

أعلنت شركتا J-POWER (جابان باور) و ENEOS (إينيوس) عن دراسة جدوى لمشروع محلي لاحتجاز وتخزين الكربون، مع قرار استثماري نهائي محتمل متوقع في 2026، ليتم البدء بالمشروع في عام 2030 (23). يهدف المشروع إلى إزالة الكربون من محطات تكرير النفط والمحطات التي تعمل بالفحم والكتلة الحيوية وتخزين غاز الكربون في غرب اليابان.

السياسة والتطورات التنظيمية

وافق مجلس الوزراء على خطة إستراتيجية جديدة للطاقة في أواخر عام 2021 ترسم مسارًا نحو خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة 46 في المائة بحلول عام 2030 (استنادًا إلى مستويات عام 2013) وتحقيق حياد الكربون بحلول عام 2050. ومن المتوقع أن يلعب الهيدروجين دوراً أساسياً في تحقيق هذه الخطة. وضعت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة خارطة طريق طويلة المدى لاحتجاز الكربون وتخزينه تهدف إلى تخزين 120–240 مليون طن من غاز الكربون في خارج اليابان بحلول عام 2050.

الصين

لمحة عامة

كانت تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه مركز اهتمام متزايد في الصين على مدار الاثني عشر شهراً الماضية. حيث سلط البحث فيها الضوء على الدور المحتمل لـتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لتحقيق هدف حياد الكربون، مشيراً إلى أن مجموعة التقنيات تلك قد تساعد على تحقيق انخفاضات في الانبعاثات تتراوح بين 0,6 و1,45 مليار طن من غاز الكربون سنوياً بحلول عام 2050، و1,82 مليار طن سنوياً بحلول عام 2060 (24).

المشاريع

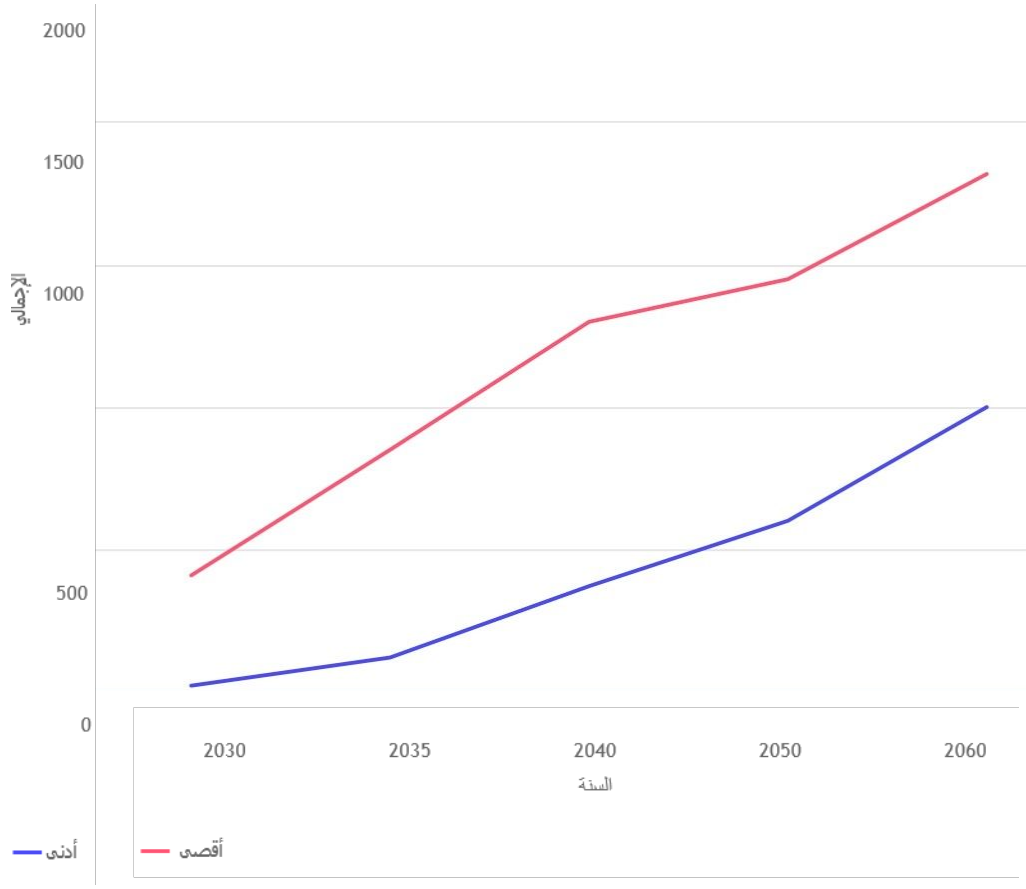
تقود شركات الطاقة الكبرى المملوكة للدولة تطوير المشاريع في الصين. ودخل أول مشروع متكامل لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بقدرة تبلغ مليون طن (1 مليون طن سنوياً)، طورته شركة SINOPEC (سينوبك)، حيز التشغيل الكامل في نهاية أغسطس 2022 ويتم نقل غاز الكربون الذي تم احتجازه من مصنع Qilu للبتروكيماويات إلى حقل Shengli للنفط لتحسين استرداد النفط. كما بدأت Huaneng في بناء مشروع بقدرة 1,5 مليون طن سنوياً لتوليد الكهرباء باستخدام الفحم في حوض أردوس، الذي من المتوقع أن يكون أكبر مشروع لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من توليد الطاقة بالفحم في العالم. بدأت CNOOC أول تخزين لغاز الكربون للصين في الخارج، وذلك في مصب نهر بيرل. في 27 يونيو 2022، وقعت ExxonMobil و Shell و CNOOC مذكرة تفاهم مع حكومة مقاطعة قوانغدونغ لتقييم مشروع على مستوى عالمي في مجمع Dayawan Petrochemical Industry Park. كما أعلنت العديد من الشركات الخاصة، بما فيها Guanghui و Henglig، عن مشاريع لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه خاصة بها.

1 تتخصص شركة Guanghui Industry Investment بشكل أساسي في مجال تجارة السيارات والطاقة والعقارات والأعمال اللوجستية. تنتج Hengli Group وتبيع الزيوت الخامة والعطريات وأحماض التريفثاليك المنقاة والبوليستر ومنتجات أخرى، كما تنتج أيضاً مواد النسيج.

السياسة والتطورات التنظيمية

في عام 2021، أعلنت الصين عن إطار خاص بسياسة المناخ 60/30، الذي حددت فيه هدفها لتحقيق ذروة الكربون بحلول عام 2030 والحياد المناخي قبل عام 2060.

يضع إطار N + 1 بعض الأسس لتوجهات السياسة المتعلقة باحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. أطلق بنك الشعب الصيني مبادرة للحد من انبعاثات الكربون، وهي بمثابة أداة سياسة نقدية هيكلية تزود المؤسسات المالية بقروض منخفضة التكلفة لدعم مشاريع إزالة الكربون، والتي تم تضمين احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه فيها (25). على الرغم من التقدم الحاصل في مجال السياسة والتشريعات المحددة لدور تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في الصين، إلا أنه لايزال هناك افتقار إلى وجود نموذج أعمال تنظيمي مستدام خاص باحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه مما يشكل عقبة أمام نشر التقنية بشكل موسع أكثر.



الشكل 12: إمكانات نشر تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في الصين (24)

باقي آسيا والمحيط الهادئ

تايلاند

في يونيو، أعلنت شركة النفط والغاز الوطنية في تايلاند، PTTEP، عن أول مشروع في البلاد لاحتجاز وتخزين الكربون [3] (26). دخل المشروع، الواقع في حقل الغاز البحري Arthit، مرحلة أعمال الهندسة والتصميم الأولية ومن المتوقع أن يبدأ عملياته في عام 2026. كما وقعت PTTEP مذكرة تفاهم مع شركتي JGC Holdings اليابانية وINPEX في إطار مبادرة تايلاند لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهي دراسة جدوى للتحقق من إمكانات نشر التقنية في قطاعي النفط والغاز، والقطاعات الصناعية التي يصعب التخفيف فيها، وقطاع توليد الطاقة (27).

سنغافورة

تقوم كل من شركتي شل وإكسون موبيل (الأخيرة عبر وحدتها المتخصصة بحلول الكربون المنخفض)، وبالتعاون مع مصانع تكرير النفط وتصنيع البتروكيماويات في سنغافورة، بالتحقق من مراكز احتجاز الكربون وتخزينه الإقليمية لاحتجاز غاز الكربون ونقله إلى مواقع التخزين القريبة (28). يمكن أن يتم تطبيق التقنية في قطاعات البتروكيماويات والوقود الحيوي ومصافي النفط وإنتاج الهيدروجين (28).

جمهورية كوريا الجنوبية

وقعت شركة الطاقة الكورية SK E&S مذكرة تفاهم مع شركة Santos الأسترالية لدعم التعاون في تطوير مشاريع ومراكز احتجاز الكربون وتخزينه في أستراليا وفي Bayu- Undan (29). تواصل صناعة البتروكيماويات المحلية في كوريا التحقق من إمكانات نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه من خلال دراسات الجدوى والبيان التجريبي.

4.3 لمحة إقليمية عامة: أوروبا والمملكة المتحدة

شهد احتجاز الكربون وتخزينه لعام آخر زيادة واعدة في المشاريع في أرجاء المنطقة الأوروبية. حيث يوجد اليوم 73 منشأة لاحتجاز الكربون وتخزينه في مراحل مختلفة من التطوير في أوروبا والمملكة المتحدة.

تشمل أهم العوامل الداعمة لاحتجاز الكربون وتخزينه برامج وتدابير داعمة لسياسة المناخ من قبل المفوضية الأوروبية، تشمل زيادة عدد المشاريع الممولة من قبل صندوق الابتكار التابع للاتحاد الأوروبي – وهو برنامج منح تم إطلاقه في عام 2020 بهدف دعم أهداف المفوضية في تحقيق الحياد المناخي لعام 2050 (1). وبالمثل، تمت زيادة تمويل مخطط دعم انتقال الطاقة المستدامة (SDE++) في هولندا – والذي بموجبه يتم تمويل مشاريع احتجاز وتخزين الكربون المؤهلة – من 5 مليارات يورو إلى 13 مليار يورو خلال العام الماضي وحده (2). في المملكة المتحدة، التزمت الحكومة بإنشاء مجمعين لاحتجاز وتخزين الكربون بحلول منتصف عام 2020 وذلك بتمويل من صندوق دعم البنية التحتية لتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CIF)، إضافة لمجمعين اثنين آخرين بحلول عام 2030 (3). لقد أظهرت الأشهر الـ 12 الماضية مساراً واعداً للصناعة في نشر مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه بحسب تشريعات السياسة القائمة في المملكة المتحدة.

السياسة والتطورات المالية

يجري في الاتحاد الأوروبي تطوير مقترحات تشريعية لإدخال آليات تنظيمية تزيد من دعم نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، بما يشمل شهادة إزالة الكربون المقترحة.

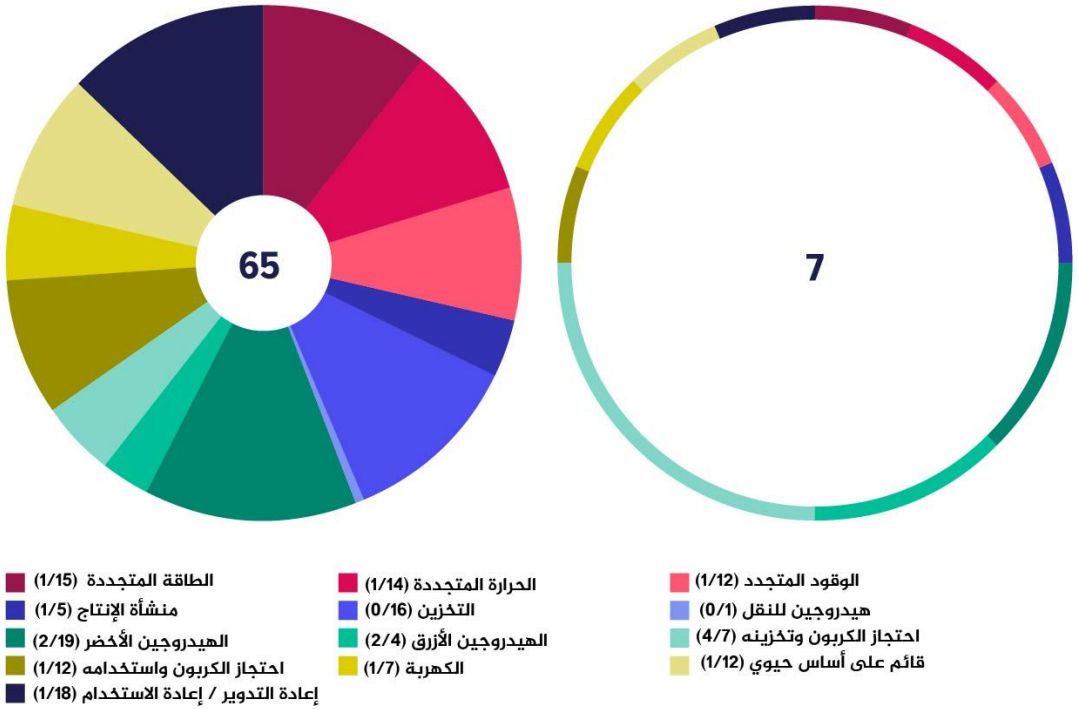
في ديسمبر 2021، أصدرت المفوضية الأوروبية رسالة رسمية حول دورات الكربون المستدامة، والتي أكدت فيها أن الوصول إلى أهداف المناخ سيتطلب توسيع نطاق حلول إزالة الكربون، لا سيما خلال السنوات العشر القادمة. وأقرت المفوضية كذلك بأن الإبلاغ عن عمليات إزالة غاز الكربون بدقة وشفافية ستكون مطلوبة وسيتم تشريعها بهدف تقديم المزيد من خيارات إزالة الكربون. تسعى التوصية الحكومية إلى دمج الإزالة المباشرة للكربون في الإطار التنظيمي للاتحاد الأوروبي ومعاييره كونه مرتبط بأهداف الحياد المناخي في أوروبا (4).

الاتحاد الأوروبي

تمويل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه

أعلن صندوق الاتحاد الأوروبي للابتكار، الذي يهدف إلى استثمار حوالي 38 مليار يورو بحلول عام 2030 في تطوير التقنيات النظيفة المبتكرة في أوروبا (استنادًا على مزايدة 450 مليون مخصصات من 2020 إلى 2030)، عن أول المتلقين للمنح عقب الدعوة الأولى والثانية للمشاريع (5). من ضمن المشاريع السبعة التي تم اختيارها في الدعوة الأولى لعام 2021، أربعة مشاريع منها هي مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. ستستفيد منشآت احتجاز وتخزين الكربون في فنلندا وبلجيكا والسويد وفرنسا من التمويل لدعم مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في قطاعات الهيدروجين والكيماويات والطاقة الحيوية وإنتاج الأسمنت على التوالي (5).

شهدت نتائج الدعوة الثانية التي تم الإعلان عنها في عام 2022 منح تمويل لسبعة مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ومشاريع احتجاز الكربون واستخدامه. تم اختيار المشاريع في بلغاريا وأيسلندا وبولندا وفرنسا والسويد وألمانيا، ضمن قطاعات إنتاج الأسمنت منخفض الكربون ، وتطوير مواقع تخزين الكربون المعدني، وإنتاج وقود الطيران المستدام (6). يقدر مجموع تمويل الدعوة الثالثة القادمة بحوالي 3 مليارات يورو، بما يزيد على الـ 1,5 مليار يورو للدعوة السابقة، في محاولة لتسريع التحول الأخضر (7).



الشكل 13: طلبات صندوق الابتكارات التابع للاتحاد الأوروبي ومتنافسو مشاريع احتجاز الكربون واحتجازه – الدعوة الأولى (عدد الطلبات / عدد العروض المحددة مسبقاً)

أساليب النقل

لم يطرأ أي توسع جديد في أساليب نقل غاز الكربون في نظام شبكات الطاقة عبر أوروبا (TEN-E)، والتي من المتوقع أن تشمل الشحن البحري والقطارات والشاحنات، في عام 2021 (8). يخضع نظام TEN-E حالياً للمراجعة، ولا تحظى أساليب نقل غاز الكربون باستثناء خطوط الأنابيب، بتفضيل واسع فيه وذلك وفق الاتفاقية المؤقتة والمناقشات الثلاثية المؤخرة بين المفوضية الأوروبية ومجلس الاتحاد الأوروبي والبرلمان الأوروبي. وبالتالي، فإن جهود احتجاز وتخزين الكربون الرامية إلى أن يتم شملها ضمن مشاريع الاتحاد الأوروبي ذات الاهتمام المشترك، وهو توصيف يسهل عمليات التصريح، ويسمح الوصول إلى التمويل، لن تكون محددة بوضوح في التشريع.

ريباور الاتحاد الأوروبي

استجابت المفوضية الأوروبية لأزمة الطاقة الناجمة عن الصراع الروسي الأوكراني من خلال تطوير خطة REPowerEU (ريباور إي يو). وبموجب الخطة، أعلنت المفوضية الأوروبية أنها تهدف إلى إنهاء اعتماد الاتحاد الأوروبي على موارد الطاقة الروسية والتصدي للتغير المناخي بذات الوقت. وعلى الرغم من عدم ذكر احتجاز الكربون وتخزينه صراحةً في خطة REPowerEU، أشارت المفوضية إلى عزمها على زيادة دعم اقتصاد الهيدروجين في أوروبا.

المملكة المتحدة

برامج التمويل

بعد إعلان صندوق تمويل البنية التحتية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التابع لحكومة المملكة المتحدة عن منحة بقيمة مليار جنيه إسترليني في عام 2020 لتطوير تجمعات خاصة باحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، تم الإعلان عن أول المستفيدين من المنحة في أواخر عام 2021، مع تحديد تاريخ الانتهاء المتوقع منتصف عام 2020 سيدخل كونسورتيوم HyNet Cluster الذي يعمل في شمال غرب إنجلترا وشمال غرب ويلز، وتجمع الساحل الشرقي على طول شاطئ بحر الشمال في إنجلترا التابع لهامبر وتيسايد، ضمن مفاوضات مشروع المسار-1 كالمستفيدين المفضلين من منحة صندوق البنية التحتية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه (CIF) (9). تم وضع مشروع Acorn لاحتجاز الكربون وتخزينه في اسكتلندا، ضمن "قائمة الاحتياط" للمسار-1. تهدف حكومة المملكة المتحدة، من خلال المشاريع المختارة من قبل الصندوق، إلى احتجاز وتخزين من 20 إلى 30 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2030 وما بعده (10).

في أغسطس 2022، وكجزء من عملية تجميع المسار-1، أعلنت حكومة المملكة المتحدة عن القائمة المختصرة التي تضم 20 مشروعًا من مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه واستخدامه التي من الممكن أن تتلقى دعماً محتملاً من الحكومة بمجرد إثباتها أن مشاريعها هي استثمار "ذو قيمة مقابل المال" لدافعي الضرائب.

السياسة

على مدار الـ 12 شهراً الماضية، ركزت حكومة المملكة المتحدة سياساتها الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه على تعزيز برامج تمويل احتجاز الكربون وتخزينه وتوصيات السياسة الصادرة في عام 2020. تلتزم خطة الحكومة الخاصة بالثورة الصناعية الخضراء والمكونة من 10 نقاط بالاستثمار في استخدام وتخزين الكربون. وقد أفسح ذلك المجال لعدد من السياسات والصناديق الخاصة ببرنامج احتجاز الكربون وتخزينه، بما فيها برنامج الابتكار الخاص بتقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في المملكة المتحدة، والذي يهدف إلى تعزيز برامج البحث والابتكار في احتجاز الكربون وتخزينه جنبًا إلى جنب مع صندوق تمويل البنية التحتية لمشاريع احتجاز الكربون واحتجازه، والتي تهدف إلى دعم تطوير أربع شبكات لاحتجاز الكربون وتخزينه (11). ولتسليط مزيدٍ من الضوء على سعة نطاق الشراكات بين القطاعين العام والخاص وجهود التمويل في أنحاء المملكة المتحدة - بما يشمل صندوق تمويل البنية التحتية لمشاريع احتجاز الكربون واحتجازه، وصندوق الابتكار، وغيرها - أصدرت حكومة المملكة المتحدة خارطة طريق تقنية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه للمستثمر، توضح فيها خطتها المتعلقة بالتقنية للأعوام 2021 إلى 2035 (12).

بعد الإعلان عن المستفيدين من منح صندوق البنية التحتية في إنكلترا، والتي تم فيها اختيار HyNet وكونسورتيوم East Coast Cluster كجزء من مشاريع المسار الأول، زادت الحكومة البريطانية من التزامها المالي نحو مشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ومن طموحها. في حال اختياره كجزء من المتقدمين الحاصلين على منحة صندوق البنية التحتية للتقنية، سيحظى مشروع Acorn في أبردينشاير بمنحة وقدرها 80 مليون جنيه إسترليني من الحكومة الإسكتلندية لإطلاق المبادرة، وهي مشروع ضروري، بحسب الحكومة، إذا ما أرادت اسكتلندا تحقيق هدفها في صافي انبعاثات صفري (13).

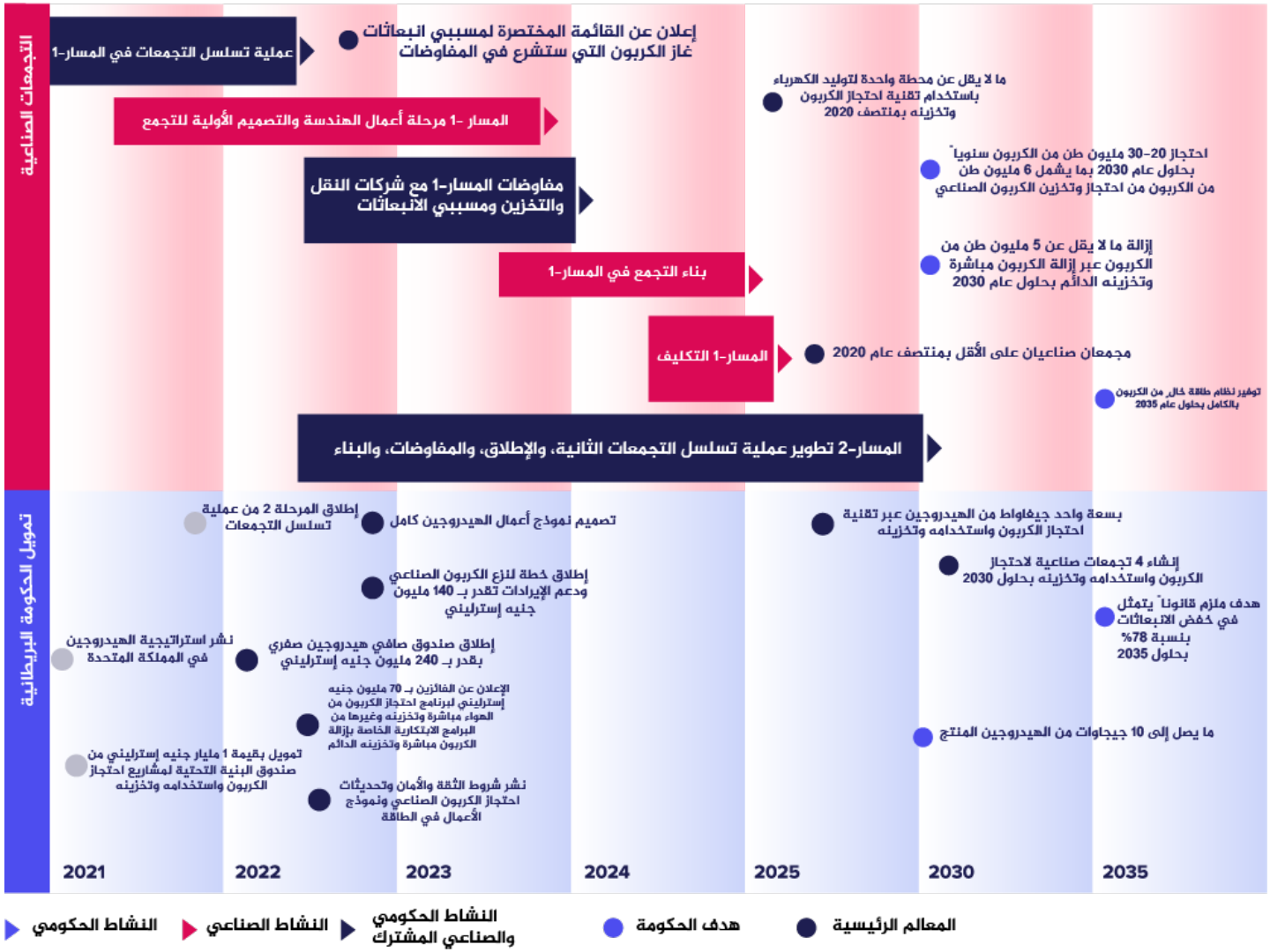
هولندا

في عام 2020، وسعت الحكومة الهولندية خطة دعم انتقال الطاقة المستدامة (SDE+) إلى (SDE++)، لتشمل دعم مشاريع الطاقة المتجددة وجهود الحد من ثاني أكسيد الكربون، ومنمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. وفي عام 2022، أعلنت الحكومة الهولندية أنها ستزيد الميزانية السنوية لـ (SDE++) من 5 مليارات يورو إلى 13 مليار يورو (14). تم منح مشروع Porthos، الذي يهدف إلى تخزين ثاني أكسيد الكربون في جوف بحر الشمال، والذي تم الإعلان عنه سابقاً كفائز بالمنحة، ما يقرب من نصف ميزانية عام 2021 (15). سيستمر الالتزام بتمويل (SDE++) حتى عام 2035.

الدنمارك

من خلال ثلاثة برامج حكومية، أعلنت الحكومة الدنماركية أنها ستستثمر ما مجموعه 5 مليارات يورو في دعم مشاريع الكربون والاحتجاز والتخزين (16). حيث سيتم طرح جزء من التمويل على مدى فترة عشر سنوات في إطار برنامج تطوير تقنية الطاقة والعرض الإيضاحي (EUDP)، حيث تلقى مشروع Greensand (جرين ساند) وBifrost (بايفروست) التابع لشركة Total Energies (توتال إينرجيز) تمويلاً من الحكومة الدنماركية (16). ويهدف برنامج تطوير تقنية الطاقة والعرض الإيضاحي إلى دعم هدف الدنمارك المتمثل في خفض الانبعاثات بنسبة 70٪ بحلول عام 2030 – وهو الهدف الأوروبي الأكثر طموحاً حتى الآن لعام 2030 (17).

بالإضافة إلى الدعم التمويلي، أبرمت الحكومة الدنماركية اتفاقية ثنائية مع الحكومة البلجيكية وFlanders (فلاندرز)، تهدف إلى دعم نقل غاز الكربون عبر الحدود بين البلدين (18). وتأتي هذه الخطوة في أعقاب موافقة الاتحاد الأوروبي على تمويل الابتكار لمشروع Kairos@C – وهو جهد عابر للحدود تحت إدارة BASF البلجيكية، وAir Liquide (19). من المتوقع أن تؤدي الاتفاقية الثنائية إلى احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر الحدود في أوروبا وخارجها.



الشكل 14: خطة الحكومة البريطانية المتعلقة بتنفيذ مشاريع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه

أسواق احتجاز الكربون وتخزينه الجديدة

تدخل العديد من دول أوروبا سوق احتجاز الكربون وتخزينه لأول مرة، بما فيها بلغاريا وبولندا وفنلندا. يتم تمكين المشاريع الجديدة من قبل برنامج المنح التابع لصندوق الاتحاد الأوروبي للابتكار (19) (20).

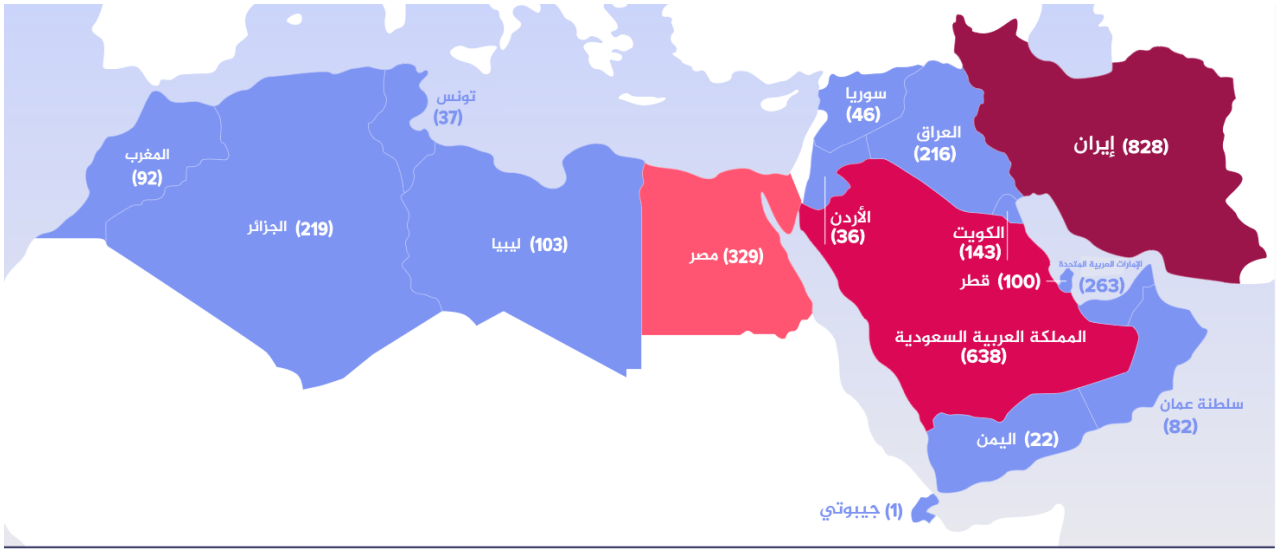
مشاريع برنامج المنح التابع لصندوق الاتحاد الأوروبي للابتكار - مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التجارية

- سيعيد مشروع Carbon2Business التابع لشركة Holcim Deutschland، تحديث مصنع الأسمنت الألماني الخاص بها باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لاحتجاز أكثر من 1 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً.
- سيقوم مشروع ANRAV الواسع النطاق باحتجاز غاز الكربون من منشآت الأسمنت في بلغاريا وتخزينه في موقع تخزين بحري في البحر الأسود.
- ستقوم Coda Terminal (كودا تيرمينال)، التابعة لشركة Carbfix كاربفيكس، بتطوير مركز تخزين المعادن في أيسلندا بقدرة تخزين تصل إلى 880 مليون طن من غاز الكربون.
- ستعمل شركة Project Air، التابعة لشركة Perstorp، على تطوير مصنع ميثانول كامل النطاق خالٍ من الأحفوريات في السويد.
- سينتج مشروع HySkies، التابع لشركة Shell (شل) وقود طيران مستدام من خلال عمليات تحويل النفايات إلى طاقة في السويد.
- سيقوم مشروع GO4ECOPLANET في بولندا باحتجاز وتخزين غاز الكربون من عمليات إنتاج الأسمنت في مصنع Kujawy التابع لشركة Larfarge Cement.
- سيقوم مشروع CalCC في فرنسا باحتجاز انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من غازات العادم، المنبعثة أثناء إنتاج الجير، وتخزينها بشكل دائم.
- ستعمل شركة Kairos-at-C على التخفيف من 14,2 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون عبر سلسلة قيمة عابرة للحدود لاحتجاز الكربون وتخزينه في بلجيكا وهولندا والنرويج، والتي تشمل احتجاز غاز الكربون من مصانع الهيدروجين والمواد الكيميائية.
- ستقوم شركة BECCS @ STHLM باحتجاز وتخزين 7,8 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون على مدى 10 سنوات من مصنع الكتلة الحيوية Exergi في ستوكهولم.
- سيقوم برنامج K6 في فرنسا باحتجاز 8,1 مليون طن من غاز الكربون من مصنع الأسمنت الخاص به، ليتم تخزينه في بحر الشمال.
- تسعى SHARC في فنلندا إلى تقليل انبعاثات غاز الكربون من مصفاة للديزل من خلال إنتاج الهيدروجين الأخضر والأزرق.

بحر الشمال

نظراً لقدرته التخزينية الكبيرة، يتم إنشاء مشاريع لاحتجاز الكربون وتخزينه بغاية تخزين غاز الكربون تحت حوض بحر الشمال:

- سيقوم مصنع Norcem Brevik للأسمنت في النرويج، والذي تديره شركة HeidelbergCement، باحتجاز وتخزين 0,4 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً. وبمجرد اكتماله، سيكون أول مصنع أسمنت مهيئ بمنشأة كاملة لاحتجاز وتخزين الكربون (21).
- تسعى Drax، وهي أكبر محطة للطاقة في المملكة المتحدة، إلى تعديل منشأتها التي تعمل بالكتلة الحيوية باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. سيشكل المشروع جزءاً من كونسورتيوم Zero Carbon Humber الذي يعمل على ساحل بحر الشمال في إنكلترا (22).
- سيقوم مشروع H21 North of England بإزالة الكربون من الطاقة والتدفئة والنقل في شمال إنكلترا، وسيشمل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. يهدف المشروع إلى تحويل شبكة الغاز في المملكة المتحدة من الغاز الطبيعي إلى الهيدروجين الخالي من الكربون. يتوقع أن يمتلك المشروع بحلول عام 2035 واحداً من أوسع خطط احتجاز الكربون وتخزينه في العالم (23).



4,3 لمحة إقليمية عامة: منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

تُعد منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا أكبر منطقة مصدرة للنفط في العالم. ويأتي حوالي 85٪ من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في المنطقة من إنتاج الطاقة وتوليد الكهرباء، والقطاع الصناعي، ومن الاستهلاك المنزلي للطاقة.

تعتبر منطقه الشرق الأوسط و شمال إفريقيا واحدة من أكثر الدول الباعثة للكربون في العالم من حيث حصه الفرد حيث تقع دول مثل قطر و الكويت و الإمارات العربية المتحدة و البحرين و المملكة العربية السعودية ضمن 10 دول الأولى من حيث معدل انبعاثات الكربون على مستوى العالم من حيث حصة الفرد. بدون احداث أي تغيير في سياسات الطاقة وسلوك استهلاكها، ستستمر انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن الطاقة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا في النمو (1). يوضح الشكل أعلاه انبعاثات غازات الدفيئة في دول منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (2). كما تمتلك منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مخزوناً كبيراً من احتياطيات النفط والغاز العالمية، وتشكل لاعباً رئيسياً في الجغرافيا السياسية للطاقة. وللحفاظ على مكانتها تلك، يتوجب على المنطقة الاستثمار في خيارات تكنولوجيا الطاقة النظيفة وإزالة الكربون.

يمثل احتجاز وتخزين الكربون فرصة لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المنطقة. يوجد حالياً ثلاثة منشآت عاملة لاحتجاز وتخزين الكربون في الإمارات والسعودية وقطر تقوم باحتجاز حوالي 10 % من ثاني أكسيد الكربون العالمي سنوياً (3). كما تتمتع المنطقة بخبرة واسعة في حقن وتخزين غاز الكربون من خلال مشروع عين صالح لاحتجاز وتخزين الكربون في وسط الجزائر، الذي يعتبر مشروع رائداً عالمياً لاحتجاز وتخزين الكربون على البر، الأمر الذي ساعد على بناء ثروة من الخبرة ذات الصلة بمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في العالم (4).

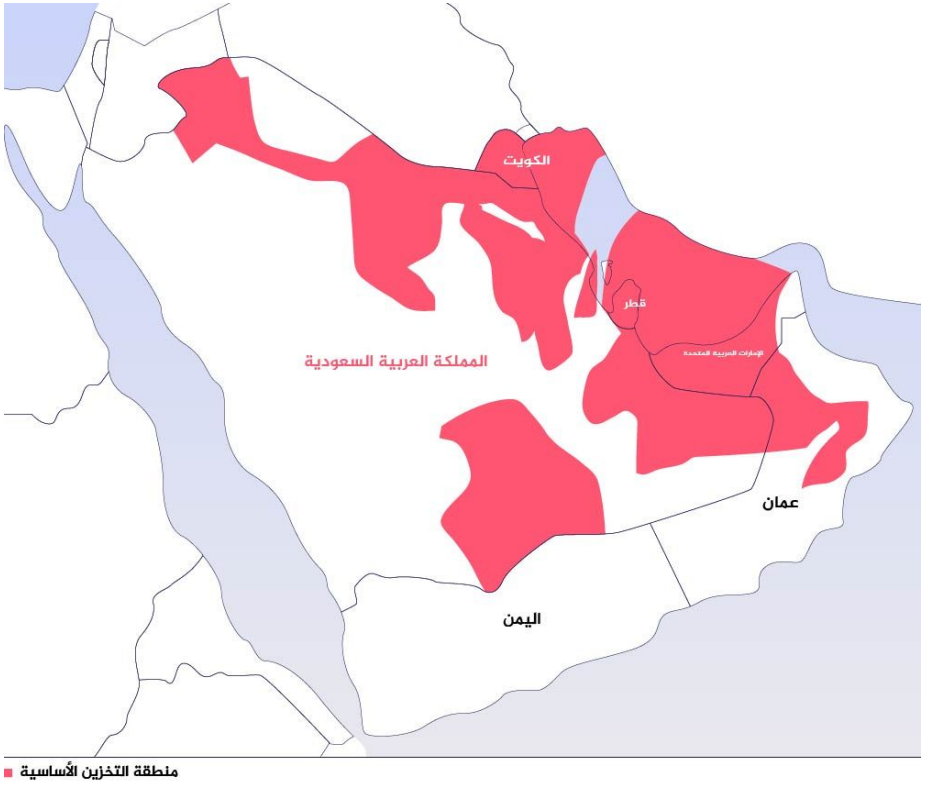
تعتمد إمكانات نمو احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على عوامل عدة:

- قامت دول مختلفة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، مثل السعودية والإمارات والبحرين ومصر والعراق وإيران، بإدراج تقنية احتجاز الكربون بشكل صريح في سجل المساهمات المحددة وطنياً (NDC) الخاصة بها، بموجب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية لتغير المناخ (5).
- الالتزام المعلن بأهداف صافي الصفري والحد من الانبعاثات. أعلنت الإمارات والسعودية عن هدفهما بتحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050 و2060 على التوالي. وحددت سلطنة عُمان تحقيق هدف صافي صفري بحلول عام 2050، بينما التزمت قطر بتخفيضات الانبعاثات بنسبة 25٪ بحلول عام 2030، والبحرين بنسبة 30٪ بحلول عام 2035 (6).
- إطلاق المبادرات الخضراء في المملكة العربية السعودية والشرق الأوسط.
- الإمكانيات المتزايدة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا لتكون مركزاً للهيدروجين منخفض الكربون (7).
- تطوير خطط التصنيع المستقبلية مع التركيز بشكل رئيسي على الصناعات النظيفة والمستدامة (8).
- تملك المنطقة التكوين الجيولوجي المطلوب والخبرة في إدارة الحقن تحت السطحي لغاز الكربون.

المشاريع

تنتشر أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه في قطر والسعودية والإمارات، تحديداً في أبوظبي. وتبلغ القدرة الاستيعابية السنوية الكلية حوالي 3,7 مليون طن من غاز الكربون عبر ثلاثة منشآت لاحتجاز الكربون وتخزينه:

- تحتجز قطر غاز 2,2 مليون طن سنوياً من غاز الكربون من محطة تسييل الغاز في رأس لفان.
- تحتجز أرامكو السعودية 0,8 مليون طن سنوياً من غاز الكربون في معمل غاز الحوية. حيث يستخدم غاز الكربون لإثبات جدوى الاستخلاص المعزز للنفط في حقل نفط العثمانية.
- يتم احتجاز 0,8 مليون طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون في مصنع الإمارات للحديد في أبوظبي، وذلك ضمن المرحلة الأولى (من ثلاث مراحل على الأقل) من مشروع الريادة التابع لشركة بترول أبوظبي الوطنية (أدنوك).



الشكل 16: خريطة التخزين الجيولوجى فى منطقة دول مجلس التعاون الخليجى

يعمل مشروعا رأس لفان والريادة حالياً على تطوير خطط للتوسع:

- تتوقع شركة قطر غاز زيادة معدل الاحتجاز إلى 5 مليون طن سنوياً بحلول عام 2025 (9). من المتوقع أن يتم تسريع هذه المرحلة الجديدة لاحتجاز الكربون بعد الإعلان عن أن توسعة حقل الشمال ستكون أكبر مشروع في العالم للغاز الطبيعي المسال (10).
- بحسب أدنوك ستقوم المرحلتان الثانية والثالثة باحتجاز حوالي 5 مليون طن سنوياً من غاز الكربون قبل عام 2030. ومن المتوقع أن يتم فيها احتجاز الكربون المنبعث من مصدرين: 2,3 مليون طن سنوياً من محطة شاه للغاز الحامض، و1,9 مليون طن أخرى من مصنع حبشان وباب لمعالجة الغاز (11،12).

توجد هناك منشأتان لاستخدام غاز الكربون في المنطقة:

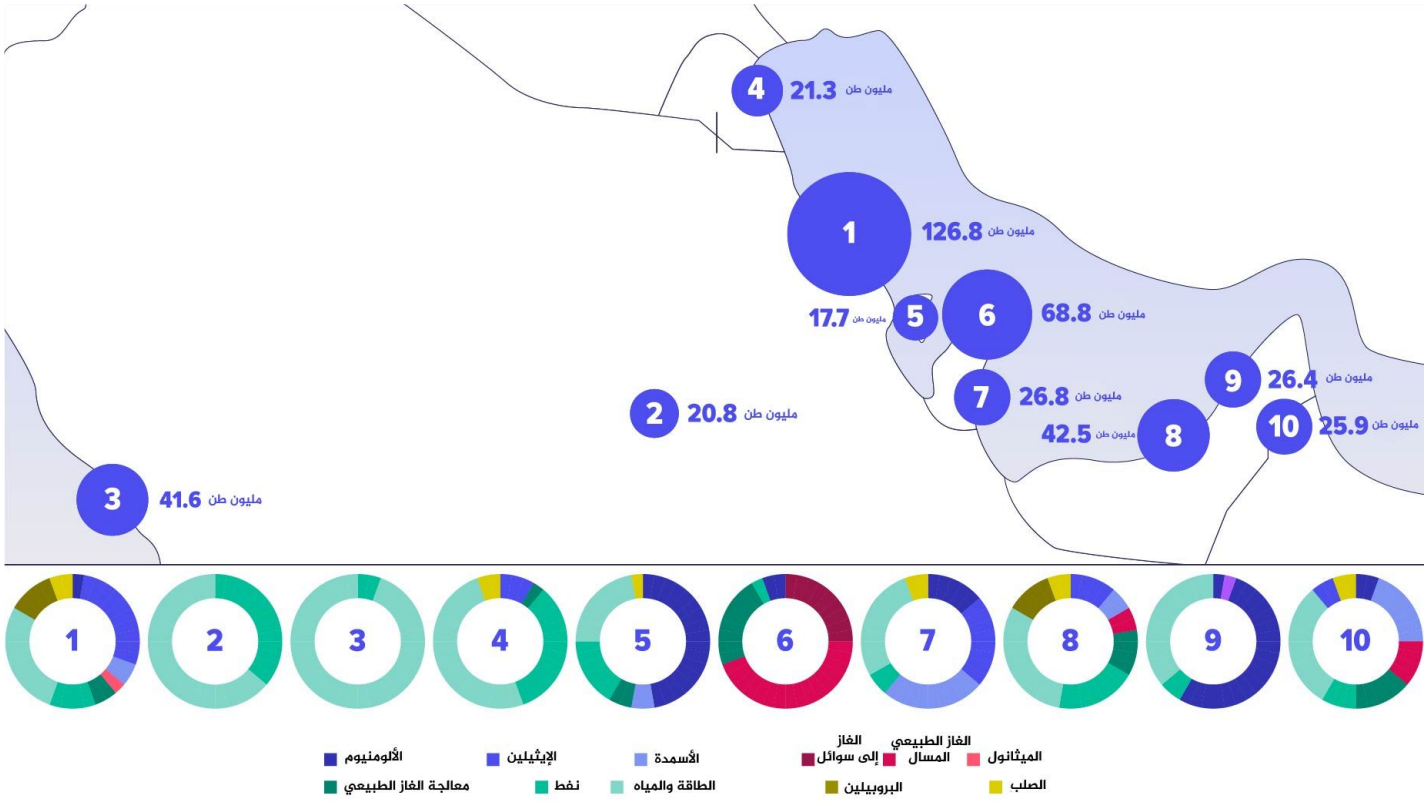
- تقوم الشركة السعودية للصناعات الأساسية باحتجاز0,5 مليون طن سنوياً من الكربون في منشأة الإثيلين بالجبيل لاستخدامه في إنتاج الميثانول واليوريا.
- تحتجز شركة قطر للوقود 0,2 مليون طن سنوياً من الكربون في مصفاة الميثانول.

تملك منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إمكانات عالية جداً لتطوير سلسلة توريد متكاملة لاحتجاز واستخدام الكربون وتخزينه، ولجعلها مراكز لاحتجاز واستخدام الكربون وتخزينه. قامت دراسة حديثة أجرتها AFRY وGaffneyCline بتكليف من مبادرة مناخ النفط والغاز بتقييم إمكانات احتجاز الكربون وإقامة مراكز لاحتجاز واستخدام الكربون وتخزينه في دول مجلس التعاون الخليجي (السعودية، الإمارات المتحدة، قطر، الكويت، البحرين، عمان) (13). يؤهل وجود منشآت لاحتجاز الكربون الحالية، والمنشآت الصناعية، وأحواض غاز الكربون الطبيعية المتاحة، والخطط المستقبلية، دول مجلس التعاون الخليجي إلى أن تكون مركزاً عالمياً لاحتجاز الكربون وتخزينه. بالإضافة إلى إمكانات التطبيقات الواعدة لتقنية احتجاز واستخدام الكربون وتخزينه في العديد من الأنشطة الصناعية فيها، والتي من شأنها أن تلعب دوراً هاماً في إزالة الكربون من الصناعات التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها.

كشفت دراسة AFRY وGaffneyCline عن وجود إمكانات كبيرة للتخزين في دول مجلس التعاون الخليجي، وذلك في خزانات الغاز الناضبة وخزانات المياه الجوفية المالحة، مع وجود أكبر تلك الإمكانيات في حوض الربع الخالي وفي التكوينات الصخرية تحت الكويت. وبناءً على الدراسة، تبلغ سعة التخزين التقديرية الحالية لدول مجلس التعاون الخليجي 170 جيجا طن - انظر الشكل أعلاه الذي يوضح المواقع المحتملة للتخزين الجيولوجي لغاز الكربون في منطقة مجلس التعاون الخليجي.

كما كشفت الدراسة أن منطقة دول مجلس التعاون الخليجي لديها القدرة على تطوير مراكز نشطة لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه نظراً لتوفر الأحواض الطبيعية ووجود مصادر كثيفة لانبعاثات غاز الكربون فيها. تسمح تجمعات الصناعات عالية النقاء ومنخفضة التكلفة، إلى جانب التخزين الجيولوجي القريب، بتطوير مراكز يمكن أن تستفيد من وفورات الحجم. حددت الدراسة 10 مراكز واعدة، مع وجود أنسبها في منطقة جبيل في المملكة العربية السعودية، وفي شمال قطر، وفي أبوظبي (انظر الشكل أدناه).

إلى جانب دول مجلس التعاون الخليجي، يمكن للدول الأخرى في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وإفريقيا الأوسع أن تشكل موقعاً محتملاً لمراكز احتجاز وتخزين الكربون. حيث تتمتع المنطقة الواقعة في شمال مصر والحاوية على منشآت الغاز الطبيعي وخزانات الغاز بإمكانيات كبيرة. ويجري تقييم إمكانات احتجاز الكربون وتخزينه في مصر ونيجيريا وجنوب إفريقيا ودول أخرى في المنطقة. يساعد البنك الدولي البلدان الشريكة له على بناء قدرات احتجاز الكربون، وتقييم إمكانات التخزين الجيولوجي له.
تم الإعلان عن أحدث دراسة حول إمكانات احتجاز الكربون وتخزينه في نيجيريا في 2022 (14).



الشكل 17: المراكز المحتملة فى دول مجلس التعاون الخليجى (المصدر: "إنيرجى ريفيو" حول آفاق قطاع الطاقة فى منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا) (10)

السياسة

طورت معظم دول منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا سياسات مناخية خاصة بها، ولكنها لم تكن سياسات متعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه تحديداً. استباقاً لمؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي في غلاسكو في نوفمبر 2021، تعهدت لبنان وإسرائيل والإمارات واليمن بأن تكون خالية من الكربون بحلول عام 2050 ، وتركيا بحلول عام 2053، والمملكة العربية السعودية والبحرين بحلول عام 2060. بينما قامت الأردن والمغرب وسلطنة عُمان وفلسطين وتونس وقطر بتقديم مساهمات محددة وطنياً أكثر طموحاً، مع أهداف لزيادة خفض انبعاثات غاز الكربون (1).

إن التوجه نحو زيادة نشر احتجاز وتخزين الكربون في المنطقة إنما هو مدفوع بالتزامات ورؤية الحكومات الوطنية، مما يجعل عملية النشر أقل اعتمادًا على الحوافز التشريعية، مقارنة بأجزاء أخرى من العالم. تركز الحكومات في المنطقة على التأثير البيئي والنمو الاستراتيجي لتقنيات إزالة الكربون. كما من المحتمل أن تكون عملية نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة مدفوعة بقيمة الاستخلاص المعزز للنفط، وإنتاج الهيدروجين منخفض الكربون، وإمكانات المنطقة في أن تكون مركز لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ولتداول الكربون.

أعلنت المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة ومصر عن إطلاق مبادرات طوعية لسوق الكربون وخطط تنظيمية لتبادل وتداول الكربون (15- 17). من المتوقع أن يؤدي إنشاء مثل هذه المنصات إلى دفع عجلة سوق الكربون في المنطقة نحو الأمام، بما يعود بالفائدة على كافة تقنيات إزالة الكربون، بما فيها احتجاز الكربون وتخزينه.

الآفاق المستقبلية

نظم شركاء الأمم المتحدة المعنيون بتغير المناخ أول مؤتمر للمناخ في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا في عام 2022، وذلك بهدف تعزيز التعاون الإقليمي (18). كما تستضيف المنطقة مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي (COP27) و (COP28) في مصر والإمارات على التوالي في 2022 و2023، مما سيشكل فرصاً رائعة لتسليط الضوء ومعالجة نقاط الضعف في كلا البلدين. وعلى المستوى الإقليمي، أطلقت المملكة العربية السعودية في أكتوبر 2021 أول مبادرة في الشرق الأوسط الأخضر، والتي جمعت قادة من المنطقة وشركاء أجانب لتبادل الآراء حول العمل المناخي الإقليمي.

في ظل ظروف الوضع الجيوسياسي الدولي الحالي، فإن النمو في صادرات الغاز الطبيعي المسال من مختلف البلدان في المنطقة يمثل فرصة لأنواع الوقود منخفضة الكربون ومشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. وبصفتها أحد المصدرين الرئيسيين للغاز الطبيعي المسال في المنطقة، أعلنت قطر عن توسيع سعة حقل الشمال لديها لإنتاج 126 مليون طن سنوياً بحلول عام 2027 (10). كما سيتم تعزيز هذا التوسع بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لتقليل الانبعاثات (19).

يقوم المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه بمتابعة عمليات تطوير احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. حيث قام المعهد بافتتاح مكتب إقليمي له في أبوظبي لمتابعة أخر التطورات والأنشطة المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه عن كثب. كما يسعى المعهد لتعزيز وجوده في المنطقة من خلال زيادة عدد أعضائه المقيمين في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

5.1 أسواق الكربون

تشير أسواق الكربون إلى تجارة أرصدة الكربون بين الأطراف المعنية وتكون إما الزامية/امتثالية أو طوعية. مستفيدة من قوى السوق، تتيح أسواق الكربون اتباع السبل الأقل تكلفة نحو تحقيق أهداف خفض الانبعاثات وتحفيز الاستثمار في البنية التحتية والشبكات الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه. ونمت أسواق الكربون بشكل كبير خلال السنوات الأخيرة، ومع هذا النمو السريع، برزت الحاجة لاستيعاب عالمي أكبر لكيفية الاستفادة من تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الأسواق الحالية والمستقبلية.

أسواق الكربون الإلزامية

يخضع تنظيم أسواق الكربون الإلزامية أو الامتثالية (CCMs) للسلطات الوطنية أو الإقليمية. وعادةً ما تعتمد أسواق الكربون الامتثالية على نظام الحد الأقصى للتداول، حيث يمثل الحد الأقصى حداً لعدد أطنان غاز الكربون المنبعثة من الصناعات في النظام. وهذا يعني وجود عدد محدد من مخصصات الكربون القابلة للتداول الممنوحة لكل شركة خلال فترة زمنية محددة، الأمر الذي يمنحها الحق القانوني في بعث كمية مكافئة من انبعاثات غاز الكربون. من حيث المبدأ، إذا خفضت الشركة انبعاثاتها إلى ما دون الحد المطلوب، فيمكنها وقتها مقايضة المخصصات غير المستخدمة مع الشركات الأخرى التي تتطلب مخصصات إضافية.

يتم تحديد سعر المخصصات من قبل السوق، وهذا يعني أنه يمكن للصناعات اختيار النهج الأكثر فعالية من حيث التكلفة، إما خلال شراء مخصصات أو الاستثمار في التقنيات لتقليل انبعاثاتها. بمرور الوقت، قد تقلل الحكومات من المخصصات الممنوحة للانبعاثات لتلبية أهداف مناخية أكثر طموحاً. الأمر الذي سيقلل من مدى توفر المخصصات، وبالتالي يزيد من سعرها. ومع ارتفاع سعر المخصصات، سيصبح الاستثمار في تقنيات، مثل احتجاز الكربون وتخزينه، خياراً ذا جدوى اقتصادية أكبر للصناعات.

تتزايد الأسواق الامتثالية، المعروفة باسم أنظمة تداول الانبعاثات (ETS)، من حيث العدد والتوزيع. وبحسب بيانات "شراكة العمل الدولية الخاصة بالكربون"، يوجد هناك ما يقدر بـــ 25 من أنظمة تداول الانبعاثات الوطنية ودون الوطنية قيد التنفيذ، تسعة منها قيد التطوير، و14 قيد الدراسة (1).

توجد هناك حالياً سلطتان قضائيتان كبيرتان لأسواق الكربون الامتثالية تتضمن بروتوكولات خاصة باحتجاز الكربون وتخزينه، وهي: أنظمة تداول الانبعاثات للاتحاد الأوروبي، ومعيار كاليفورنيا للوقود منخفض الكربون (2،3). لا تحتوي أنظمة الحد الأقصى للتداول في طوكيو وكيبيك (كندا) على بروتوكولات خاصة باحتجاز الكربون وتخزينه، ولكن نظرًا لكونها موجودة في دول لديها نشاط خاص باحتجاز الكربون وتخزينه، فمن المحتمل أن يتم تضمين التقنية في المستقبل (4،5). كما تم ذلك في ولاية كاليفورنيا، التي وضعت بروتوكول خاص باحتجاز الكربون وتخزينه بموجب معيار الوقود منخفض الكربون بعد سنوات من إطلاقها أنظمة تداول الانبعاثات (3) لديها. وبالمثل، اعتمدت أنظمة تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي توجيهاً خاصاً باحتجاز الكربون وتخزينه بعد بضع سنوات لاحقة أيضاً.

أسواق الكربون الطوعية

يتم إنشاء أسواق الكربون الطوعية (VCM) من قبل المنظمات الخاصة ويتم تنظيمها ذاتياً. شهدت أسواق الكربون الطوعية في العام الماضي نمواً قياسياً، مع إمكانية وصوله إلى 50-100 مليار دولار أمريكي سنوياً بحلول عام 2030، مدفوعاً بالتزامات الصافية صفرية للقطاع الخاص (6). تمكن أسواق الكربون الطوعية المستثمرين والحكومات والمنظمات غير الحكومية والشركات من شراء تعويضات الكربون، والتي تسمى خفوضات الانبعاثات المحُققة (VERs)، من مطوري المشاريع والأطراف الثالثة الأخرى. يتم توليد خفوضات الانبعاثات المحُققة من المشاريع التي يتم تقييمها باستخدام منهجيات الحد من غازات الاحتباس الحراري (GHG). يتم تسجيل المشاريع بعد ذلك في سجل أسواق الكربون الطوعية، الذي يتتبع إنشاء وتداول خفوضات الانبعاثات المحُققة. ومع قيام المنظمات بتقديم تعهدات مناخية طموحة بشكل متزايد، فإن العديد منها لديها خيارات قليلة فعالة من حيث التكلفة للحد من انبعاثاتها. تزود تعويضات الكربون الشركات بوسائل عملية وقابلة للتطوير تمكنها من تحقيق تخفيضات في الانبعاثات، من الناحية العملية، تعمل إستراتيجية تعويض الكربون للشركة إلى جانب الجهود المبذولة لتقليل الانبعاثات بشكل مباشر.

دور المادة 6

تستخدم أسواق الكربون الامتثالية وأسواق الكربون الطوعية معايير وأنظمة مختلفة، مما يعني أنه يتوجب على مطوري المشروع الإيفاء بمتطلبات منهجيات متعددة لأنظمة مختلفة. الأمر الذي يقلل من الفعالية المحتملة لأسواق الكربون، وبالتالي يزيد من تكلفة إزالة الكربون من الاقتصاد العالمي. تملك المادة 6 من اتفاق باريس القدرة على التغلب على هذا التحدي وذلك من خلال زيادة التنسيق بين الحكومات والقطاع الخاص بما يوائم منهجيات المشروع. وخصوصاً فيما يتعلق بتنشيط وزيادة التداول بين الدول لتحقيق مساهماتها المحددة وطنياً (NDC). تشير التقديرات إلى أنه يمكن تحقيق وفورات بقيمة 250 مليار دولار أمريكي سنوياً بحلول عام 2030 بفضل المادة 6 ومدى جودة تطبيقها (7). في يوليو 2022، تم تفعيل الهيئة الإشرافية المسؤولة عن تنفيذ آلية تداول الكربون بموجب المادة 6.

توجد هناك أمثلة لروابط بين بعض أنظمة تداول الانبعاثات، كتلك القائمة بين أنظمة تداول الانبعاثات في سويسرا وأنظمة تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي، وبين أنظمة كيبيك (كندا) وكاليفورنيا. كما توجد أمثلة لأنواع أخرى من الروابط الموجودة في الأسواق اليوم يتم فيها تداول مخصصات الانبعاثات إلى جانب تعويضات الكربون. على سبيل المثال، يسمح برنامج تعويض الامتثال للحد الأقصى للتداول في كاليفورنيا للكيانات التي يغطيها الحد الأقصى بالوفاء بنسبة مئوية من التزاماتها التنظيمية من خلال التداول في خفوضات الانبعاثات المُحققة بموجب سجل Verra (فيرا)1.

إن الحاجة إلى إدخال تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في المادة 6 تأتي من واقع أن إزالة غاز الكربون (CDR) هو أمر أساسي لتحقيق صافي الانبعاثات الصفري وهدف 1,5 درجة مئوية لاتفاقية باريس. يمكن أن يؤدي استخدام شبكات احتجاز الكربون وتخزينه إلى التقليل من التكلفة وزيادة كفاءة الموارد، بخاصة عندما يتم التخطيط لذلك على المستوى الإقليمي أو العالمي.

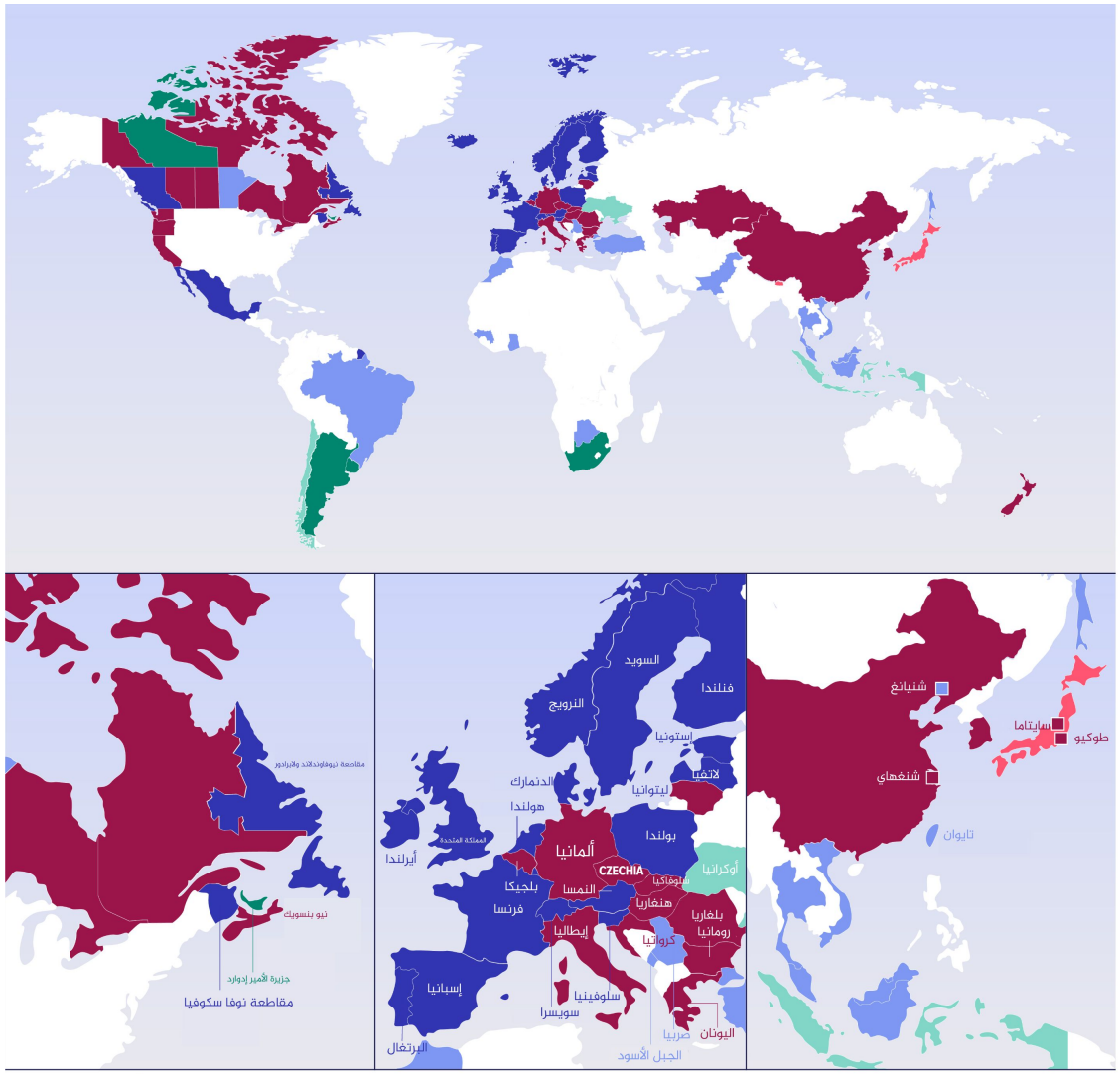
1 تعد Verra واحدة من شركات تسجيل أسواق الكربون الطوعية الرائدة مع ما يقرب من 1600 مشروع مسجل فيها.

2 تشير علامة + في (مبادرة CCS+) إلى استخدام احتجاز الكربون وتخزينه عند نقطة المصدر ولاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ولإزالة الكربون في أسواق الكربون.

الآفاق المستقبلية لاحتجاز الكربون وتخزينه في أسواق الكربون

يلعب احتجاز الكربون وتخزينه دورًا متعدد الوظائف في احتجاز وتخزين الكربون من نقطة المصدر وفي عملية إزالة الكربون، مع توفير إمكانية تخزين غاز الكربون على مدى أطول وأكثر ديمومة مقارنة بخيارات التخفيف / الإزالة الأخرى. بينما يتم تحديد سعر ائتمان الكربون لاحتجاز الكربون وتخزينه بحسب العرض والطلب في السوق الأساسية، فإن قيمة الائتمانات التي تحققها مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ستكون أعلى لأن التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون هو أكثر أمانًا من التخزين باستخدام الحلول الطبيعية (كالتخزين في الأشجار أو التربة). كما يمكن لتلك الائتمانات أن تزيد أيضاً في حال أظهر المشاركون في السوق استعداداً لدفع منح للحلول المبتكرة والجديدة مثل احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه والطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه، والتي لا تملك حالياً منهجيات موحدة قيد التطبيق. ولزيادة تفعيل وتوسيع نطاق العمل المناخي باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في أسواق الكربون، تعمل مبادرة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه+ (CCS+)2 على إنشاء إطار منهجي متكامل لتوليد أرصدة الكربون لمجموعة كاملة من أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه لأسواق الكربون الطوعية والمادة 6 (8).

ستكون السنوات القادمة حاسمة فيما يتعلق بإيجاد سبل لتوجيه الاستثمار والتمويل المناخي نحو تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، في ظل توجهات القيادة الفكرية في الأوساط الأكاديمية والصناعية نحو عزل الكربون / وحدات التخزين (CSU) والتزامات تخزين الكربون (CSO) / التزامات استرداد الكربون كحلول ناجعة لتعزيز القيمة المتوقعة للتخزين الجيولوجي الدائم (9-11).



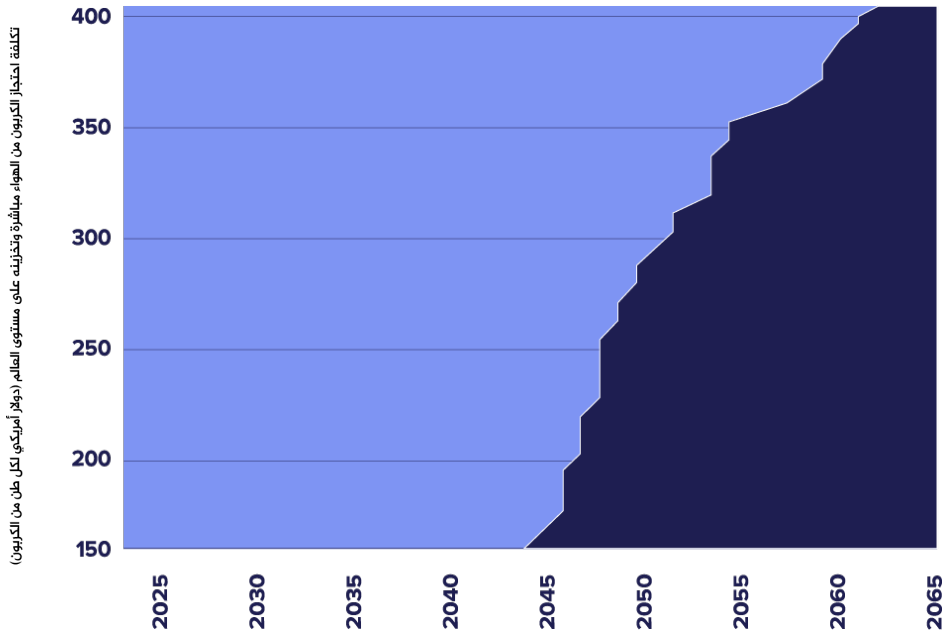
- نظام تداول الانبعاثات مطبقة أو مقرر تنفيذها. ضريبة الكربون قيد الدراسة
- ضريبة الكربون مطبقة أو مقرر تنفيذها. نظام تداول الانبعاثات قيد الدراسة
- نظام تداول الانبعاثات أو ضريبة الكربون قيد الدراسة
- نظام تداول الانبعاثات مطبقة أو مقرر تنفيذها
- ضريبة الكربون مطبقة أو مقرر تنفيذها
- نظام تداول الانبعاثات وضريبة الكربون مطبقة أو مقرر تنفيذها

الشكل 18: أسواق الكربون العالمية – الامتثالية والطوعية (المصدر: البنك الدولي 2022)

51 إزالة الكربون

ضرورة إزالة الكربون

تعمل تقنيات إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) على إزالة ثاني أكسيد الكربون من الجو. ترى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) أن جميع السيناريوهات التي تحد من الاحترار لابد أن تعتمد على تقنيات إزالة الكربون. كما أن معظم النماذج هي غير قادرة على إيجاد حلول للحد من الاحترار دون اللجوء إلى تقنيات إزالة الكربون (1).



- احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه ناجع اقتصادياً
- احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه غير ناجع اقتصادياً

الشكل 20: نقطة تعادل تكلفة احتجاز الكربون المباشر من الهواء وتخزينه بمرور الوقت (لا تفترض وجود حوافز محددة لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه)

يعمل احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه (DACCS) على إزالة غاز الكربون من الجو مباشرة بينما تعمل تقنية الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه (BECCS) على احتجاز الكربون من احتراق الطاقة الحيوية. ونظرًا لأن الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه تقوم بإزالة الكربون وتوفير طاقة قابلة للاستخدام معاً، فهي عادةً ما تشكل خياراً أقل تكلفة من احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه. على الرغم من ذلك، فإن تقنية الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه تكون مقيدة بالكتلة الحيوية المستدامة المتاحة للطاقة، أي بما يقرب من 131 وحدة طاقة سنوياً على مستوى العالم (2).

وجدت النمذجة الاقتصادية الأخيرة التي أجراها المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه (Global CCS Institute) أن تحقيق صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050 (بحسب السيناريو المناخي للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)، يستلزم أقصى نشر ممكن لـتقنية الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه (3)، وذلك بحسب توافر الكتلة الحيوية المستدامة.

يعتمد نشر احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه على تكلفته المستقبلية، وهو أمر غير مؤكد. ولفهم الدور المحتمل لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه في تحقيق صافي الصفري، قام المعهد بدراسة مجموعة من التكاليف المحتملة للتقنية ووجد أنها تتراوح بين 137 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون و412 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون (مقارنة بتكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرةوتخزينه بحسب تقديرات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، والمقدرة بين 100 إلى 300 دولار أمريكي لكل طن من ثاني أكسيد الكربون). حيث قدم نموذج المعهد نتائج متوافقة بشكل عام مع توقعات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ فيما يخص نشر تقنيات الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه واحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه.

سيكون الالتزام بحدود ميزانية الكربون المتبقية خلال هذا القرن أكثر صعوبة وتكلفة بدون إزالة الكربون. إن الجهد المطلوب لتحقيق تحول الطاقة إلى صافي الصفري هو جهد هائل، يستلزم تطوير أنواع الوقود المتقدم وبنيته التحتية، وإزالة الكربون من قطاع الكهرباء، وتحويل الصناعة والنقل. يمكن لإزالة الكربون من شراء بعض الوقت بحيث يكون معدل التحول أكثر قابلية للإدارة في القطاعات والصناعات التي يصعب تخفيف الانبعاثات فيها وذات التكلفة الأعلى (3). كما يمكن أن تكون إزالة الكربون بمثابة بوليصة ضمان في حال ظهور قيود غير متوقعة تعيق مسارات التخلص من الكربون الأخرى (3).

	BECCS	DACCS	CDR الكلي
IPCC	226–842	109–539	333–1,221
Global CCS Institute	491–510	1.2–786	511–1,277

الشكل 19: إزالة الكربون التراكمي خلال 2100 (غيغا طن من الكربون)1

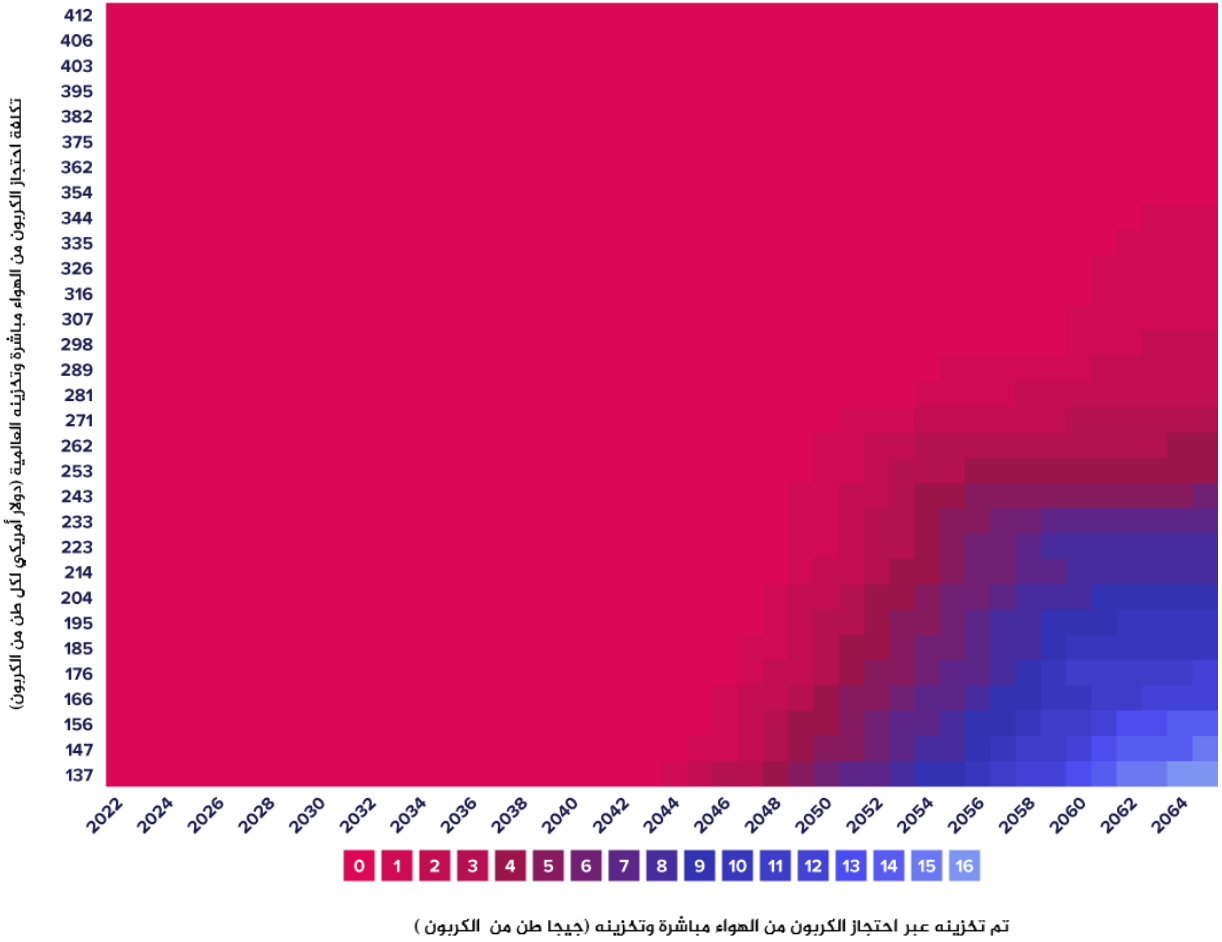
1 يمتد نموذج المعهد إلى عام 2065. ويفترض تكرار نتائج إزالة الكربون لعام 2065 في الأعوام 2061–2100 للوصول إلى قيمة تقريبية للقرن الحادي والعشرين لمقارنتها مع نتائج الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

الإمكانات الاقتصادية لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه

وبحسب دراسة المعهد أيضاً فأن أول نشر لتقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه على أساس اقتصادي ودون أي حوافز خاصة مخصصة سيكون في العام 2043، مع أقل تكلفة متوقعة تقدر بـ (137 دولار أمريكي لكل طن من غاز الكربون)، ومع أعلى تكلفة متوقعة في 2062 (412 دولار أمريكي لكل طن من غاز الكربون). يوضح الشكل 21 نقطة التعادل الاقتصادية بحسب العام والتكلفة.

يعتمد النشر الاقتصادي لتقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه ما بعد نقطة التعادل على مدى انخفاض تكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه، وكم باكراً يمكن أن يحدث ذاك التعادل. يتم نشر القليل جدًا من احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه إذا كانت التكلفة أعلى من 350 دولار أمريكي لكل طن من غاز الكربون. وتقع تكلفة جزء كبير من احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه ضمن مستويات مجدية اقتصادية تتراوح بين 137 دولار أمريكي و223 دولار أمريكي لكل طن من غاز الكربون (16 جيجا طن من غاز الكربون و8 جيجا طن من غاز الكربون، على التوالي بحلول عام 2065).

يوضح الشكل 22 كيف تؤثر افتراضات التكلفة المختلفة لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه على أنواع أخرى من تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، بما فيها الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه، وتخزين الكربون الأحفوري للكهرباء، وتخزين كربون الصناعة ولإنتاج الهيدروجين. تظل تكلفة الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه ثابتة بغض النظر عن تكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه، وكذلك هو الحال بالنسبة لاحتجاز الكربون من الصناعة والكهرباء وتخزينه. كلما انخفضت تكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه، كلما زادت فعاليته من حيث التكلفة في موازنة الانبعاثات التي كان من الممكن إزالتها بطريقة أخرى من خلال مسار الهيدروجين، الأمر الذي يقلل بدوره من الحاجة إلى كل من الهيدروجين الأخضر والأزرق واحتجاز الكربون وتخزينه المرتبط بالهيدروجين الأزرق.



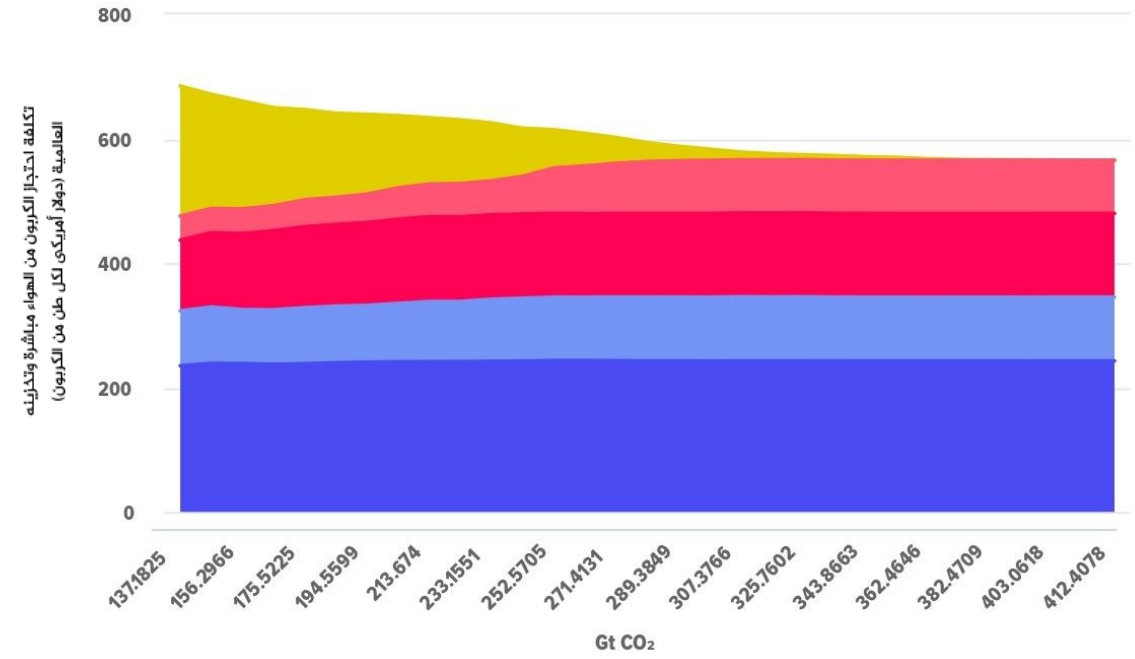
الشكل 21: كميات غاز الكربون المخزنة من احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه بتكاليف مختلفة عبر الزمن

الدوافع والدعم المتزايد

المحرك الأساسى لإزالة غاز الكربون هو تحقيق هدف صافى انبعاثات صفرى بحلول منتصف القرن. من المحتمل أن يتم نشر جميع تقنيات الطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه المتاحة وذلك كونها تحقق إزالة للكربون وتنتج الطاقة. كلما انخفضت تكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه، كلما زاد نشرها، وانخفض سعر غاز الكربون الناتج، وقلت تكلفة التحول إلى صافى الصفرى. ووفقًا لدراسة المعهد، فإن التوفير المحتمل في التكاليف سيكون ضخم. في حال نجحت عملية تخفيض التكلفة المستقبلية لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه إلى 200 دولار أمريكى لكل طن من غاز الكربون، فإن صافى القيمة الحالية للوفورات فى نظام الطاقة العالمى سيكون حوالي تريليون دولار أمريكي (3). أما إذا تم تخفيض التكلفة المستقبلية إلى 137دولار أمريكى لكل طن من غاز الكربون، فإن صافى القيمة الحالية للوفورات فى نظام الطاقة العالمى سيكون حوالى 3 تريليون دولار أمريكى.

تقوم الحكومات بتنفيذ سياسات محددة متعلقة باحتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه في محاولة منها دفع تقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه نحو التسويق التجارى لتقليل التكاليف الإجمالية للوصول إلى صافى الصفرى. فعلى سبيل المثال، أعلنت وزارة الطاقة الأمريكية فى مايو 2022 أنها ستقدم 3,5 مليار دولار أمريكى لتمويل أربعة مراكز لاحتجاز الكربون المباشر وذلك على مدى السنوات الخمس المقبلة (4). كما تؤهل تقنية احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه في الولايات المتحدة للحصول على ائتمانات ضريبية Q45 بقيمة 180 دولار أمريكى لكل طن من غاز الكربون المخزن (5). أعلنت كندا مؤخرًا عن ائتمان ضريبى استثمارى بنسبة 60٪ لمعدات الاحتجاز من الهواء مباشرة حتى عام 2030، و30 % حتى عام 2040 (6).

من غير المحتمل أن يستثمر بلد واحد فى احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه بالمستوى المطلوب لتحقيق الفوائد المثلى عالمياً. لذلك، فإن التعاون بين الدول هو أمر بالغ الأهمية لضمان وصول احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه إلى مستويات تعود بالفائدة على الجميع. سيتم هذا التعاون بموجب المادة 6 من اتفاق باريس واتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. ويتمثل أحد الأساليب الممكنة لتحقيق ذلك في قيام مجموعة من الدول المتقاربة في التفكير بتشكيل نادٍ ومجمع نقدى للاستثمار فى مشاريع احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه لدفع عجلة التسويق التجارى نحو الأمام (7).



الشكل 22: تراكم غاز الكربون المُخزّن بين 2022- 2065 حسب نوع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه مع تغييرات تكلفة احتجاز الكربون من الهواء مباشرة وتخزينه

5.3 الهيدروجين

للهيدروجين المنتج مع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري ذات دورة حياة منخفضة للغاية (الهيدروجين النظيف) تطبيقات واسعة في دعم تحقيق صافي انبعاثات صفري. فمثلاً، يمكن دمج الهيدروجين النظيف مع الكربون لإنتاج وقود اصطناعي ليحل محل الوقود الأحفوري التقليدي. كما يمكن استخدامه في خلايا الوقود لتوليد الكهرباء، وكمادة وسيطة في العديد من العمليات الكيميائية. تتجاوز توقعات الطلب المستقبلي على الهيدروجين النظيف 500 مليون طن سنوياً بحلول عام 2050، مقارنة بإجمالي إنتاج الهيدروجين اليوم المقدر بحوالي 120 مليون طن سنويًا، بما يشمل إنتاج الهيدروجين النظيف بحوالي 1 مليون طن سنوياً (1).

استجاب الموردون المحتملون للهيدروجين الأزرق، المنتج من الوقود الأحفوري وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، بالاستثمار في مشاريع جديدة. واعتبارًا من سبتمبر 2022، كان هناك 40 منشأة هيدروجين مزودة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مراحل متفاوتة من التطوير، بما فيها 7 قيد التشغيل. تتراوح الطاقة الإنتاجية لكل من تلك المنشآت من عشرات الآلاف2 إلى مئات الآلاف من الأطنان من الهيدروجين سنويًا.

ستكون هناك حاجة إلى استثمار كبير في البنية التحتية لنقل الهيدروجين لتوصيله إلى مراكز الطلب. ستتطلب التجارة الدولية المتوقعة في الهيدروجين النظيف أسطولاً من السفن المصممة لهذا الغرض، بالإضافة إلى محطات التحميل والتفريغ في الموانئ. أظهر المشروع التجريبي لسلسلة إمداد الطاقة الهيدروجينية (HESC) إمكانية نقل الهيدروجين السائل من فيكتوريا في أستراليا إلى كوبي في اليابان. تم تشييد البنية التحتية للميناء في ميناء هاستينغز في فيكتوريا وفي كوبي، ونجحت سفينة Suiso Frontier (سويسو فرونتير)، المصممة خصيصاً للغرض، في تفريغ الهيدروجين السائل بنجاح في 25 فبراير 2022 (2).

لدى الهيدروجين درجة حرارة غليان منخفضة للغاية تصل إلى -253 درجة مئوية، مما يزيد من تكلفة التبريد ونقل الهيدروجين بالسفن، مما يعني ضرورة استكشاف خيارات أخرى، كنقل الهيدروجين كأمونيا (NH_3). ويوجد هناك حالياً شحن دولي كبير للأمونيا عبر شبكة مؤلفة من 120 ميناء مجهزة بمنشآت مناسبة و120 سفينة قادرة على حمل الأمونيا شبه المبردة كبضائع (3).

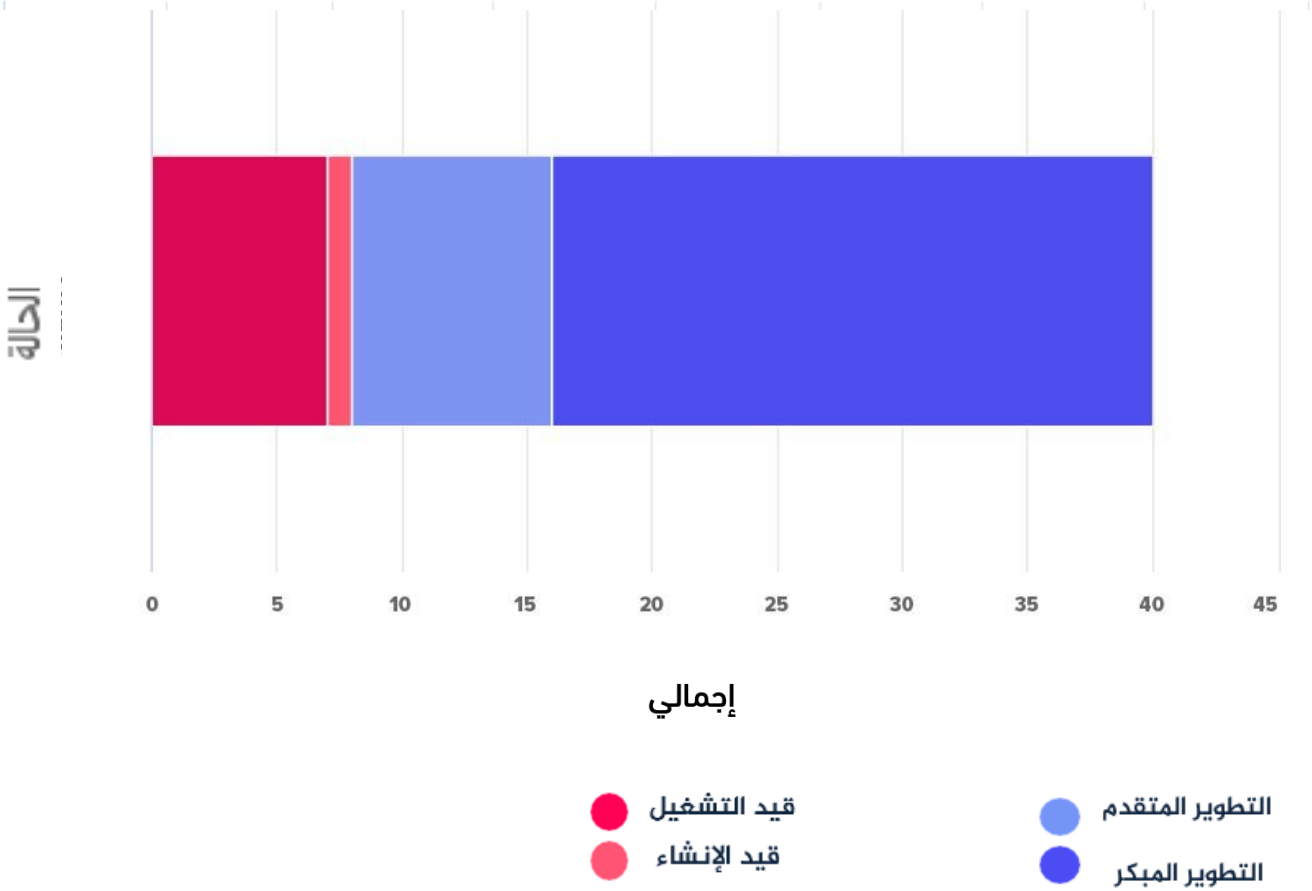
يأتي مطورو مشروع الهيدروجين الأزرق في الغالب من قطاع الصناعات البترولية والصناعات الكيماوية الصناعية والذين يقومون بإنتاج الهيدروجين باستخدام طرق الانبعاثات التقليدية مثل إعادة تشكيل الغاز الطبيعي أو تحويل الفحم إلى غاز بدون احتجاز وتخزين الكربون. لذلك يعد الانتقال من إنتاج الهيدروجين التقليدي إلى إنتاج الهيدروجين الأزرق بالنسبة لتلك الشركات خطوة تطورية منها ثورية من منظور الأعمال. حيث إن إنتاج الهيدروجين وإدارة الغازات هي بالأصل ضمن عملهم الأساسي. يفهم منتجو النفط والغاز أيضًا سلوك السوائل (مثل غاز الكربون في مرحلته الكثيفة) في جوف الأرض، ولديهم معرفة عميقة بتشغيل آبار الحقن والإنتاج، وتنفيذ برامج المراقبة تحت السطحية. كما تمتلك هذه الصناعات محركًا ودافعاً استراتيجيًا قويًا لتحويل أعمالها لدعم تحقيق صافي انبعاثات صفري. إذ يتيح لهم إنتاج الهيدروجين الأزرق تطبيق معرفتهم وخبراتهم الحالية في مجالات عمل جديدة، وفي بعض الحالات، استخدام والاستفادة من البنية التحتية والموارد الموجودة لديهم (على سبيل المثال، خطوط الأنابيب والمنصات) التي قد تصبح لولا ذلك عاطلة وبلا حاجة. لدى هذه الصناعات فرصة جيدة للفوز بحصة كبيرة من أي سوق للهيدروجين النظيف في المستقبل، وذلك بفضل القدرة التنافسية لديها من حيث التكلفة للهيدروجين الأزرق، مقارنة بالهيدروجين الأخضر؛ حجم عملياتها؛ الكفاءات والموارد الموجودة، بما فيها الموارد المالية، ووجود دافع استراتيجي قوي.

ومع الوقت، ستحل التقنيات الحديثة، مثل عملية الأكسدة الجزئية للغاز من شل (Shell)، محل التقنيات القديمة مثل إعادة تشكيل غاز الميثان بالبخار. الأسطول الحالي من منشآت إنتاج الهيدروجين العاملة مع احتجاز الكربون وتخزينه - أقدمها عمره 40 عام - هو عبارة عن تعديلات تحديثية مع إدخال تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على منشآت إنتاج الهيدروجين الحالية. لم يتم تصميمها لتحقيق معدلات عالية جدًا لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون بسبب عدم وجود متطلبات أو حوافز مالية للقيام بذلك. وبالتالي، فهي تقوم باحتجاز حوالي 60٪ فقط من انبعاثات النطاق الأول. يتم تصميم الجيل التالي من منشآت الهيدروجين الأزرق من الألف إلى الياء لتحقيق معدلات احتجاز عالية جدًا. أصبح خمسة وتسعون بالمئة من الاحتجاز هو معدل الاحتجاز الافتراضي، مع توقع أن تقترب بعض المنشآت من تحقيق 100 في المئة من الاحتجاز. في نهاية المطاف، سيطلب السوق الهيدروجين بكثافة انبعاث دورة حياة منخفضة للغاية. مما يعني أن منشآت إنتاج الهيدروجين النظيفة ستحتاج إلى إثبات أنها قادرة على تلبية هذا المعيار العالي للتنافس في سوق الهيدروجين، وعلى هذا الأساس التنافسي يتم تصميم المنشآت الجديدة.

1 يمتد نموذج المعهد إلى عام 2065. ويفترض تكرار نتائج إزالة الكربون لعام 2065 في الأعوام 2061- 2100 للوصول إلى قيمة تقريبية للقرن الحادي والعشرين لمقارنتها مع نتائج الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

2 يشمل الهيدروجين المنتج من غاز التصنيع.

في حين من الممكن أن يتزايد إنتاج الهيدروجين الأزرق بسرعة نسبياً، إلا أن ذلك يعتمد بالدرجة الأولى على وجود طلب كافٍ يبرر الاستثمار. تعتبر تكلفة الهيدروجين النظيف عاملاً مهمًا في خلق الطلب. حيث يتنافس الهيدروجين مع الطاقة الأحفورية التقليدية ذات التكلفة المنخفضة نسبيًا ومزايا التشغيل المتوفرة (كالبنية التحتية للتوزيع، وسلاسل التوريد، وتقنيات الاستخدام الناضجة). يتطلب خلق الطلب على الهيدروجين النظيف سياسة تقدم قيمة من الانبعاثات المنخفضة الذي يوفره، فضلاً عن استثمارات كبيرة في إنتاج الهيدروجين والبنية التحتية للتخزين والتوزيع. وقد أقرت الحكومات ذلك، حيث أفادت وكالة الطاقة الدولية أن 15 حكومة وطنية، والاتحاد الأوروبي، قد قامت بتبني استراتيجيات وطنية للهيدروجين، جميعها تقريباً معززة بأهداف وتمويل (4). تسعة من تلك الاستراتيجيات الوطنية، واستراتيجية الاتحاد الأوروبي، تشمل الهيدروجين الأزرق أيضاً.



الشكل 23: عدد منشآت إنتاج الهيدروجين التي لديها احتجاز الكربون وتخزينه بحسب حالة التطوير 3 [3]

3 يشمل الهيدروجين المنتج من غاز التصنيع

5.4 التمويل

يلعب التمويل دوراً بالغ الأهمية في دعم نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق أوسع. على المستوى الوطني، سعت عدة حكومات مجدداً إلى إعطاء الأولوية لتلك التقنية من خلال توفير مجموعة متنوعة من الحوافز والمنح الخاصة. ولكن تبقى هناك حاجة إلى دعم أكبر بكثير من قطاع التمويل الخاص لمواءمة الاستثمارات مع مسار صافي الصفري وتقديم المزيد من المساعدات الملموسة لتمكين نشر أوسع لتقنية احتجاز وتخزين الكربون.

وتماشياً مع التحول الأوسع نحو الإقراض الأخضر والاستثمار المستدام، يتم التركيز بشكل متزايد على دور التصنيفات الخضراء أو المركزة على الاستدامة. تقدم تلك التصنيفات إرشادات للمستثمرين بشأن الأنشطة والاستثمارات التي يمكن تصنيفها رسميًا على أنها مستدامة بيئيًا. لقد تم وضع اللوائح والتوجيهات الثانوية المنظمة لتطبيق وتحديد نطاق هذه التصنيفات من قبل العديد من السلطات القضائية، بينما يجري العمل في العديد من السلطات القضائية الأخرى على تطوير المزيد منها في السنوات القادمة. وسلط الكثيرون الضوء على الجهود المبذولة لتنسيق النهج وعلى اعتماد مبادئ مشتركة لكونها نهجاً هاماً نحو نهج متسق عالميًا.

وبالفعل، تم الاعتراف رسمياً بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه كنشاط اقتصادي ضمن تصنيف الاتحاد الأوروبي، مع إقرار قانون لاحق يحدد معاييرها. منح ذلك التقنية مسارًا داخل الاتحاد الأوروبي، ولكن من المهم أن يتم تطبيق الآلية ذاتها حول العالم أيضاً بما يدعم نشرها بشكل أوسع وأنجح.

تلعب العوامل البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات (ESG) دوراً مؤثراً بشكل متزايد في قرارات التمويل والاستثمار الأوسع نطاقاً. شهدت السنوات الأخيرة زيادة ملحوظة لدور الممارسات البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات في صنع القرار المؤسسي. حيث أصبحت القضايا المتعلقة بالمناخ مرادفة لعامل "البيئة" ضمن تلك الممارسات، شاغلة بذلك مساحة كبيرة ضمنها، وبالتالي موضع اهتمام متزايد من قبل الشركات والمستثمرين والجمهور الأوسع.

بينما تستمر المخاطر المالية ومخاطر التقاضي في تحفيز الشركات على التركيز على الاعتبارات المناخية في تقاريرها، من المتوقع أن يؤدي التركيز على التزامات الإبلاغ الإلزامية إلى دفع المزيد من الإفصاحات المتعلقة بالمناخ في المستقبل. تعد التزامات الانبعاثات الصافية الصفرية للقطاعين العام والخاص دافعاً رئيسيًا لمزيد من التدقيق في إفصاحات الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية من قبل المساهمين والممولين. يحرص المستثمرون اليوم على التأكد من أن الشركات تعمل على مواءمة أنشطتها مع التزاماتها الصفرية، وبالتالي ينتظرون من الشركات تقديم إفصاحات واضحة ومتسقة. ويشير ظهور العديد من أطر ومعايير وبروتوكولات الكشف عن صافي الصفري إلى مدى أهمية تلك المعلومات.

كان موضوع احتجاز الكربون وتخزينه في إعداد تقارير الحوكمة البيئية والاجتماعية وحوكمة الشركات هو موضوع الدراسة السابقة التي أجراها المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون. وعلى الرغم من عدم استبعاد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من تلك التقارير، إلا أن جودة وفائدة المعلومات المقدمة من خلال منهجيات إعداد التقارير الحالية قد لا تلبي احتياجات مؤيدي المشروع أو المستخدمين النهائيين لتلك المعلومات.

عمدت الدراسة الأخيرة للمعهد إلى النظر بمزيد من التفصيل في كيف يمكن لمؤيدي المشروع والمستثمرين الاستفادة من استثماراتهم ومن عمليات المشروع المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه في سياق أوسع لإعداد التقارير. ومع الحاجة إلى وجود خطط موحدة ومتوافقة لإعداد التقارير، اقترح المعهد منهجية تهدف إلى تسليط الضوء على كيفية تضمين العوامل الخاصة باحتجاز وتخزين الكربون ضمن معايير مسارات قائمة ومحددة لإعداد التقارير.

1 منهجية إعداد تقارير الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية لدعم الاستثمار المرتبط باحتجاز الكربون وتخزينه : https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/an-esg-reporting-methodology-to-support-ccs-related-investment/

5.5 الصناعة

يعتبر احتجاز الكربون وتخزينه مساراً أساسياً للقطاعات الصناعية الرئيسية. تتميز الصناعات، مثل الأسمنت والحديد والصلب والمواد الكيميائية، بخصائص تجعلها عصية على إزالة الكربون (لذا تسمى بالصناعات "التي يصعب تخفيفها أو التخفيف من انبعاثاتها").

ثاني أكسيد الكربون هو منتج ثانوي كيميائي لا مفر منه ينتج عن تفاعل التكليس خلال تصنيع الأسمنت. وباعتبار أن تصنيع الأسمنت يتم أيضاً في درجات حرارة أعلى بكثير من 600 درجة مئوية، والتي تنتج عن احتراق الوقود الأحفوري، هذا يعني أنه حتى وإن تم استخدام الوقود الحيوي أو مصادر الحرارة منخفضة الكربون الأخرى في قمائن أو أفران الأسمنت، ستظل هناك حاجة لإدارة غاز الكربون الناتج. هذا الانبعاث الثنائي المصدر، بالإضافة إلى الطلب العالمي الهائل على الأسمنت في البناء، يجعل صناعة الأسمنت من الصناعات الكثيفة الانبعاثات، مُشَكّلة حوالي ثمانية في المئة من انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ في العالم (1).

لا يزال أول مشروع لاحتجاز وتخزين الكربون للأسمنت في العالم قيد الإنشاء في مصنع نورسيم للأسمنت في بريفيك بالنرويج، وهو جزء من شبكة Langskip (لانغسكيب). يهدف هذا المشروع إلى التقاط 400'000 طن سنوياً من غاز الكربون عبر مصنع احتجاز الكربون قائم على تقنية تنقية غاز الأمين. ومن المتوقع أن يبدأ تشغيله في عام 2024، ليقوم بتسييل غاز الكربون لنقله على متن السفن إلى منشأة Naturgassparken للتخزين النهائي تحت بحر الشمال. توجد هناك حالياً مشاريع احتجاز وتخزين الكربون الناتج عن الأسمنت ذات النطاق الأوسع قيد التطوير المبكر تابعة لـشركة LafargeHolcim (الولايات المتحدة)، وشركة Hanson Cement (المملكة المتحدة).

يثبت الأسمنت أنه قطاع حيوي ونشيط لابتكارات جديدة متعلقة بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون. حيث تختبر شركة التكنولوجيا Calix (كاليكس) مفاعل التكليس الجديد لديها في مشروع LEILAC (ليلك) في بلجيكا. يتميز هذا المفاعل الجديد بقدرته على إبقاء عملية تحميص ثاني أكسيد الكربون (عالي النقاء) منفصلة عن مصادر الحرارة، بتطبيق تسخين غير مباشر عبر جدار مفاعل أنبوبي. وبفضل خاصية الاحتجاز المتأصلة بها (يتم إنتاج غاز الكربون في حالة نقية)، توفر هذه الطريقة مساراً جديداً لقطاع الأسمنت مستقبلاً، فضلاً عن إمكانية استغلال مصادر الحرارة الجديدة مثل الكهرباء المتجددة، مما يزيد أيضاً من عملية إزالة الكربون.

تنتج العديد من أفران الأسمنت في العالم ثاني أكسيد الكربون بكميات أصغر بكثير مما هي عليه في مصانع معالجة الغاز الطبيعي أو لتوليد الكهرباء الحرارية. يؤثر حجم الكربون على تكلفة احتجازه، إذ ترتفع تكلفة الاحتجاز لكل طن عادةً مع انخفاض حجم مصدر ثاني أكسيد الكربون (2). بالتالي قد تواجه أفران الأسمنت تكاليف احتجاز أعلى من غيرها من القطاعات الأخرى. وهذا يمثل فرصة للشركات المتخصصة بتقنيات احتجاز الكربون للاستفادة من تنافسية التكلفة في هذا القطاع. تعد شركات مثل Clean Carbon (كربون كلين) وSvante (سفانتي) أمثلة جيدة على تطوير تكنولوجيا الاحتجاز المناسبة للقطاعات متوسطة الحجم، كقطاع الأسمنت.

يعد قطاع الحديد والصلب العالمي مساهمًا رئيسيًا أيضاً في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. لدى إنتاج الحديد من خام الحديد، تنتزع الغازات المختزلة في التفاعلات الكيميائية الأكسجين من خام الحديد لتكوين غاز ثاني أكسيد الكربون. يوجد مصنع واحد قيد التشغيل لاحتجاز وتخزين الكربون في هذا القطاع في منشأة حديد الإمارات في أبو ظبي. تبلغ الطاقة الإنتاجية لمصنع الاحتجاز القائم على تنقية الأمين 800'000 طن سنويًا من غاز الكربون، مما يقلل بشكل كبير من انبعاثات منشأة الحديد الإسفنجي المُضيفة.

كما يتم تطوير مسارات بديلة لصناعة الحديد غير قائمة على الكربون، باستخدام الهيدروجين كعامل مختزل. قد تشكل تلك المسارات أساساً لمنشآت تصنيع الحديد والصلب الجديدة في المستقبل. في حال نجاحها، يمكن أن تشكل استخداماً آخر للهيدروجين منزوع الكربون، بما يشمل الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي الناتج من احتجاز الكربون وتخزينه.

يعد قطاع الكيماويات العالمي مصدرًا مهمًا آخر لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون على مستوى العالم، وخاصة الأمونيا والأسمدة المشتقة من الأمونيا (مثل نترات الأمونيوم). يتم تصنيع الأمونيا عبر تفاعل النيتروجين والهيدروجين. يتم إنتاج معظم الهيدروجين المستخدم في إنتاج الأمونيا اليوم من الوقود الأحفوري، وبشكل أساسي من إعادة تشكيل الميثان بالبخار. إن التحول إلى الهيدروجين منزوع الكربون، بما في ذلك الهيدروجين الأزرق في مصانع الهيدروجين الكبيرة النطاق، من شأنه أن يتيح إزالة الكربون من هذا القطاع الأساسي.

5.6 تطور التخزين

بهدف تلبية الأهداف المناخية لابد أن يرتفع معدل تخزين ثاني أكسيد الكربون، البالغ حالياً حوالي 40 مليون طن سنويًا، إلى مليارات الأطنان سنويًا. تاريخياً، كان يتم استخدام أغلب ثاني أكسيد الكربون في الاستخراج المعزز للنفط (EOR). ومع أنه يمكن تخزين الكربون المحقون بشكل فعّال ضمن المساحة المسامية التي احتوت على النفط سابقًا، إلا أنه ليس من المتوقع أن يتم التخزين المستقبلي بالمجمل بتلك الطريقة.

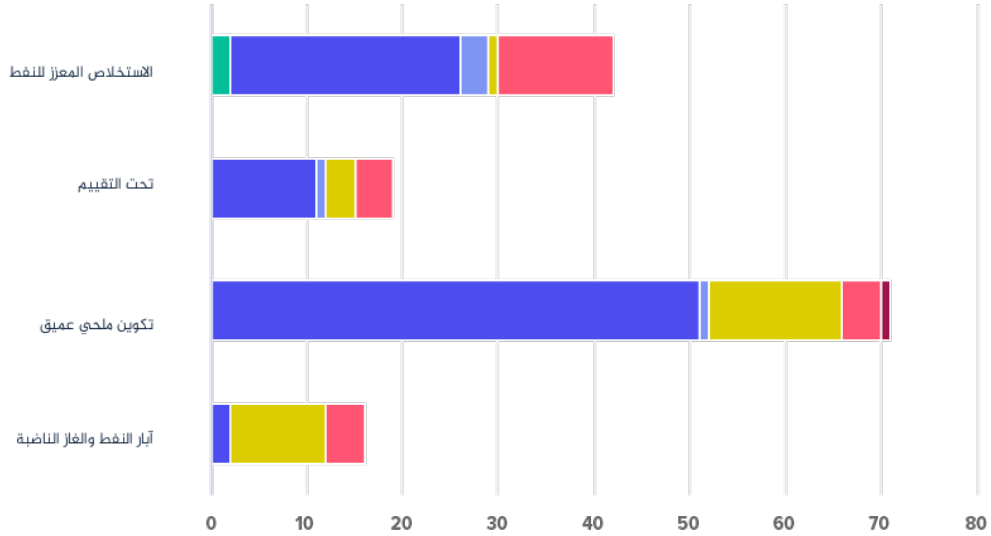
إن الاعتماد التاريخي على تخزين غاز الكربون من خلال الاستخلاص المعزز للنفط أمر مفهوم نظرًا لأن صناعة احتجاز وتخزين الكربون نشأت بالأصل من الاستخلاص المعزز للنفط في الولايات المتحدة. حيث أظهرت هذه المنشآت إمكانية حقن معدلات من غاز الكربون تقدر بمليون طن في مواقع تخزين بملايين الأطنان. والأهم، أظهرت المتابعة اللاحقة أن غاز الكربون المحقون فيها يتم تخزينه بشكل دائم. وأرست هذه المتابعة الأساس لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه لتصبح تقنية مهمة لمجابهة التغير المناخي.

اليوم، تعد التكوينات الملحية العميقة النوع الأكثر شيوعًا لتخزين ثاني أكسيد الكربون المستخدمة من قبل جميع منشآت التخزين (أكثر من 150 منشأة) وفي كافة مراحل التطوير، من قيد التشغيل إلى قيد التطوير المبكر، وكذلك المنشآت المكتملة (الشكل 25). يتوسع نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه مع زيادة تنوع المناطق الجغرافية وأهداف التخزين. وتُعد منشآت تخزين الكربون التي تستخدم التكوينات الملحية العميقة الأكثر انتشاراً في أمريكا الشمالية وبحر الشمال. كما من المنتظر كذلك أن يصبح التخزين في حقول النفط المستنفدة أكثر شيوعاً في المملكة المتحدة وأستراليا وجنوب شرق آسيا، على سبيل المثال.

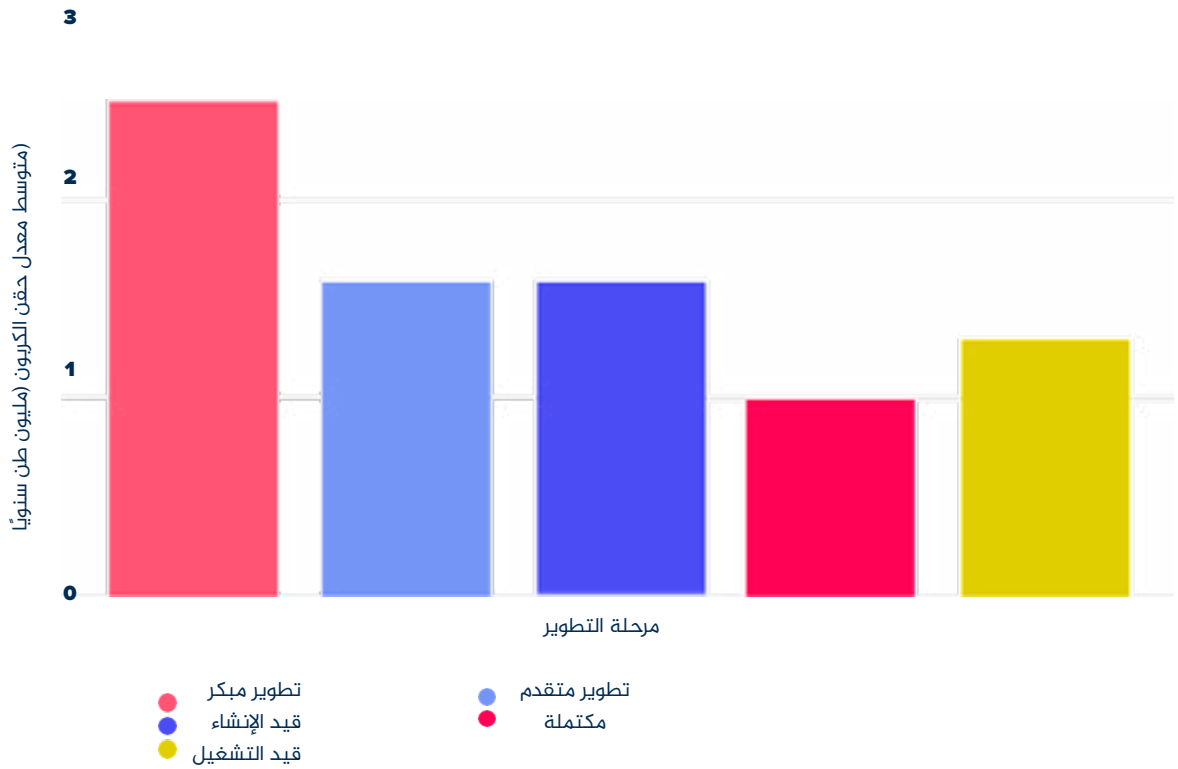
يتزايد التخزين في طبقات المياه الجوفية المالحة العميقة مع تناقص وتيرة التخزين عبر الاستخلاص المعزز للنفط بالمقابل. يتضح هذا بوضوح في الشكل 26، خاصة بالنسبة للمشاريع قيد التطوير المتقدم، حيث تكون نسبة التخزين في طبقات المياه الجوفية المالحة إلى التخزين عبر الاستخلاص المعزز للنفط أو حقول النفط والغاز المستنفدة هي أكثر من 6 إلى 1. إن تفضيل التكوينات الملحية العميقة إنما هو تطور مثير للاهتمام. تاريخياً، كان من المرجح إعطاء الأفضلية للحقول المستنفدة المنخفضة التكلفة والسريعة التطوير. لكننا نرى اليوم أن المشاريع الجديدة غالباً ما تستهدف التكوينات الملحية العميقة. ويحدث ذلك في كل من أمريكا الشمالية، وبدرجة أقل في أوروبا (الشكل 25).

هناك سببان لهذا الاختيار. الأول، تركز شبكات احتجاز وتخزين الكربون المهيمنة على التكوينات الملحية العميقة؛ لدى تلك الشبكات معدلات حقن تقدر بملايين الأطنان سنويًا. الثاني، تشمل المشاريع المطورة منشآت كثيرة تقع في الولايات المتحدة وبحر الشمال (المملكة المتحدة وأوروبا). حيث تملك كلتا هاتان المنطقتان إمكانية الوصول إلى تكوينات ملحية عميقة ضخمة الحجم (أكثر من 1000 مليون طن) وذات جودة عالية، بما يشكل لديها الخيار الأقرب جغرافياً وبالتالي الأول للتخزين.

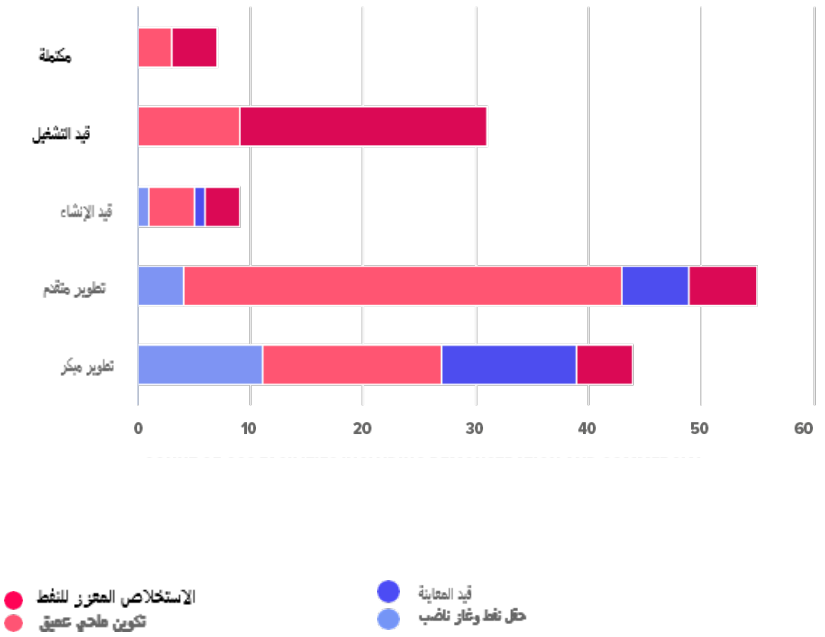
يبدو جلياً عند مقارنة المنشآت التشغيلية اليوم بالمشاريع في المستقبل، أن هناك تنوعاً أكبر في أهداف التخزين. وتبرز أهمية الحقول المستنفدة في تطوير المشاريع المستقبلية، خاصة في بحر الشمال للمملكة المتحدة. كما لا تزال مشاريع الاحتجاز عبر الاستخلاص المعزز للنفط مستمرة بالنمو، لا سيما في الولايات المتحدة والشرق الأوسط.



الشكل 24: عدد مشاريع تخزين غاز الكربون المكتملة والقائمة والمستقبلية حسب أنواع التخزين والمناطق الجغرافية. البيانات مستمدة من أكثر من 150 منشأة لاحتجاز الكربون وتخزينه، بما فيها المشاريع التجارية والإيضاحية (أكثر من 100'000 طن سنويًا من غاز الكربون) في جميع مراحل التطوير.



الشكل 26: متوسط معدل الحقن (مليون طن سنوياً) للمنشآت التجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه الموجودة في خط النشر. البيانات مستمدة من أكثر من 30 منشأة احتجاز الكربون وتخزينه في المواقع الجيولوجية المخصصة، بما فيها المشاريع التجارية والتوضيحية (أكثر من 100,000 طن سنويًا من الكربون) في كافة مراحل التطوير



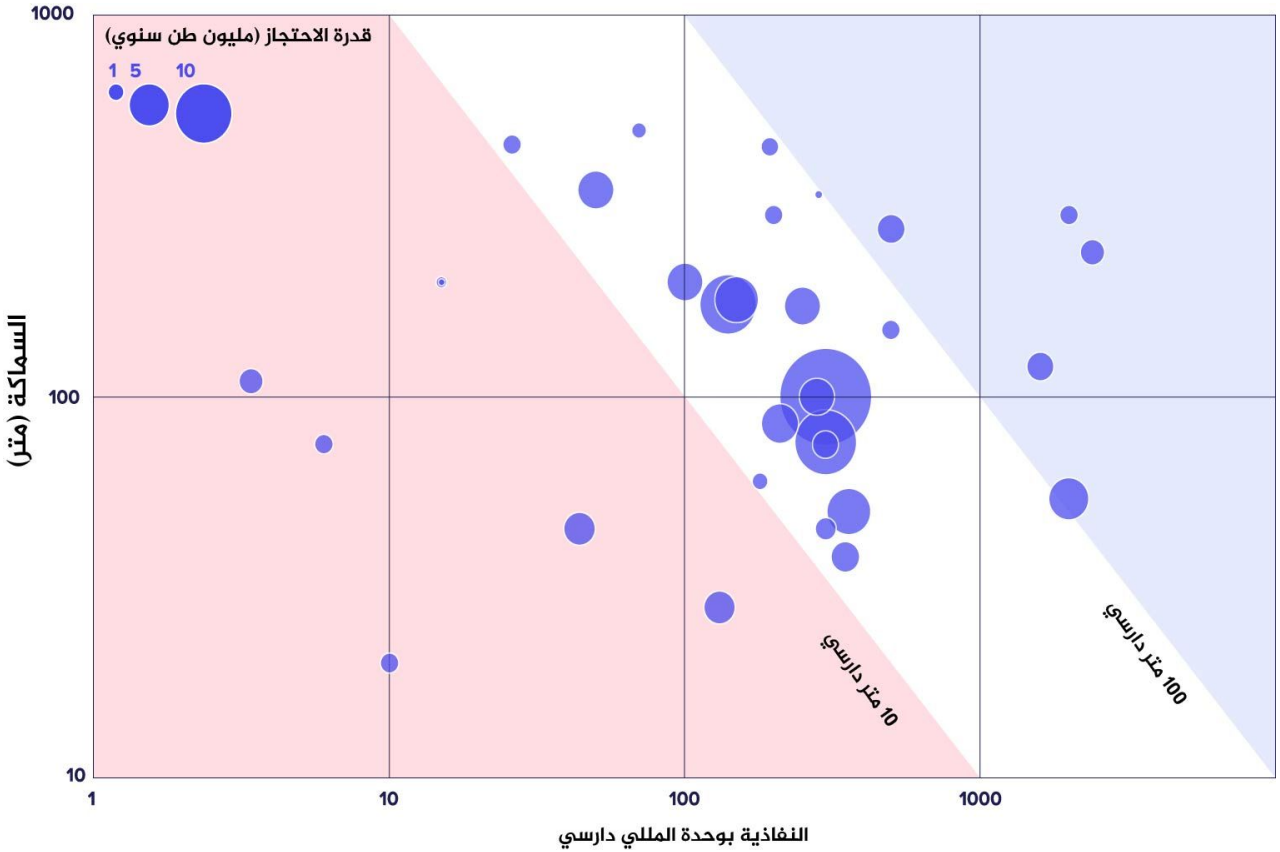
الشكل 25: التخزين المحتمل والحالي لغاز الكربون بحسب أنواع التخزين وحالة النشر. بيانات مستمدة من أكثر من 150 منشأة لاحتجاز الكربون وتخزينه، بما فيها المشاريع التجارية والتوضيحية (أكثر من 100'000 طن سنويًا من الكربون) في كافة مراحل النشر.

ولعل أهم ما هو ملاحظ في توجهات التخزين الجيولوجي لغاز الكربون هو أن متوسط معدل الحقن لكل مشروع آخذ في الازدياد. في المتوسط، تحقن المنشآت التشغيلية ما يزيد قليلاً عن 1 مليون طن سنوياً من الكربون. ويمكن أن يتضاعف هذا المتوسط في غضون عقد من الزمن مع بدء تشغيل مشاريع أكبر جديدة. تبلغ معدلات الحقن لمشاريع التخزين المرتبطة بشبكات احتجاز الكربون وتخزينه الواقعة قيد التطوير حوالي 5 مليون طن سنويًا. إضافة إلى ذلك، يعلن مشغلو التخزين الآن عن تخزين معدلات تصل إلى 10 مليون طن سنويًا أو أكثر من غاز الكربون (1). هذا وظهر هذا النمو في معدل الحقن في العامين أو الثلاثة أعوام الماضية.

تتباين الخصائص الجيولوجية لموارد التخزين المخصصة (على سبيل المثال، غير المرتبطة بالاستخلاص المعزز للنفط) على نطاق واسع. تبحث المنشآت، أو تقوم بالحقن بفاعلية في الخزانات الرقيقة ذات النفاذية المسامية المنخفضة، وخزانات تقدر نفاذيتها بعدة وحدات دارسي (ذات نفاذية عالية جدًا، تقريبًا كرمال الشاطئ) وذات سماكة تصل لمئات الأمتار. ليس بالضرورة أن يشكل التكوين الملحي العميق ذا الجودة العالية الخيار الأفضل للتخزين، حيث يحتاج المشغلون إلى موازنة العديد من العوامل الأخرى. فعلى سبيل المثال، إن الحقن في تكوين أعلى جودة يعني أن غاز الكربون سينتشر بشكل أوسع، الأمر الذي يزيد من مساحة منطقة المراقبة المطلوبة.

مع تراوح نطاقات نفاذية الخزان والسماكات التي يتم استخدامها لتخزين الكربون بشكل واسع جدًا، إلا أنه توجد هناك بقعة جيولوجية عند نفاذية تبلغ حوالي 300 ميلّي دارسي وسماكة تكوين 100–200 متر تُعد المفضلة من حيث قدرتها على تحقيق النتائج المرجوة من عملية الحقن. تضخ معظم المشاريع ما بين 1–10 مليون طن سنوياً من غاز الكربون فى خزانات التخزين ذات سعة حقن محتملة بين 10–100 متر دارسي بحسب هوفمان وآخرون (2015) (2).

من المرجح أن يزداد تنوع أشكال التخزين والظروف الجيولوجية ومعدلات الحقن مع التطوير المستمر لموارد التخزين عبر مناطق جغرافية وأحواض جيولوجية جديدة. ومثلها مثل القطاعات التي تتبنى تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لإزالة الكربون، تتنوع مواقع التخزين الجيولوجية مع تطوير المزيد من الموارد.



الشكل 27: قدرة الحقن في مواقع التخزين على امتداد خط كامل المنشآت.
خصائص الموقع لتخزين الكربون في الشواطئ القريبة لحوض جيبسلاند.
تم الاقتباس والتعديل من: HOFFMAN, N., GEORGE CARMAN, MOHAMMAD BAGHERI, TODD GOEBEL, & THE CARBONNET PROJECT. (2015).

5.7 البنية التحتية

مع ظهور شبكات احتجاز الكربون وتخزينه كنموذج رئيسي لنشر التقنية، أصبح تطوير بنية تحتية مشتركة للنقل والتخزين محور اهتمام مطوري المشاريع وواضعي السياسات.

تشمل البنية التحتية المشتركة جميع المعدات المطلوبة لنقل غاز الكربون من مصانع الاحتجاز إلى موقع التخزين النهائي الدائم، وهي: خطوط الأنابيب؛ أنظمة الضغط؛ السفن؛ مرافق الموانئ، كمصانع تسييل غاز الكربون وخزانات التخزين المؤقتة؛ وأخيراً منشآت التخزين حيث يتم حقن غاز الكربون من مصادر عدة في الآبار المشتركة لتخزينه.

تتيح مشاريع البنية التحتية سبل اقتصادية أفضل لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون. مستفيدة من وفورات الحجم، تتيح خطوط أنابيب النقل المشتركة النقل لمسافات طويلة بتكلفة أقل بكثير لكل طن من غاز الكربون. تمكّن البنية التحتية أيضاً من نشر أسرع لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه وعلى نطاق واسع، وذلك بضم أجزاء العملية (خطوط الأنابيب والتخزين) ذات الجداول الزمنية الأطول معاً.

تخضع مشاريع البنية التحتية قيد التطوير تحت إدارة الشركات الرئيسية في قطاع النفط والغاز والتي لديها تاريخ طويل الأمد في بناء مشاريع خطوط الأنابيب وحفر الآبار. وتتناسب هذه المشاريع مع الخبرة والكفاءات الأساسية لتلك الشركات بشكل جيد.

في الولايات المتحدة، تقود شركة ExxonMobil مشروع البنية التحتية لاحتجاز الكربون وتخزينه لقناة هيوستن للسفن. يدمج مشروع الشبكة الضخم هذا 14 شركة تعمل في مجال الأعمال كثيفة الانبعاثات في منطقة هيوستن، وسيعمل على تطوير خطوط أنابيب مشتركة لنقل غاز الكربون في منطقة قناة هيوستن للسفن. وافقت شركات مثل Air Liquide وBASF وShell على المشاركة في المشروع (1). سيؤدي استخدام البنية التحتية المشتركة (خطوط الأنابيب وآبار التخزين البحرية في خليج المكسيك) إلى تحسين العوامل الاقتصادية لنقل وتخزين غاز الكربون في المنطقة بشكل كبير.

في المملكة المتحدة، يعمل تجمع East Coast Cluster الصناعي على تجميع غاز الكربون المحتجز من العديد من المنشآت الصناعية ومنشآت الطاقة. بالإضافة إلى شبكات خطوط الأنابيب البرية، يتم تطوير البنية التحتية الداعمة على شكل خطوط أنابيب بحرية ومنشآت تخزين خارجية في إطار شراكة نورذرن إندورانس (2). سيصبح مشروع التخزين البحري الواسع النطاق هذا بنية تحتية أساسية للمنطقة الصناعية بأكملها في هامبر وتيسيد، مما يتيح تخزين ما يصل إلى 27 مليون طن سنويًا من غاز الكربون المحتجز بشكل أكثر فعالية من حيث التكلفة مقارنة بمشاريع التخزين الأصغر والمتعددة.

في أوروبا، أعلنت شركتا Equinor وFluxys عن خططها لمشروع خط أنابيب تحت سطح البحر على نطاق عالمي يمتد من بلجيكا إلى مواقع التخزين في بحر الشمال النرويجي (3). يهدف خط الأنابيب هذا، والذي يبلغ طوله 1'000 كيلومتر، وذا سعة متوقعة تتراوح بين 20 و40 مليون طن سنويًا، إلى دعم نقل غاز الكربون المحتجز من بلجيكا والبلدان المجاورة كنظام نقل مفتوح الوصول. سيشكل المشروع داعماً أساسياً للبنية التحتية لخطوط أنابيب غاز الكربون في شمال غرب أوروبا. في بحر الشمال الهولندي، سيوفر مشروع Aramis خدمات نقل وتخزين لغاز الكربون مفتوحة الوصول وذلك عبر خط أنابيب بحري يمتد إلى حقول الغاز الناضبة.

بالإضافة إلى خطوط الأنابيب، يظهر الشحن البحري كوسيلة نقل أساسية ناجعة في نقل ثاني أكسيد الكربون – غالباً عندما تكون مصادر غاز الكربون ومواقع التخزين بعيدة جداً عن خطوط الأنابيب. يعتمد نقل غاز الكربون بالسفن على تبريد ثاني أكسيد الكربون لتسييله، مما يجعله أكثر كثافة ويمكّن السفن من نقل حمولات أكبر منه ضمن حجم معين. تعد تصميمات السفن المبكرة، مثل تلك المستخدمة في شبكة Langskip في النرويج، ناقلات مخصصة لنقل غاز الكربون من منشآت احتجاز فردية معينة في أوسلو وبريفيك. يعتمد نقل الحجم المقدر بـ 7'500 متر مكعب من غاز الكربون على مجموعة من العوامل اللوجستية، وبخاصة مسافة الشحن وحجم ثاني أكسيد الكربون السنوي (4). تم تصميم هذه السفن المبكرة عبر تعديل تصاميم ناقلات غاز البترول المسال الحالية. من المتوقع أن يتم تطوير سفن نقل غاز الكربون من الصفر في المستقبل لتكون ذات قدرات أكبر تخدم مسارات شحن أطول في المياه المفتوحة.

في أيسلندا، تقوم شركة Carbfix لتخزين غاز الكربون بتطوير مشروع Coda (5). مستفيدة من تخزين البازلت منخفض التكلفة في أيسلندا، ستتيح محطة الكربون هذه إمكانية شحن غاز الكربون من شمال غرب وغرب أوروبا. من المتوقع أن تصبح البنية التحتية لموانئ غاز الكربون، مثل Coda، سمة مشتركة لشبكات احتجاز الكربون الساحلية عامة. تزيد عمليات نقل غاز الكربون بالسفن من حجم شبكات احتجاز الكربون وتخزينه، وستتطلب وجود مرافق لتحميل غاز الكربون (في موانئ المصدر) ومرافق لتفريغه (في موانئ الاستلام). إن الميزة الرئيسية لمرافق الموانئ هي أن طرق نقل غاز الكربون يمكن أن تتغير مع مرور الزمن (على عكس خطوط الأنابيب)، مما سيتيح للسفن نقل غاز الكربون إلى مرافق التخزين الأقل تكلفة في المنطقة.

إلى جانب اللاعبين الصناعيين، تلعب الحكومات أيضاً دوراً رئيسياً في تحفيز وتطوير البنية التحتية لاحتجاز وتخزين الكربون. فعلى سبيل المثال، شكل مشروع خط الأنابيب والتخزين CarbonNet في فيكتوريا، أستراليا، مجهوداً مستمراً لتطوير قطاع تخزين جديد للطاقة والأعمال الصناعية في الولاية. وبالمثل، استفاد مشروع خط أنابيب الكربون في ألبرتا (ACTL)، في ألبرتا بكندا، من الدعم العام لبدء بناء قطاع احتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة، وبناء خط أنابيب على نطاق عالمي يربط مصادر غاز الكربون بمواقع التخزين الواقعة على بعد 240 كم.

يتجاوز هذا الدعم نطاق العمل الفني، فهو يشمل أيضاً اللوائح التشريعية الداعمة لسن قوانين خاصة بالتخزين، وتطوير مسار خطوط الأنابيب، والدعم الحكومي للاستكشاف المبكر لجودة موارد التخزين المتوفرة. تشكل جميعها أدوار الحكومات الرئيسية للمساهمة في تخطي بعض العوائق المبكرة أمام تطوير البنية التحتية.

سيعتمد النمو المستمر لاحتجاز وتخزين الكربون للوصول به إلى نطاقات الجيجا طن عالمياً على وجود المزيد من خطوط الأنابيب ومشاريع التخزين والبنية التحتية للشحن في العقود القادمة.

5.8 الجداول الزمنية لتطوير مشروع احتجاز الكربون وتخزينه

يعد بناء منشأة جديدة لاحتجاز وتخزين الكربون أو تعديل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منشأة قائمة مشروعًا صناعيًا رئيسيًا يتطلب مجموعة كاملة من الدراسات، من دراسة المفهوم إلى دراسات ما قبل الجدوى والجدوى، وذلك قبل البدء بالدراسات الهندسية التفصيلية. تتطلب الإجراءات المتعلقة بتحديد وعقد الاتفاقيات التجارية والتفاوض بشأنها مع الأطراف الأخرى المعنية لدى اللزوم (على سبيل المثال، اتفاقيات تفريغ ونقل غاز الكربون) واستكمال عمليات تقييم التأثير البيئي، بالإضافة إلى الحصول على الموافقات والتصاريح اللازمة للتخزين الجيولوجي لغاز الكربون من الجهات التنظيمية، سنوات لإتمامها. هذا مع افتراض وجود التشريع المناسب لتنظيم احتجاز الكربون وتخزينه بالدرجة الأولى، وهو أمر غير محقق بعد في معظم السلطات القضائية. يوجد بين تطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ومشاريع التعدين ومعالجة المعادن وإنتاج النفط أو الغاز أوجه شبه عدة، فقد يستغرق مشروع كبير ومعقد لاحتجاز وتخزين الكربون عقداً من الزمن للانتقال من المفهوم إلى التشغيل.

يعد تحديد وتقييم الموارد الجيولوجية لتخزين غاز الكربون عملية مكلفة وتستغرق وقتًا طويلاً. إذ يتطلب مراجعة نظرية للنماذج الجيولوجية الحالية التي تغطي المنطقة المعنية، وتصويراً جوفياً باستخدام التقنيات الاهتزازية ومعالجة للبيانات المعقدة، وأخيراً، حفر بئر لجمع العينات الأساسية للتحليل وإجراء اختبار الحقن على نطاق صغير. تستغرق هذه الأنشطة لاستكمالها عادةً بضع سنوات وتعتمد على وجود علماء الجيولوجيا من ذوي الخبرة المناسبة، والمعدات الحيوية اللازمة لجمع البيانات وحفر الآبار. إن تقييم التخزين أمر هام جداً لنشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

يظهر الشكل 28 مخطط جانت مبسطاً لتطوير مشروع معقد لاحتجاز وتخزين الكربون، بافتراض وجود لوائح تنظيمية مناسبة لاحتجاز وتخزين الكربون وعدم وجود معارضة مجتمعية كبيرة. من الممكن تسليم مشروع معقد في وقت زمني أقل في حال توفرت الدراسات ذات الصلة مسبقاً (على سبيل المثال، تقييم مسبق لموقع التخزين أو دراسات مسبقة متعلقة بهندسة الاحتجاز).

من جهة أخرى، يمكن تطوير مشاريع احتجاز وتخزين الكربون الأقل تعقيداً في أقل من خمس سنوات. ستتطلب هذه المشاريع عمومًا عمليات احتجاز لغاز الكربون متكاملة مع مصدر غاز الكربون، وتكون متكاملة رأسياً (لا توجد اتفاقيات تفريغ ونقل خارجية)، وتستخدم البنية التحتية الحالية و / أو حقوق الوصول، والوصول إلى موارد التخزين الجيولوجي التي تم تقييمها مسبقاً ولا تواجه خطر معارضة المجتمع.

وكمثال ممتاز على مشروع أقل تعقيداً لاحتجاز وتخزين الكربون، يمكن ذكر مشروع Cooper Basin (كوبر بيزن) التابع لسانتوس في أستراليا، والذي من المقرر أن يبدأ تشغيله في عام 2024. وسيقوم هذا المشروع باحتجاز غاز الكربون من مرافق معالجة الغاز واستخدام ممر خط أنابيب موجود لنقله للتخزين لمسافة 50 كم في خزان الهيدروكربون الناضب. المشروع هو ملك لشركة سانتوس التي ستقوم بإدارته بالكامل، وهو يقع فى منطقة نائية من أستراليا ذات كثافة سكانية منخفضة للغاية.

مع وجود العديد من الفرص حول العالم لتطوير مشاريع أقل تعقيداً لاحتجاز وتخزين الكربون، مثل مشروع Cooper Basin، إلا أنها لاتزال أقل من إجمالي السعة المطلوبة لتحقيق أهداف المناخ. اليوم، عادة ما تحتوي مشاريع احتجاز وتخزين الكربون قيد التطوير سلاسل قيمة مجزأة ومرتبطة بشبكة نقل وتخزين الكربون بسبب التكلفة ونسبة المخاطر التي توفرها الشبكات. ولكن الجانب السلبي هنا هو الزيادة في تعقيد وطول جداول التطوير الزمنية.
شهدت السنوات القليلة الماضية، ومع ظهور شبكات احتجاز الكربون وتخزينه، زيادة في حجم وتعقيد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه بشكل كبير. وتقوم الغالبية العظمى من هذه المشاريع بالاستفادة من بعض الدراسات الحالية، وخاصة تلك المتعلقة بموارد التخزين الجيولوجي. من المتوقع أن يكون باستطاعة أولئك الذين لديهم إمكانية الوصول إلى الدراسات الموجودة مسبقاً الانتقال إلى المراحل التشغيلية في أقل من تسع سنوات، ولكن قد يستغرق البعض وقتاً أطول.

تستغرق المشاريع الصناعية الكبيرة وقتاً لتطويرها. ولتحقيق الأهداف المناخية الطموحة، لابد من البدء الآن بتطوير معظم المشاريع التي من شأنها تحقيق خفض متعدد الأطنان للكربون سنوياً خلال ثلاثينيات القرن الحالي. بالإضافة إلى ذلك، لابد من متابعة المشاريع الأقل تعقيداً والتي يمكن تسليمها في غضون خمس سنوات أو أقل على وجه السرعة. يجب أن يأخذ صانعو السياسات هذه الجداول الزمنية في الاعتبار وأن يطوروا سياسة تحفز الاستثمار في مشاريع احتجاز وتخزين الكربون الأكثر تعقيداً والأقل تعقيداً لدعم استراتيجيات صافي الصفري. علاوة على ذلك، سيكون بناء القدرات في جميع التخصصات ذات الصلة، وخاصة علوم الأرض، ضرورياً في بعض البلدان النامية، لا سيما تلك التي لا تمتلك صناعة نفطية متطورة.

الملاحق

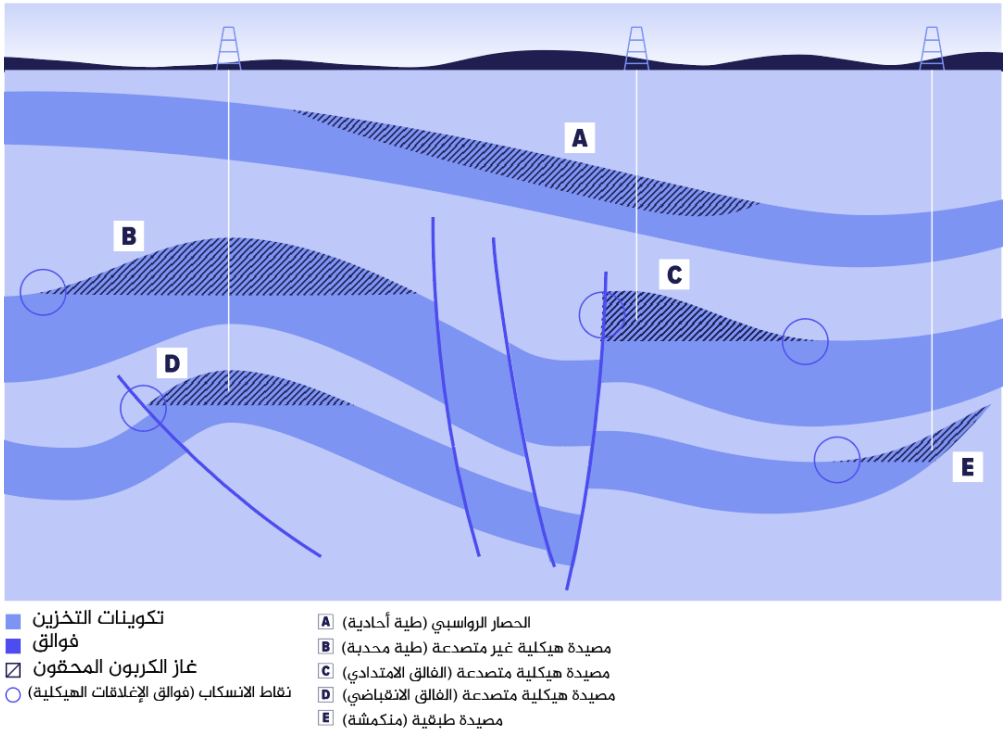
6.1 التخزين الجيولوجي لغاز الكربون

ملخص عن آليات التخزين والأمان

توجد هناك أربع آليات لحصار غاز الكربون في باطن الأرض. وتحدث هذه الآليات في وقت واحد لدى الحقن داخل الجوف المسامي لبئر التخزين، ولكن بمعدلات مختلفة (الشكل الملحق 1). المساهمة النسبية لكل آلية حصار: فيزيائية؛ رواسبية؛ انحلالية/تذوبية؛ تمعدن، تتغير مع الزمن ومع تغيرات عمود غاز الكربون. في العقود الأولى من عملية التخزين القياسية، يُعد الحصار الفيزيائي لغاز الكربون الحر آلية الحصار الأولية. يعتمد حصار غاز الكربون كثيراً على جيولوجيا الموقع وأوضاع التكوين المحلية (السوائل، والضغط، ودرجة الحرارة). قد يبقى جزء من عمود غاز الكربون في مرحلته الحرة بشكل دائم، ولكن الحصار الهيكلي الفيزيائي له سيستمر أبداً في حال كان الموقع الجيولوجي مستقراً وسلوك عمود غاز الكربون في بئر التخزين كما هو متوقع.

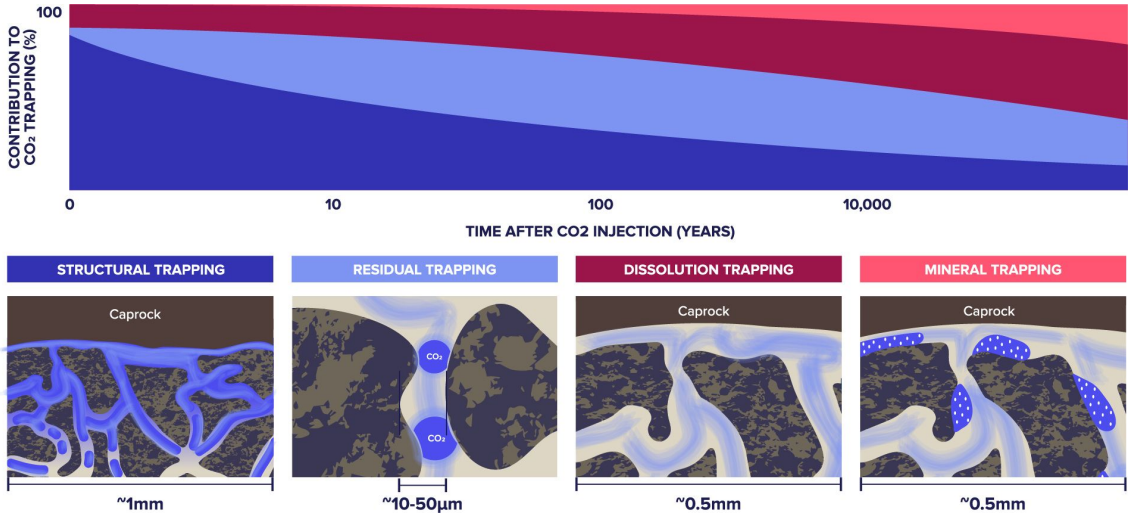
الحصار الهيكلي الفيزيائي

يحدث الحصار الفيزيائي عندما ينزح غاز الكربون الطافي الحر إلى داخل تكوين صخري مطوي أو متصدع على شكل بنية تحت سطح الأرض (أو "مصيدة")، وتكون مغلقة في ثلاثة أو أربع اتجاهات، ويتم احتواؤه أسفل غطاء صخري منخفض النفاذية (أو "مانع تسرب") (انظر الشكل الملحق2). تكون آلية الحصار الفيزيائي هنا هي ذاتها المستخدمة في حصار الهيدروكربونات في باطن الأرض. يوضح الشكل الملحق 2 أنواع المصائد الفيزيائية الهيكلية، بما فيها الكتل الصخرية المطوية والمتصدعة (والتي تعمد إلى الإغلاق ضد التصدع لاحتواء غاز الكربون). في بعض البيئات الجيولوجية، يحدث الحصار الفيزيائي لغاز الكربون عندما ينكمش الخزان من الجوانب نتيجة حدوث ترقق طبقي فيه. وهذا ما يسمى بالمصيدة الطبقية كما هو مبين في "ه" في الشكل الملحق 2.



الشكل الملحق 2: الرسم التوضيحي التخطيطي للمصايد الهيكلية تحت سطح الأرض. تشير الدوائر إلى "نقاط الانسكاب" أو إلى مواقع التصدع في الإغلاقات الهيكلية.

(أ) يمكن أن يكون الحصار الرواسبي هو الآلية السائدة للتخزين ضمن الكتل الصخرية المسطحة نسبياً التي لا يوجد بها إغلاق هيكلي. (ب) يمكن لجسم صخري مطوي غير متصدع (طية محدبة) أن يحجز غاز الكربون الطافي وصولاً إلى "نقطة الانسكاب"، والتي سيقوم غاز الكربون دون مستواها بالنزوح خارج المصيدة المطوية. (ج) يعتمد الإغلاق المطوي المتصدع (الفالق الامتدادي) على تجاور السدود الصخرية في سطح الصدع لمنع نزوح غاز الكربون خارج المصيدة. (د) يعتمد الإغلاق المطوي المتصدع (الفالق الانقباضي) على تجاور السدود الصخرية في سطح الصدع لمنع نزوح غاز الكربون خارج المصيدة. (ه) تعتمد المصيدة الطبقية على التغيرات الجانبية في الخواص الصخرية (وغالبًا ما تكون انكماشات من الجوانب) لمنع نزوح غاز الكربون خارج المصيدة.



الشكل الملحق 1: (اللوحة السفلية) آليات الحصار الأربعة تحت سطح الأرض تقوم بتخزين غاز الكربون بشكل دائم. (اللوحة العلوية) المساهمة النسبية لآليات الحصار الأربعة في التخزين الدائم لغاز الكربون على مدار الزمن. يتزامن عمل الآليات عند القيام بحقن غاز الكربون، لكن بمعدلات متفاوتة. المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2005)

الحصار الرواسبي

عندما ينزح عمود ثاني أكسيد الكربون داخل الخزان، يبقى جزء منه محتجزاً في المسام والأسطح غير المتجانسة المجهرية الحجم بفضل الخواص الشعرية (انظر الشكل الملحق 1). تسمى هذه العملية بالحصار الرواسبي الذي يعتمد على الترابط بين المسام والخصائص الصخرية للخزان وكيمياء سوائل المسام الموجودة مسبقاً. عادةً ما يكون حجم المسام في الخزانات المناسبة أقل من 1 مم، وتكون متراصة جيدًا، وغالبًا ما تشكل 10- 30 في المئة من حجم الصخر. تكون قوى الطفو للجزء الرئيسي من عمود غاز 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 غاز الكربون بعيدًا عن مستوى الضغط الأعلى داخل بئر الحقن، تبرز أهمية 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 الرواسبي أمرًا بالغ الأهمية خلال فترة العقود الأولى من مشروع التخزين.

الحصار الانحلالي/ التذويب

الحصار بالتذويب هي آلية بسيطة تحدث عندما يتلامس ثاني أكسيد الكربون المحقون مع محلول ملحي ويذوب فيه. تعتمد قدرة غاز الكربون على الذوبان (قابلية الذوبان) في المحلول الملحي على درجة ملوحة المحلول ودرجة 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 غاز الكربون في المحلول الملحي فور ملامسته، لكن مرحلة الحصار تلك لا تعتبر هامة قبل مرور عقود إلى قرن من الزمن في آبار التخزين.

الحصار المعدني/ التمعدن

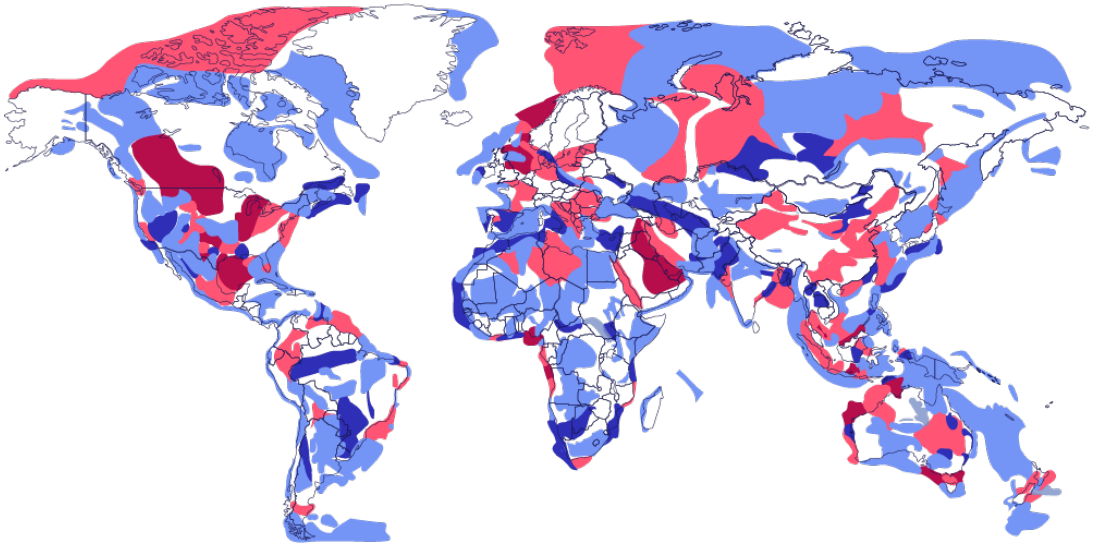
يحدث الحصار المعدني للكربون عندما يتفاعل غاز الكربون المحقون مع المعادن الموجودة في الخزان الصخري مكوناً منتج معدني عادة ما يكون معدن كربوني. ويُعد الحصار المعدني شكلاً من أشكال التخزين الدائم.

تعتمد تفاعلات ثاني أكسيد الكربون مع المعادن في الصخور، على ظروف الضغط ودرجة الحرارة والخصائص المعدنية في الخزان. ومن 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 غاز الكربون قد تخزنت بشكل دائم بواسطة الآليات الثلاث المذكورة أعلاه. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي الحقن في ظل ظروف معينة وفي صخور معينة (مثل البازلت) تحتوي على الحديد التفاعلي والمغنيسيوم إلى تمعدن سريع لغالبية غاز الكربون في غضون عامين فقط (2).

فهرس موارد تخزين غاز الكربون

يعد فهرس موارد تخزين غاز الكربون قاعدة بيانات عالمية شاملة لموارد التخزين المصنفة وفقًا لجاهزيتها التجارية بموجب نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول (SRMS) لعام 2017. إن الغرض من الفهرس هو تسريع التطوير التجاري لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، وبناء الثقة في تقديرات وتقييمات موارد التخزين، وتقديم صورة عالمية متسقة لإمكانيات التخزين، ولتعزيز نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول كآلية قوية وموثوقة لإعداد تقارير عن موارد التخزين. والفهرس هو عبارة عن مشروع مدته ست سنوات ممول من قبل مبادرة مناخ النفط والغاز، وأخذ المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون وشركة Storegga (ستوريجا) على عاتقهما إجراء التقييمات الفنية له. من المتوقع أن يقوم الفهرس بتقييم كافة دول العالم بحلول عام 2025.

يتم عرض تصنيفات نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول في الشكل الملحق رقم 3 حيث قام المعهد العالمي لاحتجاز وتخزين الكربون بالشراكة مع شركة Storegga (ستوريجا) بوضع سلسلة من الأسئلة الإرشادية لمساعدة المستخدمين على تصنيف موارد التخزين الخاصة بهم بشكل صحيح. هناك أربع فئات رئيسية للموارد في نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول، هي: مُخزنة، القدرة أو السعة، مشروطة، محتملة. تتضمن كل فئة مستوى مختلفاً من النضج التجاري، مع اعتبار الموارد المحتملة أقلها نضجاً تجارياً، بينما المخزنة أكثرها نضجاً. وتشكل معاً قاعدة موارد التخزين الإجمالية.



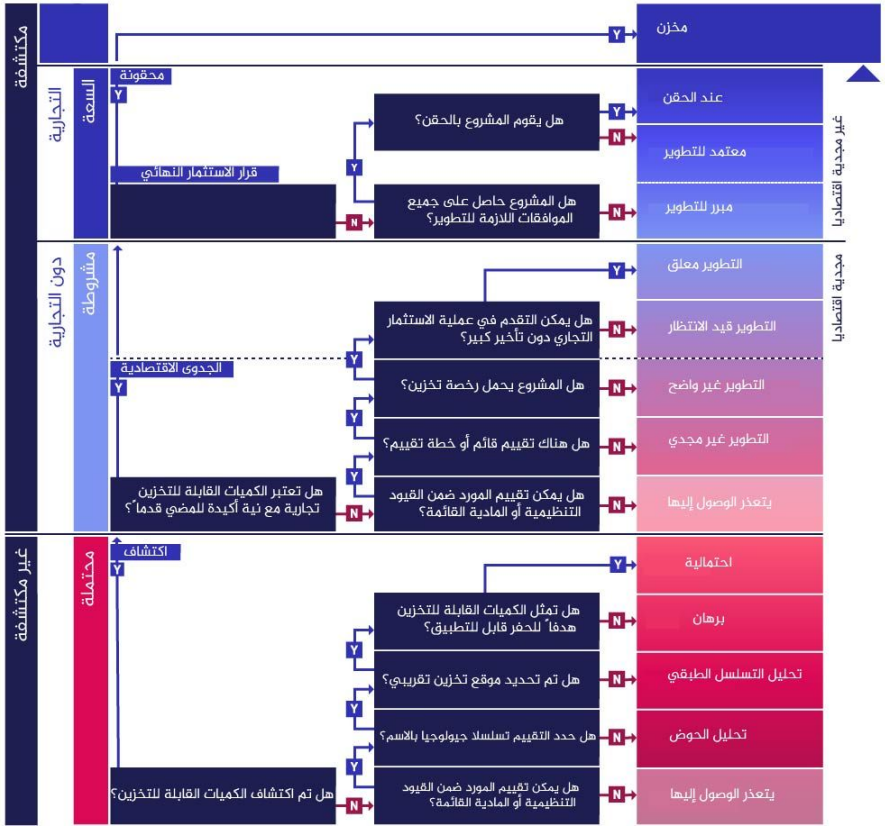
الشكل الملحق 4: نتائج تقييم الدورة 3 من فهرس موارد تخزين غاز الكربون. المصدر: مبادرة مناخ النفط والغاز (OGCI) وآخرون (2022).

انتهى العمل على الدورة التقييمية الثالثة من الفهرس من قبل مبادرة مناخ النفط والغاز في شهر مارس 2022، وشهد إضافة ما يقرب من 1'000 جيجا طن من موارد تخزين الكربون الجديدة لقاعدة الموارد العالمية، التي تضم حالياً 13'954 جيجا طن من غاز الكربون.

نتج عن الدورة التقييمية الثالثة زيادة في عدد مواقع التخزين لتصل إلى 852، وفي عدد الدول التي تم تقييمها لتصل إلى 30. ويبين الشكل الملحق 4 إجمالي موارد التخزين المكتشفة وغير المكتشفة. تم اكتشاف ما يزيد قليلاً على 577 جيجا طن من موارد التخزين (أو 4,1 في المئة من إجمالي قاعدة الموارد العالمية) - وهذا يعني أنه تم اثبات ذلك ببيانات تحت سطح الأرض، مثل الآبار والمسوحات الاهتزازية. ولكن للأسف، تم تصنيف 253 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون (أو 0,002 في المئة) من الموارد فقط على أنها "تجارية".

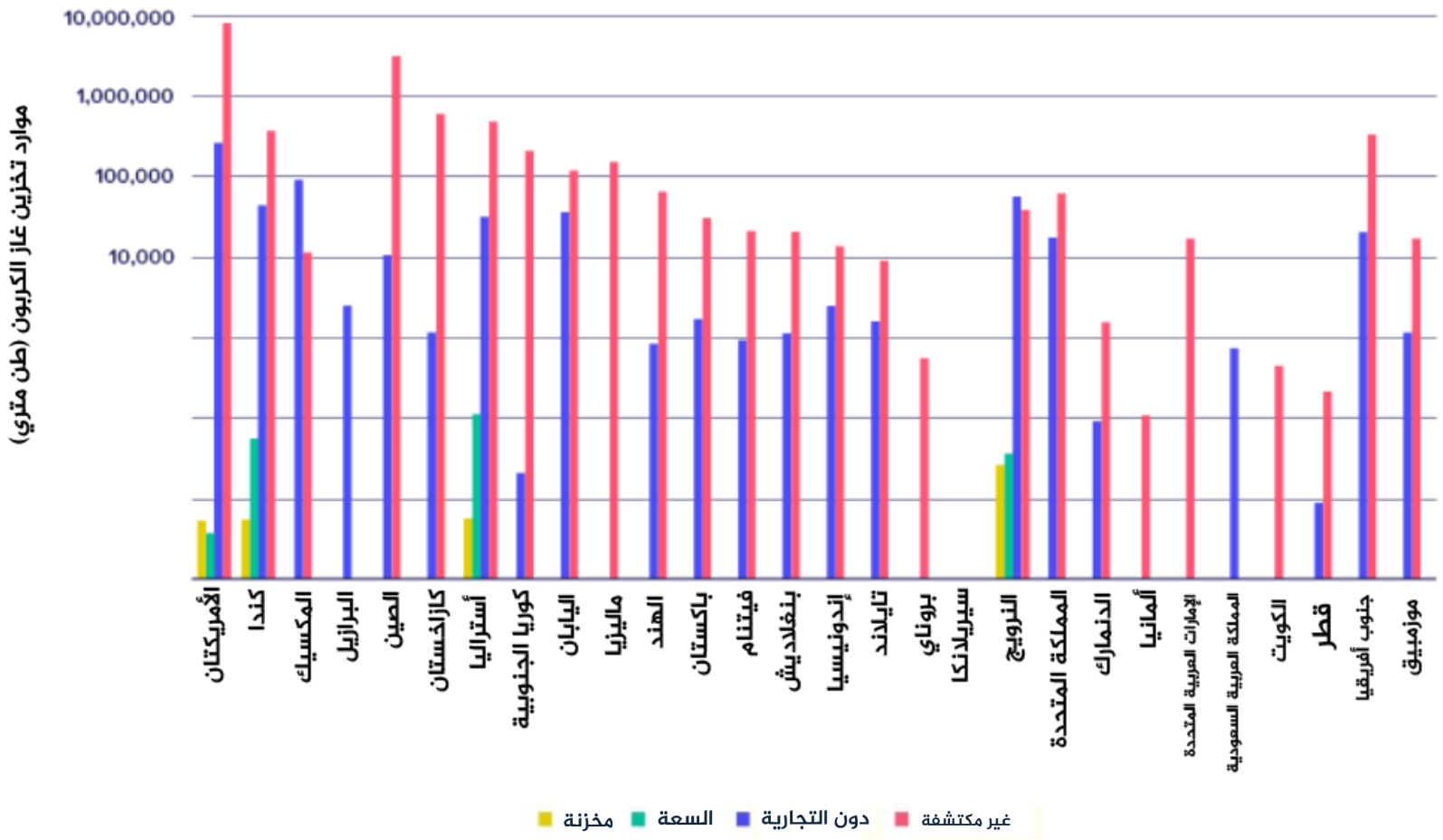
لابد أن تكون الموارد التجارية جاهزة لعملية التخزين ليتم استخدامها وأن:

- يكون لها بيئة تنظيمية تتيح تخزين ثاني أكسيد الكربون
- يتم تطبيق تحليل وتقييم دقيق لها باستخدام البيانات الجوفية للتأكد من مناسبتها للتخزين
- تكون هناك خطة تطوير نظرية للمشروع



الشكل الملحق 3: تصنيفات نظام إدارة موارد التخزين لموارد تخزين غاز الكربون. اتبع مخطط تسلسل الأسئلة (المربعات الزرقاء) لتحديد تصنيف الموارد. المصدر: مبادرة مناخ النفط والغاز (OGCI) وآخرون (2022).

- لا يكون هناك معيقات هامة تؤخر تطوير المشروع.



الشكل الملحق 5: موارد تخزين غاز الكربون (المرتبطة بمشاريع التخزين) بحسب البلد وتصنيف نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول. المصدر: مبادرة مناخ النفط والغاز (OGCI) وآخرون (2022).

يشير ترتيب فروقات الحجم بين الموارد دون التجارية والموارد التجارية إلى وجود فرصة كبيرة لاستكشاف وتطوير وتقييم موارد التخزين على الصعيد العالمي (الشكل الملحق 5). يملك فهرس موارد تخزين ثاني أكسيد الكربون حق استخدام البيانات المتوفرة للجمهور العام فقط، لذا فمن المحتمل أن تقلل التصنيفات الواردة في الشكل الملحق 5 من القدرة التسويقية التجارية للموارد وذلك بسبب ميل الشركات للحفاظ على خصوصية معلومات مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه لديها.

في فبراير 2022، أصبحت سانتوس أول شركة تطالب رسميًا بملكية (أو "حجز") موارد تخزين الكربون باستخدام نظام إدارة موارد التخزين لجمعية مهندسي البترول (SRMS) (4). وقامت سانتوس بحجز مسبق لـ 100 مليون طن من موارد التخزين في حوض كوبر بأستراليا لمشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه التابع لها، والذي بلغ مرحلة القرار الاستثماري النهائي (FID). حجزت سانتوس تسعة ملايين طن من موارد 2P (موارد مثبتة ومرجحة) و91 مليون طن من موارد مشروطة (2C).

6,2 قائمة المنشآت لعام 2022

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا	كود تخزين المنشأة
مصنع تيريل لمعالجة الغاز الطبيعي (المعروف سابقًا (باسم مصانع فال فيردى للغاز الطبيعى	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1972	معالجة الغاز الطبيعي	0.5	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إينيد للسماد	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1982	إنتاج الأسمدة	0.2	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع شوت كريك لمعالجة الغاز	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	1986	معالجة الغاز الطبيعي	7	الاستخلاص المحسَّن للنفط
حقل مول سزانك للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثانى أكسيد الكربون	هنغاريا	قيد التشغيل	1992	معالجة الغاز الطبيعي	0.16	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سليبنر لتخزين الكربون	النرويج	قيد التشغيل	1996	معالجة الغاز الطبيعي	1	تخزين جيولوجي مخصص
مصنع غريت بليينز للوقود الاصطناعي و ويبرن ميدال	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2000	الغازالطبيعيالاصطناعي	3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
كور إنيرجي للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2003	معالجة الغاز الطبيعي	0.35	الاستخلاص المحسَّن للنفط
سنو ويت لتخزين الكربون	النرويج	قيد التشغيل	2008	معالجة الغاز الطبيعي	0.7	تخزين جيولوجي مخصص
مرفق أركالون لضغط الكربون	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2009	إنتاج الإيثانول	0.29	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع سنتشري	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2010	معالجة الغاز الطبيعي	5	الاستخلاص المحسَّن للنفط
حقل نفط التابع لبتروبراس سانتوس مع احتجاز الكربون وتخزينه	البرازيل	قيد التشغيل	2011	معالجة الغاز الطبيعي	7	الاستخلاص المحسَّن للنفط
بونانزا بايوإنيرجي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه والاستخلاص المحسَّن للنفط	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2012	إنتاج الإيثانول	0.1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
إير برودا كتز للإصلاح بالبخار	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الهيدروجين	1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مصنع تغويز كوفيفيل	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الأسمدة	0.9	الاستخلاص المحسَّن للنفط
بي سي إس نتروجين	الولايات المتحدة	قيد التشغيل	2013	إنتاج الأسمدة	0.3	الاستخلاص المحسَّن للنفط
مرفق باوندري دام 3 لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	قيد التشغيل	2014	توليد الطاقة	1	متنوع
مشروع كارامي دونوا للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثانى أكسيد الكربون	الصين	قيد التشغيل	2015	إنتاج الميثانول	0.1	الاستخلاص المحسَّن للنفط
كويست	كندا	قيد التشغيل	2015	إنتاج الهيدروجين	1.3	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع عثمانية التوضيحي للاستخلاص المحسَّن للنفط باستخدام ثانى أكسيد الكربون	السعودية	قيد التشغيلv	2015	معالجة الغازالطبيعي	0.8	الاستخلاص المحسَّن للنفط

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنوياً	كود تخزين المنشأة
احتجاز الكربون وتخزينه أبوظبي (المرحلة 1: الإمارات للصناعات الحديدية)	الإمارات العربية المتحدة	قيد التشغيل	2016	إنتاج الحديد والصلب	0.8	الاستخلاص المعزز للنفط
إلينوي لاحتجاز الكربون الصناعي وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	قيد التشغيل	2017	إنتاج الإيثانول	1	تخزين جيولوجي مخصص
حقل نفط سي إن بي سي جيلين للاستخلاص المحسّن للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون	الصين	قيد التشغيل	2018	معالجة الغاز الطبيعي	0.6	الاستخلاص المعزز للنفط
غورغون لحقن ثاني أكسيد الكربون	أستراليا	قيد التشغيل	2019	معالجة الغاز الطبيعي	4	تخزين جيولوجي مخصص
قطر للغاز الطبيعي المسال مع احتجاز الكربون وتخزينه	قطر	قيد التشغيل	2019	معالجة الغاز الطبيعي	2.2	تخزين جيولوجي مخصص
ألبرتا كربون ترنك لاين (أكتل) مع مصفاة ستورجون التابعة لنورث ويست ريد ووتر بارتنرشيب	كندا	قيد التشغيل	2020	تكرير النفط	1.6	الاستخلاص المعزز للنفط
ألبرتا كربون ترنك لاين (أكتل) مع نيوترين	كندا	قيد التشغيل	2020	إنتاج الأسمدة	0.3	الاستخلاص المعزز للنفط
أوركا	آيسلندا	قيد التشغيل	2021	احتجاز الهواء مباشرة	0.004	تخزين جيولوجي مخصص
مصنع غلاسير للغاز لاحتجاز الكربون المتحرك وتخزينه	كندا	قيد التشغيل	2022	معالجة الغاز الطبيعي	0.2	تخزين جيولوجي مخصص
سينوبيك تشيلو شنغلي لاحتجاز الكربون وتخزينه واستخدامه	آيسلندا	قيد التشغيل	2022	الإنتاج الكيميائي	1	الاستخلاص المعزز للنفط
ريد تريل إينرجي لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	قيد التشغيل	2022	إنتاج الإيثانول	0.18	تخزين جيولوجي مخصص
سنوك جنوب بحر الصين لاحتجاز الكربون وتخزينه البحري	الصين	قيد الإنشاء	2023	معالجة الغاز الطبيعي	0.3	الاستخلاص المعزز للنفط
محطة جوديان تايتشو للطاقة لاحتجاز الكربون	الصين	قيد الإنشاء	2023	توليد الطاقة	0.3	الاستخلاص المعزز للنفط
مشروع حوض سانتوس كوبر لاحتجاز الكربون وتخزينه	أستراليا	قيد الإنشاء	2023	معالجة الغاز الطبيعي	1.7	تخزين جيولوجي مخصص
مومث	آيسلندا	قيد الإنشاء	2024	احتجاز الهواء مباشرة	0.03	تخزين جيولوجي مخصص
نورسيم بريفيك - مصنع للاسمنت	النرويج	قيد الإنشاء	2024	إنتاج الأسمنت	0.4	غير متاح
نورسيم بريفيك - مسار شحن	النرويج	قيد الإنشاء	2024	إنتاج الأسمنت		غير متاح
نوذرن لايتز - التخزين	النرويج	قيد الإنشاء	2024	متنوع		تخزين جيولوجي مخصص
أوكسي وكربون إنجنيرينغ لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة ومنشأة الاستخلاص المحسّن للنفط	الولايات المتحدة الأمريكية	قيد الإنشاء	2024	احتجاز الهواء مباشرة	0.5	تخزين جيولوجي مخصص
مصنع هافسلوند أوسلو سيليسيو- كليماترو	النرويج	قيد الإنشاء	2025	حرق النفايات	0.4	غير متاح
مشروع الحقل الشمالي الشرقي لاحتجاز الكربون وتخزينه	قطر	قيد الإنشاء	2025	معالجة الغاز الطبيعي	1	تحت التقييم

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنوياً	كود تخزين المنشأة
مجمع لويزيانا للطاقة النظيفة	الولايات المتحدة	قيد الإنشاء	2026	متنوع	5	تخزين جيولوجي مخصص
واباش لعزل غاز الكربون	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2022	إنتاج الأسمدة	1.75	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع بريدجي بورت إنيرجي موني لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	أستراليا	التطوير المتقدم	2023	متنوع	0.2	الاستخلاص المعزز للنفط
هوأنغ لونغ دونغ إينرجي بيز لاحتجاز الكربون وتخزينه	الصين	التطوير المتقدم	2023	توليد الطاقة	1.5	تخزين جيولوجي مخصص
حوض شمال ديلاوير لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2023	معالجة الغاز الطبيعي	0.03	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة أبرديين الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.14	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة إير ليكيد روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	0.8	تخزين جيولوجي مخصص
مجمع إير برودكتس لطاقة الهيدروجين صافي الصفرى	كندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	3	غير متاح
مصفاة إير برودكتس روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين		تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة أتكينسون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.16	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة كاسلتون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.5	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة سنترال سيتي الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.33	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة إكسون موبيل بينيلوكس لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين		تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة فيرمونت الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.34	تخزين جيولوجي مخصص
(التعاونيات الفيدرالية المحدودة (الإيثانول	كندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	3	الاستخلاص المعزز للنفط
مصفاة غالفا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.11	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة غولد فيلد الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.22	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة غراند جانكشن الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.34	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة غرانيت فولز الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.18	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة هيرون ليك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.19	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة هورون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.09	تخزين جيولوجي مخصص

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا	كود تخزين المنشأة
مصفاة لامبرتون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.16	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة لولير الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.57	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ماركوس الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.46	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ماسون سيتي الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.34	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ميريل الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.16	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة مينا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.4	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة نيفادا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.4	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة نورفولك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.15	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة أونيدا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.23	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة أوتر تييل الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.17	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة بلين فيو الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.32	تخزين جيولوجي مخصص
بولاريس لتخزين الكربون	النرويج	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين		تخزين جيولوجي مخصص
بورثوس - محطة مضاغط	هولندا	التطوير المتقدم	2024	متنوع		غير متاح
بورثوس - خط الأنابيب البحري	هولندا	التطوير المتقدم	2024	متنوع		غير متاح
بورثوس - خط الأنابيب البري	هولندا	التطوير المتقدم	2024	متنوع		غير متاح
بورثوس - التخزين	هولندا	التطوير المتقدم	2024	متنوع		تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ريدفيلد الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.17	تخزين جيولوجي مخصص
محطة سان جوان لتوليد الكهرباء واحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	توليد الطاقة	6	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة شل روتردام لاحتجاز الكربون وتخزينه	هولندا	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الهيدروجين	1.4	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة شناندوا الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.24	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة مركز سيوكس الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.19	تخزين جيولوجي مخصص

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا	كود تخزين المنشأة
مصفاة ستيم بوت روك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.23	تخزين جيولوجي مخصص
خط أنابيب ساميت	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	الطاقة الحيوية		تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة سوبيريير الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.17	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ووترتاون الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.37	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة وينت وورث الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.26	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة وود ريفير الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.35	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة يورك الحيوية لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2024	إنتاج الإيثانول	0.14	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع جرينزاند	الدنمارك	التطوير المتقدم	2025	متنوع		تخزين جيولوجي مخصص
أبوظبي لاحتجاز الكربون وتخزينه، المرحلة الثانية: مصنع معالجة الغاز الطبيعي	الإمارات العربية المتحدة	التطوير المتقدم	2025	معالجة الغاز الطبيعي	2.3	الاستخلاص المعزز للنفط
كوبنهيل (امار باكي) لتحويل النفايات إلى طاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	الدنمارك	التطوير المتقدم	2025	حرق النفايات	0.5	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع كويوت كلين لتوليد الطاقة النظيفة	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2025	توليد الطاقة	0.86	تحت التقييم
تجمع إيست كوست الصناعي	المملكة المتحدة	التطوير المتقدم	2025	متنوع	27	تخزين جيولوجي مخصص
حقول الحيل وغشا	الإمارات العربية المتحدة	التطوير المتقدم	2025	معالجة الغاز الطبيعي	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
هافسلوند أوسلو سيلسيو - مسار الشاحنة	النرويج	التطوير المتقدم	2025	حرق النفايات		غير متاح
ليك تشارلز ميثانول	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2025	الإنتاج الكيميائي	4	تحت التقييم
منشأة ون إرث للطاقة لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة	التطوير المتقدم	2025	إنتاج الإيثانول	0.5	تخزين جيولوجي مخصص
ستوكهولم إيكسيرجي للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	السويد	التطوير المتقدم	2025	الطاقة الحيوية	0.8	تخزين جيولوجي مخصص
ستوكهولم إيكسيرجي للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه - مسار الشحن	السويد	التطوير المتقدم	2025	الطاقة الحيوية	0.23	غير متاح
كودا للشحن	أيسلندا	التطوير المتقدم	2026	متنوع		غير متاح
محطة كودا للبنية التحتية البرية	أيسلندا	التطوير المتقدم	2026	متنوع	0.17	غير متاح
محطة خط أنابيب كودا	أيسلندا	التطوير المتقدم	2026	متنوع	0.37	غير متاح

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا	كود تخزين المنشأة
محطة تخزين كودا	أيسلندا	التطوير المتقدم	2026	متنوع		تخزين جيولوجي مخصص
(التعاونيات الاتحادية المحدودة (مصفاة	كندا	التطوير المتقدم	2026	تكريرالنفط	1	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع حقل آرثيت لشركة بي تي للاستكشاف والإنتاج لاحتجاز الكربون وتخزينه	تايلاند	التطوير المتقدم	2026	معالجةالغازالطبيعي	1	تخزين جيولوجي مخصص
بايو اوندان لاحتجاز الكربون وتخزينه	تيمور ليشتي	التطوير المتقدم	2027	معالجةالغازالطبيعي	10	تخزين جيولوجي مخصص
محطة هامبر زيرو- في بي آي إمينغهام لتوليد الكهرباء لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	التطوير المتقدم	2027	توليدالطاقة	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
هامبر زيرو - مصفاة فيليبس 66 هامبر لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	التطوير المتقدم	2028	إنتاجالهيدروجين	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
أنتفيرب @ سي - باسف أنتفيرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	التطوير المتقدم	2030	الإنتاجالكيميائي	1.42	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع جيمس م باري لتوليد الكهرباء لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	2030	توليدالطاقة	تحت التقييم	تحت التقييم
مشروع توندرا	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	2025 - 2026	توليدالطاقة	3.6	تخزين جيولوجي مخصص
CAL (Calcium Looping) الاحتجاز عبر تقنية	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Mid 2020s	توليدالطاقة	1.4	الاستخلاص المعزز للنفط
محطة جيرالد جنتلمان لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Mid 2020s	توليدالطاقة	4.3	تحت التقييم
مصنع دانييل لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Mid 2020s	توليدالطاقة	1.8	تحت التقييم
محطة توليد ولاية برايري لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Mid 2020s	توليدالطاقة	6	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع مركز ديب بارك للطاقة لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	N/A	توليدالطاقة	5	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع فارلي لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Under Evaluation	الاحتجاز من الهواء مباشرة	تحت التقييم	تحت التقييم
محطة موستانج لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المتقدم	Under Evaluation	توليدالطاقة	1.5	تحت التقييم
مركز جنوب شرق ساسكاتشيوان لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه - التخزين	كندا	التطوير المتقدم	Under Evaluation	متنوع		تخزين جيولوجي مخصص
مشروع تطوير حقل غاز بتروناس كسوارى	ماليزيا	التطوير المبكر	2023	معالجةالغازالطبيعي	تحت التقييم	تحت التقييم
بلو فلنت إيثانول لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المبكر	2022	إنتاجالإيثانول	0.18	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع إنترسيكت - مصنع هيريفورد للإيثانول	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المبكر	2023	إنتاجالإيثانول	0.35	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع إنترسيكت - مصنع بلين فيو للإيثانول	الولايات المتحدة الأمريكية	التطوير المبكر	2023	إنتاجالإيثانول	0.35	تخزين جيولوجي مخصص

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنوياً	كود تخزين المنشأة
أميتيس	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2024	إنتاج الإيثانول والأسمدة	2	تخزين جيولوجي مخصص
كاليدونيا للطاقة نظيفة	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2024	توليد الطاقة	3	تخزين جيولوجي مخصص
(H2M) هيدروجين 2 ماغنوم	هولندا	تطوير مبكر	2024	توليد الطاقة	2	تخزين جيولوجي مخصص
نوذرين - خط الأنابيب	النرويج	تطوير مبكر	2024	متنوع		غير متاح
مشروع إنتاج الهيدروجين في بواكاي مع احتجاز الكربون وتخزينه	نيوزيلاندا	تطوير مبكر	2024	متنوع	1	تحت التقييم
يارا سلويسكيل	هولندا	تطوير مبكر	2025	إنتاج الأسمدة	0.8	تخزين جيولوجي مخصص
أكورن هيدروجين	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2025	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
بايو بيند لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	متنوع		تحت التقييم
مشروع ترافولت الكربون 1	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	تحت التقييم	1	تخزين جيولوجي مخصص
مصنع أنظمة الطاقة النظيفة للطاقة الكربونية السلبية - سينترال فالي	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة وإنتاج الهيدروجين	0.32	تخزين جيولوجي مخصص
دراي فورك التجاري المتكامل لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة	3	تخزين جيولوجي مخصص
فورتم أوسلو فارمي- طريق الشحن	النرويج	تطوير مبكر	2025	حرق النفايات		غير متاح
(ALLAM-FETVEDT) محطة إلينوي لتوليد الطاقة	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة	1	غير متاح
مندوتا للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	الطاقة الحيوية	0.3	تخزين جيولوجي مخصص
نت زيرو تيساید - منشأة تستخدم الدورة المركبة لتوليد الكهرباء	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2025	توليد الطاقة	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
نيكست داكيد ريو جراندي للغاز الطبيعي المسال لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	معالجة الغاز الطبيعي	5.5	تحت التقييم
مصفاة بريم لاحتجاز الكربون وتخزينه	السويد	تطوير مبكر	2025	إنتاج الهيدروجين	0.5	تخزين جيولوجي مخصص
مركز جنوب شرق أستراليا لاحتجاز الكربون	أستراليا	تطوير مبكر	2025	معالجة الغاز الطبيعي	2	تخزين جيولوجي مخصص
مصفاة ستانلو للهيدروجين منخفض الكربون	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2025	تكرير النفط	0.6	غير متاح
مشروع إلينوي للوقود النظيف	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	الإنتاج الكيميائي	8.13	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع فيلوسيس بايو فيولز للانبعاثات السلبية للوقود	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2025	الإنتاج الكيميائي	0.5	تخزين جيولوجي مخصص

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنوياً	كود تخزين المنشأة
منشأة إيكورن لاحتجاز الكربون من الهواء مباشرة	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2026	الاحتجاز من الهواء مباشرة	1	تخزين جيولوجي مخصص
أدرياتيك بلو - إيني هيدروجين لاحتجاز الكربون وتخزينه	إيطاليا	تطوير مبكر	2026	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
أدرياتيك بلو - إيني طاقة لاحتجاز الكربون وتخزينه	إيطاليا	تطوير مبكر	2026	توليد الطاقة	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
سينفراكاب - خط الأنابيب	السويد	تطوير مبكر	2026	متنوع		غير متاح
سينفراكاب - مسار شحن	السويد	تطوير مبكر	2026	متنوع		غير متاح
شبكة أنابيب دلتا كوريدور	هولندا	تطوير مبكر	2026	متنوع		غير متاح
هاينت نورث ويست - اسمنت هانسون لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2026	إنتاج الأسمنت	0.8	تخزين جيولوجي مخصص
في شمال انكلترا H21 شبكة نوذرين غاز	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2026	إنتاج الهيدروجين		تخزين جيولوجي مخصص
ريبسول ساكاكيمانج لاحتجاز الكربون وحقنه	إندونيسيا	تطوير مبكر	2026	معالجة الغاز الطبيعي	2	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع إنبيكس لاحتجاز الكربون وتخزينه في داروين	أستراليا	تطوير مبكر	2026	معالجة الغاز الطبيعي	7	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع دراكس للطاقة الحيوية الناتجة عن احتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	توليد الطاقة	8	تخزين جيولوجي مخصص
جي2 نت زيرو للغاز الطبيعي المسال	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2027	معالجة الغاز الطبيعي	4	تحت التقييم
إيتش2 نورث إيست	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	
محطة كيلنغهولمي للطاقة	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	غير متاح
نت زيرو تيسايد- بريتش بيتروليوم إيتش 2 تيسايد	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
نت زيرو تيسايد - سويس لتحويل النفايات إلى طاقة مع احتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	حرق النفايات	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
زيرو كربون هامبر - محطة كيدي 3 لاحتجاز الكربون وتخزينه	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2027	توليد الطاقة	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
دايموند فولت لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	2028	توليد الطاقة	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
إرفيا كورك لاحتجاز الكربون وتخزينه	أيرلندا	تطوير مبكر	2028	توليد الطاقة والتكرير		تخزين جيولوجي مخصص
كي 6	فرنسا	تطوير مبكر	2028	إنتاج الأسمنت	0.8	تحت التقييم
سوكواتي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	إندونيسيا	تطوير مبكر	2028	تكرير النفط	1.4	الاستخلاص المعزز للنفط

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنويا	كود تخزين المنشأة
أنتفيرب @ سي - أنتفيرب بوريياليستس لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	تطوير مبكر	2030	الإنتاج الكيميائي	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
أنتفيرب @ سي - مصفاة إكسونموبيل أنتفيرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	تطوير مبكر	2030	الإنتاج الكيميائي	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
أنتفيرب @ سي - إنيوس أنتفيرب لاحتجاز الكربون وتخزينه	بلجيكا	تطوير مبكر	2030	الإنتاج الكيميائي	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
مصنع ديف جونستون لاحتجاز الكربون وتخزينه	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	خلال 2020	توليد الطاقة	تحت التقييم	الاستخلاص المعزز للنفط
مصنع سينوبيك شنغلي لتوليد الكهرباء لاحتجاز الكربون وتخزينه	الصين	تطوير مبكر	خلال 2020	توليد الطاقة	1	الاستخلاص المعزز للنفط
كوريا - احتجاز الكربون وتخزينه 1 و2	كوريا الجنوبية	تطوير مبكر	خلال 2020	توليد الطاقة	1	تخزين جيولوجي مخصص
هيدروجين تو هامبر سالتند	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	2026-2027	إنتاج الهيدروجين	تحت التقييم	تخزين جيولوجي مخصص
إيكورن	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	منتصف 2020	متنوع	5	تخزين جيولوجي مخصص
بارنتس بلو	النرويج	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الأسمدة	2	تخزين جيولوجي مخصص
مجمع كارولين للطاقة لاحتجاز الكربون	كندا	تطوير مبكر	منتصف 2020	توليد الطاقة	3	تخزين جيولوجي مخصص
هاينت نورث ويست	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الهيدروجين		تخزين جيولوجي مخصص
احتجاز الكربون لأسمنت لافارج هولسيم	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الأسمنت	2	تحت التقييم
ناوتيكول الميثانول الأزرق للطاقة	كندا	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الميثانول	1	الاستخلاص المعزز للنفط
نت زيرو تيساید - محطة طاقة صافية	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	منتصف 2020	توليد الطاقة	تحت التقييم	تحت التقييم
باو سنترال سولاويزي للوقود النظيف وإنتاج الأمونيا مع احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	إندونيسيا	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الأسمدة	2	تحت التقييم
مشروع بولاريس لاحتجاز الكربون وتخزينه	كندا	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الهيدروجين	0.75	تخزين جيولوجي مخصص
محطة ساسكاتشيوان للطاقة الصافية	كندا	تطوير مبكر	منتصف 2020	توليد الطاقة	0.95	تحت التقييم
مشروع شارك	فنلندا	تطوير مبكر	منتصف 2020	إنتاج الهيدروجين	0.4	غير متاح
CO2 بورج	النرويج	تطوير مبكر	تحت التقييم	متنوع	0.63	غير متاح
مركز برب لاحتجاز الكربون وتخزينه	أستراليا	تطوير مبكر	تحت التقييم	تحت التقييم	5	تحت التقييم
سيكلوس لتوليد الطاقة	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	تحت التقييم	الطاقة الحيوية	2	تحت التقييم

الاسم	البلد	حالة المنشأة	تاريخ التشغيل	صناعة المنشأة	قدرة احتجاز الكربون/ مليون طن سنوياً	كود تخزين المنشأة
مركز خط أنابيب ميدواي	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة وإنتاج الهيدروجين		غير متاح
محطات كهرباء ميدواي	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة	7.6	تخزين جيولوجي مخصص
مشروع هاي نت لإنتاج الهيدروجين	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	إنتاج الهيدروجين		
محطة آيل أوف غريين للغاز الطبيعي المسال	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة		
مركز ميدواي - إيسموند وفوربيس لتخزين الكربون	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة		تخزين جيولوجي مخصص
مركز ميدواي للشحن	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة		
مشروع سوبرا إنيرجي تشاكبيري	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير مبكر	تحت التقييم	معالجة الغاز الطبيعي	تحت التقييم	تحت التقييم
وايت تيل للطاقة النظيفة	المملكة المتحدة	تطوير مبكر	تحت التقييم	توليد الطاقة	تحت التقييم	
مصنع لوست كابين للغاز	الولايات المتحدة الأمريكية	العملية معلقة	2013	معالجة الغاز الطبيعي	0.9	الاستخلاص المعزز للنفط
بيترا نوفا لاحتجاز الكربون	الولايات المتحدة الأمريكية	العملية معلقة	2017	توليد الطاقة	1.4	الاستخلاص المعزز للنفط

تمت إضافة مشروع آرثيت (تايلاند) إلى قاعدة البيانات بعد الانتهاء من حساب رقم المشروع وقدراته لهذا التقرير، وبالتالي لم يتم تضمين هذا المشروع في حساب الإجمالي ذا الصلة
تم تحديث قدرة مشروع حوض بتروبراس سانتوس بعد نشر التقرير. لذلك، فالأرقام التراكمية الظاهرة في التقرير هي 7 مليون طن سنويًا عوضاً عن 8.7 مليون طن سنويًا

المراجع

3. الحالة العالمية لتقنية الكربون وتخزينه

3.2 تحديثات أطر السياسات والأطر القانونية والتنظيمية

1. Al Amer, N. (2022) CCS in the latest IPCC report "Mitigation of Climate Change".
2. Havercroft, I. and Consoli, C. (2022) Developments and Opportunities – A Review of National Responses to CCS Under the London Protocol.

4. نظرة إقليمية عامة

4.1 نظرة إقليمية عامة: الأميركتان

1. Speer R. Oil Infrastructure to Support CC. 2021 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.saskatchewan.ca/government/news-and-media/2021/november/04/oil-infrastructure-program-expanded-to-support-carbon-capture
2. Government of Alberta. Industrial Energy Efficiency, Carbon Capture Utilization and Storage [Internet]. [cited 2022 Aug 4]. Available from: https://www.alberta.ca/industrial-energy-efficiency-carbon-capture-utilization-and-storage.aspx
3. Government of Canada. 2030 Emissions Reduction Plan. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/erp/Canada-2030-Emissions-Reduction-Plan-eng.pdf
4. International CCS Knowledge Centre. 2022 Federal Budget Signals Strong Support for Carbon Capture Technology in Canada. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/04/07/2418981/0/en/2022-Federal-Budget-Signals-Strong-Support-for-Carbon-Capture-Technology-in-Canada.html
5. Mark Segal. Canada Moves Towards Mandatory Climate Disclosure. 2021 [cited 2022 Aug 12]; Available from: 8. https://www.esgtoday.com/canada-moves-towards-mandatory-climate-disclosures/
6. Government of Canada. 2022 Budget: A plan to grow our economy and make our life more affordable. 2022.
7. Government of Canada. Discussion Paper: Geologic Carbon Storage in Ontario. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://prod-environmental-registry.s3.amazonaws.com/2022-01/Geologic%20Carbon%20Storage%20Discussion%20Paper%20-%20FinalENG%20-%202022-01-04_0.pdf
8. Williams N. Alberta picks six proposal to develop Canada's first carbon storage hubs. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.reuters.com/business/environment/enbridge-shell-among-projects-picked-explore-developing-canadas-first-carbon-2022-03-31/
9. Cherniak-Kennedy A. The Government of Alberta and the federal government advance the potential development of carbon storage hubs. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.dentons.com/en/insights/articles/2022/april/11/the-government-of-alberta-and-the-federal-government-advance-the-potential
10. Reuters. Factbox: Proposed capital projects relying on Alberta carbon capture and storage build-out. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://www.reuters.com/business/sustainable-business/proposed-capital-projects-relying-alberta-carbon-capture-storage-build-out-2022-04-05/
11. Entropy Inc. Entropy Announces Commissioning of the First Phase of CCS Project. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://carboncapturemagazine.com/articles/263/entropy-announces-commissioning-of-the-first-phase-of-ccs-project#:~:text=ADVERTISEMENT-,Entropy%20Inc.,%2C%20effective%20June%2027%2C%202022.
12. Clean Air Task Force. Carbon Management Provision in the Infrastructure Investment and Jobs Act. 2021 [Internet]. [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://www.catf.us/resource/carbon-management-provisions-in-the-infrastructure-investments-and-jobs-act/
13. US Congress. Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America fund, or the CHIPS Act, of 2022. [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 13]. Available from: https://science.house.gov/imo/media/doc/the_chips_and_science_act.pdf?mc_cid=d904691b73&mc_eid=10a5ff616d
14. Riddle J. Schumer and Manchin's Inflation Reduction Act Includes Significant Tax Incentives to Combat Climate Change [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 13]. Available from: https://www.kirkland.com/publications/kirkland-alert/2022/08/schumer-manchin-inflation-reduction-act-climate-investment
15. US Senate. Inflation Reduction Act [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 12]. Available from: https://www.democrats.senate.gov/imo/media/doc/inflation_reduction_act_of_2022.pdf
16. Council on Environmental Quality. Carbon Capture, Utilization, and Sequestration Guidance. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://www.federalregister.gov/documents/2022/02/16/2022-03205/carbon-capture-utilization-and-sequestration-guidance
17. Office of Fossil Energy and Carbon Management. FECM's Strategic Vision: Achieving Net-Zero Greenhouse Gas Emissions. 2022;
18. U.S. Department of Transportation's Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). PHMSA Announces New Safety Measures to Protect Americans From Carbon Dioxide Pipelines Failures After Satartia, MS Leak. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: 21. https://www.phmsa.dot.gov/news/phmsa-announces-new-safety-measures-protect-americans-carbon-dioxide-pipeline-failures
19. U.S. Department of the Interior - Bureau of Land Management. National Policy for the Right-of-way Authorizations Necessary for Site Characterization, Capture, Transportation, Injection, and Permanent Geologic

Sequestration of Carbon Dioxide in Connection with Carbon Sequestration Projects. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: 22. https://www.blm.gov/policy/im-2022-041
20. Securities and Exchange Commission. SEC Proposes Rules to Enhance and Standardize Climate-Related Disclosures for Investors. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://www.sec.gov/news/press-release/2022-46
21. King & Spaulding. West Virginia v. EPA: The Forecast is Cloudy for Environmental and Agency Regulation. 2022 [cited 2022 Aug 13]; Available from: https://www.kslaw.com/news-and-insights/west-virginia-v-epa-the-forecast-is-cloudy-for-environmental-and-agency-regulation
22. California Air Resources Board. DRAFT 2022 SCOPING PLAN UPDATE MAY 10, 2022. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: 22. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-05/2022-draft-sp.pdf
23. Talos. TALOS, CARBONVERT AND CHEVRON ANNOUNCE CLOSING OF PREVIOUSLY ANNOUNCED JOINT VENTURE EXPANSION OF THE BAYOU BEND CCS PROJECT OFFSHORE JEFFERSON COUNTY, TEXAS. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.talosenergy.com/investor-relations/news/news-details/2022/TALOS-CARBONVERT-AND-CHEVRON-ANNOUNCE-CLOSING-OF-PREVIOUSLY-ANNOUNCED-JOINT-VENTURE-EXPANSION-OF-THE-BAYOU-BEND-CCS-PROJECT-OFFSHORE-JEFFERSON-COUNTY-TEXAS/#:~:text=TALOS%2C%20CARBONVERT%20AND%20CHEVRON%20ANNOUNCE%20CLOSING%20OF%20PREVIOUSLY%20ANNOUNCED%20JOINT%20VENTURE%20EXPANSION%20OF%20THE%20BAYOU%20BEND%20CCS%20PROJECT%20OFFSHORE%20JEFFERSON%20COUNTY%2C%20TEXAS
24. NextDecade. NEXT Carbon Solutions and California Resources Corporation Agree to FEED Study. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://investors.next-decade.com/news-releases/news-release-details/next-carbon-solutions-and-california-resources-corporation-agree
25. Sweet C, Kramer D. Carbon America to Construct, Own and Operate the First Two Commercial Carbon Capture and Sequestration Projects in Colorado. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.businesswire.com/news/home/20220512005336/en/Carbon-America-to-Construct-Own-and-Operate-the-First-Two-Commercial-Carbon-Capture-and-Sequestration-Projects-in-Colorado
26. Reuters. Tallgrass Energy Plans to Convert Natgas Pipeline into CO2 Transport System. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: 29. https://pgjonline.com/news/2022/may/tallgrass-energy-plans-to-convert-natgas-pipeline-into-CO2-transport-system
27. Red Trail Energy LLC. Red Trail Energy begins carbon capture and storage. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://ethanolproducer.com/articles/19447/red-trail-energy-begins-carbon-capture-and-storage
28. Klinge N. Proposed Houston CCS hub gains supermajor support. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.upstreamonline.com/energy-transition/proposed-houston-ccs-hub-gains-supermajor-support/2-1-1149392
29. Takahashi P. Occidental Plans 70 Plants to Capture Carbon From Air by 2035. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-03-23/occidental-plans-70-plants-to-capture-carbon-from-air-by-2035
30. Government of Brazil. FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL Paris Agreement NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf
31. Brazilian Senate. Bill No. 1425, of 2022. 2022 [cited 2022 Aug 12]; Available from: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/153342

4.2 نظرة إقليمية عامة: آسيا والمحيط الهادئ

1. PwC. Code Red – Asia Pacific's Time to Go Green [Internet]. 2021 Nov [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.pwc.com/gx/en/asia-pacific/net-zero/asia-pacific-code-red-to-go-green.pdf
2. Global CCS Institute. The Emergence of CCS in Malaysia and Indonesia [Internet]. Global CCS Institute. 2022 [cited 2022 Jul 1]. Available from: https://www.globalccsinstitute.com/resources/multimedia-library/the-emergence-of-ccs-in-malaysia-and-indonesia/
3. Battersby A. Malaysia revs up carbon, capture and storage developments [Internet]. Upstream Online. 2022 [cited 2022 Jul 1]. Available from: https://www.upstreamonline.com/field-development/malaysia-revs-up-carbon-capture-and-storage-developments/2-1-1159919
4. PTTEP. PTTEP confirms its largest-ever gas discovery with Lang Lebah-2 appraisal well offshore Malaysia [Internet]. PTTEP Website. 2021 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.pttep.com/en/Newsandnmedia/Mediacorner/Pressreleases/
5. Jacobs T. What You Should Know About Offshore and Sour Gas CCS: High Cost, Leak Mitigation, and Transportation [Internet]. Journal of Petroleum Technology. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: What You Should Know About Offshore and Sour Gas CCS: High Cost, Leak Mitigation, and Transportation
6. Yab Dato' Sri Ismail Sabri Yaakob. Speech by the Prime Minister in the Dewan Rakyat: Twelfth Malaysia Plan 2021-2025. 2021.
7. PETRONAS. PETRONAS Declares Aspiration: To achieve net zero carbon emissions by 2050 [Internet]. 2020 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.petronas.com/media/press-release/petronas-sets-net-zero-carbon-emissions-target-2050
8. BP. SKK Migas approved Plan of Development for Ubadari Field and Vorwata CCUS [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.bp.com/en_id/indonesia/home/news/press-releases/skk-migas-approved-plan-of-development-for-ubadari-field-and-vorwata-ccus.html
9. Erwinda Maulia. BP unveils up to $3bn CCUS project in Indonesia, country's first [Internet]. Nikkei Asia. 2021 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://asia.nikkei.com/Spotlight/Environment/BP-unveils-up-to-3bn-CCUS-project-in-Indonesia-country-s-first
10. Pertamina. Pertamina – Air Liquide Agree to Collaborate in Developing CCU Technology at the Balikpapan Refinery [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 8]. Available from: https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/pertamina-air-liquide-agree-to-collaborate-in-developing-ccu-technology-at-the-balikpapan-refinery

11. Santos. Santos Announces FID on Moomba Carbon Capture and Storage Project [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.santos.com/news/santos-announces-fid-on-moomba-carbon-capture-and-storage-project/
12. Santos. Globally Significant Carbon Capture and Storage Project a Step Closer [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.santos.com/news/globally-significant-carbon-capture-and-storage-project-a-step-closer/
13. ExxonMobil. The South East Australia Carbon Capture Hub [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.exxonmobil.com.au/Energy-and-environment/Energy-resources/Upstream-operations/The-South-East-Australia-Carbon-Capture-Hub
14. Oil and Gas Today. Woodside, BP and MIMI to explore CCS project in WA [Internet]. 2021 [cited 2022 Sep 8]. Available from: https://www.oilandgastoday.com.au/woodside-bp-and-mimi-to-explore-ccs-project-in-wa/
15. MEPAU. MEPAU's Mid West Modern Energy Hub [Internet]. [cited 2022 Sep 8]. Available from: MEPAU's Mid West Modern Energy Hub
16. Taylor A. New ERF method and 2022 priorities announced [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.minister.industry.gov.au/ministers/taylor/media-releases/new-erf-method-and-2022-priorities-announced
17. Johnston B, Whitby R. Draft Bill to help WA's resources industry reduce emissions [Internet]. Media Statement from the Government of Western Australia. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.mediastatements.wa.gov.au/Pages/McGowan/2022/03/Draft-Bill-to-help-WAs-resources-industry-reduce-emissions.aspx
18. Japan CCS Co. Ltd. A groundbreaking ceremony was held for the CO2 Ship Transportation Project Tomakomai Liquefied CO2 Receiving Facility on May 23 [Internet]. Japan CCS Co. Ltd. Website. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.japanccs.com/en/news/20220524/
19. Mitsui OSK Lines. MOL and PETRONAS Sign MoU on Liquefied CO2 Transportation for CCUS [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.mol.co.jp/en/pr/2022/22019.html
20. NYK Knutsen Group. NYK and Knutsen Group Establish New Company for Liquefied CO2 Transportation and Storage Business [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.nyk.com/english/news/2022/20220118_02.
21. Mitsubishi Heavy Industries. Mitsubishi Shipbuilding Concludes Agreement on Construction of World's First Demonstration Test Ship for Liquefied CO2 Transportation — Ship Will Integrate Company's Liquefied Gas Handling Technologies, for Tomorrow's Long-distance, High-volume LCO2 Transport Needs [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.mhi.com/news/220202.html
22. HESC. The Suiso Frontier Departs Australia for Japan [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.hydrogenenergysupplychain.com/the-suiso-frontier-departs-australia-for-japan/
23. J-POWER and ENEOS. J-POWER and ENEOS collaborate on carbon neutralization of energy supply [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 4]. Available from: https://www.jpower.co.jp/english/news_release/pdf/news220510e.pdf
24. Cai B, Li Q, Zhang X. China CCUS Annual Report 2021 – China CCUS Roadmap. 2021.
25. The People's Bank of China. The People's Bank of China Launches the Carbon Emission Reduction Facility [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 20]. Available from: http://www.pbc.gov.cn/en/3688006/3995557/4385345/index.html?&&&&&&&&&header=false&footer=false&releatedInsights=false&shareInsights=true&xyz=1543190452255
26. PTTEP. PTTEP initiates Thailand's first CCS project, pushing towards Net Zero Greenhouse Gas Emissions [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.pttep.com/en/Newsandnmedia/Mediacorner/Pressreleases/Pttep-Initiates-Thailand-First-Ccs-Project-Pushing-Towards-Net-Zero-Green-House-Gas-Emissions.aspx
27. PTTEP. PTTEP, INPEX and JGC Partner to Explore Carbon Capture and Storage Project [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.pttep.com/en/Newsandnmedia/Mediacorner/Pressreleases/Pttep-Inpex-And-Jgcpartner-To-Explore-Carbon-Capture-And-Storage-Project.aspx
28. Tan F. Exxon Mobil keen to build carbon storage hubs in SE Asia, similar to Houston project [Internet]. Reuters. 2021 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.reuters.com/article/singapore-energy-exxon-mobil-idAFL4N2RI2QM
29. Santos. Santos and SK E&S Sign MoU to Develop CCS Projects in Australia [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 20]. Available from: https://www.santos.com/news/santos-and-sk-es-sign-mou-to-develop-ccs-projects-in-australia/

4,3 نظرة إقليمية عامة: أوروبا والمملكة المتحدة

1. European Commission. Innovation Fund (InnovFund) Call for proposals Innovation Fund. 2022.
2. Ministry of Economic Affairs and Climate Policy. SDE++ 2022 Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition. 2022.
3. Department of Business E and IS. Government Response to Carbon Capture Usage and Storage: Market Engagement on Cluster Sequencing. 2021.
4. European Commission. Communication From the Commission to the European Parliament and the Council: Sustainable Carbon Cycles. 2021.
5. European Commission. Innovation Fund: Key Statistics from the First Call for Large-Scale Projects. Brussels: European Commission; 2022.
6. European Commission. Innovation Fund Second Call for Large Scale Projects: List of Proposals Pre-selected for a Grant. 2022.
7. European Commission. Innovation Fund: EU invests €1.8 Billion in Clean Tech Projects. 2022.
8. European Commission. Questions and Answers on the EU Taxonomy Complementary Climate Delegated Act Covering Certain Nuclear and Gas Activities. 2022.

9. Department for Business E and IS. Track-1 Clusters Confirmed. 2021.
10. Department for Business E and IS. The Carbon Capture and Storage Infrastructure Fund: An Update on its Design. 2021.
11. UK Government. CCUS Innovation 2.0 Call 2 Guidance. Department of Business Industry Energy & Industry Strategy. 2022.
12. UK Government. CCUS Investor Roadmap: Capturing Carbon and a Global Opportunity. 2022.
13. Scottish Government. Scottish Cluster Support. https://www.gov.scot/news/scottish-cluster-support/. 2022.
14. Netherlands Enterprise Agency. SDE++ 2022: Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 14]. Available from: https://english.rvo.nl/sites/default/files/2022/07/20220712-English-brochure-opening-round-2022_1.pdf
15. Porthos CO2 Transport and Storage. Dutch Government Supports Porthos Customers with SDE++ Subsidy Reservation. 2021.
16. Danish Energy Agency. Invitation to Second Market Dialogue - CCUS Fund. 2022; Available from: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CCS/note_regarding_second_round_of_market_dialogue_-_07.03.2022.pdf
17. Energy Technology Development and Demonstration Program. About the EUDP.
18. The Danish Ministry of Climate E and U. Denmark, Flanders and Belgium sign groundbreaking arrangement on cross-border transportation of CO2 for geological storage. https://en.kefm.dk/news/news-archive/2022/sep/denmark-flanders-and-belgium-sign-groundbreaking-arrangement-on-cross-border-transportation-of-CO2-for-geological-storage-. 2022.
19. European Commission. Commission awards over €1 billion to innovative projects for the EU climate transition. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2163. 2022.
20. European Commission. Innovation Fund Second Call for Large Scale Projects: List of Proposals Pre-selected for a Grant. 2022.
21. HeidelbergCement Group. Norcem Brevik. https://www.heidelbergmaterials.com/en/pr-15-12-2020
22. Drax. Drax submits plans to build world's largest carbon capture and storage project. https://www.drax.com/press_release/drax-submits-plans-to-build-worlds-largest-carbon-capture-and-storage-project/. 2022.
23. H21 North of England. Revolutionary Thinking. Real World Infrastructure. https://together.northerngasnetworks.co.uk/wp-content/uploads/2019/03/H21-NoE-Exec-Sum-Print-Final.pdf. H21 North of England; 2018.

4.4 نظرة إقليمية عامة: منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

1. Lienard C. Mitigating climate change in the MENA: shifting to a new paradigm. 2022.
2. Eman Mounir. Electricity has the largest share of emissions. https://climatetracker.org/electricity-has-the-largest-share-of-emissions/. 2022;
3. Staib C, Zhang T, Burrows J, Gillespie A, Havercroft I, Rassool D, et al. Global Status of CCS 2021. 2021.
4. Ringrose PS, Mathieson AS, Wright IW, Selama F, Hansen O, Bissell R, et al. The in salah CO2 storage project: Lessons learned and knowledge transfer. In: Energy Procedia. Elsevier Ltd; 2013. p. 6226–36.
5. Zakkour P, Heidug W. A Mechanism for CCS in the Post-Paris Era [Internet]. Riyadh, Saudi Arabia; 2019 Apr. Available from: https://www.kapsarc.org/research/publications/a-mechanism-for-ccs-in-the-post-paris-era/
6. Hutchinson G, Sriram D. The Middle East: COP26 and the journey to net zero [Internet]. 2021 [cited 2022 Sep 5]. Available from: https://sustainablefutures.linklaters.com/post/102hes8/the-middle-east-cop26-and-the-journey-to-net-zero
7. Hamrakrouha M, Parris R, McCluskey C, Laher I, Nixon K. FOCUS ON HYDROGEN: THE NEW OIL IN THE MIDDLE EAST? 2021.
8. UAE Industrial Strategy. Operation 300bn, the UAE's industrial strategy [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 5]. Available from: https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/federal-governments-strategies-and-plans/the-uae-industrial-strategy
9. Zeynep Beyza Kilic. Qatar to store more than 5M tons of CO2 a year by 2025. https://www.aa.com.tr/en/energy/projects/qatar-to-store-more-than-5m-tons-of-CO2-a-year-by-2025/26924. 2019;
10. Energy Review. Qatar's Giant Gas Project Welcomes a Newcomer [Internet]. Energy Review MENA. 2022 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.energyreviewmena.com/index.php/article/financial-news/item/1297-qatar-s-giant-gas-project-welcomes-a-newcomer
11. Tank News. ADNOC Moving Ahead with Plans to Expand Its CO2 Capture to Boost Oil Recovery [Internet]. 2018 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://tanknewsinternational.com/adnoc-moving-ahead-with-plans-to-expand-its-CO2-capture-to-boost-oil-recovery/
12. Aaesha Khalfan Al Keebali. Building Momentum for CCUS in the Gulf Region and Around the Globe: adnoc and the united arab emirates. GCCSI Webinar. 2021.
13. AFRY & GaffneyCline. CCUS deployment challenges and opportunities for the GCC A report prepared for the Oil and Gas Climate Initiative. 2022.
14. Hupart R, Adeyemo O, Beck B. DIAGNOSTIC AND SCOPING: INDUSTRIAL CCUS IN NIGERIA INCEPTION WORKSHOP. 2022.
15. ADGM. Abu Dhabi to launch the first regulated carbon credit trading exchange and clearing house in the world [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.adgm.com/media/announcements/abu-dhabi-to-launch-first-regulated-carbon-credit-trading-exchange-and-clearing-house-in-the-world
16. Enterprise. What can we expect from the planned local carbon credit exchange? [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://enterprise.press/stories/2022/05/10/what-can-we-expect-from-the-planned-local-carbon-credit-exchange-70593/
17. Al-Zayer F. KSA's voluntary carbon market initiative leads the way to a greener economy. 2022;
18. Middle East and North AfricaClimate Week 2022. Middle East and North Africa Climate Week 2022 Output Report [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://unfccc.int/MENA-CW2022
19. Pekic S. Shell joins QatarEnergy's North Field East LNG expansion. https://www.offshore-energy.biz/shell-joins-qatarenergys-north-field-east-lng-expansion/. 2022.

5. التحليل

5.1 أسواق الكربون

1. International Carbon Action Partnership. ICAP ETS map [Internet]. [cited 2022 Aug 4]. Available from: https://icapcarbonaction.com/en/ets
2. European Commission. Implementation of the CCS Directive [Internet]. Implementation of the CCS Directive. 2022 [cited 2022 Jun 21]. Available from: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/carbon-capture-use-and-storage/implementation-ccs-directive_en
3. California Air Resources Board. Carbon Capture and Sequestration Protocol under the Low Carbon Fuel Standard. 2018.
4. Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government. Tokyo Cap-and-Trade Program [Internet]. Tokyo Cap-and-Trade Program. 2022 [cited 2022 Jun 15]. Available from: https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/climate/cap_and_trade/index.html
5. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. The Carbon Market - a Green Economy Growth Tool! [Internet]. The Carbon Market - a Green Economy Growth Tool! 2022 [cited 2022 Jun 14]. Available from: https://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/marche-carbone_en.asp
6. The Oxford Institute for Energy Studies. The Evolution of Carbon Markets and their Role in Climate Mitigation and Sustainable Development. New Oxford Energy Forum . 2022 Jun;
7. IETA. CLPC_A6 summary_highres no crops. 2019.
8. CCS+ Initiative [Internet]. [cited 2022 Aug 12]. Available from: https://www.ccsplus.org/
9. KAPSARC. Carbon Sequestration Units (CSUs): A New Tool to Mitigate Carbon Emissions.
10. OGCI. Study on carbon storage units and obligations under Article 6 of the Paris Agreement [Internet]. Oil and Gas Climate Initiative . [cited 2022 Aug 12]. Available from: Study on carbon storage units and obligations under Article 6 of the Paris Agreement
11. Oxford Martin School. Making fossil fuel extractors clean up after themselves is affordable and low-risk.

5.3 الهيدروجين

1. Hydrogen Council. Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition. 2017.
2. HESC. Successful Completion of Pilot Project Report [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 5]. Available from: https://drive.google.com/file/d/127L2epevYr7XNEx2XEY-il05x9llL-A1/view
3. International Trade Rules for Hydrogen and its Carriers: Information and Issues for Consideration [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 5]. Available from: https://www.iphe.net/_files/ugd/45185a_29c90ec0ea15463eadf5d585cfd7b20a.pdf
4. International Energy Agency. Global Hydrogen Review 2021 [Internet]. 2021 Nov. Available from: www.iea.org/t&c

5.5 الصناعة

1. Ellis LD, Badel AF, Chiang ML, J-Y Park R, Chiang YM. Toward electrochemical synthesis of cement-An electrolyzer-based process for decarbonating CaCO3 while producing useful gas streams. PNAS [Internet]. 2019 [cited 2022 Jul 22];117(23). Available from: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1821673116
2. Kearns D, Liu H, Consoli C. TECHNOLOGY READINESS AND COSTS OF CCS. 2021 Mar.

5.6 تطور التخزين

1. Santos. Globally significant carbon capture and storage project a step closer. https://www.santos.com/news/globally-significant-carbon-capture-and-storage-project-a-step-closer/. 2022.
2. Hoffman N, George Carman, Mohammad Bagheri, Todd Goebel, The CarbonNet Project. Site characterisation for carbon storage in the near shore Gippsland Basin. Melbourne; 2015.

5.7 البنية التحتية

1. Proposed Houston CCS hub gains supermajor support | Upstream Online [Internet]. [cited 2022 Jul 22]. Available from: https://www.upstreamonline.com/energy-transition/proposed-houston-ccs-hub-gains-supermajor-support/2-1-1149392
2. East Coast Cluster [Internet]. [cited 2022 Jul 22]. Available from: https://eastcoastcluster.co.uk/
3. Ole Ketil Helgesen. Equinor and Fluxys unveil plans for CO2 pipeline from Belgium to Norwegian offshore CCS | Upstream Online [Internet]. Upstream Online. 2022 [cited 2022 Jul 22]. Available from: https://www.upstreamonline.com/energy-transition/equinor-and-fluxys-unveil-plans-for-CO2-pipeline-from-belgium-to-norwegian-offshore-ccs/2-1-1247604
4. Northern Lights. What it takes to ship CO2 [Internet]. [cited 2022 Jul 22]. Available from: https://norlights.com/news/what-it-takes-to-ship-CO2/
5. Carbfix. Carbfix signs agreement with Danish shipping company for the transfer of CO2 [Internet]. [cited 2022 Jul 22]. Available from: https://www.carbfix.com/carbfix-signs-agreement-with--danish-shipping-company-for-the-transfer-of-CO2

6. الملاحق

6.1 التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون

1. IPCC. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage [Internet]. Cambridge; 2005 [cited 2022 Aug 31]. Available from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf
2. CarbFix. CarbFix: How it works [Internet]. 2022 [cited 2022 Jul 14]. Available from: https://www.carbfix.com/how-it-works
3. OGCI, Global CCS Institute, Storegga. CO2 Storage Resource Catalogue Cycle 3 Report [Internet]. 2022 Mar [cited 2022 Aug 29]. Available from: https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2022/03/CSRC_Cycle_3_Main_Report_Final.pdf
4. Santos. Positioned for Success: Annual Report 2021 [Internet]. 2021 [cited 2022 Aug 8]. Available from: https://www.santos.com/wp-content/uploads/2022/02/2021-Annual-Report.pdf

GLOBAL CCS INSTITUTE

لمعرفة المزيد عن المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، بما في ذلك حول العضوية والخدمات الاستشارية التي نقدمها، تفضلوا بزيارة موقع المعهد: globalccsinstitute.com ، أو تواصلوا معنا.

الأميركتان
واشنطن العاصمة، الولايات المتحدة
americasoffice@globalccsinstitute.com

استراليا
ملبورن، استراليا
info@globalccsinstitute.com

الصين
بكين، الصين
chinaoffice@globalccsinstitute.com

أوروبا
بروكسل، بلجيكا
europeoffice@globalccsinstitute.com

الشرق الأوسط وشمال إفريقيا
أبوظبي، الامارات العربية المتحدة
menaregion@globalccsinstitute.com

المملكة المتحدة
لندن، المملكة المتحدة
ukoffice@globalccsinstitute.com

اليابان
طوكيو، اليابان
japanoffice@globalccsinstitute.com

حقوق النشر محفوظة © Global CCS Institute 2022

يؤمن المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه بأن هذه الوثيقة تمثل تمثيلاً عادلاً الحالة القانونية القائمة ضمن المجالات الرئيسية والسلطات القضائية المنظور فيها في التقرير. ومع ذلك، هذا لا يعني أنها تمثل مشورة قانونية مهنية أو يمكن الاستعاضة بها عن المشورة القانونية.

عمل المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون على أن تكون المعلومات الواردة في هذا التقرير دقيقة قدر الإمكان. ومع ذلك، فالمعهد لا يضمن أن تكون المعلومات الواردة في هذا التقرير موثوقة تماماً أو دقيقة أو كاملة. لذلك، لا ينبغي الاعتماد على المعلومات الواردة في التقرير عند اتخاذ قرارات استثمارية أو تجارية أو تقديمها إلى أي طرف ثالث دون إذن كتابي من قبل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه.

البيانات الواردة في هذا التقرير حول تفسير أو تطبيق التشريعات واللوائح الخاصة بحقن ثاني أكسيد الكربون وتخزينه تعبر عن المعهد العالمي لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه فقط، ولا ينبغي اعتبارها تصريحات رسمية من حكومة كندا أو الدوائر الحكومية المسؤولة عن إدارتها.

لا يتحمّل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه مسؤوليةً استمرارية أو دقة عناوين الإنترنت (URLs) التي تقود إلى مواقع إنترنيت خارجية أو تابعة لطرف ثالث من تلك المشار إليها في هذا التقرير، كذلك لا يضمن المعهد أن يكون محتوى مثل هذه المواقع دقيقاً أو ملائماً في حينه، أو سيظلّ كذلك. وإلى أقصى درجة ممكنة، لا يقبل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، ومستشارو المعهد وموظفوه، المسؤولية (بما في ذلك مسؤولية الإهمال) عن أيّ استخدام للمعلومات الواردة في هذا التقرير أو أي اعتماد عليها، بما في ذلك أي قرارات تجارية أو استثمارية تُتخذ على أساس المعلومات الواردة في هذا التقرير.