# التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه

## كتيب لواضعي السياسات

## خطاب الافتتاحية من السكرتيرة رايموندو

إن تغير المناخ يمثل تحديًا كبيرًا وعالميًا. وقد نهضت الولايات المتحدة لمواجهة هذا التحدي. وفي الأمر التنفيذي رقم 14008، أدركت الإدارة أنه قد آن الأوان للعمل على تجنب آثار أزمة المناخ التي تعد الأسوأ وكذلك اغتنام الفرصة التي تتيحها معالجة تغير المناخ. وتشارك وزارة التجارة الأمريكية في هذا الجهد الشامل الذي تبذله الحكومة بأكملها لمواجهة التحديات المناخية وضمان الانتقال العادل والسريع إلى مستقبل أكثر استدامة وازدهارًا ذي انبعاثات منخفضة من الكربون.

وبالإضافة إلى جهود التخفيف واسعة النطاق، أشارت الإدارة إلى أن تلبية طموحات المناخ العالمي ستتطلب عملية نشر مسؤولة لتقنيات التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) وإزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR). إن عملية التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) تلعب دورًا حاسمًا في القطاعات الصناعية حيث يصعب معالجة الانبعاثات. وبالمثل، يمكن أن تساعد عملية CDR في إزالة $CO_2$ من الهواء المحيط. هذا وتعمل الولايات المتحدة وشركاؤها الآن على مساعدة البلدان على تبني سياسات CCUS، وتعبئة عمليات تمويل المناخ، واستخدام تقنياتها وممارساتها، وإصلاح القوانين واللوائح لجذب استثمارات مسؤولة في CCUS.

في وزارة التجارة الأمريكية، ساعد برنامج تطوير القانون التجاري (CLDP) التابع لمكتب المستشار العام البلدان على تحديث قوانينها ولوائحها التجارية لأكثر من 30 عامًا. والآن، وبتمويل ودعم من مكتب موارد الطاقة (ENR) التابع لوزارة الخارجية الأمريكية، نظم برنامج تطوير القانون التجاري CLDP دليلًا مجانيًا سهل الوصول إليه ومناسبًا للغرض لواضعي السياسات والمنظمين حول كيفية تحفيز الاستثمار في التقاط انبعاثات $CO_2$ للاستخدام أو التخزين الدائم.

أثناء إعداد الدليل، حرص القائمون على برنامج تطوير القانون التجاري CLDP بتشكيل مجموعة من الخبراء في مجال CCUS من حكومة الولايات المتحدة والمؤسسات متعددة الأطراف والمنظمات غير الحكومية والصناعة والأوساط الأكاديمية. وتطوع هؤلاء المؤلفون والعديد من داعمي الدليل الآخرين مجتمعين بساعات لا حصر لها. وأسفر هذا الجهد عن إعداد دليل يمكن استخدامه الآن من قبل المشرعين ومسؤولي الوزارات والجهات التنظيمية

في جميع أنحاء العالم لصياغة واعتماد وإنفاذ تشريعات جديدة من شأنها تسريع نشر تكنولوجيا CCUS.

هذا الدليل يوسع أيضًا نطاق السلسلة التي طورها برنامج تطوير القانون التجاري. هذه السلسلة بدأت بإرشادات فهم الطاقة الخاصة بنا والتي ترعاها Power Africa: مصدر مفتوح ومكتبة معرفية تشتمل على مجموعة من الكتب المكتوبة بلغة بسيطة والتي تشرح مجموعة من المواضيع الأساسية في عقود مشاريع الطاقة والتمويل والمشتريات. بالشراكة مع ENR: استمرت السلسلة بأدلة إرشادية جديدة لإزالة الكربون. وكان أول دليل إرشادي جديد لإزالة الكربون يتعلق بتقليل غاز الميثان الناتج عن النفط والغاز. هذه الكتيبات تعمل على تعزيز أهداف وزارات التجارة الأمريكية وأهداف التجارة في مجال التكنولوجيا النظيفة والمناخ بالإضافة إلى دعم أهداف المناخ العالمية.

أنا ممتنة لبرنامج تطوير القانون التجاري والمؤلفين والرعاة والداعمين لتطوير هذه المساهمة المهمة في جهدنا الجماعي لاغتنام الفرصة. وبالعمل معًا، يمكننا معالجة أزمة المناخ وتطوير حلول إبداعية والارتقاء إلى مستوى التحدي.

جينا م. ريموندو

وزيرة التجارة الأمريكية

# المحتويات


دليل لهذا الكتاب 7

ملخص تنفيذي 13

1. لماذا الكربون؟ 17

$CO_2$ ومساهمته في تغير المناخ 18
نهج التخفيف من آثار تغير المناخ 21
ما هو CCUS؟ 21

2. ما هو التقاط الكربون ونقله واستخدامه وتخزينه؟ 25

مقدمة 26
الالتقاط 28
النقل 32
التخزين 33
الاستخدام 36
اعتبارات شاملة 38

3. المشاركة في مشروع CCUS 40

مقدمة 41
الجهات الفاعلة الرئيسة 47
عمليات المشاركة التركيز على المجتمع 52

**4. بناء القدرات** **58**

مقدمة 59
احتياجات القوى العاملة لمشروع CCUS 60
تطوير القوى العاملة لمشروع CCUS 62
البحث والتطوير والانتشار 67

**5. خارطة طريق لوضع الأطر القانونية والتنظيمية** **75**

مقدمة 76
خارطة طريق لوضع إطار العمل 77

**6. موارد ومسؤوليات الأُطر** **83**

مقدمة 84
المعايير الدولية 85
أطر المحرك المبكر 88
الاتفاقيات الدولية 90

**7. أُطر العمل المخصصة للمشروع** **96**

مقدمة 97
أفضل ممارسات أُطر العمل المخصصة للمشروع 104

**8. التمويل والحوافز** 107

مقدمة 108
اقتصاديات مشاريع CCUS 111
القابلية المصرفية وإزالة المخاطر المالية لـ CCUS 112
القروض والضمانات المالية 122
أسواق المنتجات منخفضة الكربون 123
العواقب غير المقصودة 123
الدوافع الخارجية 123

**9. موارد إضافية** 127

**المختصرات** 134

**المسرد** 137

**ملحوظة** 144

**بيانات النسخ** 157

# دليل لهذا الكتاب

## لمن هذا الكتاب؟

لقد تعهد المجتمع الدولي بالعمل على الحد بشكل سريع من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) الناتجة من النفط والطاقة والتصنيع وغيرها من القطاعات كثيفة الانبعاثات لتحقيق الأهداف وتعزيز الأمن الاقتصادي وأمن الطاقة. ومع ذلك، لاتزال العديد من البلدان تسعى إلى فهم كيفية تحقيق هذه الأهداف وبصفة خاصة من خلال استخدام وانتشار التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS). يقدم هذا الكتاب للمسؤولين الحكوميين مجموعة من الخيارات الخاصة بتكنولوجيا CCUS، ويوجه تصميم الأطر القانونية والتنظيمية وتنفيذها التي من شأنها تحفيز الاستثمار الخاص والمستدام في مشاريع CCUS، بناءً على الدروس المستفادة من المخططات التنظيمية في مختلف البلدان. كما يمكن لواضعي السياسات والهيئات التنظيمية من الاقتصادات الناشئة الاستفادة من هذا الدليل، بما في ذلك تلك الموجودة في آسيا،[1] الذين يدرسون أو يتابعون بنشاط أي جزء من سلسلة CCUS القيّمة.

## ما هو نطاق هذا الكتاب؟

هذا الكتاب يوفر معلومات لدعم واضعي السياسات في تطوير وتنفيذ سياسات مشروع CCUS الفعالة ولوائحها التنظيمية. كما يصف التقنيات والأطر السياسية والقانونية/ التنظيمية والمشاركة عبر سلسلة CCUS القيّمة. هذا الكتاب يغطي بعض تقنيات CCUS المحددة بعمق ويركز على النقاط البارزة في الموضوعات الأخرى. ولا يهدف الكتاب إلى الدفاع عن مجموعة معينة من سياسات CCUS ولكنه يوفر نظرة عامة على الخيارات.

## من ألف هذا الكتاب؟

المؤلفون هم من ممارسي قطاع الطاقة المتنوعين، بما في ذلك المسؤولين الحكوميين والمهندسين وخبراء السياسة العامة والمحامين والأكاديميين ويتضمن هذا الكتاب خبرتهم العملية الجماعية ومعارفهم الحالية. ويمثل المواقف السياسية للمنظمات والمؤسسات والبلدان والشركات أو كليهما معًا التي ينتمي إليها المؤلفون الأفراد أو كانوا تابعين لها. وللحصول على هذه

الآراء، يُرجى الرجوع إلى المنشورات والمواقع الإلكترونية الخاصة بالمنظمات والمؤسسات والبلدان و/أو الشركات المعنية.

تعد معالجة أزمة المناخ قضية حاسمة في العديد من البلدان. ويشير العديد من الخبراء والمنظمات إلى أن العملية الأساسية في التخفيف من انبعاثات $CO_2$ وما يرتبط بها من تأثيرات الغازات الدفيئة هي من خلال استخدام CCUS. ويأمل المؤلفون أن يؤدي هذا الكتيب إلى تطوير وتنفيذ سياسات ولوائح CCUS والمساهمة في خفض انبعاثات $CO_2$ العالمية من القطاعات التي يصعب التخفيف من انبعاثاتها.

## كيف تم انتاج هذا الكتاب؟

أُنتج الكتاب باستخدام طريقة Book Sprints (www.booksprints.net)، التي تسمح بصياغة وتحرير ونشر منتج كامل في خمسة أيام فقط.

يتقدم المؤلفون بالشكر الجزيل لميسري Book Sprints، باربرا روهلينج وآنا روكساس، على توجيهاتهم الصبورة وقيادتهم الراسخة طوال عملية الصياغة التي استغرقت ما يقرب من 75 ساعة. كما يشكر المؤلفون أيضًا هنريك فان ليوين ولينارت ولفيرت على تحويل رسوماتنا التي أعدت في عُجالة إلى رسوم توضيحية جميلة وذات معنى، كما يتوجهون بالشكر إلى أجاثا بايز على تصميم الكتاب. نود أيضًا أن نشيد بالعمل الدؤوب الذي قام به محررو نسخ Book Sprints رايوين وايت وكريستين ديفيس.

يود المؤلفون أن يشيدوا بالأفراد والمؤسسات التالية أسماؤهم الذين ساعدوا في تركيز الحوار حول بناء توافق في الآراء حول إمكانات هذا الكتيب: مكتب موارد الطاقة و وزارة الخارجية الأمريكية؛ ستيفن جاردنر وكينيون ويفر (برنامج تطوير القانون التجاري، وزارة التجارة الأمريكية). يود المؤلفون أيضًا أن يتوجهوا بالشكر إلى أولئك الذين قدموا الدعم طوال عملية الصياغة. ويشمل هذا ايان هافركروفت من معهد CCS العالمي؛ وتيم ديكسون من IEAGHG؛ وسافيتا باومان من ClearPath؛ والدكتورة/ سالي جرينبيرج والدكتور شون برينان من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية وأليك مولي و وليم بيتس من وكالة حماية البيئة الأمريكية وتوبي لوكوود من فرقة عمل الهواء النظيف والدكتور/ أوديان سينغ وإيزابيلا كوربورا من مجلس أعمال الكربون والدكتور أوين تاكر من

شركة شل الدولية للبترول المحدودة والدكتورة/ سوزان هوفوركا من مكتب الجيولوجيا الاقتصادية بجامعة تكساس في اوستن؛ CLIMIT؛ وماسي مايز؛ Tara Wildlife (مكان تجمع Book Sprint)؛ وعائلاتنا. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء قدر كبير من التخطيط والتطوير لوضع تصور لهذا الكتيب. يود المؤلفون أيضًا أن يتوجهوا بالشكر إلى مكتب موارد الطاقة وبرنامج حوكمة الطاقة والمعادن (EMGP) التابع لوزارة الخارجية الأمريكية على الرعاية السخية المقدمة بالإضافة إلى تمويل هذا الكتاب بالكامل.

## كيف يمكنني استخدام هذا الكتاب؟

في تقليد تبادل المعرفة مفتوحة المصدر، يهدف هذا الكتيب إلى عكس الطبيعة الحيوية لعملية تأليف الكتاب بشكل جماعي Book Sprints ويكون بمثابة مرجع ونقطة انطلاق لمزيد من المناقشة والمنح الدراسية. صدر بموجب الرخصة الدولية Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY NO SA). وعند اختيار ترخيص النشر هذا، نرحب بأي شخص لنسخ النص واقتباسه وإعادة صياغته وترجمته وإعادة استخدامه لأي غرض دون الحصول على إذن من المؤلفين، طالما أن العمل الناتج صدر أيضًا بموجب ترخيص المشاع الإبداعي. نُشر الدليل في البداية باللغة الإنجليزية. وقد يُتبع بترجمة له قريبًا كما أنه متاح بالصيغة الإلكترونية على https://cldp.doc.gov/resources وبالصيغة المطبوعة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الدليل باعتباره مورد تفاعلي عبر الْإِنْتَرْنِتِ. كما يلتزم العديد من المؤلفين المساهمين أيضًا بالعمل داخل مؤسساتهم من أجل استخدام هذا المورد كأساس للدورات التدريبية ومبادرات المساعدة الفنية.

أطيب التحيات،

المؤلفون المساهمون

المؤلفون أثناء تأليف الكتاب بشكل جماعي "Book Sprint"
من اليسار لليمين: بريا، اتسومازا، فيكرام، باميلا، انجفيلد، جورج،
ريتشارد، وخوسيه

**فيكرام فيشال، دُكْتوراه**
*المركز القومي للتميز في التقاط الكربون واستخدامه (CCU)*
*المعهد الهندي للتكنولوجيا، بومباي*
*اورجانوفاسي برايفت ليمتد*
(الهند)

**اتسومازا ساكاي**
*بنك التنمية الآسيوي*
(الفلبين)

**بريا براساد**
*برنامج تطوير القانون التجاري*
*وزارة التجارة الأمريكية*
(الولايات المتحدة)

**خوسيه بينيتيز توريس**
*مكتب الطاقة الأحفورية وإدارة الكربون:*
*وزارة الطاقة الأمريكية*
(الولايات المتحدة)

**انجفيلد اومبدزتفيدت**
*قانون المنظمة الدولية للهجرة IOM*
(النرويج)

**ريتشارد اسبوزيتو، دُكْتوراه**
*الشركة الجنوبية*
*المركز الوطني الأمريكي لالتقاط الكربون*
(الولايات المتحدة)

**جورج كوبرنا**
*شركة الموارد المتقدمة الدولية*
(الولايات المتحدة)

**باميلا تومسكي**
*شركة ENTECH Strategies, LLC*
*التجربة البحثية في عزل الكربون (RECS)*
(الولايات المتحدة)

# ملخص تنفيذي

سيكون التقاط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) بمثابة أداة حيوية للحد من تغير المناخ. ولذلك تسعى البلدان إلى تسريع الاستثمار في تكنولوجيا CCUS: التقاط $CO_2$ واستخدامه وتخزينه. هذا وقد عُرض مشروع CCUS بنجاح على نطاق تجاري. ويتمثل التحدي الآن في تحفيز الاستثمار الكافي في مشروع CCUS، وبصفة خاصة في تلك الصناعات التي يصعب فيها تقليل الانبعاثات. كما تستعد الاقتصادات الناشئة بشكل خاص للاستفادة من الاستثمار في تكنولوجيا CCUS، والاستفادة من التكلفة المنخفضة نسبيًا والاستثمار عبر الحدود.

يعد هذا الكتيب بمثابة دليل لواضعي السياسات حول كيفية تبني تلك السياسات والقوانين واللوائح التي من شأنها أن تساعد في ذلك النجاح في جذب الاستثمار الخاص المسؤول إلى مشاريع CCUS. نحن نحدد مجموعة السياسات والقوانين واللوائح التنظيمية الخاصة بالدولة التي تحكم الاستثمار في المشروع على أنها "إطار عمل". وقد تم تخزين $CO_2$ تجاريًا لمدة 30 عامًا تقريبًا. إن العديد من البلدان لديها بالفعل سياسات وقوانين ولوائح تنظيمية طويلة الأمد ومختبرة عبر الزمن والتي تحكم النفط والغاز، وغالبًا ما ينظرون إلى قطاع النفط والغاز لديهم كمصدر للتوجيه بشأن السياسات والقوانين واللوائح التي تحكم CCUS. ولكن مشروع CCUS يتميز باعتبارات خاصة فيما يتعلق بإنشاء القيمة والتكنولوجيا والمشاركة المجتمعية وبناء القدرات والمخاطر والعقوبات المالية والحوافز، مما يشكل تحديًا أمام صناع السياسات المسؤولين عن إنشاء إطار عمل استثماري من أجل تكنولوجيا CCUS، ويهدد بإبطاء الاستثمارات الضرورية. والشركات المستعدة لإنفاق قدر كبير من رأس المال على مشروع CCUS ستنظر في سياسات الدولة وقوانينها ولوائحها التنظيمية - إطارها المحلي فيما يتعلق بمشروع CCUS - وسوف تختار الاستثمار في بلد لديه إطار عمل موثوق به فيما يتعلق بمشروع CCUS على حساب بلد لا يمتلكه.

في البداية، مشروع CCUS هو عبارة عن مجموعة من المكونات المترابطة المختلفة: الالتقاط والنقل والاستخدام والتخزين. ويتطلب كل عنصر من هذه المكونات بنيته التحتية الخاصة، وبالتالي إدارته الخاصة. وتشتمل مكونات التقاط الكربون على معدات الالتقاط في المنشآت الصناعية ومحطات الطاقة ومرافق الإزالة. بعد الالتقاط، غالبًا ما يجب نقل $CO_2$ إلى المكان الذي سيتم استخدامه فيه أو تخزينه. ويمكن نقل $CO_2$ عن طريق خطوط الأنابيب والسكك

الحديدية والسفن / الصنادل والشاحنات إلى مرافق التخزين و الاستخدام أو كلاهما مَعًا. والاستخدام يعني استخدام $CO_2$ المحتجز والذي يؤدي إلى انخفاض صافي انبعاثات $CO_2$. ويُخزن $CO_2$ المحتجز في المرافق بشكل دائم في التكوينات الجيولوجية. ويقدم الفصل الثاني شرحًا تفصيليًا لمشروع CCUS.

ينطوي هذا الدليل على توصية لصناع السياسات بالاستعداد لإنشاء إطار عمل CCUS، بأن يقوموا أولاً بوضع إجراءات لإشراك أصحاب المصلحة وبناء القدرات. وهذه هي موضوعات الفصلين الثالث والرابع. ومن أ جل إعداد إطار عمل لـ CCUS يتسم بالمتانة، وإنشاء مشاريع CCUS فردية في الوقت المحدد "ضمن" الموازنة - يجب مشاركة أصحاب المصلحة ضمن عملية تطوير إطار العمل. يوضح الفصل رقم (3) أن أحد أهم المخاطر التي تواجه مشاريع CCUS هو الافتقار إلى التنسيق بين الجهات الفاعلة الرئيسة في CCUS: صناع السياسات والمنظمين ومطوري المشاريع والمجتمعات العامة/ المحلية. ومن المخاطر الأخرى الافتقار إلى القدرات بين الجهات الفاعلة الرئيسية في CCUS. ويوضح الفصل الرابع كيف يمكن لواضعي السياسات توفير القدرات لكل من هذه الجهات الفاعلة الرئيسة: قدرة واضعي السياسات على اعتماد إطار عمل دائم لمشروع CCUS وقدرة الجهة التنظيمية على تنفيذ قواعد المشروع وقدرة مطور المشروع على بناء مشاريع CCUS وفقًا لتلك القواعد وقدرة القوى المحلية في البلاد على تلبية احتياجات مشاريع CCUS.

مع وجود عمليات مشاركة أصحاب المصلحة و وضع إجراءات بناء القدرات، تكون الحكومة مستعدة لاعتماد إطار عمل CCUS. ويحدد الفصل الخامس عملية مكونة من ست خطوات لوضع إطار عمل CCUS الذي يفي بمتطلبات وتوقعات القطاعين العام والخاص وتحفيز الاستثمار في البنية التحتية الجديدة الخاصة بالالتقاط والنقل والاستخدام والتخزين. وتبدأ الخطوة الأولى باعتماد سياسة (أو استراتيجية) واضحة المعالم تعلن فيها اهتمام الدولة بالاستثمار المسؤول في CCUS وكيفية المضي قدمًا في اعتماد إطار عمل الاستثمار. ويعمل ذلك على تمهيد الطريق لواضعي السياسات لتحديد المجالات التي يلزم فيها اعتماد القوانين واللوائح أو تعديلها لجذب المطورين والتمويل لمشاريع CCUS.

عند اعتماد وتعديل هذه القوانين واللوائح، لا يعتمد صناع السياسات على أنفسهم. ويشرح الفصل السادس كيف يمكن لواضعي السياسات أن يبدأوا

أولاً بفهم التزاماتهم بموجب القانون الدولي والمجموعة الحالية من المعايير الدولية الخاصة بمشروع CCUS. هناك عدد من الاتفاقيات الدولية القائمة التي تلزم البلدان بشأن كيفية إدارة الاستثمار في مشروع CCUS محليًا وعبر الحدود. بالإضافة إلى ذلك، فإن المنظمة الدولية للمعايير (ISO) لديها ما يتعلق بمشروع CCUS ويمكن أن تكون هذه المعايير مصدرًا مفيدًا للتوجيه التنظيمي لإطار عمل مشروع CCUS الذي يحفز الاستثمار المسؤول.

إن التوسع الحقيقي هو الاستثمار في مشروع CCUS من أجل مواجهة التحدي المناخي الذي سيتطلب التمويل. ولذلك فمن الضروري أن يفهم واضعوا السياسات اقتصاديات مشاريع CCUS وكيف ينبغي للحكومات أن تضع نفسها في موضع يسمح لها بجذب الإقراض المسؤول. ويوضح الفصل السابع كيفية جعل مشاريع CCUS "قابلة للتمويل": تحديد قيمتها لمخاطر القروض المقدمة من المؤسسات المالية. وتحتاج البلدان إلى وضع إطار قانوني وتنظيمي لمشروع CCUS من أجل الانتشار الآمن والمأمون لتقنيات المشروع. وسوف يحدد إطار عمل مشروع CCUS ما إذا كان المشروع قابلاً للتمويل، لأن السياسات والقوانين واللوائح المحلية البالغ عددها 242 في البلاد هي التي ستحدد المخاطر القانونية التي يتحملها مطورو المشروع.

وسرعان ما أصبح مشروع CCUS وجهة لمبالغ استثمارية ضخمة. وقد بدأت تظهر مؤسسات وجمعيات وموارد جديدة لواضعي السياسات وغيرهم من الجهات الفاعلة الرئيسة، من أجل المساعدة في مشروع CCUS للوصول إلى إمكاناته الكاملة. ويختتم هذا الدليل بمجموعة من الموارد الإضافية لواضعي السياسات، والتذكير بأنه لا يزال هناك الكثير الذي يتعين القيام به.

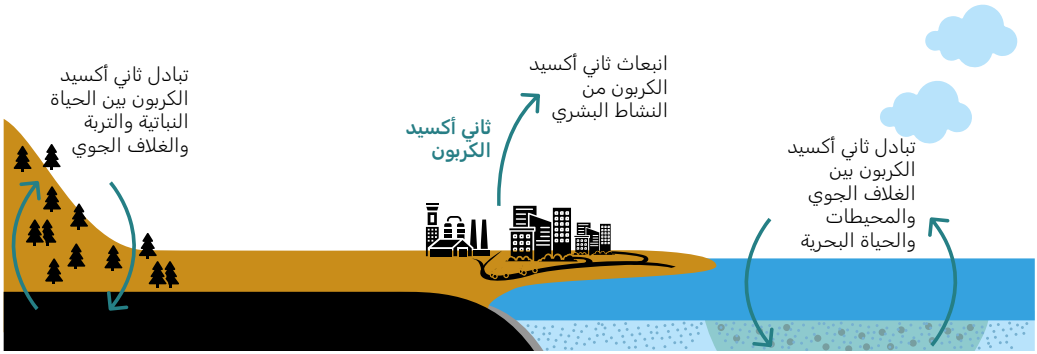
# 1. لماذا الكربون؟

## النقاط الرئيسية

- من المتوقع أن يلعب التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) دورًا حاسمًا في إدارة تغير المناخ.
- إن توسيع نطاق مشروع CCUS له أيضًا فوائد مهمة على النمو الاقتصادي: إن تقنية مشروع CCUS لديها القدرة على خلق فرص العمل وتحفيز الابتكار ودفع عجلة التجارة وتحقيق الدخل من تصنيع المنتجات منخفضة الكربون واستدامة الصناعات القائمة من خلال إزالة الكربون.
- تعرب الشركات عن استعدادها للاستثمار، حيث ثبت، على مدى عقود، أن CCUS قد حقق نجاحًا تجاريًا. وكان أول مشروع تجاري لـ CCUS لم يتضمن استخراج النفط بأساليب متطورة في عام 1996، ومنذ ذلك الحين توسعت مشاريع CCUS بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، في الصين وحدها، أصبحت ثلاثة مشاريع جاهزة للعمل في عام 2023 فقط.
- ولذلك فإن التحدي بالنسبة للعديد من البلدان يتمثل في وضع السياسات والقوانين واللوائح التنظيمية التي من شأنها أن تدعو إلى الاستثمار المسؤول في تكنولوجيا CCUS.

# $CO_2$ ومساهمته في تغير المناخ

إن غاز ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) هو أحد الغازات الدفيئة (GHG) ومساهم رئيسي في تغير المناخ. ويعد $CO_2$ جزءًا من دورة الكربون الطبيعية. وتساهم الأنشطة البشرية، بما في ذلك زيادة استخدام الوقود الأحفوري، في وجود حجم غير مسبوق من $CO_2$ في الغلاف الجوي (كما هو موضح أدناه في الشكل 1.1)، والذي لا تستطيع دورة الكربون الطبيعية امتصاصه. ونظرًا لأن $CO_2$ يعمل كآلية التقاط الحرارة التي تسبب الاحتباس الحراري فإن $CO_2$ الإضافي يعمل أيضًا على زيادة درجة الحرارة العالمية. ونتيجة لذلك، يلزم إجراء تخفيضات كبيرة وإزالة لانبعاثات $CO_2$ من أجل تخفيض ارتفاع درجات الحرارة وتحقيق الأهداف المناخية للحد من ارتفاع درجة الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية على المستوى العالمي.[1]




الشكل 1.1: الطلب العالمي على الطاقة ومحركات التخفيف من آثار تغير المناخ.

## الطلب العالمي على الطاقة ومحركات التخفيف من آثار تغير المناخ

في العقود المقبلة، ستؤدي التطورات في الاقتصادات الناشئة إلى زيادة كبيرة في استهلاك الفرد من الطاقة. فعلى سبيل المثال، في عام 2022، أطلقت آسيا أكثر من 58% من $CO_2$ في العالم.[2] وحيث تتطور البلدان في المنطقة، فقد تنمو أيضًا انبعاثات $CO_2$.

تتطلب معالجة تغير المناخ تحولات كبيرة في قطاعات استخدام الطاقة، بما في ذلك تخفيف حدة تغير المناخ، والذي يتضمن تقليل تدفق غازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري (بما في ذلك $CO_2$) في الغلاف الجوي. هناك العديد من الدوافع للتخفيف من تغير المناخ. ويتمثل الهدف الشامل في الحاجة إلى تقليل التأثيرات المناخية الإقليمية أو القضاء عليها (على سبيل المثال، سجل درجات الحرارة المرتفعة / المنخفضة وأنماط الطقس). وتشمل الأخرى:

- السياسات الدولية والمحلية لتحقيق صافي انبعاثات صفرية وفقًا للأهداف المناخية[3] لاتفاقيات باريس.

- تفرض آلية تعديل حدود الكربون التابعة للاتحاد الأوروبي تعريفة $CO_2$ على واردات سلع معينة من دول خارج مخطط تسعير الكربون.[4]
- خطط الحوافز المتاحة، مثل أسواق الكربون والإعفاءات الضريبية المرفوعة.
- إصرار العامة على الشفافية والمساءلة بشأن خفض الانبعاثات وإعداد التقارير.

اتخذت الاقتصادات الناشئة، بما في ذلك عدد من البلدان في آسيا، خطوات للتصدي لتغير المناخ. وتسلط دراسة الحالة أدناه الضوء على الخطوات المتخذة حيال ذلك في الهند.

## جدول أعمال بانشامريت بالهند حول التخفيف من آثار المناخ[5]

أعلنت الهند التي صدقت على اتفاق باريس في عام 2016، في وقت لاحق عن جدول أعمال بانشامريت، جدول أعمال النقاط الخمس، لمعالجة تغير المناخ. ويعد تقليل انبعاثات $CO_2$ جزءًا أساسيًا من جدول الأعمال. وقد تم الإعلان عن الخطة خلال قمة المناخ COP26 في عام 2021، وتتضمن خطوات للبلاد من أجل:

- الوصول إلى 500 جيجاوات من الطاقة غير الأحفورية بحلول عام 2030
- تلبية 50 بالمائة من احتياجاتها من الطاقة من خلال الطاقة المتجددة بحلول عام 2030
- خفض إجمالي انبعاثات الكربون المتوقعة بمقدار مليار طن بحلول عام 2030
- تقليل كثافة الكربون في الاقتصاد بنسبة 45 في المائة بحلول عام 2030 مقابل مستويات عام 2005
- تحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2070

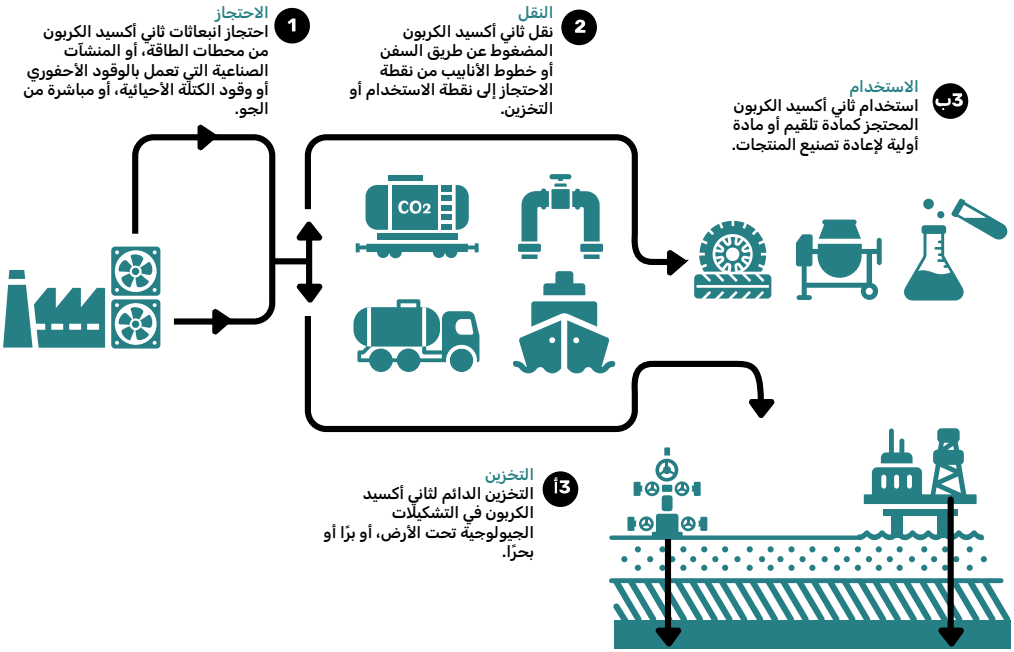
# نهج التخفيف من آثار تغير المناخ

لن يتمكن أي نهج تخفيف بمفرده من التصدي لتحدي المناخ. ولكل منها نقاط قوة وقيود تتعلق بالتكلفة والموثوقية وإمكانية الوصول والحجم والأداء البيئي. ويتفق الخبراء على نطاق واسع على أن مجموعة خيارات التخفيف المختلفة توفر المسار الأقل تكلفة والأكثر استدامة من الناحية الاقتصادية لتحقيق أهداف التخفيف من تغير المناخ.[6]

في حين أن كل بلد سيختلف في نهج التخفيف الخاص به، إلا أن هناك حاجة إلى مجموعة من الحلول. وتشمل بعض الحلول تخفيضات في انبعاثات الوقود الأحفوري وتحسين كفاءة استخدام الطاقة والتوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة وتطوير واستخدام أنواع الوقود البديلة مثل الهيدروجين. بالإضافة إلى استراتيجيات التخفيف هذه، هناك استراتيجية التقاط الكربون ونقله واستخدامه (CCUS).

# ما هو CCUS؟

كما هو موضح أدناه (الشكل 2.1، يمكن أن يشمل (1) CCUS التقاط التقاط $CO_2$ من مصادر ثابتة أو مباشرة من الغلاف الجوي، (2) نقل $CO_2$ الملتقط إما للتخزين الجيولوجي (3أ) أو (3ب) للاستخدام. ويمكن أن يساهم CCUS في تحقيق تخفيضات كبيرة في انبعاثات $CO_2$ مع خفض تكاليف التخفيف الإجمالية. وتعد سلسلة قيمة CCUS فريدة من نوعها من حيث أن التقنيات نفسها ليست بالضرورة جديدة، ولكن يتم ربط مجموعة من التقنيات الحالية معًا بطريقة فريدة لتحقيق هدف خفض الانبعاثات.




الشكل 1.2: مخطط تدفق التقاط الكربون ونقله واستخدامه وتخزينه.

هناك حاجة إلى نشر تكنولوجيا CCUS في هذا العقد للبقاء في متناول هدف اتفاقية باريس للحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية إلى 1.5°C بحلول عام 2030.[7] وهو خيار تخفيف رئيسي يمكن أن يحقق تخفيضات في انبعاثات $CO_2$ من محطات توليد الطاقة بالوقود الأحفوري والمرافق الصناعية الكبيرة مع تمكين البلدان من تحقيق الأهداف المناخية بموجب اتفاق باريس. وعلى الرغم من اختلاف تقديرات التكلفة، فليس هناك شك في أن تحقيق الأهداف المناخية سوف يتكلف أكثر بدون CCUS (في بعض الحالات أكثر تكلفة بنسبة 138 في المائة) مقارنةً باستخدام CCUS.[8] إن تقنية مشروع CCUS لديها القدرة على خلق فرص العمل، وتحفيز الابتكار، ودفع عجلة التجارة، وتحقيق الدخل

من تصنيع المنتجات منخفضة الكربون، واستدامة الصناعات القائمة من خلال إزالة الكربون.[9]

## تقنية CCUS جاهزة تجاريًا

انتشر التقاط الكربون وتخزينه بنجاح منذ عام 1996،[10] مع تاريخ أطول بكثير من نشر تقنيات المكونات تجاريًا على نطاق واسع بما في ذلك الالتقاط في مختلف الصناعات واستخراج النفط بأساليب متطورة. هناك زخم عالمي هائل ونشاط يوفر الثقة في نجاح نشر CCUS. اعتبارًا من يناير 2024، يوجد أكثر من 500 مشروع CCUS على مستوى العالم في مراحل مختلفة من التطوير والتشغيل.[11] في حين كانت صناعة النفط والغاز هي الصناعة الرائدة التقليدية في نشر تكنولوجيا CCUS، إلا أن العديد من الصناعات الأخرى تعمل في نشاط المشروع مثل إنتاج الكهرباء والأسمنت والأسمدة والصلب والإيثانول.

## آسيا لديها فرص كبيرة لمشروع CCUS

تتمتع المنطقة الآسيوية بفرص كبيرة لنشر تكنولوجيا CCUS. ومن الممكن أن يتم أكثر من نصف عمليات CCUS على مستوى العالم بحلول عام 2050 في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.[12] ويمكن أن تشتمل شبكة CCUS في عموم آسيا على مجموعة تضم أكثر من 20 مركزًا لالتقاط الكربون وتخزينه تحت الأرض.[13]

وهذه الإمكانية أكثر من مجرد نظرية. هناك عدد من المشاريع والأنشطة التي توفر الثقة في قدرة المنطقة على نشر تكنولوجيا CCUS. على سبيل المثال، في الصين، أصبحت ثلاثة مشاريع جاهزة للعمل في عام 2023 (أكبر منشأة CCUS في آسيا وأول منشأة بحرية لتخزين $CO_2$، والتقاط الكربون في مصفاة للنفط).[14] وأعلنت اليابان عن سبع شبكات لالتقاط CCUS من شأنها التقاط $CO_2$ في اليابان للتخزين.[15]

## تأسيس التعاون الإقليمي في مجال CCUS

لقد أنشأت آسيا أساسًا للتعاون الإقليمي في مجال CCUS. إن القدرة والإمكانات لنشر تكنولوجيا CCUS في منطقة آسيا والمحيط الهادئ تدفع

التنسيق والتعاون في جميع أنحاء المنطقة. وتدعو البلدان جيرانها للقيام بجولة في المرافق وحضور الحوارات الفنية والسياسية لتبادل ما تعلموه. وبصرف النظر عن المشاريع، كان هناك أيضًا نموًا في اللوائح وتطورات السياسات في المنطقة. وهذا بدوره يمكن أن يشجع الصناعة الدولية لنشر CCUS في المنطقة.[16]

وخارج منطقة آسيا والمحيط الهادئ، تنشأ تحالفات واتحادات على مستوى العالم لجمع أصحاب المصلحة من أجل تعزيز أطر CCUS. كما سيأتي وصفه في الفصل السادس: الموارد والمسؤوليات المتعلقة بالأطر، إحدى هذه الموارد هي لجنة المنظمة الدولية للمعايير (ISO) المعنية بمشروع CCUS والتي تضم ما يقرب من 50 دولة تجتمع معًا لتطوير المعايير والتقارير الفنية عبر سلسلة قيمة CCUS بالكامل. يعد التنسيق أمرًا بالغ الأهمية بشكل خاص عند نقل وتخزين $CO_2$ عبر الحدود الدولية.

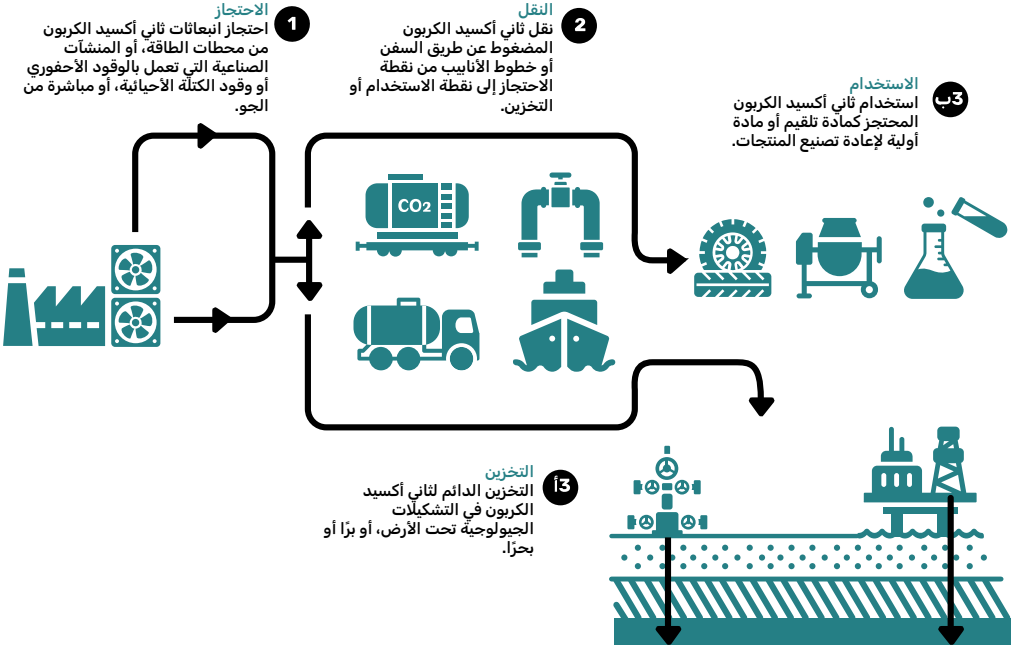
# 2. ما هو التقاط الكربون ونقله واستخدامه وتخزينه؟

## النقاط الرئيسية

- ينبعث عادة $CO_2$ والغازات الدفيئة الأخرى في الموقع الذي يتم إنتاجها فيه. وتأخذ عملية CCUS غاز $CO_2$ قبل إطلاقه (أو من الغلاف الجوي في حالة الالتقاط الجوي المباشر) ثم تنقله إلى مكان حيث يمكن استخدامه أو تخزينه تحت الأرض بشكل دائم.
- وببساطة، فإن CCUS عبارة عن مجموعة من أربعة مكونات مترابطة: الالتقاط والنقل والاستخدام والتخزين. ويتطلب كل واحد من هذه الأمور دراسة خاصة به من جانب واضعي السياسات والجهات التنظيمية.
- كنقطة بداية، من الضروري أن يفهم واضعوا السياسات والجهات التنظيمية الخيارات والتكنولوجيا المتطورة وراء كل من هذه المكونات الأربعة، مثل خيارات مساحة المسام لتخزين $CO_2$ بشكل آمن على المدى الطويل.
- على الرغم من أن الحرف "U" في CCUS يرمز إلى الاستخدام، فمن المقدر أنه في حين أن $CO_2$ الملتقط سيجد وسائل لتحويله واستخدامه أو كليهما معًا، فإن معظم $CO_2$ سيحتاج إلى حقنه تحت الأرض للتخزين الدائم.
- هناك عدد من الاعتبارات الشاملة أيضًا. على سبيل المثال، سوف تحتاج المتطلبات الفنية لمشروعات CCUS إلى دمج أحكام السلامة في جميع أنحاء سلسلة القيمة بأكملها.

# مقدمة

يتألف المختصر CCUS من أربعة مكونات مترابطة، كما هو موضح في الفصل السابق، وإعادة انتاجه في الشكل 2.1 أدناه. يبدأ **بالتقاط (1)** $CO_2$، والذي يمكن أن يكون في المنشآت الصناعية ومحطات الطاقة ومرافق الانبعاثات السلبية (على سبيل المثال، احتجاز الهواء المباشر أو مرافق احتراق الكتلة الحيوية). ويمكن بعد ذلك **نقل (2)** $CO_2$ إلى مكان **استخدامه** أو **تخزينه** النهائي. وتشمل وسائل نقل $CO_2$ المتاحة خطوط الأنابيب والسكك الحديدية والسفن والشاحنات. وحيثما كان ذلك مناسبًا، يمكن أن تكون مواقع الالتقاط والتخزين أو الاستخدام في نفس الموقع لتقليل متطلبات البنية التحتية للنقل.




الشكل 2.1: مكونات CCUS.

بالنسبة للتخزين الجيولوجي (3أ)، فإن الهدف هو التخزين الآمن على المدى الطويل. ويمكن أن يتكون التخزين من نوع واحد أو أكثر من مواقع التخزين الجيولوجي. بالنسبة للاستخدام (3ب)، فإن الهدف هو استخدام $CO_2$ بشكل مفيد لإنشاء منتجات، وبالتالي تقليل كمية $CO_2$ المنبعثة في الغلاف الجوي. وهناك حالة خاصة تتمثل في استخدام $CO_2$ في استخراج النفط بأساليب متطورة (EOR)، والذي يعمل على توليد إنتاج إضافي من النفط.

# الالتقاط

يمكن إجراء التقاط $CO_2$ باستخدام عدد من التقنيات التجارية. ويمكن التقاط $CO_2$ من مصادر ثابتة أو من الغلاف الجوي. وعادةً ما يعتمد اختيار تكنولوجيا الالتقاط المنشورة على معايير الاختيار التي يمكن أن تشمل نوع المنشأة والموقع الجغرافي والتكلفة. وعلى مستوى عالٍ جدًا، غالبًا ما يتم تقسيم أنواع المرافق إلى مصادر تركيز $CO_2$ منخفضة وعالية، من حيث نقاء الانبعاثات قبل التقاطها.

جدول 2.1. اعتبارات الالتقاط الرئيسة.

| | |
|---|---|
| معايير التحديد | حجم الانبعاثات وتركيز $CO_2$، والعمر المتبقي للأصول وضغط غاز المداخن ودرجة حرارته والقرب من موقع التخزين والمساحة المتاحة لمعدات الالتقاط وإمدادات المياه (للتبريد). |
| السلامة / النزاهة | التقليل من الانبعاثات الأخرى غير $CO_2$ وتدهور المواد والتخلص من النفايات وتصميم العمليات والتعديل التحديثي مقابل البناء الجديد. |

## الالتقاط عالي التركيز

قد يتطلب التقاط $CO_2$ من المصادر عالية التركيز معالجة قليلة للغاية قبل نقله. مثال على ذلك هو الانبعاثات الصادرة عن منشآت إنتاج الإيثانول التي تنتج $CO_2$ بشكل أساسي كمنتج ثانوي نقي لعملية التخمير. يمكن إجراء بعض عمليات إزالة الأكسجين قبل ضغط $CO_2$ لنقله.

وتشمل العمليات الأخرى التي تعتبر مصادر انبعاثات عالية التركيز تكرير النفط، وإنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي (إعادة تشكيل الميثان)، وإنتاج الأمونيا (إعادة تشكيل الميثان)، وتطبيقات معالجة الغاز الطبيعي.

## الالتقاط منخفض التركيز

تعد انبعاثات غاز المداخن من محطة الطاقة الكهربائية مثالاً ممتازًا لمصدر انبعاث منخفض التركيز. إن حجم غاز المداخن كبير جدًا، وقد تكون الكمية الإجمالية لغاز $CO_2$ في تيار الانبعاثات أقل من 10 بالمائة اعتمادًا على المصدر. ويمكن أن تأتي مصادر أخرى منخفضة التركيز من عمليات مثل تكليس الأسمنت وصناعة الصلب وإنتاج اللب والورق والتصنيع الكيميائي.

تشتمل أنظمة الالتقاط منخفضة التركيز على المذيبات الكيميائية (غالبًا ما تعتمد على الأمينات) والفصل المبرد والأغشية، والمواد الماصة. وتحتاج هذه الأنواع من الأنظمة عمومًا إلى التصميم لتطبيق مضيف محدد. ومن الممكن الاستفادة من البنية التحتية الحالية في المنشأة المضيفة (على سبيل المثال، استخراج البخار واستخدام مياه التبريد واستعادة الحرارة المهدرة) وذلك لسد احتياجات الطاقة والتبريد لمثل هذا النظام.

عادةً ما يتم توسيع نطاق تقنيات الالتقاط منخفضة التركيز على مراحل - بدءًا من مرحلة الاختبار والعرض التجريبي/التجربة، وحتى النشر التجاري. مثال على مشروع تجريبي/مشروع بحث وتطوير لمصدر منخفض التركيز هو منشأة بلانت باري التابعة لشركة ألاباما للطاقة، الموضحة أدناه. هناك أيضًا أمثلة خارج الولايات المتحدة لنشر تكنولوجيا CCS تجاريًا. على سبيل المثال، في عام 2014، أصبح سد SaskPower Boundary Dam في كندا أول محطة طاقة في العالم تستخدم تكنولوجيا CCS بنجاح.

## توسيع نطاق مشروع التقاط محطة باري للطاقة في ألاباما بقدرة 25 ميجاوات

في عام 2009، كان المشروع التجريبي لالتقاط الكربون وتخزينه بقدرة 25 ميجاوات في مصنع باري التابع لشركة ألاباما للطاقة في الولايات المتحدة هو أكبر مشروع لاحتجاز الكربون في العالم من خلال محطة لتوليد الطاقة بالفحم المسحوق. وقد تم التقاط $CO_2$ من غاز المداخن باستخدام تقنية التقاط المذيبات الأمينية المتقدمة من شركة متسوبيشي للصناعات الثقيلة. وتم ضغط $CO_2$ في الموقع ونقله مسافة 19 كيلومترات إلى موقع التخزين الجيولوجي. وتم التقاط ما مجموعه 114 ألف طن من $CO_2$ ونقلها وتخزينها ومراقبتها طوال المشروع التجريبي.

قدمت بيانات الاختبار التي تم جمعها والدروس المستفادة من هذا المشروع أساسًا اختباريًا ممتازًا لتوسيع نطاق هذه التكنولوجيا من التقاط التيار المنزلق بقدرة 25 ميجاوات في بلانت باري بالقرب من موبايل، ألاباما إلى نظام التقاط بقدرة 240 ميجاوات في NRG's W.A. محطة توليد باريش بالقرب من هيوستن، تكساس. ومازال مشروع NRG يعمل إلى يومنا هذا.

## إزالة $CO_2$

إزالة $CO_2$ هي عملية يتم من خلالها إزالة $CO_2$ من الغلاف الجوي وتخزينه بشكل دائم. ويرد أدناه وصف عمليتين من عمليات CDR المرتبطتين بـ CCUS، بسبب أوجه التشابه في التكنولوجيا.

## التقاط الهواء المباشر

الالتقاط المباشر للهواء (DAC) هو أحد أنواع CDR الذي يتضمن استخدام عمليات إزالة $CO_2$ من الهواء. ويتضمن هذا عمومًا استخدام التقنيات القائمة على المذيبات أو المواد الماصة. ونظرا لتركيز $CO_2$ المخفف في الهواء، يجب معالجة كميات كبيرة من الهواء لكل وحدة من $CO_2$ الملتقط. وهذا يجعل العملية مستهلكة للطاقة بكثافة وأكثر تكلفة بشكل عام من أنظمة الالتقاط الصناعية.

أحد الأنواع الناشئة من CDR هو التقاط $CO_2$ مباشرةً من مياه البحر. إن تركيز $CO_2$ في مياه البحر أعلى من تركيزه في الهواء، ونتيجة لذلك يتم متابعة عدد من المشاريع التجريبية لإزالة $CO_2$ من مياه البحر.

## الكتلة الحيوية لالتقاط وتخزين الكربون

تنطوي الكتلة الحيوية لالتقاط وتخزين الكربون على تحويل المواد الأولية مباشرةً إلى طاقة أو منتج كيميائي، مع إزالة الكربون الناتج عن هذه العملية. ويشمل التحويل المباشر للطاقة الاحتراق لتوليد الطاقة و/أو إنتاج البخار مع احتجاز المصدر النفطي في تيار المداخن. ويتم التحويل الكيميائي عن طريق تحويل الكتلة الحيوية إلى غاز اصطناعي ومعالجة الغاز الاصطناعي إلى هيدروجين و $CO_2$.

# النقل

بعد التقاط $CO_2$، يمكن نقله عبر خطوط الأنابيب والسكك الحديدية والشاحنات والسفن. وقد كانت خطوط الأنابيب هي وسيلة النقل الأكثر استخدامًا على نطاق واسع لنقل كميات كبيرة من $CO_2$. تتطلب خيارات النقل بالسكك الحديدية والشاحنات والشحن تطوير مرافق التحميل والتفريغ للتعامل مع النقل.

الجدول رقم 2.2: اعتبارات النقل الرئيسة.

| | |
|---|---|
| معايير التحديد | الحجم ونقاء $CO_2$ والمسافة والجغرافيا والتكلفة وقيود استخدام الأراضي. |
| السلامة/ النزاهة | قيود استخدام الأراضي ومتطلبات الضغط ودرجة الحرارة والشوائب والمسافة. |

## خط الأنابيب

يتم استخدام النقل عبر خطوط الأنابيب البرية والبحرية. يتم نقل $CO_2$ بريًا بشكل عام في خطوط أنابيب من الصلب الكربوني مدفونة تحت الأرض. وبحريًا، توضع خطوط الأنابيب عمومًا فوق قاع البحر. ويجب ضغط $CO_2$ لكي يُنقل عبر خطوط الأنابيب. هذه العملية تتطلب استخدام كثيف للطاقة ويمكن أن تؤدي إلى انبعاثات $CO_2$ المرتبطة بها، إذا لم تكن طاقة الضواغط من مصادر منخفضة الكربون. إن خطوط أنابيب $CO_2$ تعمل في الولايات المتحدة منذ أكثر من 50 عامًا، وبما يزيد على 5,000 ميل من خطوط الأنابيب قيد التشغيل في الوقت الحالي.[1]

## السكك الحديدية

يتم نقل $CO_2$ بالسكك الحديدية بشكل رئيسي باستخدام عربات الصهريج المضغوطة التي تنقل $CO_2$ السائل. وللنقل عبر السكك الحديدية، يجب على المشغل تطوير البنية التحتية المناسبة لتسييل وتخزين وتحميل وتفريغ $CO_2$ على عربات الصهاريج. ويحتاج الأمر في موقع التخزين إلى المعدات المناسبة للتفريغ وتخزين الصهاريج، مع إعادة الضغط للتعامل مع $CO_2$. ويجب أيضًا أن يأخذ نقل $CO_2$ عبر السكك الحديدية في الاعتبار غليان بعض $CO_2$، فيما يُعرف باسم خسائر الغليان، التي تحدث أثناء النقل.

## السفينة/الصندل

إن نقل $CO_2$ عبر الشحن[2] يتطلب مرافق للتحميل والتفريغ على الواجهة البحرية وذلك لتسهيل عملية النقل. يعتبر النقل بالسفن خيارًا قابلًا للتطبيق بالنسبة للمشاريع البحرية التي تهدف إلى تخزين إما المزيد من الكميات الصغيرة أو الكميات متعددة المصادر، وخيارًا قابلًا للتطبيق لنقل $CO_2$ عبر الحدود (وهذا ما يتم النظر فيه حاليًا في دراسات الجدوى والدراسات التجريبية في شمال أوروبا وجنوب شرق آسيا) وفي اليابان، تم بناء سفينة بسعة 1,450 م$^3$ في عام 2023[3] لنقل $CO_2$ المسال إلى عروض واسعة النطاق في توماكومال.[4]

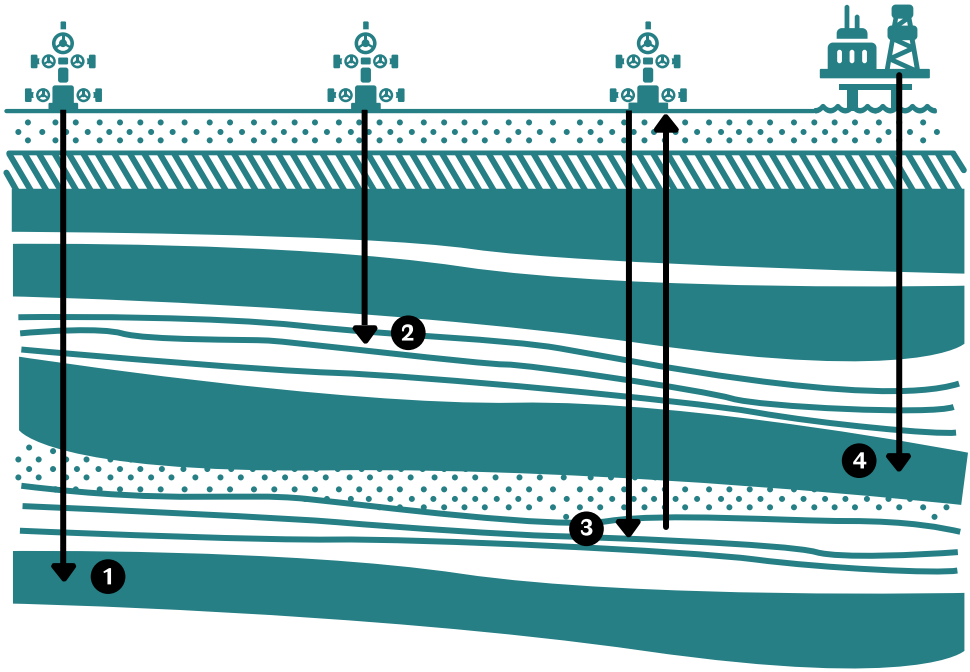
## الشاحنة

يُستخدم نقل $CO_2$ بالشاحنات على نطاق واسع في نقل كميات صغيرة لمسافات قصيرة نسبيًا. وعادةً، يتم استخدام الناقلات المبردة ذات الحجم المنخفض أو الأوعية المضغوطة لنقل $CO_2$. وتتطلب هذه التقنية أيضًا مرافق التحميل والتفريغ لنقل $CO_2$ إلى ومن الشاحنات.

# التخزين

بعد النقل، يمكن تخزين $CO_2$ جيولوجيًا في الخزانات العميقة المالحة وخزانات النفط والغاز المستنفدة والتكوينات الأخرى، كما هو موضح أدناه في الشكل

(الشكل 2.3). ويمكن أن يحدث التخزين من خلال الاستخدام (1) في باطن السطح أثناء استخراج النفط بأساليب متطورة (EOR) واستخراج الغاز بأساليب متطورة (EGR) و (2) يمكن استخدامه أيضًا في صناعة منتجات مثل مواد البناء أو الكربون الأسود أو ألياف الكربون أو البلاستيك.




الشكل 2.3: خيارات موقع تخزين $CO_2$ جيولوجيًا.

على الرغم من وجود مسارات متعددة لاستخدام $CO_2$ الملتقط، إلا أن التخفيف على نطاق واسع من $CO_2$ الملتقط يجب أن يتم من خلال التخزين.[5]

الجدول رقم 2.3: اعتبارات التخزين الرئيسة.

| | |
|---|---|
| معايير الاختيار | حجم $CO_2$ والعمق والضغط ودرجة الحرارة وحجم المسام المتاح والحقن وظروف الحدود الجيولوجية والتعقيد الجيولوجي ودرجة احتجاز الصخور وميكانيكا الصخور والتضاريس وقيود استخدام الأراضي والآبار القديمة وتوافر البنية التحتية القديمة والتكلفة. |
| السلامة/ النزاهة | متطلبات الضغط ودرجة الحرارة والاحتواء وتأثيراتها الزلزالية غير المقبولة والقيود على استخدام الأراضي والآبار القديمة وحماية الموارد الطبيعية ومعدات السلامة. |

## تخزين تكوينات المياه المالحة

التكوينات المالحة هي طبقات رسوبية مسامية تتواجد داخل الأحواض البرية والبحرية، وعادة ما تتكون من الحجارة الرملية والكربونات التي تحتوي على محلول ملحي داخل مسامها. هذه التكوينات توفر بعضًا من أكبر الفرص لتخزين الكميات التجارية من $CO_2$. وتشمل الخصائص المناسبة للتخزين في التكوينات المالحة العمق والاحتواء الطبقي والمسامية والنفاذية. احتواء $CO_2$ المحقون داخل الطبقات غير المنفذة أمر مطلوب لضمان التخزين الآمن على المدي الطويل والاستقرار طويل الأمد لـ $CO_2$ المحقون.

## خزانات النفط والغاز المستنفدة

قد تكون خزانات النفط والغاز التي تقترب من نهاية عمرها الإنتاجي أو التي وصلت إلى نهايتها مرشحة محتملة لتخزين $CO_2$. هذه الخزانات تشبه التكوينات المالحة كما هو موضح أعلاه، ولكنها تحتوي على النفط والغاز المحتجزين فيها إما في طبقات رسوبية أو مصائد هيكلية. مع إضافة $CO_2$، يمكن استعادة ضغط الخزان (المكمن) إلى ظروف شبه أصلية من خلال حقل بئر مراقب.

## الصخور البركانية المعروفة باسم مافيك

صخور مافيك، مثل البازلت والبيريدوتيت، تحتوي على المعادن التي تتفاعل مع $CO_2$ لتكوين كربونات معدنية مستقرة (التمعدن في الموقع). وقد تكون هذه العملية مهمة في المواقع التي يكون فيها هذا النوع من الصخور هو مصدر التخزين المتاح.

# الاستخدام

بعد النقل، يمكن استخدام $CO_2$ للمساعدة في استخراج الهيدروكربونات أو إنشاء المنتج. ويمكن أن يساهم الاستخدام في تطوير البنية التحتية لالتقاط وتخزين الكربون (CCS)، خاصةً فيما يتعلق باستخراج النفط بأساليب متطورة (EOR) أو استخراج الغاز بأساليب متطورة (EGR). ويمكن أيضًا استخدام $CO_2$ في صناعة منتجات مثل مواد البناء أو أسود الكربون أو ألياف الكربون أو البلاستيك.

## الاستخلاص المعزز للنفط

EOR هي تقنية ناضجة لإنتاج النفط تم استخدامها منذ السبعينات.[6] ويكون $CO_2$ عند ضغط الخزان غازًا كثيف الطور وله خصائص شبيهة بالسائل ويمكن أن يختلط بالزيت. ويؤدي هذا الخلط إلى تقليل لزوجة الهيدروكربونات ويسمح بمزيد من استخراج النفط من الخزان. وعادةً، يتم حقن $CO_2$ في الخزان، ولكن باستخدام نظام حلقة مغلقة لإزالة $CO_2$ المنتج من تيار الانتاج، وضغطه وخلطه مرة أخرى مع $CO_2$ الجديد الذي يمكن الحصول عليه من مصدر الالتقاط.

## استخراج الغاز بأساليب متطورة

تقنية EGR هي تقنية لإنتاج الهيدروكربونات التي يمكن استخدامها في خزانات الغاز الطبيعي أو طبقات الفحم. وتعمل تقنية EGR عن طريق استبدال الغاز الطبيعي مباشرةً. إن تطبيق التكنولوجيا يعمل بشكل أفضل عندما تقلل

الظروف الموجودة في الموقع من انتشار $CO_2$ والاختراقات المبكرة في الخزان. وهناك حالة خاصة من عملية EGR وهي الاستخلاص المعزز لغاز الميثان من طبقة الفحم. وتتم هذه العملية باستخدام $CO_2$ لاستبدال غاز الميثان داخل الفحم.

## تحويل $CO_2$ إلى منتجات

باستثناء إنتاج الوقود، الذي يؤدي إلى الإطلاق المباشر لـ $CO_2$ المستخدم، هناك خيارات متعددة لاستخدام $CO_2$ للمنتجات التي يمكن اعتبارها تخزينًا طويل الأجل. ويجب الأخذ في الاعتبار، عند تحويل $CO_2$ إلى منتجات لأغراض الاستخدام، التأثير الإجمالي للعملية فيما يتعلق بالغلاف الجوي، ويشار إليها أيضًا بتقييم دورة الحياة.

تسلط دراسة الحالة أدناه الضوء على عملية اختيار المنتج في منشاة أسمنت هندية لتحديد الخيارات القابلة للتطبيق وظروف السوق للنشر التجاري.

### تقييم المنتجات من $CO_2$ الملتقط في صناعة الأسمنت في الهند[7]

في عام 2021، دعم بنك التنمية الآسيوي (ADB) دراسة الأسمنت في الهند لتقييم جدوى المنتجات المحولة من $CO_2$ الملتقط. وتناولت الدراسة تقييم ستة منتجات: اليوريا ورماد الصودا والتمعدن والميثانول والطحالب للأعلاف والطحالب للزيت. وأدرج التقييم اليوريا والتمعدن في القائمة المختصرة كخيارات على أعلى مستوى. وقد يعتمد مصنع احتجاز $CO_2$ تقنية ما بعد الاحتراق بقدرة 500 ألف طن من $CO_2$ سنويًا. ويمكن تحويل هذه الكمية من $CO_2$ الملتقط إلى 680 ألف طن من اليوريا. وأشار التحليل المالي إلى انخفاض العائد على الاستثمار في ظل الظروف القياسية المفترضة. ولتحسين الجدوى التجارية، خلصت الدراسة إلى أن ما يلي أمر بالغ الأهمية:

- توفر تكاليف تشغيل منخفضة للكهرباء والبخار في الموقع.
- مستوى سعر محدد لأرصدة الكربون لسد فجوة الجدوى المالية.

# اعتبارات شاملة

## السلامة

ستحتاج المتطلبات الفنية لمشروعات CCUS إلى دمج أحكام السلامة في جميع أنحاء سلسلة القيمة بأكملها. ويجب أن تشمل اعتبارات السلامة الخاصة بمشروعات CCUS ما يلي:

- الحماية من اطلاقات $CO_2$ الرئيسة (الاختناق والتأثير الناجم عن شوائب $CO_2$ والتأثير على النظم البيئية البحرية)، بما في ذلك أحكام الاستجابة لحالات الطوارئ وأنظمة السلامة الهندسية.
- رصد انبعاثات الهواء المتزايدة من ملوثات الهواء الخطرة (منتجات تحلل الأمينات والأمونيا والجسيمات).
- تقييم سلامة التخزين. تسرب $CO_2$ الأساسي تحت السطح والنازح عبر اختراقات الآبار القديمة، يتم تقييمه من خلال نظام التقييد. فعلى سبيل المثال، لحماية مصادر مياه الشرب، يجب أن تحافظ عمليات اختراق الآبار على سلامتها لضمان عدم وجود مسارات $CO_2$ هاربة، والانتقال إليها. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي مراعاة السمات الجيولوجية مثل الصدوع.

## تحليل المخاطر وإدارتها

قد تشمل المخاطر التي تهدد نجاح مشروع CCUS المخاطر المالية والتشغيلية والتخزين والصحة/السلامة والتصور العام. وستحتاج الهيئات التنظيمية إلى النظر في تطوير ونشر أنظمة تحليل المخاطر. وفي حالة المخاطر التشغيلية

والصحة والسلامة وأنظمة التخفيف، يمكن أن تشمل هذه الأنظمة الإشرافية نظامًا للتحكم والحصول على البيانات (SCADA) والذي يوفر تحكمًا آليًا في النظام وأنظمة إنذار لحماية مكونات CCUS المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي إجراء ورش عمل منتظمة لإدارة المخاطر والتخفيف من آثارها لتحديد المخاطر وتتبعها وغلقها.

## مواصفات الجودة

$CO_2$ المنتج من مصادر التقاط مختلفة قد يحتوي على تركيبة مختلفة من الشوائب. وستتطلب خيارات النقل والتخزين إزالة بعض هذه الشوائب كإجراء لحماية البنية التحتية للنقل أو التخزين من التلف (مثل التآكل والمخاطر العامة). كما تقوم العديد من البلدان أيضًا بوضع متطلبات تنظيمية للحد من الشوائب في تيارات $CO_2$. ويتعين على مشغلي الالتقاط والنقل أخذ جميع هذه المتطلبات في الاعتبار لضمان الامتثال. وقد تتطلب بعض عمليات الالتقاط معدات معالجة إضافية.

## مجموعة البنية التحتية المتكاملة

مع إنشاء بنية CCUS التحتية، سيكون من المهم دمج جميع المكونات الضرورية. فعلى سبيل المثال، متطلبات التشغيل المستندة إلى مصدر $CO_2$ لالتقاطه قد تتطلب اعتبارات خاصة بنظام النقل والتخزين.

# 3. المشاركة في مشروع CCUS

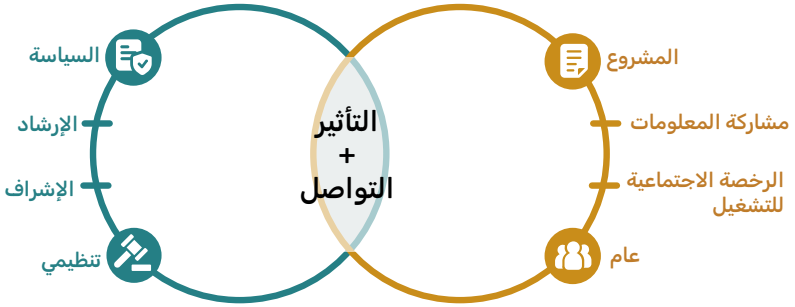
## النقاط الرئيسية

- تحتاج مشاريع CCUS إلى المشاركة لتكون ناجحة. وتتمثل المشاركة في التواصل بين واضعي السياسات والجهات التنظيمية ومطوري المشاريع والجمهور طوال فترة المشروع.
- يجب أن يكون واضعي السياسات والجهات التنظيمية على استعداد للمشاركة في البداية مع أصحاب المصلحة العامين - بما في ذلك المجتمعات المحلية لتجنب التأخير والإلغاء.
- تتمثل الخطوة الأولى الحاسمة في فهم الجهات الفاعلة الرئيسية والأنشطة الخاصة بكل منهم والمستوى المناسب من المشاركة: رسم الخرائط والتخطيط لأصحاب المصلحة.
- حتى المجتمعات التي على دراية بمشاريع النفط والغاز أو مشاريع الاستخراج الأخرى، قد تكون متشككة في مشاريع احتجاز CCUS. ويُظهر مشروع Barendrecht في هولندا مخاطر الفشل في المشاركة مع المجتمع في مشروع CCUS.

# مقدمة

المشاركة هي التواصل بين واضعي السياسات والجهات التنظيمية ومطوري المشاريع والجمهور في جميع جوانب المشروع وطوال دورة حياة المشروع. إن المشاركة المجتمعية ليست مفهومًا جديدًا لصناعة الطاقة، ولكنها تغيرت بشكل كبير في العقد الماضي لتكون أكثر شمولاً واستجابة وقوة. وقد وفرت مشاريع البنية التحتية الكبيرة، بما في ذلك توربينات الرياح وخطوط السكك الحديدية، خبرة حول أهمية المشاركة العامة بشكل صحيح، في وقت مبكر من المشروع.[1] خطر الفشل في تحقيق الهدف المتمثل في التعامل مع المجتمع المحلي والجمهور الأوسع قد يؤدي إلى تأخير المشروع أو حتى إلغائه. والأمر الأكثر إيجابية هو العناصر الرئيسية المشاركة التي تحدد الاستراتيجية/التوجيه والرقابة وصنع القرار وتبادل المعلومات الموضحة أدناه. إن تقاطع السياسات

والقوانين/اللوائح لتحفيز التأثير مع التواصل مع الجمهور حول مشروع ما يمكن أن يشكل عناصر المشاركة. هذه العناصر موصوفة بمزيد من التفصيل في هذا الفصل وغيرها العديد من العناصر الأخري.




الشكل 3.1: عناصر مشاركة CCUS

إن عدم الإلمام أو نقص الوعي بالتقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) باعتباره تكنولوجيا لتخفيف آثار التغير المناخي قد يثير مشكلة تواجه نجاح المشروعات وانتشارها. فبشكل مبسط، يمكن أن تؤدي المعلومات غير الكافية حول تطوير المشروع أو التقنيات أو الخلفية أو عملية اتخاذ القرار إلى نقص القبول أو الدعم بين المجتمعات. وبالنسبة للعديد من المشاريع، يمكن أن يؤدي ذلك إلى إلغاء المشروع. وبالتالي، يُعد التواصل والمشاركة عنصرين أساسيين في نشر مشاريع (CCUS).

# أهمية المشاركة والمبادئ الأساسية

تعد المشاركة الفعالة أمرًا بالغ الأهمية لإنشاء خطوط اتصال مفتوحة وإبلاغ أصحاب المصلحة حول المخاطر والفوائد المحتملة وتناول الأسئلة والمخاوف والمخاطر المتصورة وتبادل الأفكار وتنمية المعرفة وبناء علاقات موثوقة

ومشاركة طويلة الأمد. ويمكنها أيضًا رفع مستوى الوعي وزيادة الدعم وبناء النفوذ ودعم تطوير السياسات والتنظيمات وتحسين عمليات اتخاذ القرار والتخفيف بشكل استباقي من المعارضة المحتملة. كما تجدر الإشارة إلى أن طريقة ومستوى المشاركة العامة سوف يتطوران على مدى حياة أي مشروع (CCUS) معين.

وترد أدناه تجربة غير حصرية بالمبادئ الرئيسة لمشاركة (CCUS)، استنادًا إلى خبرة المساهم في هذه المشاريع.

**الشفافية.** إن تبادل المعلومات الواقعية عن الآثار المجتمعية والمخاطر والفوائد المحتملة بطريقة واضحة ومفتوحة ومباشرة توفر سجلًا عامًا يلخص الأحداث.

**التنوع والشمول وإمكانية الوصول.** كن شاملًا وأشرك الأشخاص الذين لديهم أنواع مختلفة من وجهات النظر والتجارب الحياتية. وتأكد من أن فرص المشاركة تتيح إمكانية الوصول الكامل. واحرص على توفير وسائل الراحة المعقولة لذوي الاحتياجات الخاصة.

**فهم المجتمعات.** قد يتعرف مطورو المشروع على المشكلات التي تواجه المجتمعات، ومع تطور المشروع سيصبحون جزءًا من المجتمع. وتتعامل المجتمعات المختلفة مع المعلومات وتتواصل بشكل مختلف. وقد يتطلب ذلك استراتيجيات تواصل ومشاركة متنوعة داخل المشروع.

**شارك في وقت مبكر وفي كثير من الأحيان.** حدد مستوى الحاجة والتكرار/المنتدى المناسب للمشاركة.

**اتخاذ القرار.** قم بإشراك المجتمع في عملية اتخاذ القرار وفحص المشروع مع أقرانهم الفنيين في الندوات والأحداث التقنية.

**المبادئ التوجيهية للمشاركة.** وضع مبادئ توجيهية لدعم تبادل وجهات النظر المحترمة مما يؤدي إلى التفاهم.

**تبادل المعلومات في الاتجاهين.** تسهيل تبادل المعلومات في الاتجاهين وتشجيع الاستماع النشط والاعتراف بوجهات النظر والأفكار الجديدة ودمجها.

**التعاون والشراكات.** العمل بنشاط على بناء التعاون والشراكات بين المجموعات المتنوعة والأفراد لتعزيز الأهداف المشتركة.

**تواصل مع الصورة الكبيرة.** قم بتوصيل مفهوم 'لماذا CCUS' بوضوح واربط الأنشطة بالصورة الكبيرة.

**الفوائد المجتمعية.** في السياق المحلي من خلال العمل مع السكان على أرض الواقع لتحديد القيمة المباشرة للمجتمع التي تنتج من تطورات المشروع. انظر إلى ما هو أبعد من مالكي العقارات إلى الأعضاء الآخرين في المجتمع، بما في ذلك كيف يمكن لمشروع CCUS توفير الفرص للشركات المملوكة للأقليات المحرومة والشركات المملوكة للنساء والشركات المملوكة للمحاربين القدامى.

**تأثيرات القياس/الاستبيان.** قم بتضمين مقاييس نجاح قابلة للقياس لفهم كيفية تأثير أنشطة المشاركة على أصحاب المصلحة مع مرور الوقت (انظر دراسة الحالة الخاصة بتحالف هيوستن CCS أدناه). قم بالتقييم لفهم ما هو عملي وما هو غير عملي، وراجع الأمر وفقًا لذلك.

**المرونة.** كن مرنًا واعترف بالمردود وقم بدمجه وتكييفه باعتباره قابل للتحقيق عمليًا.

**اللغة.** تحديد اللغات الرئيسة في المجتمعات ذات الصلة وتطوير المواد واستضافة الاجتماعات بهذه اللغات حسب الحاجة.

**الوضوح.** استخدم رسومات مفهومة بوضوح، بما في ذلك مقاييس العمق غير المبالغ فيها لترحيل المسافة.

**بناء القدرات.** اشرح تنمية القوى العاملة ومشاركة المشروع مع الأوساط الأكاديمية (على سبيل المثال، إنشاء برامج التدريب الداخلي).

## جهود المشاركة من تحالف هيوستن CCS

إن كمية ثاني أكسيد الكربون التي يمكن لمنطقة هيوستن احتجازها وتخزينها بأمان (بدلاً من انبعاثها في البيئة)، **تعادل تقريبًا ضعف الانبعاثات السنوية لمدينتين من مدن نيويورك.**

الشكل 3.2: بناء على تحليل البيانات الصادرة عن وزارة الطاقة الأمريكية (2018) ومكتب عمدة مدينة نيويورك للاستدامة.
(الرسم مقدم من تحالف هيوستن CCS)

تحتوي منطقة هيوستن على أحد أكثر مصادر انبعاثات $CO_2$ تركيزًا في الولايات المتحدة، وتقع بالقرب من تكوينات تخزين جيولوجية غزيرة تحت الأرض، مما يجعلها مثالية لتطوير مشاريع CCS واسعة النطاق. في عام 2021، قام أحد عشر من أكبر بواعث $CO_2$ الصناعية في هيوستون، تكساس، بتشكيل تحالف هيوستن CCS لتلبية الحاجة إلى تعزيز المشاركة العامة بشكل أفضل وتثقيف المجتمعات بطريقة أكثر شمولاً حول الفوائد المحلية التي يمكن أن يجلبها التقاط الكربون وتخزينه إلى منطقة ساحل خليج تكساس .

عملت الشركات الأعضاء معًا لاستضافة أكثر من 30 مناقشة عامة حول CCS وإعداد الموارد المطبوعة المجتمعية ثنائية اللغة ومقاطع الفيديو التعليمية ورعاية الأحداث المحلية المهمة وتنظيم أنشطة تطوعية مؤثرة لتحسين الموارد العامة. وقد أسفرت هذه الجهود عن أكثر من 20 بيانًا داعمًا من مسؤولين ومنظمات منتخبة وتغطية إعلامية إيجابية في الأسواق المحلية وقرارين من الحكومات المحلية يعترفان بتحالف هيوستن CCS، ومؤخرًا، جائزة من مفوض مقاطعة هاريس لتكريم التحالف لمساعدته على ازدهار المجتمعات. يواصل التحالف إشراك المجتمعات حتى يومنا هذا.

# الجهات الفاعلة الرئيسة

الجهات الفاعلة الرئيسة تنقسم إلى أربعة مجالات أولية فيما يتعلق بالمشاركة: واضعي السياسات والجهات التنظيمية ومطوري المشاريع والجمهور. يلخص الجدول أدناه (الجدول 3.1) الأدوار الرئيسة وطبيعة المشاركة لكل منها.

**واضعي السياسات.** يمكن أن تشارك وكالات حكومية مختلفة في تطوير سياسات CCUS، مما يتطلب عملية مشاركة أصحاب المصلحة المتعددين. إحدى الآليات هي مجموعة عمل مشتركة بين الوكالات لتنسيق ومواءمة تطورات السياسات ومشاركة المعلومات ودمج التوصيات من جميع الوزارات المعنية وتطوير الأطر القانونية وتفويض وضع إطار العمل إلى الوكالات الحكومية المعنية أو كليهما معًا وتحديد الدوافع مثل العقوبات/التفويضات بما في ذلك تحديد الأهداف الوطنية الشاملة لخفض الانبعاثات حسب الاقتضاء. وهناك آلية أخرى تتمثل في تطوير مجموعات البيانات الأساسية، مثل وكالات العلوم الحكومية والمختبرات المملوكة للدولة، التي تدعم قرارات السياسة. ويمكن أن يشمل ذلك تقييمًا لإمكانات CCUS واستخدامه في ولاية قضائية معينة و/أو خارطة طريق لذلك يدعم تخفيضات الانبعاثات، كما هو موضح في الفصل الخامس: خارطة طريق لتطوير الأطر القانونية والتنظيمية. على وجه الخصوص، يلعب صناع السياسات في الاقتصادات الناشئة دورًا حاسمًا في تحديد الوكالة الرائدة، ليس فقط لتصميم وتنفيذ التشريعات/اللوائح التنظيمية، ولكن أيضًا لتنسيق أصحاب المصلحة والمرحلة التحضيرية التي تدعم العملية التنظيمية.

**الجهات التنظيمية.** تقوم الجهات التنظيمية بوضع القواعد والإشراف على تنفيذها (على سبيل المثال، من خلال مراجعة طلبات التصاريح)، وتنفيذها. وغالبًا ما يُطلب من الجهات التنظيمية قيادة المشاركة العامة في القواعد والمشاريع المقترحة. ومن خلال التعليقات العامة والاجتماعات، قد تقوم الجهات التنظيمية بجمع التعليقات والمخاوف من المجتمع المحلي. وفي كثير من الأحيان، تستجيب الجهات التنظيمية للتعليقات العامة، ولكن مطوري المشاريع قد يستجيبون أيضًا. وعادةً ما يتم تشجيع المشاركة/التشاور العام في المراحل الرئيسية لاختيار موقع المشروع والعمليات وإيقاف التشغيل.

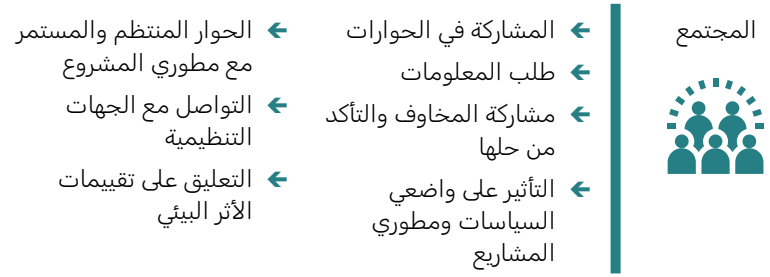
**مطورو المشاريع.** في دراسة حالة العمل، يقوم مطورو المشروع بتوجيه المشروع حتى يكتمل. وفي كثير من الأحيان، تقوم فرق تطوير المشروع داخل الشركة بإجراء مشاركة داخلية وخارجية واسعة النطاق لضمان دعم CCUS عبر وحدات الأعمال وداخل القيادة. وبمجرد تحديد موقع المشروع، يمكن لمطوري المشروع إجراء عملية رسم خرائط لأصحاب المصلحة المسؤولين والمشاركة المجتمعية لتطوير المستوى وتنفيذه والمشاركة فيه.

**المجتمعات.** إن جوهر مشاركة CCUS هو المجتمع المتأثر بالمشروع. ويضم المجتمع القادة المحليين والمسؤولين المنتخبين وملاك الأراضي والمنظمات غير الحكومية NGOs، والجمهور. ومن المهم ملاحظة وفهم القضايا المتعلقة بالسكان المحرومين و/أو المهمشين، بما في ذلك حالة التنوع الديموغرافي من مختلف الأنواع التي ستتأثر بشكل كبير بمشروع CCUS. وهناك أيضًا اعتبارات مهمة من وجهة النظر القانونية فيما يتعلق بمسألة "المكانة" لتحديد من قد يشارك في الطعن رسميًا في اي قرارات حول المشاريع.

تجتمع الجهات الفاعلة الرئيسة في عدد من الأنشطة للمشاركة. وتوضح طبيعة هذه الأنشطة أدناه.

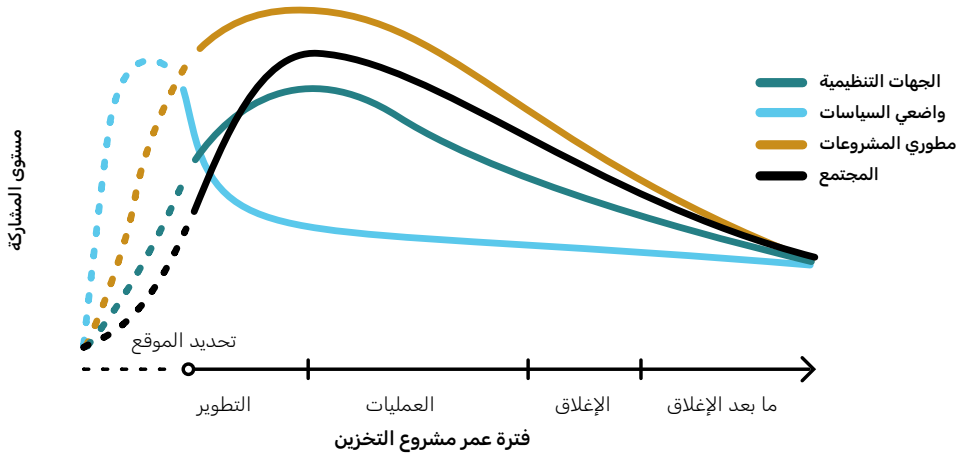
الجدول رقم 3.1: الأنشطة وطبيعة مشاركة الجهات الفاعلة الرئيسة.

| | الأنشطة | طبيعة المشاركة |
|---|---|---|
| واضعي السياسات | ← وضع سياسات CCUS دعم الابتكار والشراكات بين القطاعين العام والخاص<br>← إجراء مشاركة أصحاب المصلحة المتعددين<br>← المشاركة في التنسيق بين الوكالات | ← تحديد مستويات المشاركة<br>← إضفاء الطابع المؤسسي على العمليات من خلال فرق العمل |
| الجهات التنظيمية | ← وضع القواعد<br>← مراجعة طلبات التصاريح<br>← مراقبة مطور المشروع وتنفيذ المشاركة<br>← التنفيذ | ← إنشاء عمليات المشاركة<br>← طلب التحديثات من مطوري المشروع<br>← تقييم التأثيرات<br>← تحسين مستويات المشاركة |
| مطوري المشاريع | ← تنفيذ المشروعات<br>← إجراء تخطيط وتقييم أصحاب المصلحة<br>← الدخول في حوا ر ثنائي الاتجاه<br>← تطوير علاقات عادلة وبناء الثقة | ← تنفيذ عمليات المشاركة<br>← التشاور والتفاوض<br>← مناقشة الفوائد والمخاطر والتخفيف |




هذه المجموعات تتفاعل خلال مشروع CCUS لتبادل الخطط والتحديات والخبرات والمعارف لاتخاذ قرارات مستنيرة. ويُعد التفاعل بين هذه المجموعات الأربع أمرًا بالغ الأهمية لمشاريع CCUS الآمنة والناجحة.

كما هو موضح في الشكل أدناه (الشكل 3.3)، يجب أن تكون المشاركة عملية مستمرة مع الجهات الفاعلة الرئيسية طوال فترة المشروع. وتبدأ المشاركة حتى قبل اختيار الموقع ويتم الحفاظ عليها من خلال التطوير والعمليات. ويدرك المؤلفون أنه لن تتبع جميع التفاعلات منحنى طبيعيًا كما هو موضح في الشكل، حيث قد يؤدي حدث ما أثناء العمليات إلى زيادة كبيرة في المشاركة، أو قد ينخفض مستوى المشاركة بعد التطوير بسبب المشكلات التنافسية التي قد يواجهها اصحاب المصلحة. ومع ذلك، فإن بناء العلاقات يستغرق وقتًا وجهدًا وشفافية وتخطيطا.




الشكل 3.3: مستوى مشاركة الجهات الفاعلة الرئيسة طوال عمر المشروع.

# عمليات المشاركة التركيز على المجتمع

تمت معالجة المبادئ الأساسية والجهات الفاعلة الرئيسة لمشروع CCUS. ويصف هذا القسم عملية المشاركة مع التركيز على المجتمعات. أولا، فكر في فهم من هم ناخبيك من خلال رسم الخرائط والاستطلاعات. بعد ذلك، قم بتعديل تقنية (تقنيات) التوعية بناءً على الرسالة والتركيب المجتمعي.

## فهم الناخبين

هناك العديد من الأساليب والبدائل للمشاركة. وتعتمد هذه العمليات على تطوير فهم جيد للأمور المهمة للمجتمعات المحلية وأصحاب المصلحة المتأثرين. ويمكن تطوير أساليب مدروسة باستخدام المسوحات المستهدفة

التي تحدد أو تقيّم مشاعر المجتمع تجاه إجراءات أو مواضيع معينة. ويمكن لهذه التقنيات تقييم شرائح أكبر من المجتمع بسرعة. ويمكن أيضًا أن تكون العمليات التشاركية المجتمعية، حيث يحدد أفراد المجتمع طرق المشاركة والموضوعات الأكثر أهمية بالنسبة لهم، أسلوبًا مفيدًا لفهم الناخبين.

يمكن أيضًا إجراء المشاركة المباشرة مع أصحاب المصلحة باستخدام الاجتماعات وجهًا لوجه حيث يتم عرض تلك الإجراءات والمواضيع المحتملة على المجتمع للحصول على تعليقات. وتتكون أحداث التوعية عمومًا من تجمعات عامة، والتي قد تشمل عددًا كبيرًا من الناخبين ومزيجًا من العروض التقديمية والأسئلة والأجوبة والتعليقات العامة والتواصل الفردي مع أصحاب المصلحة هؤلاء.

عادة، لا توجد وسيلة واحدة لتحديد ما يشعر به أصحاب المصلحة تجاه قضايا معينة. ومن الممارسات الرائدة التعامل معهم بشكل متكرر وبأساليب متنوعة لضمان تلقي مجموعة معقولة من وجهات النظر.

يلخص الجدول التالي (الجدول 3.2) بعض طرق المشاركة بالإضافة إلى المزايا والعيوب العامة. وفي جميع الحالات، عند تطبيق مبادئ المشاركة الأساسية، تعتبر هذه الأنشطة ضرورية لبناء الثقة.

الجدول رقم 3.2: طرق التوعية والمزايا والعيوب المحتملة.

| طريقة التوعية | ما هذا؟ | المزايا | العيوب |
|---|---|---|---|
| **الدراسات الاستقصائية** | مجموعة من الأسئلة لقياس شعور المجتمع تجاه الأنشطة أو القضايا | يمكن أن تصل إلى عدد كبير في المجتمع | لا يوجد تفاعل مباشر ونسبة عائد منخفضة في كثير من الأحيان؛ قد تصل فقط إلى مجموعة فرعية من المجتمع |
| **تجمع عام** | حدث يتم فيه تقديم المعلومات ويجيب الممثلون على أسئلة المجتمع ويتلقون التعليقات | يمكن أن تصل الرسائل إلى نطاق واسع عبر المجتمع. القدرة على فهم الأسئلة والمخاوف الرئيسة، ودمج ردود الفعل | يمكن أن يتولى عدد صغير من الأشخاص إدارة المحادثة |
| **التوعية المستهدفة** | حدث يقدم فيه الممثلون تفاصيل عن المشروع. قد يشمل ذلك جولات في الموقع وأسئلة وأجوبة | تحسين تبادل الاتصالات في الاتجاهين | عينة أصغر من المجتمع في كثير من الأحيان، وربما قادة المجتمع |
| **مكتب/كشك عام** | موقع ثابت حيث يمكن للجمهور التعرف بحرية على المشروع وإشراك الممثلين | يقود التواصل الفردي ومشاركة المعلومات | هناك الكثير من المشاركة للوصول إلى عدد أقل من أفراد المجتمع |
| **التوعية الفنية** | العروض التقديمية في الاجتماعات والندوات والمنتديات | الفحص الفني للمشروع من قبل أقرانه | المشاركة مع مجموعة فرعية تقنية صغيرة من المجتمع |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **الصحف/ الأخبار المحلية** | التوعية عبر وسائل الإعلام | الوصول إلى المجتمعات المحلية وقد يتضمن مشاركة طرف ثالث (الصحفيين) في الاتصالات | لا يوجد تفاعل مباشر، ولا يجوز لجميع الأشخاص الوصول إلى الأخبار وقد يتضمن مشاركة طرف ثالث (الصحفيين) في الاتصالات |
| **المواقع الإلكترونية** | موقع ويب خاص بالمشروع يحتوي على معلومات حول المشروع والتقنيات والمخاطر وعمليات اتخاذ القرار | يمكن أن تصل إلى عدد كبير في المجتمع؛ وهي منصة ديناميكية مع خيارات للتحديث مع تطور المشروع؛ يمكن ترجمتها إلى عدة لغات | لا يوجد تفاعل مباشر |
| **النشرات/ الإعلانات** | تم تعليق المعلومات المستهدفة أو توزيعها في الأماكن العامة | الوصول إلى المجتمعات المحلية | لا يوجد تفاعل مباشر |

في كثير من الأحيان، يلزم استخدام أكثر من واحدة من هذه العمليات معًا لضمان مستوى مناسب من المشاركة. انظر دراسة الحالة الخاصة بتحالف هيوستن CCS أعلاه.

## تقنيات المشاركة

هناك مجموعة متنوعة من الطرق التي يمكن من خلالها مشاركة وتبادل المعلومات مع أصحاب المصلحة. وعند التعامل مع المشاركة المجتمعية، قد يكون من المفيد أن نلتقي أولًا بالقادة الرئيسيين للبدء في فهم القضايا المهمة التي قد تتطلب اهتمامًا إضافيًا قبل التعامل مباشرة مع المجتمع.

يمكن أن يكون رسم خرائط أصحاب المصلحة أداة مهمة لدعم أنشطة المشاركة الفعالة (انظر قسم موارد المشاركة في الفصل التاسع: موارد إضافية). فهو يوفر إطارًا لتحديد وتقييم ورسم خريطة بصرية للأفراد والمجموعات المحتملة للمشاركة وتحديد الأدوار الرئيسية والنظر في الأرضية المشتركة والعقبات المحتملة وتحديد التكرار المحتمل وأولوية المشاركة وتطوير الرسائل الرئيسية

وقد يساعد الشركاء والميسرون المحليون في تحديد هذه المجموعات من الأفراد. ويمكن إحضار خبراء محايدين (مثل الأكاديميين) لمشاركة آرائهم غير المتحيزة فيما يتعلق بسلامة مثل هذه المشاريع داخل المجتمع. وقد تلعب المنظمات غير الحكومية أيضًا دورًا مهمًا، حيث تمثل اهتمامات مثل البيئة أو صحة المجتمع وسلامته.

هناك أيضًا عدد من تقنيات الاتصال أحادية الاتجاه. ويعد استخدام مواقع الويب أو وسائل التواصل الاجتماعي لإشراك أصحاب المصلحة وجهًا متزايدًا للتواصل. ويمكن أيضًا استخدام المقابلات الإعلامية (سواء كانت مطبوعة أو إذاعية أو تلفزيونية) لرسائل مجتمعية واسعة النطاق.

ومع ذلك، تشير الممارسات الرائدة إلى أن طرق الاتصال ثنائية الاتجاه - تلك التي يمكن للطرفين من خلالها تلقي المعلومات ونشرها - هي الأفضل. يتمثل التحدي الذي يواجه تقنية المشاركة هذه في ضمان وصول رسائل المشروع إلى الكثيرين في المجتمع.

وهذا يتطلب على الأرجح أن يكون لمطوري المشاريع حضور مباشر داخل المجتمع وأن يصبحوا جزءًا منه. وهذا يساعد على بناء الثقة ويسمح بمزيد من المشاركة المتكررة والمستمرة. ويمكن استخدام مجموعة متنوعة من الطرق لتطوير هذا الشعور بالانتماء للمجتمع، ولكن لا يوجد بديل عن التواجد المباشر داخل المجتمع. ويقوم بعض مطوري المشاريع الناجحين بفتح مكتب تواصل داخل المجتمع للسماح بالمشاركة اليومية.

يصف المثال أدناه كيف يمكن لخطة المشاركة المجتمعية الضعيفة أن تؤدي إلى إلغاء مشروع CCUS.

## تم إلغاء مشروع باريندريخت في هولندا بسبب عدم كفاية المشاركة المجتمعية

يمكن أن يكون عدم القبول العام هو السبب الجذري لإلغاء المشروع. أحد الأمثلة على ذلك هو مشروع Barendrecht في هولندا. فقد كان هذا المشروع يخطط لفصل والتقاط انبعاثات $CO_2$ من مصفاة النفط قبل حقن وتخزين حوالي 10 مليون طن من $CO_2$ على مدى 25 عامًا في حقل غاز مستنفد أسفل مدينة باريندريخت. وكان المجتمع قلقًا بشأن الأضرار التي لحقت بالمنازل والانخفاض المحتمل في قيمة الممتلكات بسبب قربها من موقع التخزين. وكان هناك أيضًا شعور قوي بأن المجتمع لم يتم إطلاعه على تطورات المشروع ولم يتم منحه سوى دور ضئيل جدًا أو لم يكن له دور في عملية صنع القرار. علاوة على ذلك، كانت هناك خلافات بين الهيئات التنظيمية المحلية والوطنية فيما يتعلق بعملية المشاركة العامة والمخاطر المتصورة للمشروع. وفي النهاية تم إلغاء المشروع.[2]

تفاعل مطورو المشروع مع المجتمعات واستثمروا الوقت والموارد في المشاركة المجتمعية. ومع ذلك، بدأ الانخراط في هذه العملية متأخرًا جدًا. ونظرًا لأن المشروع قد اعتبر مشروعًا تجاريًا بشكل حصري،[3] كانت هناك مشاركة قليلة من المجتمع في عمليات تحديد النطاق أو اتخاذ القرار المبكرة. وبعد إلغاء المشروع، لم يكن لدى مطوري المشروع أي شك بشأن الدروس المستفادة فيما يتعلق بمشاركة المجتمع. وذكروا أن "الدرس الأكثر أهمية المستفاد من مشروع باريندريخت هو أنه من المهم خلق الثقة المتبادلة بين أصحاب المصلحة والالتزام تجاه بعضهم البعض وبالمشروع. ويمكن القيام بذلك من خلال إشراك جميع أصحاب المصلحة في عملية المشروع في مرحلة مبكرة والتواصل حول المشروع وعمليته مع المجتمع".[4]

تتضمن المشاركة جلب المهارات والمعرفة والموارد والشبكات اللازمة للنهوض بصناعة CCUS، كما هو مذكور بالتفصيل في الفصل الرابع: بناء القدرات.

# 4. بناء القدرات

## النقاط الرئيسة

- يتعين على البلدان التأكد من أن جميع الجهات الفاعلة الرئيسة ــ واضعي السياسات والجهات التنظيمية ومطوري المشاريع والمجتمعات المحلية ــ تتمتع بالقدرة. وبناء القدرات هو عملية تطوير وتحسين المهارات والمعرفة والموارد والشبكات المحلية اللازمة للنهوض بصناعة CCUS.
- يمكن لصناعة CCUS الناشئة أن تخلق وظائف مستدامة، لكن القوى العاملة في مجال CCUS تحتاج إلى مجموعة واسعة من المهارات العلمية والهندسية والقانونية وغيرها من المهارات.
- وتشمل أنشطة بناء القدرات إنشاء مراكز اختبار وتدريب CCUS ودعم أنشطة البحث والتطوير وتعزيز التدريب الداخلي وتسهيل الشبكات المهنية.
- تظهر دراسات الحالة من الولايات المتحدة والنرويج أهمية وإمكانات مرافق بناء القدرات.

# مقدمة

يهدف بناء القدرات في مجال CCUS إلى تزويد المنظمات والأفراد بالمهارات والمعرفة والموارد والشبكات اللازمة لأداء صناعة CCUS وتطويرها. وينبغي لها أيضًا أن تهدف إلى دعم نمو الشبكات القوية وتوظيف المواهب اللازمة لتحفيز هذه الصناعة الناشئة. ويمكن بناء القدرات من خلال عدد من الأساليب بما في ذلك نقل المعرفة والتدريب وتنمية القوى العاملة والتدريب الداخلي والبحث.

نظرًا لأن تكنولوجيا CCUS ليست معروفة بشكل عام، فإن المشاركة في أنشطة بناء القدرات يمكن أن تفيد أي شخص يعمل بشكل مباشر أو عرضي في هذا المجال. وغالبًا ما تركز تنمية القدرات في البلدان التي لديها مشاريع وأطر مبكرة على الأنشطة حول المشاريع الإرشادية التي تؤدي إلى مشاريع تجارية. وفي البلدان الناشئة، يسمح لهم تبادل المعرفة من المشاريع الناشئة للتعلم

مما تم القيام به في مكان آخر. ويتناول هذا الفصل احتياجات القوى العاملة والتحديات والتطوير والبحث الأكاديمي والبحث/التطوير/النشر (RD&D).

# احتياجات القوى العاملة لمشروع CCUS

في حين أن عددًا من المهارات اللازمة لمشروع CCUS قابلة للتحويل من صناعات أخرى، فإن CCUS يضمن اعتبارات محددة مطلوبة لإعادة تدريب القوى العاملة الحالية أو الجيل القادم من العاملين في CCUS. وتتمتع صناعة CCUS الناشئة بالقدرة على خلق العديد من فرص العمل الجيدة وتكون جزءًا مهمًا من قطاع الطاقة العالمي الأكثر استدامة. وهناك حاجة إلى العمال طوال فترة مشروع CCUS بدءًا من الالتقاط (الأمر الذي سيتطلب المزيد من الموظفين المدربين والمزيد من المعدات) وفحص الموقع واختياره وتوصيفه إلى تصميم الموقع والموافقة عليه والبناء والعمليات ومراقبة ما بعد الحقن وإغلاق الموقع (انظر الجدول 4.1 أدناه).

بالإضافة إلى احتياجات القوى العاملة الخاصة بالمشروع، يجب على صناع السياسات والجهات التنظيمية وقادة المجتمع والمسؤولين المنتخبين الذين يرغبون في فهم كيفية تعظيم فرص CCUS، أن يبنوا أيضًا مستوى معينًا من القدرات والمعرفة في مجال CCUS. ويمكن أن يدعم البحث الأكاديمي إتقان المواضيع وإدراج موضوعات CCUS في المناهج الأكاديمية مما يبني الاهتمام والقدرات في CCUS.

الجدول رقم 4.1: احتياجات القوى العاملة لمشاريع CCUS.

| | |
|---|---|
| **التقاطع** | مدراء مشروع والمتخصصون في مجال الصحة والسلامة والبيئة وعلماء الهيدرولوجيا ومهندسون كهربائيون ومهندس مدني والاقتصاديون والمحامون واختصاصي بالكهرباء واللحام وعمال تركيب الأنابيب وسائقو الشاحنات ومشغلو المعدات الثقيلة وحماية الموقع والمحللون الماليون والمحاسبون ومسؤولو الامتثال والمتخصصون في العلاقات المجتمعية. |
| **الالتقاط** | المهندسون الكيميائيون والمهندسون الميكانيكيون ومصممو نماذج انبعاثات الهواء ومهندسو العمليات. |
| **النقل** | مهندسو السكك الحديدية وقادة القطارات والمنسقون والطيارون وقبطانو المراكب وعمال التحميل والتفريغ والبحارة التجاريون وموظفو بناء وصيانة خطوط الأنابيب. |
| **الاستخدام** | الكيميائيون ومسؤولو المبيعات والتسويق ومهندسو المواد. |
| **التخزين** | الجيولوجيون والجيوفيزيائيون وعلماء البتروفيزياء والميكانيكا الجيولوجية ومهندسو البترول وعلماء الزلازل وعلماء الجيولوجيا المائية وعلماء الجيوكيمياء ومتخصصو خدمات النفط والغاز الحفارون وأطقم الحفر ومهندسو استكمال الآبار ومهندسو الحفر. |

## تحديات القوى العاملة CCUS

مطلوب مجموعة من الأدوار الفنية وغير الفنية لـ CCUS. على الجانب الفني، تتمتع القوى العاملة في مجال النفط والغاز بالعديد من المهارات الأساسية لإجراء عمليات نقل وتخزين $CO_2$، كما تتمتع صناعات معالجة المواد الكيميائية والغاز بالخبرة المتعلقة بالتقاط $CO_2$. كما سيأتي وصفه في الفصل الثاني: ما هو التقاط الكربون ونقله واستخدامه وتخزينه؟ إن متطلبات CCUS تتجاوز الصناعة الحالية. ولذلك، من المهم تحفيز صناعة CCUS التي لديها قوى عاملة قوية تصل إلى الجامعات وكليات المجتمع والمعاهد المهنية وبرامج التدريب المتخصصة. يعد بناء شبكات قوية أمرًا مهمًا أيضًا لضمان التعاون عبر المشاريع المعقدة التي تتخلل سلسلة قيمة CCUS.

# تطوير القوى العاملة لمشروع CCUS

فيما يلي وصف موجز لعدة طرق لتطوير قدرة CCUS والقوى العاملة في نهاية المطاف لـ CCUS، بما في ذلك دمج بناء القدرات في التوعية بالمشروع وبناء شبكات قوية وإنشاء مراكز اختبار وتدريب CCUS ودعم البحث الأكاديمي.

### تضمين بناء القدرات في التوعية بالمشروع

يمكن لمشاريع CCUS في العالم الحقيقي أن توفر نقاط اتصال لبناء القدرات. ومن الممكن أن تدعم الشراكات بين الصناعة والحكومات تطوير المعرفة والممارسات الرائدة من خلال التنفيذ الناجح لمشاريع CCUS، بدءًا بالعروض الميدانية الصغيرة النطاق وتوسيع نطاقها. ويجب أن تتضمن جميع العروض الميدانية أنشطة تعليمية وتوعية وأن تكون نقطة محورية لبناء القدرات.

### بناء شبكات قوية

هناك العديد من الجوانب عبر سلسلة قيمة CCUS التي يجب دمجها لنشر المشروع بنجاح. ومن المهم بناء شبكات قوية تدعم التعاون والتواصل عبر جميع الأدوار المطلوبة لمشروع CCUS، والصناعة على نطاق أوسع.

### إنشاء مراكز اختبار وتدريب CCUS

توفر مراكز اختبار التكنولوجيا الفرصة لاختبار تقنيات CCUS وتطويرها (خاصة لالتقاطها) من خلال توفير منصة للاختبار والتطوير الفعال من حيث التكلفة، وتحفيز عمليات النشر على نطاق أوسع. كما أنها تمكن من بناء القدرات العملية وتدريب القوى العاملة المستقبلية وتوفر مكانًا للمشاركة بين مطوري التكنولوجيا ومجموعة واسعة من أصحاب المصلحة، بما في ذلك الصناعة و واضعي السياسات الجهات التنظيمية والمسؤولين الحكوميين والعامة. ومن الأمثلة على مراكز التدريب، كما هو موضح أدناه، المركز الهندي للتميز في التقاط الكربون واستخدامه (NCoE-CCU).

## المركز الوطني للتميز في التقاط الكربون واستخدامه بالهند

الشكل 4.1: افتتاح المركز الوطني للتميز في التقاط الكربون واستخدامه. (برعاية فيكرام فيشال)

في عام 2021، أنشأت وزارة العلوم والتكنولوجيا في حكومة الهند أول مركز وطني للتميز (NCoE) في المعهد الهندي للتكنولوجيا، بومباي. ويعمل NCoE كمركز متعدد التخصصات للبحث طويل الأمد وتطوير التصميم والتعاون وبناء القدرات للمبادرات الحديثة في مجال التقاط الكربون واستخدامه. ويتم تكليف NCoE بتحديد الأهداف الرئيسة وقيادة المبادرات العلمية والتكنولوجية للابتكار الموجه للصناعة في مجال الابتكار في التقاط الكربون واستخدامه في الهند، بينما يعمل على تطوير الطرق الجديدة لتحسين مستويات جاهزية التكنولوجيا في التقاط الكربون واستخدامه.

ويعمل NCoE على تحويل $CO_2$ الملتقط إلى مواد كيميائية، ونقل $CO_2$ وضغطه واستخدامه، بالإضافة إلى الاستخلاص المعزز للنفط والغاز كمسارات ذات فائدة مشتركة. وطور NCoE طرقًا جديدة ومنخفضة التكلفة ومستدامة وقابلة للتطوير لالتقاط $CO_2$ باستخدام نظام التقاط مائي وتحويل أملاح الكربونات وأول أكسيد الكربون، من بين أمور أخرى. ويعمل NCoE كمستشار وشريك معرفي لوزارات متعددة داخل الحكومة الهندية مع توفير إمكانية الوصول إلى مرافق البحث والتطوير للآخرين محليًا. وينظم NCoE بشكل منتظم برامج بناء القدرات، مثل الدورات القصيرة للصناعة وغيرها.

## دعم البحث الأكاديمي

في حين أن صناعة CCUS لا تزال في مرحلة مبكرة، فإن الدعم الحكومي المستمر لأبحاث CCUS في كليات الدراسات العليا يعد أمرًا أساسيًا لبناء قدرات CCUS وتنمية القوى العاملة. وبالإضافة إلى الدعم المقدم من الحكومة لتنمية القوى العاملة في مجال CCUS، تقوم جمعيات علوم الأرض والهندسة الكبرى بتنفيذ أنشطة بناء القدرات في مجال CCUS (مثل ورش العمل التي تركز على احتجاز واستخدام الكربون وتخزينه أو الجلسات الفنية في الاجتماعات الدولية الكبرى). انظر قسم المشاركة في الفصل التاسع: موارد إضافية لمزيد من المعلومات.

## تطوير خبرات تدريبية مركزة وشبكات وظيفية

يمكن أن يكون التدريب والتعليم المركزان وسيلة ممتازة للتعلم المستهدف. توفر المدرسة الصيفية الدولية متعددة التخصصات CCS التابعة لـ IEAGHG، والتي تعمل منذ عام 2007 مع أكثر من 700 خريج من 60 دولة، للعلماء والباحثين الشباب الذين يسعون إلى فهم أكبر لـ CCS فرصة تعليمية غامرة لمدة أسبوع.[1]

وتصف دراسة الحالة التالية برنامجًا دوليًا لبناء القدرات للخريجين الطلاب والمهنيين في بداية حياتهم المهنية في الولايات المتحدة.

## التجربة البحثية في عزل الكربون (RECS): نموذج لبناء القدرات لتطوير قيادة التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه CCUS وتوفير خط أنابيب فائق وشبكة مهنية

الشكل 4.2: قام المشاركون في برنامج RECS بزيارة مشروع Citronelle في ولاية ألاباما، الولايات المتحدة، حيث تم نقل $CO_2$ من محطة باور بلانت باري في ألاباما عبر خط أنابيب وحقنه على عمق 3.4-3 كم. (برعاية باميلا تومسكي)

في عام 2004، قدم مكتب الطاقة الأحفورية وإدارة الكربون التابع لوزارة الطاقة الأمريكية الدعم لإطلاق برنامج التجربة البحثية في عزل الكربون (RECS) برؤية لبناء قوة عمل عالمية في مجال CCUS وإنشاء مجتمع من المحترفين الشباب للمساعدة في قيادة صناعة CCUS الناشئة والانتقال إلى الطاقة النظيفة.

تُعرف التجربة البحثية في عزل الكربون (RECS) بأنها التجربة التعليمية والتثقيفية الرائدة في مجال CCUS كما أنها تمثل شبكة لطلاب الدراسات العليا والمهنيين في بداية حياتهم المهنية في الولايات المتحدة. وتقدم RECS برنامجًا سنويًا مكثفًا مدته 8 أيام يجمع بين التدريس في الفصول الدراسية والتمارين الجماعية وزيارات موقع CCUS والتدريب على الاتصالات والأنشطة الميدانية لـ CCUS. وتغطي هذه الأنشطة مجموعة واسعة من المواضيع، بما في ذلك العلوم والتكنولوجيا والسياسة والمشاركة والجوانب التجارية المرتبطة بنشر CCUS. وتوفر RECS أيضًا فرصًا للتواصل وإشراك أصحاب المصلحة وبناء الفريق لتحسين مهارات المشاركة وتعزيز المعرفة والتعاون متعدد التخصصات.

يتمثل أحد مبادئ RECS الأساسية في تركيز أنشطة التعلم في مواقع CCUS وبناء فهم لدورة حياة المشروع واعتبارات النشر التجاري. ويكتسب المشاركون في RECS خبرة عملية لا تقدر بثمن والتعرض لمشاريع CCUS في العالم الحقيقي، مما يعزز فهمهم للتحديات والفرص في هذا المجال وتزويد المشاركين بالمهارات والشبكات اللازمة للتنقل في مشهد CCUS المعقد وتعزيز نشر CCUS.

تعد RECS بمثابة حافز لبناء قيادة CCUS والنمو المهني وخريجو RECS هم في طليعة تطوير CCUS في الولايات المتحدة والعالم. وتعمل RECS على تسهيل التواصل والتعاون بين أكثر من 700 من خريجي RECS الذين يشاركون بنشاط في جميع جوانب CCUS، من الحكومة والصناعة إلى المنظمات غير الحكومية والبحث الأكاديمي. ويساهم الخريجون في القوى العاملة في CCUS من خلال أدوار مختلفة، بما في ذلك إدارة المشاريع والأدوار الفنية والهندسية المختلفة وتطوير الأعمال والجوانب السياسية والتنظيمية وتعزيز الابتكار وريادة الأعمال من خلال شركاتهم الناشئة.

تعد RECS بمثابة نموذج ناجح يجب أن تأخذه البلدان والولايات القضائية الأخرى في الاعتبار. ويمكن لبرامج مثل RECS أن تلعب دورًا مهمًا في المساعدة على بناء قوة عاملة ماهرة ومتنوعة لـ CCUS، وإنشاء ورعاية شبكات فعالة لـ CCUS، وبناء القدرات وتطوير قادة CCUS الذين سيقودون النشر ويخلقون مستقبلاً مستدامًا.

# البحث والتطوير والانتشار

يدعم الاستثمار في البحث والتطوير والنشر (RD&D) بشكل مباشر استراتيجيات إزالة الكربون ويقلل التكاليف ويزيد الكفاءة ويقلل المخاطر ويقلل من التأثيرات البيئية لـ CCUS. ويمكن أن تساعد أنشطة البحث والتطوير أيضًا في تسريع تكامل مكونات احتجاز وتخزين الكربون وهي مهمة لبناء القدرات.

وينبغي لبرامج البحث والتطوير أن تستفيد من الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتعزيز أنشطة التطوير والنشر. وهناك حاجة إلى مزيد من الاهتمام في مجالات البحث والتطوير التالية من أجل التطوير التجاري لـ CCUS من خلال حلول جديدة ميسورة التكلفة وقابلة للتطوير ومستدامة. تتضمن التوصيات المتعلقة بالبحث والتطوير الفعالين لـ CCUS ما يلي:

- **دعم التقنيات في جميع مراحل التطوير.** ويتطلب النجاح التجاري مساعدة التقنيات خلال جميع مراحل التطوير والبناء على كل تجربة نحو مشاريع أكبر حجمًا وأكثر كفاءة. ويجب أن يدعم البحث والتطوير في مجال CCUS التكنولوجيا بدءًا من التكنولوجيا الأولى من نوعها إلى التكنولوجيا التالية حتى يتمكن القطاع الخاص من الاستفادة من تخفيضات التكاليف الناتجة عن التعلم التجريبي والتوسع في نشر تكنولوجيا CCUS على نطاق تجاري.
- **مواصلة وتعزيز أبحاث المرحلة المبكرة.** وبالنسبة للاقتصادات الناشئة المهتمة بالتعجيل بتبني تكنولوجيا CCUS (مثل فيتنام وتايلاند وإندونيسيا وماليزيا)، فإن البحوث التي تدعم الاختراقات التكنولوجية مهمة للتخفيف من حبس التكنولوجيا وخلق فرص جديدة لنشر تكنولوجيا CCUS.
- **توسيع نطاق البحث والتطبيق.** يمكن تطبيق CCUS بشكل فعال عبر العديد من المصادر المختلفة لـ $CO_2$. ولا ينبغي أن يقتصر البحث والتطوير على موضوع واحد فقط، بل ينبغي بدلاً من ذلك أن يشمل مجموعة كاملة من التطبيقات المحتملة لتشجيع نشر التكنولوجيا على نطاق واسع والتكامل مع الأنشطة الاقتصادية الأوسع. وبالنسبة للاقتصادات الناشئة التي تركز بشكل أكبر على جزء واحد من سلسلة القيمة الخاصة ببرنامج CCUS، فإن جهود البحث والتطوير في هذا الموضوع قد تكون أكثر واقعية.

- **البحث والتطوير لالتقاط الكربون.** ويعد توسيع نطاق أبحاث الاحتجاز أمرًا ضروريًا لتقليل التكلفة وتحسين الأداء حيث يتم تطبيق التقاط الكربون في توليد الطاقة الأحفورية والصناعات التحويلية. وعلى الرغم من أن تقنيات الالتقاط من الجيل الأول متاحة على نطاق واسع وتجاريًا، إلا أن البحث والتطوير يمكن أن يعملا على تحسين التقنيات التجارية الحالية وخفض تكاليفها والمساعدة في تطوير تقنيات الجيل الثاني مع تحسين الأداء الاقتصادي والتقني.
- **البحث والتطوير لمسارات الاستخدام.** في حين يظل الاستخلاص المعزز للنفط (EOR) خيارًا اقتصاديًا قابلاً للتطبيق لتخزين $CO_2$ على المدى الطويل، فإن العديد من مصادر انبعاث $CO_2$ الكبيرة لا تقع بالقرب من حقول الاستخلاص المعزز للنفط المناسبة. وتعتمد عائدات الاستخلاص المعزز للنفط أيضًا بشكل كبير على أسعار النفط وقد تكون عرضة للانخفاض مع تحول العالم إلى مصادر أخرى للطاقة. ولهذه الأسباب، يعد البحث والتطوير في مجال التخزين وخيارات الاستخدام غير المعزز للنفط أمرًا ضروريًا لتطوير أسواق وفرص جديدة لاستخدام $CO_2$. وتوجد فرص أخرى للبحث والتطوير لاستخدام الكربون وإعادة استخدامه من خلال الأبحاث المدعومة بالمختبرات من خلال توفير الآليات التكنولوجية لاستخدام $CO_2$، ولديها القدرة على توفير فوائد اقتصادية من خلال إنشاء منتجات تصدير جديدة.
- **البحث والتطوير للنقل.** يعد نقل $CO_2$ نشاطًا ناضجًا إلى حد ما، لكنه مع ذلك يمكن أن يستفيد من القيام بأنشطة البحث والتطوير. ويمكن أن تركز أنشطة البحث والتطوير على تحسين السلامة وخفض التكاليف واكتشاف طرق جديدة وتحسين الأوضاع. ويعد البحث في المواد الجديدة أيضًا مجالاً للفرص التي يمكن أن تؤدي إلى تخفيضات كبيرة في التكاليف وزيادة سلامة النقل.
- **البحث والتطوير للتخزين.** يتطلب إجراء الحقن تحت السطح لـ $CO_2$ فهمًا تفصيليًا لعمليات التخزين والظروف الجيولوجية المحلية. وهناك حاجة إلى التقدم في الأبحاث لتحسين تقنيات توصيف المواقع التجارية والأدوات الحسابية المتقدمة للتعامل مع كميات كبيرة من البيانات وتحسين أنظمة المراقبة.

- **البحث والتطوير للقضايا الشاملة.** يمكن لنفقات البحث والتطوير في العلوم الأساسية أن تحفز الابتكارات والاختراقات في مجال تكنولوجيات CCUS. ومن الممكن أن يساعد دعم السوق والتحليل المتكامل البلدان في فهم كيفية مساهمة تكنولوجيا CCUS والاستراتيجيات الأخرى في تحقيق أهداف إزالة الكربون وتحديد مسارات الحلول الفعالة من حيث التكلفة.

تُظهر دراسات الحالة التالية للمركز الوطني لالتقاط الكربون (NCCC) في الولايات المتحدة ومركز اختبار مونجستاد (TCM) في النرويج قيمة مراكز البحث/الاختبار في تطوير تقنيات CCUS.

## المركز الوطني لالتقاط الكربون (NCCC) في ألاباما

الشكل 4.3: المركز الوطني لالتقاط الكربون
(برعاية الشركة الجنوبية)

تتولى وزارة الطاقة الأمريكية/المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة (المختبر الوطني لتكنولوجيا الطاقة) والشركة الجنوبية تشغيل NCCC، وهي منشأة بحثية محايدة تعمل على تطوير التقنيات لخفض انبعاثات غاز الدفيئة المنبعثة من محطات الطاقة القائمة على الحفريات والعمليات الصناعية، ولتعزيز ابتكارات تحويل وإزالة الكربون مثل التقاط الهواء المباشر (DAC).

يوفر المركز، الذي يقع في ويلسونفيل في ألاباما، منصة اختبار فريدة من نوعها لتقييمات الجهات الخارجية لتقنيات احتجاز $CO_2$ وتحويل $CO_2$ وتقنيات DAC الفعالة من حيث التكلفة - لسد الفجوة بين الأبحاث المختبرية والعروض التوضيحية والنشر واسعة النطاق. وفي عام 2023 وحده، قامت أكثر من 50 منظمة من أصحاب المصلحة بزيارة وتجول في مركز NCCC.

يقدم مركز NCCC فوائد لمطوري التكنولوجيا من خلال تزويدهم بفرص الاختبار في ظروف التشغيل الحقيقية لموقع صناعي، وبالتالي تسريع تسويق عمليات احتجاز الكربون وتحويله منخفضة التكلفة، بالإضافة إلى تقنيات DAC الناشئة. ومن خلال اختبار أكثر من 75 تقنية للمبتكرين في الولايات المتحدة وستة دول أخرى، شارك المركز بشكل مباشر في خفض التكلفة المتوقعة لالتقاط $CO_2$ من توليد الوقود الأحفوري بنسبة تزيد عن 40 بالمائة. يدعم NCCC تقييم التقنيات المتقدمة من المطورين المحليين والدوليين. وتعتبر هذه التقييمات حاسمة في تحديد وحل المشكلات المتعلقة بالبيئة والصحة والسلامة والتشغيل والمكونات وتطوير النظام، بالإضافة إلى تحقيق عمليات التوسع وتحسين العمليات بالتعاون مع مطوري التكنولوجيا. وتوفر المشاريع التي ترعاها وزارة الطاقة، بالإضافة إلى المشاريع من الصناعة والجامعات والمؤسسات التعاونية الأخرى، مجموعة كاملة من التقنيات للاختبار في المركز.

وقد أثبتت بيانات الأداء التي تم إنشاؤها في الاختبار في مركز NCCC صحة البيانات المخبرية، مما سمح بتوسيع نطاق الهندسة، وبالتالي تحقيق اختراقات في حلول إدارة الكربون. ويقدم NCCC أيضًا المساعدة في العثور على شركاء محليين ودوليين لتوسيع نطاق المشروع. وقد قدمت عمليات مركز NCCC أكثر من 150 ألف ساعة من اختبار الإنزيمات والأغشية والمواد الماصة والمذيبات والهجينة والأنظمة المرتبطة بها لالتقاط الكربون بعد الاحتراق، بالإضافة إلى تقنيات تحويل $CO_2$ وتقنيات DAC.

قام NCCC بإكمال ثلاث اختبارات لتحويل الكربون حتى الآن، بما في ذلك عرضًا لعملية الحرارة الكيميائية التابعة للبحث الجنوبي (Southern Research) لإنتاج الإثيلين باستخدام $CO_2$ من غازات العادم المحترقة للفحم والإيثان وعرضًا لعملية تعدين $CO_2$ من شركة كاربون بيلت ريفيرسا (CarbonBuilt Reversa™)، والتي تستخدم $CO_2$ في غازات العادم والمخلفات الناتجة عن احتراق الفحم لإنتاج الخرسانة ذات الكربون المنخفض. بالإضافة إلى ذلك، أكمل NCCC اختبارات في عام 2023 بالتعاون مع شركة هيليوس-إن آر جي إل إل سي (Helios-NRG LLC) على أول تقنية لتحويل الطحالب - وهي نظام مبتكر متعدد المراحل ومستمر يعتمد على الطحالب لالتقاط $CO_2$ من غازات العادم الناتجة عن محطات توليد الطاقة. وفي عام 2023، أكملت NCCC أيضا أول اختبار في الموقع لـ DAC، بالتعاون مع مجلس الطاقة بالولايات الجنوبية و Aircapture، وتقوم حاليًا بإجراء اختبارات إضافية.

## مركز تكنولوجيا $CO_2$ مونجستاد (TCM) بالنرويج

الشكل 4.4: مركز تكنولوجيا $CO_2$ مونجستاد بالنرويج.
(برعاية مركز تكنولوجيا مونجستاد و tcmda.com)

TCM مملوك بالشراكة بين الحكومة النرويجية والصناعة (Equinor و Shell و TotalEnergies). منذ 2012، كان المركز متاحًا للباحثين المحليين والدوليين ومطوري التكنولوجيا الذين يرغبون في اختبار تقنيات $CO_2$ والتحقق منه واختبار المكونات وحل المشكلات. ويقدم TCM أيضًا خدمات استشارية بشأن الالتقاط وتقدم المشورة بشأن جوانب مثل تدهور المذيبات والتآكل وقضايا الانبعاثات ومعالجة النفايات وجميع الجوانب المهمة لعملية الالتقاط.

يتمثل أحد أهم مساهمات مراكز الاختبار مثل TCM في اختبار التقنيات والتحقق منها قبل التسويق. وحتى الآن، تم إجراء 23 حملة اختبارية في TCM. فعلى سبيل المثال، تم اختبار تكنولوجيا الالتقاط المستخدمة في المشروع التجريبي النرويجي Longship لأول مرة في TCM.[2]

من فوائد الطب الصيني التقليدي ومراكز الاختبار الأخرى التي غالبًا ما يتم الاستهانة بها هي تأثير بناء القدرات بعد وجود المنشأة وتشغيلها. أنتج الطب الصيني التقليدي عددًا كبيرًا من المنشورات والتقارير المتاحة للجمهور، لصالح الصناعة والمنظمين والأوساط الأكاديمية.[3] ويوفر الطب الصيني التقليدي فرصة كبيرة لبناء قدرات الباحثين في النرويج وخارجها. وهناك اتفاقيات تضمن التعاون مع معاهد البحوث، من خلال تبادل المعلومات،[4] والسماح للباحثين باختبار التقنيات في مركز الاختبار.[5] كما بدأ TCM وشارك في شبكة مراكز الاختبار الدولية، والتي تهدف إلى تبادل المعرفة التي قد تكون حيوية لتحسين وتسويق تكنولوجيا CCS على مستوى العالم.[6] وهناك أعضاء اختبار من الصين واليابان وكوريا الجنوبية في هذه الشبكة،[7] مما يمكّن المنطقة الآسيوية من الاستفادة من أكثر من 10 سنوات من عمليات الطب الصيني التقليدي، بالإضافة إلى المعرفة والخبرة من الاختبارات الأخرى ومراكز من أوروبا والولايات المتحدة وكندا وأستراليا.

## واضعي السياسات والجهات التنظيمية

لا يقتصر استخدام الموارد الموضحة أعلاه على المستوى المحلي فحسب، بل يمكن استخدامها أيضًا لبناء الخبرات ذات الصلة داخل الحكومات (مثل واضعي السياسات والجهات التنظيمية). وتوجد مبادرات تبادل ثنائية ومتعددة الأطراف عبر الولايات المتحدة والحكومات الأخرى التي توفر فرصًا للمساعدة الفنية والتعاون.

إن تبادل المعرفة بين الدول المحركة في وقت مبكر ليس مهمًا فقط للتطورات التقنية لـ CCUS ولكن أيضًا لتطوير الأطر القانونية والتنظيمية، كما هو موضح في الفصل 5: خارطة طريق لوضع الأطر القانونية والتنظيمية.

# 5. خارطة طريق لوضع الأطر القانونية والتنظيمية

## النقاط الرئيسية

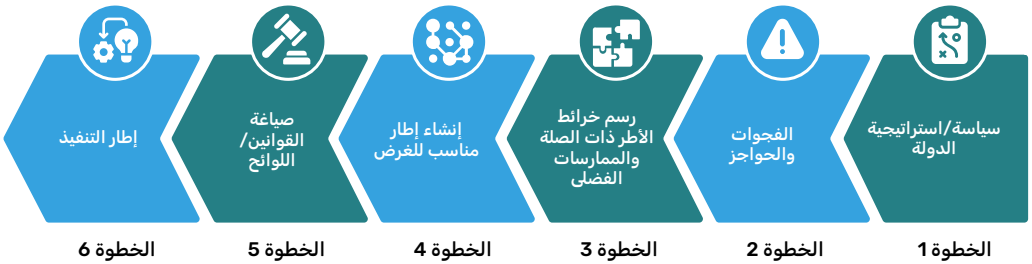
- من أجل بناء صناعة CCUS مزدهرة وآمنة، تحتاج البلدان إلى وضع أُطر لها. ويتكون إطار CCUS من السياسات والقوانين والأفعال واللوائح والأدوات ذات الصلة التي تحدد الشروط للجهات الفاعلة الرئيسية لبناء مشاريع CCUS.
- ولإنشاء إطار ناجح، يقترح هذا الدليل عملية من ست خطوات، تبدأ بتقييم السياسات الحالية للدولة من أجل وضع سياسة (أو استراتيجية) قطرية لـ CCUS.
- الخطوة الرابعة في هذه العملية المكونة من ست خطوات هي إنشاء الإطار. ويمكن للبلدان أن تقرر ما إذا كانت تريد اعتماد جميع التشريعات الجديدة لإنشاء إطار مستقل لبرنامج CCUS؛ أو تكييف التشريعات القائمة مع إطار قائم (مثل النفط والغاز). ويمكن للبلدان أيضًا الاستفادة من المعايير والمصادر الخارجية أو لا. ولا توجد طريقة واحدة "صحيحة".
- ورغم عدم وجود طريقة واحدة صحيحة، فإن إطار CCUS الناجح يجب أن يتناول جميع أجزاء برنامج CCUS لضمان تنسيق الأنشطة التنظيمية التي تقوم بها مختلف الجهات الحكومية.
- وتقدم اليابان والنرويج أمثلة لكيفية المضي قدمًا في مشروعات CCUS حتى بدون وجود إطار متطور بالكامل لـ CCUS.

# مقدمة

إطار CCUS عبارة عن مجموعة من السياسات والقوانين والأفعال واللوائح ومجموعة من الأدوات القانونية التي توفر هيكلا لدعم تطوير صناعة CCUS وحماية البيئة. ويحتاج كل من القطاعين العام والخاص إلى أطر للمساعدة في ضمان القدرة على التنبؤ والتشغيل والمساءلة والشفافية والقابلية المصرفية لـ CCUS.

# خارطة طريق لوضع إطار العمل

هناك طرق عديدة لإنشاء إطار CCUS. ويمكن أن يتضمن أحد النُهج مجموعة من الخطوات الست التالية كما هو موضح أدناه:[1] تقييم وتنقيح السياسة أو الاستراتيجية الوطنية لبلد ما وتحديد الثغرات والعوائق في الأطر القائمة رسم خريطة للأطر وأفضل الممارسات ذات الصلة باستخدام الموارد المتاحة وتطوير إطار مناسب للغرض ومشروعات القوانين واللوائح وتنفيذ الإطار.




## الخطوة الأولى: سياسة/استراتيجية الدولة

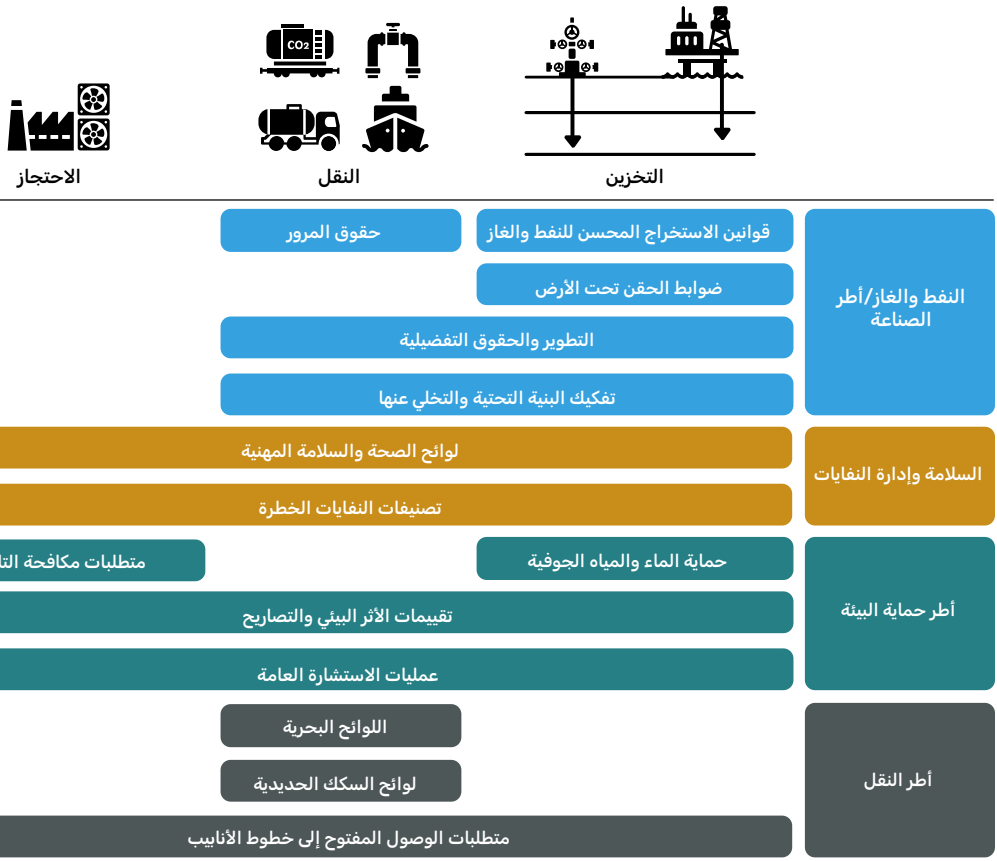
من المهم أن يتم إدراج CCUS في وثائق السياسات والاستراتيجيات الوطنية. وهذا يحدد الاتجاه لتطوير أطر CCUS. وأيضًا، في العديد من البلدان، يلزم الحصول على موافقة الحكومة قبل وضع القوانين وسنها. ولذلك، فإن السياسة على المستوى الوطني (أو "وثيقة الإستراتيجية") التي تتضمن CCUS وتحديد الوزارة/الوكالة الرائدة تعتبر مهمة لدعم التطورات القانونية والتنظيمية. يوصى بإستراتيجية مشاركة أصحاب المصلحة لتطوير ومشاركة السياسة أو الإستراتيجية.

تتمثل الخطوة الأولى في إنشاء إطار CCUS في تقييم سياسات واستراتيجيات الدولة الحالية لتحديد ما إذا كان سيتم تضمين CCUS أم لا. ونظرًا لأن احتجاز وتخزين الكربون واستخدامه هو تقنية لتخفيف آثار المناخ، فقد يتم إدراج

CCUS كجزء من استراتيجية تخفيف الانبعاثات كجزء من الهدف المناخي لبلد ما. فعلى سبيل المثال، حددت حكومة ماليزيا CCUS كمبادرة رئيسية ضمن ركائز تحول الطاقة.[2] وفي الهند، أصدر NITI Aayog، وهو مركز أبحاث سياسي تابع لحكومة الهند، تقريرًا استراتيجيًا يحدد التدخلات السياسية واسعة النطاق اللازمة عبر مختلف القطاعات من أجل نشر CCUS.[3]

عند وضع سياسة/استراتيجية الدولة، تشمل الاعتبارات تحديد الصناعات ذات الصلة وتحديد دور الدولة ومعالجة الملكية/المسؤولية/الوصول وجمع الموارد، وتحديد الخيارات المالية.

- **الصناعة ذات الصلة.** الطاقة والنفط والغاز وشركات تصنيع المواد الكيميائية والأسمنت ومنتجي الصلب. يمكن أن يساعد النهج المرحلي تجاه تطوير الإطار في كثير من الأحيان في تركيز الجهود وتسريع الجدول الزمني للارتقاء لاحقًا إلى قانون/لوائح غير ملائمة للصناعة.
- **دور الدولة.** لتنظيم أو تفويض السلطة إلى الحكومات الوطنية الفرعية.
- **الملكية والمسؤولية والوصول.** للنقل والتخزين بما في ذلك دور العقود الخاصة. النظر فيما إذا كانت الدولة ستتحمل مسؤولية الإشراف على التخزين على المدى الطويل وكيف سيتم تحديد حقوق الأراضي (السطحية/تحت السطحية) والوصول إليها.
- **الموارد.** المحلية والدولية. الفصل 6: الموارد والمسؤوليات للأطر، يناقش هذا الأمر بمزيد من التفصيل.
- **الحوافز/الولايات المالية.** للمساعدة في تحفيز نشر CCUS. ويناقش الفصل السابع هذا الأمر بمزيد من التفصيل.




الشكل 5.2: أمثلة على اللوائح الحالية التي قد تكون ذات صلة بأنشطة CCUS. (مقتبس ومستمد من IEA 2022: دليل CCUS القانوني والتنظيمي، ص.24)

## الخطوة الثانية: الثغرات والعوائق

تتضمن الخطوة الثانية إجراء تحليل للثغرات والعوائق الخاصة بالأدوات القانونية والتنظيمية الحالية المتعلقة بـ CCUS لتحديد ما إذا كان يمكن إعادة استخدام الأطر الحالية (مثل تلك المستخدمة في الاستخلاص المعزز للنفط EOR باستخدام $CO_2$) لدعم أنشطة CCUS أو ما إذا كانت تجدر الحاجة إلى إطار تنظيمي جديد. توصلت دراسة أجراها البنك الدولي إلى أن العديد من البلدان لديها بالفعل عدد كبير من الأدوات القانونية اللازمة لدعم إطار CCUS مثل تقييمات الأثر البيئي، والتصنيف القانوني لـ $CO_2$ والمعايير المسموح بها لخطوط الأنابيب والانبعاثات ومعالجة النفايات، وما إلى ذلك.[4]

من الممكن أن تشتمل هذه الأدوات على أجزاء من إطار CCUS. فعلى سبيل المثال، وجدت حكومة النرويج أن قانون النفط ولوائحه الحالية تتسم بالمرونة الكافية لدمج التقاط $CO_2$ ونقله وتخزينه الناتج عن إنتاج الغاز الطبيعي في الخارج دون أي تعديلات. وفي اليابان، وجدت الهيئات التنظيمية الوطنية أن بعض الثغرات في الإطار يمكن معالجتها لاستيعاب الأنشطة الجديدة. ويوضح الشكل السابق (الشكل 5.2) أمثلة على اللوائح التي قد تكون ذات صلة بإطار CCUS.

## الخطوة الثالثة: موارد لتطوير الأطر

تتضمن الخطوة الثالثة تحديد الأطر القانونية/التنظيمية ذات الصلة وتحديد أفضل الممارسات. ويمكن استخدام العديد من الموارد المتاحة للعامة أثناء عملية رسم الخرائط، كما هو موضح في الفصل السادس: الموارد والمسؤوليات للأطر.

## الخطوة الرابعة: صنع إطار مناسب للغرض

تتضمن الخطوة الرابعة إنشاء إطار CCUS مناسب للغرض، باستخدام الموارد الموضحة في الخطوة الثالثة. ويمكن تطوير إطار مناسب للغرض كإطار جديد مستقل لـ CCUS أو كتعديل لإطار موجود. إذا لم كن هناك إطارًا حاليًا، فيمكن الاستفادة من الموارد الخارجية لتطوير إطار مصمم بشكل مناسب.

## الخطوة الخامسة: صياغة القوانين واللوائح

استنادًا إلى نتائج تحليل الثغرات (الخطوة الثانية)، قد يكون من الممكن تطبيق أو تعديل قانون قائم من خلال توضيح قابلية التطبيق على مشاريع CCUS. في بعض الأحيان، قد تكون هناك حاجة إلى عملية أكثر صرامة لصياغة قوانين/لوائح جديدة.

## الخطوة السادسة: تنفيذ الإطار

المرحلة النهائية هي تنفيذ الإطار. وتدخل في هذه المرحلة عدة أنشطة واعتبارات منها:

- تحديد الوكالات المعنية بالامتثال وإنفاذ القوانين/اللوائح
- تطوير أدوات للسماح والمراقبة والإبلاغ والتحقق
- تقديم الموارد والقوالب عبر الإنترنت للتطبيقات ومتطلبات إعداد التقارير
- تطوير وإتاحة الموارد مثل الأطلس الجيولوجي وبيانات الترخيص
- توفير بناء القدرات والتدريب للهيئات التنظيمية والصناعة والأطراف الأخرى

- اختبار تجريبي لإطار العمل، على سبيل المثال من خلال مشروع توضيحي مقترن بخطة مشاركة

وأخيرًا، على الرغم من أن هذه الأنشطة مدرجة في الخطوة السادسة، إلا أنها يمكن أن تكون حاسمة في المساعدة على النشر الناجح لمشروعات CCUS. فعلى سبيل المثال، يستند نجاح العدد المتزايد بسرعة من مشاريع احتجاز الكربون إلى قدرة الحصول على على تصريح في الوقت المناسب. ويشكل السماح بالتأخير مخاطر كبيرة على المشروع بسبب عدم اليقين في توقيت الحصول على الموافقة على المشروع، مما يعرض تمويل المشروع والنشر الشامل للخطر. وسيؤدي إنشاء جدول زمني واضح إلى السماح بزيادة كفاءة العملية وتوفير قدر أكبر من اليقين لمطوري المشروع.

الفصل السادس: توفر الموارد والمسؤوليات الخاصة بأُطر الموارد المتاحة، بدءًا من استخدام المعايير والمحركات المبكرة والاتفاقيات الدولية، والتي يمكن الاستفادة منها عند تطوير إطار قانوني وتنظيمي محلي.

# 6. موارد ومسؤوليات الأُطر

## النقاط الرئيسية

- عند إنشاء إطار لبرنامج CCUS، يستطيع واضعو السياسات الاعتماد على عدد من الموارد بما في ذلك المعايير الدولية مثل تلك التي طورتها المنظمة الدولية للمعايير (ISO)، فضلاً عن تشريعات احتجاز واستخدام الكربون واستخدامه في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي ودول أخرى.
- بالإضافة إلى ذلك، عند إنشاء إطار عمل، يجب على صناع السياسات أن ينظروا إلى الاتفاقيات الدولية القائمة. وقد لا تلزم هذه الاتفاقيات الدولة بتنظيم مشاريع CCUS بطريقة معينة فحسب، بل قد تكون أيضًا مصدرًا للتوجيه.
- يعد مشروع جرينساند مثالاً على كيفية استخدام البلدين للمعايير الدولية والاتفاقيات الدولية في مشروع CCUS.

# مقدمة

هناك العديد من الموارد المتاحة للجمهور، بما في ذلك المعايير الدولية وأطر المحرك المبكر، والتي يمكن الاستفادة منها للمساعدة في إنشاء أطر CCUS. وقد تم عرض بعض هذه الموارد في هذا الفصل.

- يمكن للمعايير الدولية، ولا سيما المعايير ISO/TC 265 الخاصة باحتجاز $CO_2$ ونقله وتخزينه الجيولوجي، أن تساعد في تطوير أطر CCUS الخاصة بكل بلد.
- قد توفر أطر التحرك المبكر إرشادات لتطوير الإطار التنظيمي، بما في ذلك الإطار القانوني والتنظيمي لوكالة الطاقة الدولية بشأن CCUS.[1]
- وتوجد أيضًا نماذج تنظيمية لنقل وتخزين $CO_2$ عبر الحدود.
- قد تكون هناك حاجة أيضًا إلى اتفاقيات دولية، بناءً على طبيعة مشروع CCUS.

# المعايير الدولية

يمكن للمعايير الدولية، ولا سيما المعايير ISO/TC 265 الخاصة باحتجاز $CO_2$ ونقله وتخزينه الجيولوجي، أن تساعد في تطوير أطر CCUS الخاصة بكل بلد.

يتم تطوير المعايير من خلال إجماع الأعضاء في إطار المنظمة الدولية للمعايير (ISO). تتكون عضوية ISO من دول ومنظمات اتصال يمثلها خبراء دوليون في هذا المجال، والذين يجتمعون في إطار لجان فنية لصياغة مواصفات/مبادئ توجيهية/تعريف يعتمد على الممارسات الرائدة. ثم يصوت الأعضاء على المعايير من خلال الاقتراع، وإذا تمت الموافقة عليها، تتم مراجعة المعيار وتحديثه كل خمس سنوات. وتكون هذه المعايير طوعية ولا يمكن استخدامها بدلًا من اللوائح أو القوانين القائمة. ومع ذلك، يمكن الإشارة إلى المعايير أو دمجها أو اعتمادها في اللائحة. عندما تتبنى الولايات القضائية معيارًا، يمكن أن يساعد ذلك في تنسيق اللوائح والقوانين عبر الولايات القضائية.

تأسست ISO/TC 265 في عام 2011 وهي نشطة حاليًا. وتغطي العديد من مجموعات العمل التقاط $CO_2$ والنقل عبر خطوط الأنابيب والتخزين الجيولوجي والقضايا الشاملة والاستخلاص المعزز للنفط EOR والشحن. ويتم تقسيم القضايا المتعلقة بالقياس الكمي والتحقق بين مجموعات العمل المعنية. واعتبارًا من تاريخ نشر هذا الكتيب، يوجد في ISO/TC 265 عدد 28 دولة عضو مشارك و 16 دولة عضو مراقب والعديد من جهات الاتصال.[2] وبمجرد إصدار ISO/TC 265 معيارًا، يمكن لهيئة المعايير الوطنية في أي بلد اعتماد المعيار كليًا أو جزئيًا (انظر دراسة الحالة حول معيار التدقيق الدولي 27914 أدناه). ولا يعني هذا الاعتماد أن المعيار قد تم إدراجه في الإطار القانوني. ويقع التنفيذ على عاتق الجهات التنظيمية.

## ISO 27914

تم تطوير ISO 27914 في عام 2017 ويغطي التخزين الجيولوجي لـ $CO_2$. تتم حاليًا مراجعة هذا المعيار بموجب ISO/TC 265 لإضافة جزء خاص بالقياس الكمي والتحقق للتخزين دون إنتاج الهيدروكربونات ودمج الخبرات التي تم إجراؤها منذ النشر. ومن المتوقع أن تكتمل عملية المراجعة في عام 2025.

تم اعتماد ISO 27914 من قبل اليابان وكندا، وتمت الإشارة إليه من قبل الجهات التنظيمية النرويجية في إرشاداتها الخاصة بأنظمة سلامة $CO_2$. كما تمت الإشارة إليه واستخدامه من قبل عدد من المشاريع، بما في ذلك مشروع غرينساند لتخزين $CO_2$ على الجرف القاري الدنماركي،[3] وفي مشاريع في التكوينات الجيولوجية الروسية داخل مناطق ترخيص يامال وجيدان. وقد تم اعتماد كلا منطقتي الترخيص هاتين وفقًا للمعيار ISO 27914، مما يؤكد الامتثال للمعيار 27914، على سبيل المثال، عملية اختيار الموقع وتقديرات سعة التخزين.[4]

يصف المثال أدناه كيف قام مركز احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا بالاستفادة من الموارد الدولية للنهوض بتقنية التقاط وتخزين الكربون محليًا، بما في ذلك من خلال الانضمام إلى ISO/TC 265 كعضو مصوت.

## يعمل مركز احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا على الاستفادة من الموارد الدولية لتعزيز عملية CCUS

الشكل 6.1: قيادة مركز احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا (برعاية المركز)

في عام 2023، تم افتتاح مركز CCS في إندونيسيا (المركز)، بقيادة فريق من الخبراء في مجالات الهندسة والعلوم والسياسة والأعمال. وتمت إعارة العديد من الأعضاء من المؤسسات الرئيسية داخل إندونيسيا، بما في ذلك شركة النفط الوطنية برتامينا و وزارة الشؤون البحرية والاستثمار. كان الدافع وراء إنشاء المركز هو ضرورة العمل كمورد مخصص لتسريع تطوير تكنولوجيا CCUS في إندونيسيا من خلال البحث والابتكار والدعوة.

قام المركز بتيسير العديد من المناقشات بين الحكومات حول التعاون عبر الحدود بشأن CCUS وشارك في العديد من المشاركات الدولية واستضاف أول منتدى دولي لالتقاط وتخزين الكربون واستخدامه في البلاد ودعم مشاركة هيئة المعايير الوطنية في البلاد كعضو مصوت في ISO/TC 265. ويشارك المركز بنشاط في تطوير الإطار التنظيمي لالتقاط وتخزين الكربون ودعم المبادرات التجارية المحلية والإقليمية.

# أطر المحرك المبكر

يمكن للأطر التي طورها أولئك الذين يشرفون على مشاريع CCUS القديمة (المحركات المبكرة) أن توجه بناء القوانين واللوائح الناشئة. تتضمن أمثلة أطر المحرك المبكر ما يلي:

- نشر الاتحاد الأوروبي إطاره الشامل لتخزين $CO_2$ في عام 2009 من خلال التوجيه EC/2009/31 بشأن التخزين الجيولوجي لـ $CO_2$ (توجيه الاتحاد الأوروبي CCS).
- نشرت الوكالة الدولية للطاقة (IEA) إطارًا تنظيميًا نموذجيًا لـ CCS، مستفيدًا من أطر العمل من أستراليا وأوروبا والولايات المتحدة.[5]
- تمت مناقشة برنامج الفئة السادسة للتحكم في الحقن تحت الأرض في الولايات المتحدة في دراسة الحالة أدناه.

## التحكم في الحقن تحت الأرض (UIC) من الفئة السادسة "الأولوية" بالولايات المتحدة

تتمثل الأداة التنظيمية الأساسية لتخزين $CO_2$ تحت الأرض في الولايات المتحدة في برنامج الفئة السادسة للتحكم في الحقن تحت الأرض (UIC) (بموجب قانون شرب المياه الآمنة). الهدف من برنامج UIC هو حماية المصادر الجوفية لمياه الشرب من أنشطة الحقن. ويوفر برنامج الفئة السادسة متطلبات حقن $CO_2$ من أجل العزل الجيولوجي الدائم. وتتم إدارة هذه اللائحة حاليًا على المستوى الفيدرالي باستثناء ثلاث ولايات (داكوتا الشمالية و وايومنغ، ولويزيانا) التي حصلت على موافقة وكالة حماية البيئة لإدارة برنامج من الدرجة السادسة (يُشار إليها بالموافقة على "الأولوية"). ويوجد لدى وكالة حماية البيئة (EPA) عدد من الوثائق التوجيهية المتعلقة بـ UIC Class VI والتي قد تكون مفيدة لتطوير إطار CCUS في الولايات القضائية الأخرى.[6]

تعد المسؤولية والإشراف على موقع تخزين $CO_2$ من القضايا المهمة التي يجب مراعاتها عند سن إطار قانوني لبرنامج CCUS. ويوفر الإطار النموذجي لـ IEA بعض إرشادات حول هذا الموضوع.

## إطار IEA النموذجي: المسؤولية والإشراف على المدى الطويل

يعد الإطار النموذجي لـ IEA مثالاً على إطار المحرك المبكر. وهناك العديد من القضايا المرتبطة بالمسؤولية، بما في ذلك توزيع المخاطر والمسؤولية أثناء مرحلة النقل من نقطة الالتقاط إلى موقع التخزين. وهناك قضية معقدة بشكل خاص والتي كانت موضوع الكثير من النقاش وهي المسؤولية طويلة الأجل.

لاحظ الإطار النموذجي لـ IEA أن مسألة المسؤولية الطويلة الأجل يتم تناولها عمومًا بإحدى الطرق الثلاث التالية: النص على نقل المسؤولية إلى السلطة المختصة، أو أن المسؤولية الطويلة الأجل تقع صراحة على عاتق المشغل، أو عدم تناول المسؤولية الطويلة الأجل بشكل صريح.[7] وعندما لا تتم معالجة المسؤولية بشكل صريح، سيتم افتراض أن المشغل يحتفظ بالمسؤولية عن موقع التخزين إلى الأبد.[8] وتتطلب قاعدة الفئة السادسة رعاية موقع ما بعد الحقن لمدة 50 عامًا، يجب خلالها على المشغل إجراء مراقبة لعمود $CO_2$ للتأكد من أن الأمور تسير كما هو مخطط له. ويجب على المشغل الحفاظ على المسؤولية المالية خلال هذا الوقت. وقد طورت بعض الولايات أطر المسؤولية طويلة الأجل التي من شأنها أن تدخل حيز التنفيذ بعد فترة رعاية موقع ما بعد الحقن (مثل ولاية لويزيانا).

أما في الدول الثلاثين التي نقلت توجيهات الاتحاد الأوروبي بشأن CCS، فإن الوضع مختلف. ينص توجيه CCS على أن المشغل مسؤول بشكل صارم عن موقع التخزين حتى نقطة النقل، وهو ما سيحدث في فترة لا تقل عن 20 عامًا بعد توقف الحقن وإغلاق الموقع. وقد يكون الإطار الزمني للنقل أقل من فترة العشرين عامًا المنصوص عليها في توجيه CCS، عندما تقتنع السلطة المختصة باستيفاء شرط النقل الأساسي في تاريخ سابق. ويعني هذا النقل أن الجهة التنظيمية تتحمل المسؤولية والإشراف على موقع التخزين. ومع ذلك، فهو يعتمد على إثبات المشغل أن $CO_2$ المخزن سيتم احتواؤه بشكل كامل ودائم".[9] إن كيفية إجراء هذا العرض التوضيحي ليست إلزامية، ولكن الجانب المهم هو إثبات أن موقع التخزين وعمود $CO_2$ يتصرفان بشكل ويسقران كما هو متوقع. ويجوز للجهات التنظيمية استخدام قوائم المراجعة في التصاريح والمعايير الفنية وأفضل الممارسات لتمكين اتباع نهج أكثر شفافية وقابلية للتنبؤ في العرض التوضيحي.

# الاتفاقيات الدولية

قد يكون هناك عدد من قوانين النقل عبر الحدود واللوائح والمعاهدات الدولية ذات صلة بمشاريع CCUS الدولية عبر الحدود وتطوير الأطر الوطنية. ولن يتم التصديق على جميع هذه المبادئ ولن تكون ذات صلة جغرافية بصانعي السياسات الذين يتناولهم هذا الكتيب. ومع ذلك، فقد تحتوي إما على آليات أو نص يمكن أن يكون مفيدًا أو قد يكون نقطة انطلاق محتملة عند تنفيذ إطار لـ CCUS. ويلخص الجدول أدناه (الجدول 6.1) بعضًا من الأطر الدولية الرئيسية.

الجدول رقم 6.1: الاتفاقيات الدولية

| | |
|---|---|
| **اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار (UNCLOS) (1982)** | لا تنظم UNCLOS صراحة أنشطة CCUS. وقد يكون لأحكامها تأثير إذا اعتبرت أنشطة CCUS بمثابة "تلوث". وبموجب المادة 210 من اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار، يعتبر إلقاء النفايات شكلًا من أشكال التلوث. وفي الوقت الحالي، لا يوجد رأي قاطع حول ما إذا كان نقل $CO_2$ إلى منصة حقن بحرية أو حقن $CO_2$ في التكوينات الجيولوجية تحت سطح البحر يشكل إغراقًا و/أو تلوثًا بموجب اتفاقية UNCLOS. وعلاوة على ذلك، تشترط المادة 195 من اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار على الدول "عدم نقل الأضرار أو المخاطر، بشكل مباشر أو غير مباشر، من منطقة إلى أخرى". |
| **بروتوكول عام 1996 للاتفاقية المتعلقة بمنع التلوث البحري الناجم عن إلقاء النفايات والمواد الأخرى، 1972. (بروتوكول لندن)** | يعد بروتوكول لندن صكًا قانونيًا دوليًا شاملًا لحماية البيئة البحرية. وهي أيضًا المعاهدة الدولية الأكثر شيوعًا التي تمت مناقشتها في سياق نقل $CO_2$ عبر الحدود وفي حين أن العديد من الاقتصادات الناشئة، لا سيما تلك الموجودة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، ليست أطرافًا متعاقدة في البروتوكول، فإن هذا لا يمنعها من استيراد/تصدير $CO_2$ مع طرف متعاقد.[10] وقد حظر بروتوكول لندن في البداية تصدير $CO_2$ للتخزين البحري باعتباره يتم التخلص منه في البحر، وهو أمر محظور (تنص المادة 6 على أنه "لا يجوز للأطراف المتعاقدة السماح بتصدير النفايات أو غيرها من المواد إلى بلدان أخرى لإلقائها أو حرقها في البحر"). وفي عام 2009، تم اقتراح تعديل على بروتوكول لندن للسماح بتصدير $CO_2$ للتخلص منه إذا أبرمت البلدان المعنية اتفاقًا (لا يلزم أن يكون عقدًا). ولم يدخل هذا التعديل حيز التنفيذ؛ ومع ذلك، اعتمدت الأطراف قرارًا بشأن تطبيقه المؤقت. ويدعم هذا الإجراء الآن نقل $CO_2$ عبر الحدود. تتحمل الدولة المصدرة التي تكون طرفًا متعاقدًا في بروتوكول لندن مسؤولية إثبات أن الأطر القانونية/التنظيمية للبلد المستورد تتوافق مع متطلبات بروتوكول لندن.<br><br>تخزين $CO_2$ تدرس الانضمام إلى بروتوكول لندن واستخدام أحكام البروتوكول كعناصر أساسية للأطر الوطنية. |

| | |
|---|---|
| | تستضيف المنظمة البحرية الدولية (IMO) أمانة بروتوكول لندن والأطراف فيه. تسهل المنظمة البحرية الدولية IMO تبادل المعرفة من خلال موقعها على الإنترنت من خلال السماح بالوصول إلى الوثائق التوجيهية والقرارات،[11] وكذلك من خلال مساعدة الأطراف المتعاقدة الجديدة المحتملة مباشرة وعن طريق تسهيل الاتصال مع الأطراف المتعاقدة الأخرى. وقد تستلزم هذه المساعدة تقديم المشورة بشأن كيفية التحول إلى طرف متعاقد وكيفية تنفيذ الأطر بما يتوافق مع البروتوكول. ولدى المنظمة البحرية الدولية IMO أيضًا عدد من الوثائق التوجيهية للبيع في قاعدة بياناتها، ويتعلق العديد منها بـ CCS.[12] ويضم بروتوكول لندن 54 طرفًا متعاقدًا، العديد منها في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.[13] |
| **اتفاقية بازل (1989)** | تنص اتفاقية بازل على أن التجارة الدولية في النفايات الخطرة تخضع للموافقة المسبقة أو الرفض من جانب الدولة المتلقية. وليس من الواضح ما إذا كان $CO_2$ يشكل نفايات خطرة ضمن نطاق اتفاقية بازل. وبدون مزيد من التوضيح، قد يؤدي ذلك إلى زيادة التحديات الإجرائية من خلال فرض شروط أكثر صرامة على نقل $CO_2$ عبر الحدود الدولية. |
| **اتفاقية بشأن تقييم التأثير البيئي في سياق عابر للحدود ("اتفاقية اسبو")** | تتطلب اتفاقية إسبو من الأطراف تقييم الآثار البيئية لأنشطتها العابرة للحدود خلال المراحل الأولى من تخطيط المشروع واتخاذ جميع التدابير المناسبة للتخفيف من الآثار السلبية الكبيرة العابرة للحدود. لا يتم إدراج الأنشطة المرتبطة بـ CCUS والأنشطة المرتبطة بـ $CO_2$ صراحةً على أنها أنشطة مشمولة، ولكن قد يخضع مشروع CCUS لمتطلبات الاتفاقية إذا تم إجراؤه داخل أراضي أطراف الاتفاقية أو من خلالهم ويفي بالمعايير المنصوص عليها في الملحق الثالث للاتفاقية. وتضم اتفاقية إسبو 45 طرفًا متعاقدًا، لكن لا يوجد حاليًا أي منها في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.[14] |

**اتفاقية بشأن الوصول إلى المعلومات والمشاركة العامة في اتخاذ القرار والوصول للعدالة في الأمور البيئية (اتفاقية آرهوس)**

تفرض اتفاقية آرهوس متطلبات المشاركة العامة على الأطراف الأعضاء ضمن النطاق الإقليمي للاتفاقية بالنسبة للأنشطة التي قد يكون لها تأثير كبير على البيئة. وتضم اتفاقية آرهوس 48 طرفًا متعاقدًا، لكن لا يوجد حاليًا أي منها في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.[15]

تتم مناقشة بروتوكول لندن بشكل شائع في سياق نقل $CO_2$ عبر الحدود في منطقة آسيا. ويوضح المثالان أدناه كيف يمكن للبلدان التي صدقت على بروتوكول لندن (كأطراف متعاقدة) أن تعمل معًا وكيف يمكن لبلد صدق على البروتوكول (كطرف متعاقد) وبلد لم يصدق عليه (كطرف غير متعاقد) أن يعملان معًا.

## نقل $CO_2$ بين طرفين متعاقدين في بروتوكول لندن

بدأ مشروع جرينساند حقن $CO_2$ في مارس 2023، وهو ما يمثل أول مشروع بحري في العالم لـCCS عبر الحدود. تم شحن $CO_2$ الذي تم التقاطه في أنتويرب ببلجيكا إلى سفينة نيني حقل النفط الغربي المستنزف على الأراضي الدنماركية الجرف القاري للحقن.[16] تم تنفيذ المرحلة الأولى من المشروع على نطاق تجريبي. وتم اختيار الموقع وتوصيفه وفقًا للمعيار ISO 27914 بشأن التخزين الجيولوجي (المشار إليه أعلاه) وبعد ذلك تم تنفيذ المشروع التجريبي.[17] ولا يزال قرار الاستثمار النهائي معلقًا. وفي حالة المضي قدمًا في المشروع، ستكون هناك حاجة إلى تصريح تخزين واسع النطاق. ويمكن لهذا المشروع تخزين ما يصل إلى 5.1 مليون طن من $CO_2$ سنويًا بدءًا من 2025/2026، مع إمكانية زيادة أخرى تصل إلى 8 مليون طن من $CO_2$ سنويًا في عام 2030.[18] وتعد كلًا من الدنمارك وبلجيكا أطرافًا متعاقدة في بروتوكول لندن. وتعد مذكرة التفاهم (MoU) بين بلجيكا والدنمارك أول ترتيب وفقًا للمادة 6.2 من بروتوكول لندن.[19] و تعتبر مذكرة التفاهم غير الملزمة قانونًا رفيعة المستوى، حيث تحدد وكالات الترخيص في كلا البلدين وتؤكد الغرض والنطاق، 6.2 فضلًا عن تأكيد نية تنفيذ الأنشطة وفقًا للقوانين واللوائح المعمول بها، دون الخوض في تفاصيل المشروع.[20] وتعتبر مذكرة التفاهم متوافقة مع متطلبات المادة 6.2، ويتم اختيار الشكل في مذكرة تفاهم لاحقة بين هولندا والدنمارك أيضًا. وتدرس الأطراف المتعاقدة الأخرى اتفاقيات أكثر شمولًا وملزمة قانونًا.

## النقل بين الأطراف المتعاقدة وغير المتعاقدة في بروتوكول لندن

وقعت شركة تيمور جاب (شركة النفط المملوكة للدولة في تيمور الشرقية) بقيادة شركة سانتوس الأسترالية مذكرة تفاهم مع شركة Bayu-Undan.[21] يقع حقل بايو-أوندان في عرض البحر على الجرف القاري لتيمور الشرقية، حيث يملك قدرة تخزينية محتملة تصل إلى 10 مليون طن متري. وتعد أستراليا طرفًا متعاقدًا في بروتوكول لندن، في حين أن تيمور الشرقية ليست كذلك. وتعتبر المادة 2.6 أكثر توجيهية بالنسبة للحالات بين طرف متعاقد وغير متعاقد مقارنة بالترتيبات أو الاتفاقيات بين طرفين متعاقدين. كطرف متعاقد، يتعين على أستراليا ضمان أن اتفاقها/ترتيباتها مع تيمور الشرقية يحتوي على "أحكام تعادل على الأقل تلك الواردة في هذا البروتوكول، بما في ذلك تلك المتعلقة بإصدار التصاريح وشروط التصاريح للامتثال لأحكام المرفق 2، لضمان أن الاتفاق أو الترتيب لا ينتقص من الالتزامات "الأطراف المتعاقدة بموجب هذا البروتوكول على حماية وخدمة البيئة البحرية". ومن ثم، سيتعين على أستراليا إجراء عملية العناية الواجبة للإطار القانوني لتيمور الشرقية لتخزين $CO_2$ لتؤكد للأطراف المتعاقدة الأخرى أن أستراليا، من خلال تصدير $CO_2$ إلى تيمور الشرقية، لا تزال تفي بالتزاماتها بموجب بروتوكول لندن. وفي الوقت الحالي، لا تزال تيمور الشرقية تعمل على تطوير إطار تنظيمي لتخزين $CO_2$،[22] مما يجعل عملية بذل العناية الواجبة هذه صعبة.

# 7. أُطر العمل المخصصة للمشروع

## النقاط الرئيسية

- على مستوى المشروع، ينبغي لواضعي السياسات والجهات التنظيمية أن يفهموا مجموعة العقود التي يتطلبها مشروع احتجاز CCUS وتخزينه النموذجي، وكيف توزع هذه العقود المخاطر.
- ستشير معظم هذه العقود، إن لم يكن كلها، إلى قوانين ولوائح الدولة، حتى لو لم تكن خاصة بـ CCUS.
- من المرجح أن يتم تحديد قابلية تمويل مشاريع CCUS تبعًا لطبيعة حقوق الملكية الممنوحة بموجب إطار محلي، مثل حقوق الحصول على مساحة المسام، أو حقوق الحصول على أرصدة الكربون الناتجة عن المشروع.

# مقدمة

يصف الفصل السادس الموارد اللازمة لتطوير الأطر، بما في ذلك المعايير وأطر التحرك المبكر والاتفاقيات الدولية. تمضي بعض الاقتصادات الناشئة قدمًا في تطبيق الأطر القانونية والتنظيمية الخاصة ببرنامج CCUS على مستوى مشروع محدد. يمكن أن توفر هذه الطريقة عمومًا نهجًا ذكيًا من خلال معالجة القضايا الرئيسية لإطار CCUS دون الحاجة إلى عملية موافقة مطولة عبر الوزارات والتي قد تكون ضرورية لقانون/لائحة جديدة مستقلة لـ CCUS. ولا يزال بإمكان البلدان التي تعتمد لوائح خاصة بالمشروع أن تعمل على تعديل القوانين/اللوائح الحالية بالتوازي واستخدام اللوائح الخاصة بالمشروع كتجربة تجريبية

قد تتضمن الاستفادة من الأطر تطبيق المعايير أو إجراءات الترخيص الجديدة أو المبادئ التوجيهية. وترد أدناه قائمة غير شاملة للاعتبارات المتعلقة بإطار CCUS.

## الاعتبارات الرئيسية لإطار CCUS

- الهدف من نشر CCUS في البلاد
- متطلبات تقارير الانبعاثات (التقاط الانبعاثات الجوية وتسرب $CO_2$ والنفايات الخطرة وغيرها)
- حقوق الملكية واستخدام الأراضي والوصول للنقل والتخزين
- المسؤولية عن التخزين
- تصريحات سلسلة التوريد لـ CCUS
- المراقبة والتحقق وتقدير الكمية
- متطلبات التقارير والاحتفاظ بالوثائق
- تصنيف $CO_2$ (نفايات وسلع وخطر/سام)
- متطلبات توصيف وتركيب $CO_2$
- الرعاية القصيرة والطويلة الأمد والمسؤولية عن المواقع المحتملة للتخزين
- ملكية $CO_2$ وعقود الأطراف الخاصة
- التقييمات البيئية
- التواصل مع المجتمع، بما في ذلك اعتبارات العدالة البيئية وخطط فوائد المجتمع
- مطابقة مصادر $CO_2$ مع مواقع التخزين الجيولوجي الدائمة (المعروفة أيضًا باسم "المراكز والتجمعات")
- متطلبات المحتوى المحلي
- الضرائب المتعلقة بمشاريع CCUS (على سبيل المثال، قواعد الاستهلاك والحوافز الضريبية)

## مشاريع سليبنر النرويجية وتوماكوماي اليابانية

لقد استمرت مشاريع CCUS التجارية دون إطار قانوني/تنظيمي شامل، بما في ذلك مشروع توماكوماي في اليابان ومشروع سليبنر في النرويج.

الشكل 7.1: مشروع Tomakomai CCUS التجريبي. (صورة برعاية الوكالة الدولية للطاقة (2021)، CCUS في جميع أنحاء العالم في عام 2021، الوكالة الدولية للطاقة، باريس https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world-in-2021، الترخيص: CC BY 4.0)

**آسيا:** توماكوماي (Tomakomai)، هو مشروع تجريبي لاحتجاز وتخزين الكربون في البحر بقيادة شركة Japan CCS Co. Ltd، وقد تم التكليف بالقيام به في عام 2012 من قبل وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة (METI)، وفي عام 2018 من قبل منظمة تطوير الطاقة الجديدة والتكنولوجيا الصناعية.[1] ونظرًا لأن اليابان لم يكن لديها قانون خاص بـ CCUS عند إطلاق مشروع Tomakomai، فقد تم تطبيق أو تعديل القوانين واللوائح الحالية التي تحكم هذه العملية.

على سبيل المثال، تم تعديل قانون منع التلوث البحري والكوارث البحرية لتنظيم تخزين $CO_2$ في الخارج بما يتماشى مع تعديل عام 2006 لقانون لندن.[2] ويشترط هذا القانون الحصول على تصريح من وزير البيئة لتخزين $CO_2$ تحت قاع البحر، ويتطلب طلب التصريح توفر خطة مشروع وخطة مراقبة وتقرير تقييم الأثر البيئي.[3] علاوة على ذلك، تم تطبيق قانون التعدين وقانون سلامة التعدين لضمان معايير السلامة لعمليات حقن $CO_2$ وتخزينه.[4] كما وضعت وزارة التجارة والصناعة مبدأ توجيهيًا وتم إعداد وتطبيق "العمليات الآمنة لمشروع تجريبي لـ CCS"[5] و"دليل معايير إدارة الخزانات أثناء حقن $CO_2$" وقد أخذ هذا الدليل في الاعتبار لوائح CCUS الدولية والمعايير الفنية والمبادئ التوجيهية.[6] ولم يتم بعد وضع أحكام المسؤولية طويلة الأجل وإغلاق الموقع ونقل هذه المسؤولية في اليابان ولكن يتم وضعها كجزء من برنامج الحكومة الخاص بالإجراءات التنظيمية المستمرة. وتواصل البلاد العمل نحو إطار أكثر شمولا لـ CCUS.

الشكل 7.2: مشروع سليبنر. (الصورة مقدمة من Gullfaks B. Av Ole Jørgen CC (BY SA 3.0. https://snl.no/Equinor

**أوروبا.** في مشروع سليبنر النرويجي، تم حقن $CO_2$ في الخارج في تكوين ملحي تحت سطح البحر لأكثر من 25 عامًا.[7] ويفصل مشروع سليبنر $CO_2$ عن الغاز الطبيعي المنتج في منصة بحرية. يتم بعد ذلك حقن $CO_2$ وتخزينه في تكوين أوتسيرا البحري المجاور تحت قاع البحر.[8] بدأ هذا المشروع في عام 1996، قبل وقت طويل من تنفيذ النرويج لإطار تنظيمي مخصص لـ CCUS في عام 2014.[9] وبدأ المشروع في إطار النفط والغاز الحالي؛ ومع ذلك، فقد تمت معالجة أنشطة CCUS في إطار خطة التطوير والتشغيل قبل بدء عمليات الغاز. وبعد إقرار الإطار الجديد، تقدم رعاة المشروع بطلب للحصول على تصريح محدث وحصلوا عليه.[10] ونجح المشروع في نقل عمليات المشروع ضمن الإطار الجديد.[11]

توضح دراسات الحالة المذكورة أعلاه كيفية استخدام الأطر الحالية غير المرتبطة بـ CCUS لإجراء مشاريع CCUS في اليابان والنرويج.

عند البدء في عملية صياغة إطار قانوني/تنظيمي لـ CCUS، قم بإدراج خبراء الصحة والسلامة والبيئة والصناعة ذوي الخبرة في كل من الأطر التقنية والقانونية. وعلى الرغم من وجود طرق مختلفة للتعامل مع الصياغة التشريعية، إلا أن هناك بشكل عام خمسة مكونات رئيسية:

- تقنين (تحقيق الأثر القانوني المقصود)
- إضفاء الطابع الرسمي (اختيار الوسيلة التشريعية المناسبة)
- التكامل (ربط القانون الجديد بالقانون الحالي)
- تنظيم (ترتيب النص التشريعي بشكل مناسب)
- التوضيح (تحقيق وضوح التعبير)[12]

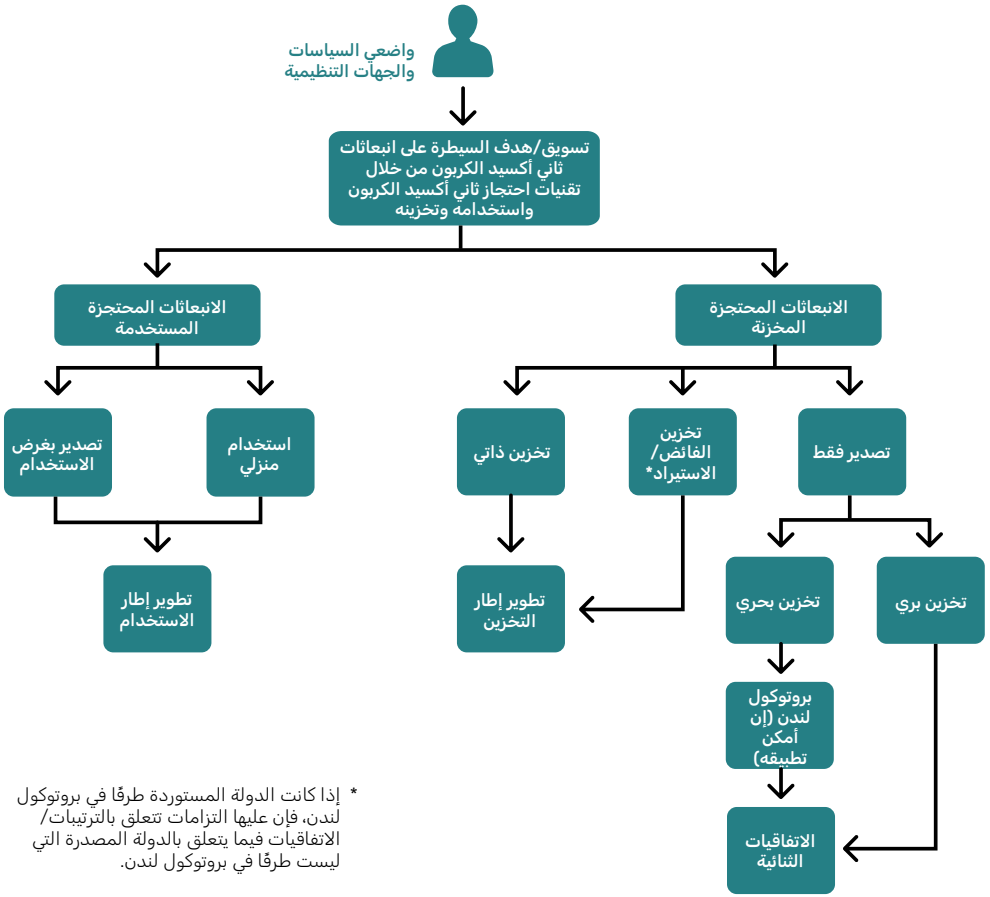
يجب أن تكون مسودة اللائحة أو القانون مناسبة للغرض ومفهومة وقابلة للتنفيذ في الولاية القضائية التي يتم تطبيقها فيها. يمكن أن تكون عملية الصياغة توجيهية (تحدد المتطلبات أو المعايير التي يجب على المشغل الوفاء بها) أو تعتمد على الأداء (توفر المعايير التي يجب على المشغل الوفاء بها). هناك العديد من الموارد المفيدة المتاحة للمساعدة في عملية الصياغة مثل المعايير

الدولية، والأطر القائمة، وما إلى ذلك والتي يتم مشاركتها بمزيد من التفصيل في الفصل السادس: الموارد والمسؤوليات للأطر.

ينبغي أن يكون تطوير الأطر عملية متكررة تتضمن المعلومات والدروس المستفادة من المشاريع الفعلية. إن استخدام الموارد والأطر النموذجية وأفضل الممارسات والدروس المستفادة من البلدان الأخرى قد يؤدي إلى تسريع عملية الصياغة ورسم خرائط القضايا والحلول المحتملة لكل من التحديات التقنية والتجارية في صناعة CCUS. ومع ذلك، فإن جميع البلدان لها خصائصها وتحدياتها الفريدة؛ ولذلك، يعد الاختبار التجريبي لأي إطار عمل جزءًا مهمًا من التنفيذ.

ستختبر المشاريع التوضيحية مرونة وملاءمة الصكوك القانونية وأنظمة التصاريح وتساعد في تحديد أي ثغرات تنظيمية.[13] كما يتيح المشروع التجريبي أيضًا المشاركة بين مطور المشروع والجهة التنظيمية والمسؤولين الحكوميين الآخرين، مما يمكن أن يعزز التعاون ويدعم دمج الدروس المستفادة . ويعد المشروع التجريبي النرويجي Longship أحد الأمثلة على المشروع التجريبي الذي تم استخدامه لاختبار الإطار القانوني الجديد لـ CCUS. Longship هو المشروع الأول الذي تم تطويره ضمن إطار CCUS المخصص. وقد تم تحديد عدد من التحديات والقضايا غير المتوقعة، وتمت معالجتها إلى حد ما كنتيجة للمشروع.[14]

الشكل 7.1 هو توضيح لشجرة القرار لتطوير إطار الاستخدام أو التخزين، بالتزامن مع الخطوات من الأولى إلى السادسة الموضحة في الفصول 5 و 6 و 7 من هذا الدليل.




* إذا كانت الدولة المستوردة طرفًا في بروتوكول لندن، فإن عليها التزامات تتعلق بالترتيبات/الاتفاقيات فيما يتعلق بالدولة المصدرة التي ليست طرفًا في بروتوكول لندن.

الشكل 7.1: مسار القرار لإنشاء الإطار. (تتم مناقشة بروتوكول لندن في الفصل السادس: الموارد والمسؤوليات الخاصة بالأطر)

# أفضل ممارسات أُطر العمل المخصصة للمشروع

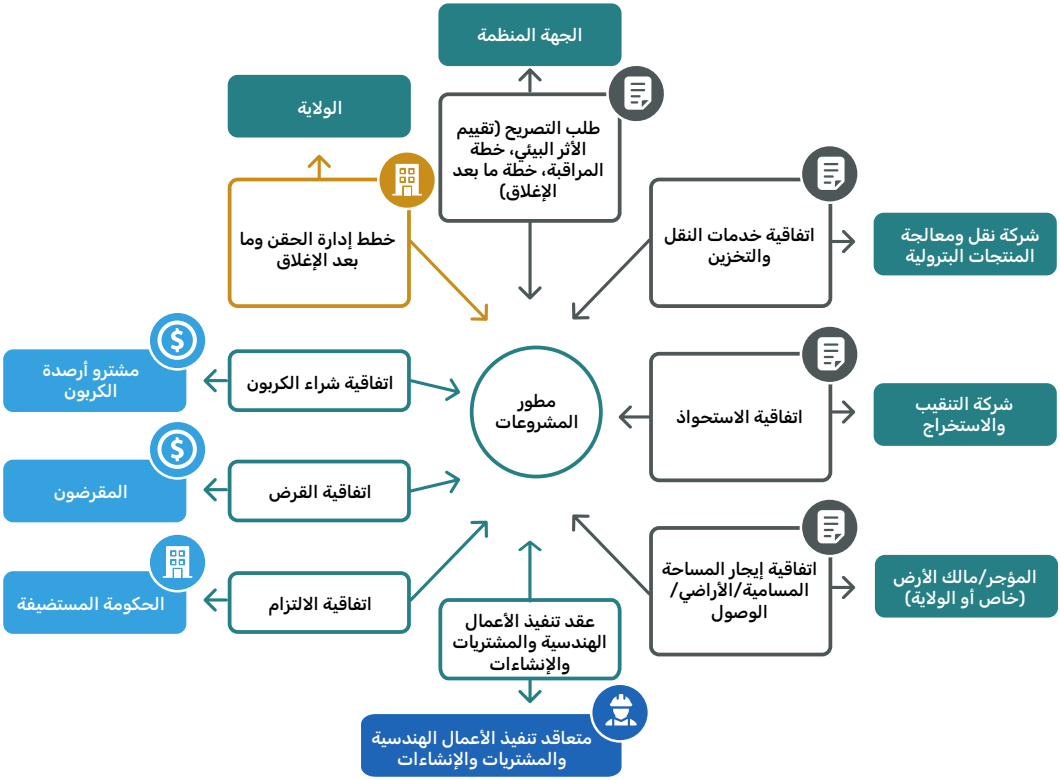
يمكن للموارد الموضحة أعلاه أن تدعم تطوير الأطر القانونية والتنظيمية الدولية أو المحلية. وعلى مستوى المشروع، هناك أيضًا مجموعة من الصكوك والعقود القانونية التي يجب مراعاتها.

كما هو مبين في الشكل أدناه (الشكل 7.2)، هناك العديد من اللاعبين الرئيسيين وأنواع مختلفة من العقود التي عادة ما تكون ضرورية لمشروع التخزين. هذا مجرد نوع واحد من النماذج للمشروع. ستحتاج أي شركة تجري تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى تحديد مدى اندماجها رأسيًا في سلسلة القيمة. قد يشرف مطور المشروع، المنفصل عن الجهة المرسلة، على بعض أو كل سلسلة قيمة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، بحيث قد تكون شركات الالتقاط/النقل/التخزين (المنبع/التكرير/المصب) كيانات متعددة أو فردية. وتشبه العديد من الأدوات العقود اللازمة لقطاع الطاقة، كما هو موضح في دليل فهم اتفاقيات شراء الطاقة الخاص ببرنامج تطوير القانون التجاري.[15]

- **التصاريح والوثائق ذات الصلة.** ويمنح مطور المشروع (المالك/المشغل) الحق في حقن $CO_2$ للتخزين الدائم. عادةً، ستطلب الجهة التنظيمية من المطور تقديم معلومات عن توصيف الموقع، وتقييم الأثر البيئي، وخطة لمراقبة الموقع أثناء الحقن، وخطة لإدارة الموقع عند الإغلاق.
- **اتفاقية خدمة النقل والتخزين.** يُلزم المطور بالحصول على التصاريح المطلوبة، بما في ذلك تلك اللازمة لخطوط الأنابيب، لإجراء العمليات في الموقع كشرط لشركة الوسيط التي توفر $CO_2$. قد تتطلب هذه الاتفاقية أيضًا من المطور الالتزام بالبروتوكولات لتأمين الحوافز مثل الإعفاءات الضريبية لإنتاج التخزين أو حوافز التخزين الأخرى.
- **اتفاقية الاستحواذ.** يُلزم شركة التنقيب (على سبيل المثال، الكيان الذي يلتقط $CO_2$) بتوفير $CO_2$ بمواصفات وأحجام محددة. يمكن أن تتضمن هذه الاتفاقية بند "الأخذ أو الدفع" بحيث يقوم مطور/مشغل التخزين بتعويض شركة المنبع حتى في حالة انقطاع عمليات نقل $CO_2$ أو تخزينه.

- **اتفاقية مساحة المسام/الأرض/الوصول.** يحكم عقد الإيجار/الامتياز للوصول إلى الممتلكات السطحية أو المساحة المسامية حيث سيتم تطوير موقع التخزين. ويمكن أن يحدث هذا من خلال الشراء أو الإيجار أو يمكن إصداره من قبل مالك مساحة المسام عبر الإصدار المخطط مسبقًا لموارد التخزين أو عن طريق تقديم العطاءات.
- **عقد الهندسة والمشتريات والبناء (EPC).** يحدد الشروط والأحكام لتصميم موقع التخزين، وشراء المواد والمعدات، وبناء الموقع. ويمكن أيضًا تقسيم الالتزامات الناشئة بموجب هذه الاتفاقية بين عقود متعددة تتضمن واحدًا أو أكثر من هذه النطاقات.
- **اتفاقية قرض.** ينشئ التزام المقرضين بتمويل مشروع التخزين، وكذلك التزامات مطور المشروع بالامتثال لمختلف التعهدات في اتفاقية القرض.
- **اتفاقية شراء الكربون.** تحكم الشروط بين المطور والمشتري لأرصدة الكربون الناتجة عن مشروع التخزين. وتتم مناقشة استخدام أسواق الكربون بمزيد من التفصيل في الفصل السادس: موارد ومسؤوليات الأُطر.
- **اتفاقية تنازل.** يمنح مطور المشروع الحق في تطوير وتمويل وإنشاء وتشغيل مشروع التخزين. وهذا مهم بشكل خاص عندما لا يكون مطور المشروع محليًا في الدولة.
- **خطط الإشراف على الحقن وما بعد الإغلاق.** قبل الحقن، قد يُطلب من مطور المشروع تقديم دليل على الأمن المالي للدولة. ويمكن استخدام هذا التمويل المصحوب بفائدة من قبل الولاية لتغطية تكاليف الإشراف بعد عدد معين من السنوات بعد إغلاق الموقع. وفي بعض الحالات، قد تسمح الولاية بنقل الإشراف على المدى الطويل من المطور إليها بعد استيفاء المطور لمتطلبات معينة بعد الإغلاق.

إلى جانب المشاركة المجتمعية والأطر القانونية والتنظيمية، تعد الأدوات المالية أيضًا أساسية لتمكين نجاح مشروع CCUS.




الشكل 7.2: مجموعة العقود لمطور مشروع التخزين.

# 8. التمويل والحوافز

## النقاط الرئيسية

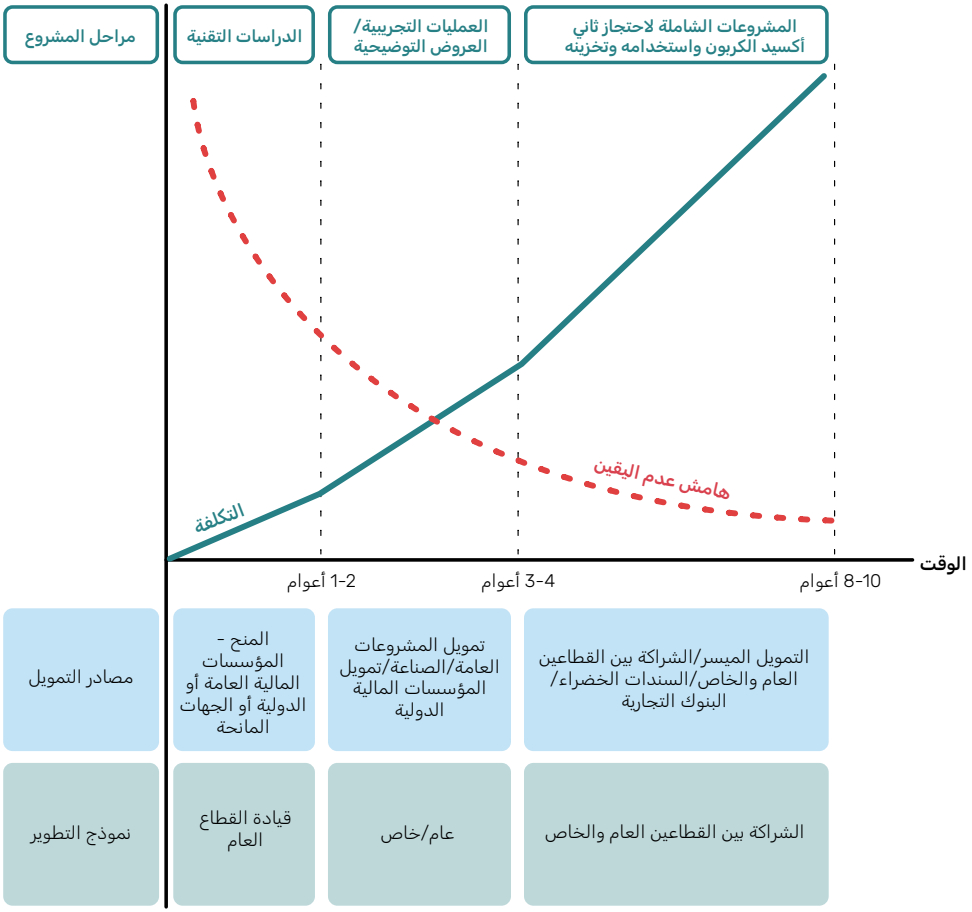
- يجب التخلص من معظم الكربون الناتج بشكل دائم. سيتم تحفيز المستثمرين والمشغلين في مشروع CCUS على بناء وتشغيل مشاريع CCUS عندما يكون هناك سبب اقتصادي لالتقاط ونقل وتخزين نفايات الكربون. ويجب أن يكون للكربون الملتقط قيمة.
- بالنسبة لصناع السياسات والجهات التنظيمية التي تسعى إلى تحفيز الاستثمار في مشاريع احتجاز وتخزين الكربون، هناك عدد من الطرق لخلق القيمة من الكربون المحتجز/المخزن. وتشمل هذه الإعفاءات الضريبية وضرائب الكربون على الانبعاثات وخطط تحديد سقف للانبعاثات ومقايضتها وببساطة المتطلبات التنظيمية التي تحد من كمية الكربون التي يمكن انبعاثها (وبالتالي تحفيز الاستثمار في احتجاز وتخزين الكربون لتلبية مثل هذه العتبة). وقد تكون أسواق الكربون الطوعية أيضًا مصدرًا للقيمة لمشاريع CCUS.
- ومع ذلك، ينبغي لواضعي السياسات أن يكونوا على دراية بالعواقب غير المقصودة لخياراتهم السياسية، وأن يكونوا مستعدين لتكييف الحوافز المالية بمجرد أن تصبح هذه العواقب واضحة.
- ومن أجل خفض تكلفة رأس المال، قد يتمكن المستثمرون والمشغلون في مشروع CCUS من الوصول إلى القروض والأدوات المالية الأخرى المرتبطة بالأهداف المناخية.

# مقدمة

يناقش هذا الفصل الأدوات والآليات المالية التي يجب على واضعي السياسات مراعاتها عند وضع استراتيجيات وأطر استخدام احتجاز الكربون وتخزينه (CCUS). ويحدد التقرير أيضًا عددًا من الأدوات المالية التي يمكن للبلدان ومطوري المشاريع أخذها في الاعتبار لتعزيز مشاريع CCUS، بما في ذلك القروض المصرفية وضرائب/حوافز الكربون والتعديلات الحدودية وأسواق الكربون.

عند تطوير هذه الأدوات والآليات، من المهم النظر في المراحل المختلفة لتطوير المشروع وكيف يمكن للحوافز أن تساعد في تقدم كل مرحلة، إلى حد كبير عن طريق تقليل التكاليف والمخاطر. ويوضح الرسم التالي التوسع النموذجي للمشروع بدءًا من الدراسات الفنية والتجارب وحتى العروض التوضيحية والنشر التجاري على نطاق واسع. كما أنه يتتبع هذه المراحل لمختلف أدوار الشراكة بين القطاعين العام والخاص وأنواع الحوافز وآليات التمويل التي يمكن تطبيقها في كل مرحلة. ومن الممكن أيضًا أن تتمكن الصناعة من متابعة هذه المشاريع دون دعم البحث والتطوير، مثل الاعتماد على تجارب البحث والتطوير من بلدان أخرى.

من منظور المشروع التجريبي والتجاري، يمتد التخطيط المالي لمشروع التقاط وتخزين الكربون وتخزينه على مجموعة متنوعة من المراحل المذكورة في الشكل 8.1. وفي وقت مبكر من عمر المشروع، يتم تقدير التكاليف وتحسينها بالنسبة للنفقات الرأسمالية والتشغيلية بناءً على الدراسة الهندسية للواجهة الأمامية (FEED). ومع نضوج المشروع، يتم تحسين تكاليف المشروع المتوقعة بشكل أكبر في جميع مراحل المشروع. ونظرًا لأن CCUS لا ينتج عمومًا منتجات مباشرة أو يخلق دخلًا للمشروع، فقد يكون هناك نوع من التفويض التنظيمي ضروري لتمكين اتخاذ قرار استثماري إيجابي.




الشكل 8.1: كيف يدعم البحث والتطوير المبكر في الشراكات بين القطاعين العام والخاص. هارشيت أغراوال، مجموعة البنك الدولي، نوفمبر/تشرين الثاني 2023، تحفيز نشر تكنولوجيا CCUS في البلدان النامية (شرائح PowerPoint).

# اقتصاديات مشاريع CCUS

إن فهم اقتصاديات مشاريع CCUS أمر مهم لمساعدة صناع السياسات على صياغة الحوافز لتشجيع نشرها. ويمكن أن تشتمل CCUS على رأس مال أولي كبير وتكاليف تشغيل وصيانة سنوية طويلة الأجل. إن فهم هذه التكاليف أمر بالغ الأهمية في تحديد مستوى الحوافز في مراحل مختلفة من المشروع لدعم التنمية التجارية واسعة النطاق. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تتراوح التكاليف الرأسمالية الأولية وإنشاء محطة التقاط الكربون من 50 مليون دولار أمريكي إلى مليار دولار أمريكي اعتمادًا على مصدر وحجم $CO_2$ المطلوب التقاطه.[1] وهذا عمومًا هو أكبر إنفاق إجمالي لمشروع احتجاز CCUS. وتتطلب عمليات النقل والتخزين عبر خطوط الأنابيب لمسافات طويلة أيضًا نفقات رأسمالية كبيرة. ويعد الوصول إلى موقع تخزين قريب من مشروع الالتقاط أمرًا مرغوبًا فيه بشكل عام من وجهة نظر التكلفة الإجمالية للمشروع حيث يمكن تقليل نفقات النقل. وسيكون لكل مشروع سمات فريدة من شأنها أن تجعل ملفات تعريف التكلفة مختلفة إلى حد ما.

ينبغي تقييم مشاريع CCUS بطريقة تتفق مع مبادئ الاقتصاد العام وتمويل المشاريع. والهدف من تحليل المشروع هو التأكد من الإيرادات المستقبلية وإجمالي رأس المال وتكاليف التشغيل والصيانة مع مرور الوقت. إلى جانب الإيرادات والتكاليف، يعد تقييم المخاطر لكل مكون ضروريًا أيضًا لفهم كيف ستؤثر التغييرات المحتملة في السوق والظروف التنظيمية على التدفق النقدي للمشروع.

إن إيرادات المشاريع مدفوعة إلى حد كبير بالإجراءات الحكومية. ويمكن أن تكون هذه الإجراءات في شكل تفويضات (على سبيل المثال، ضرائب الكربون وتفويضات بيئية)، أو حوافز (على سبيل المثال، الإنفاق الحكومي المباشر والإعفاءات الضريبية والخدمات المالية). وفي بعض الحالات المحدودة، يمكن أن تساعد الإيرادات المتأتية من بيع $CO_2$ لاستخدامها في تبرير تكاليف المشروع، كما في حالة CCUS عبر تطوير $CO_2$-EOR في الولايات المتحدة.

# القابلية المصرفية وإزالة المخاطر المالية لـ CCUS

## الإجراءات الحكومية الخاصة بـ CCUS

هناك مجموعة من الأساليب الاقتصادية التي يمكن للحكومات أن تتبناها لتحفيز خفض أو إزالة انبعاثات $CO_2$ من خلال CCUS. وتشمل التفويضات فرض ضريبة على الكربون أو فرض تنظيم على عملية الصناعة/الطاقة لتقليل الانبعاثات. وتشمل الحوافز نفقات البحث والتطوير، والمنح الحكومية أو التمويل من خلال اتفاقيات التعاون، وحوافز الاستثمار والإنتاج المباشر، والإعفاءات الضريبية على الإنتاج (PTC)، والإعفاءات الضريبية على الاستثمار (ITC)، وزيادة الطلب على المنتجات الخالية من الكربون من خلال التنظيم أو الحوافز.

## ضريبة الكربون

ضريبة الكربون هي آلية يتم من خلالها فرض ضريبة على انبعاثات $CO_2$ بناءً على حجمها وتأثيرها و/أو مصدرها. أحد الاعتبارات المهمة في سياسة ضريبة الكربون هو تضمين تدابير التخفيف مثل CCUS أو الأنشطة السلبية الصافية مثل CDR.

يمكن للحكومة تحديد المستويات الضريبية، وهي تتسم بالشفافية ويمكن التنبؤ بها، وتوفر سعرًا ثابتًا للانبعاثات. ومع ذلك، قد يؤدي هذا النوع من السياسات إلى تقدير أقل أو أكثر من اللازم لاستجابة السوق للضريبة، وخطر تسرب الكربون (أي نقل العمليات خارج البلد أو المنطقة إلى ولاية قضائية بدون ضريبة أو بضريبة أقل).

في عام 2012، نفذت اليابان ضريبة الكربون كجزء من سياسات الإصلاح الضريبي الشاملة.[2] تنطبق ضريبة اليابان على قطاعات الوقود الأحفوري، ومع ذلك، قامت الحكومة بتوسيع العديد من الإعفاءات وتدابير استرداد معدلات ضريبة الكربون لمنتجات الوقود الأحفوري المستخدمة على وجه الخصوص الطاقة. الصناعات المكثفة، مثل الزراعة والنقل العام والصناعات البتروكيماوية ومحطات الطاقة

التي تعمل بالفحم. أصدرت سنغافورة أيضًا ضريبة على الكربون في عام 2019، بدءًا من 5 دولارات للطن من مكافئات $CO_2$، مع زيادات تدريجية تصل إلى 50-85 دولارًا للطن من مكافئات-$CO_2$ بحلول عام 2030.[3]

## الحد الأقصى والمتاجرة (Cap-and-trade)

يحدد نظام الحد الأقصى والمتاجرة الحد الأقصى لحجم الانبعاثات المسموح بها. سيتم بيع البدلات، أو تراخيص الانبعاثات، في ظل سوق تنافسية لأعلى شركة بناء. ويمكن أن تكون تدابير التخفيف أيضًا جزءًا من نظام السوق الإلزامي الذي يمكن من خلاله إجراء المعاملات بين الجهات المصدرة للانبعاثات والجهات المخففة (انظر دراسة الحالة حول خطة تداول الانبعاثات التابعة للاتحاد الأوروبي أدناه). يتمتع نظام تداول الانبعاثات بميزة السماح لقيمة الكربون بالتباين بناءً على الطلب على الانبعاثات والعرض من أجل التخفيف. الجانب السلبي لمثل هذا النظام هو احتمال التقلبات في السوق وبالتالي انخفاض اليقين بشأن المخاطر والإيرادات لمشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه.

## خطة الاتحاد الأوروبي لتجارة الانبعاثات Cap-and-trade

تم تنفيذ خطة الاتحاد الأوروبي لنظام تداول الانبعاثات (ETS) في جميع الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي البالغ عددها 27 دولة بالإضافة إلى دول رابطة التجارة الحرة الأوروبية (أيسلندا ليختنشتاين والنرويج).[4] ينص نظامETS على حد أقصى إجمالي للانبعاثات، حيث يتم التعبير عن طن من الانبعاثات المسموح بها كبدل. ويجب على الجهات المصدرة للانبعاثات أن تتنازل (وتدفع ثمن) بدلات تعادل انبعاثاتها. وإذا فشلوا في القيام بذلك، فسوف يتعرضون لغرامة.[5] وإذا كانت الانبعاثات أقل من المسموح به، فإن نظام ETS يسمح للباعثين بتداول (بيع) البدلات الزائدة إلى بواعث أخرى. إذا قامت أجهزة الانبعاث بتخفيض الانبعاثات أو إزالتها من خلال CCUS فإن ETS يتعرف على $CO_2$ على أنه غير منبعث. وينتج عن ذلك عدم تكليف الباعث بتسليم بدلات الكميات التي تمت إزالتها أو تخفيضها. خطر انتقال الانبعاثات من المرسل عندما يتم نقل $CO_2$ إما إلى منشأة احتجاز أو نقل أو تخزين أو إذا تم نقل $CO_2$ للخارج عن طريق الارتباط الكيميائي الدائم في المنتج (أي لا يمكن ل $CO_2$ دخول الغلاف الجوي في ظل الاستخدام العادي من المنتج).[6]

ولا يغطي نظام مقايضة الانبعاثات ETS جميع أنواع الانبعاثات، وتقوم العديد من البلدان بتنفيذ ضرائب على الكربون لتحفيز خفض الانبعاثات خارج نظام ETS. ومع ذلك، فإن نظام ETS لا يستبعد الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي من تنفيذ ضرائب الكربون بالإضافة إلى تحديد سقف للانبعاثات وتداولها التي يشتمل عليها نظام ETS. في النرويج، يتم وضع مخصصات "خدمات الاختبارات التربوية" فوق ضريبة $CO_2$ التي تفرضها النرويج على قطاع النفط والغاز البحري، مما يخلق حافزًا مقنعًا للانخراط في CCUS بدلاً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون $CO_2$.[7]

## لوائح الانبعاثات للعمليات الصناعية/محطات الطاقة

ويمكن استخدام القيود التنظيمية المباشرة على الانبعاثات بمفردها أو بالاشتراك مع آليات أخرى، مثل تحديد الحد الأقصى والاتجار كما هو موضح أعلاه. وهذا يتطلب من الجهة المرسلة تنفيذ تدابير التحكم في الانبعاثات[8] أو تقليل مصدر الانبعاثات أو إزالته (على سبيل المثال، التقاعد القسري للأصول أو CCUS) ويتطلب الامتثال لمعايير الأداء. يمكن إجراء هذا النوع من اللوائح على أساس توازن الكتلة (كتلة الانبعاثات/مدخلات وقود العملية المسموح بها)، أو أساس أداء المنتج النهائي (كتلة الانبعاثات/وحدة مخرجات الإنتاج المسموح بها)، أو أساس التوازن الإجمالي (كتلة الانبعاثات المسموح بها لكل فترة زمنية) مثال على هذا النوع من التنظيم هو القاعدة الأمريكية المقترحة "معايير أداء المصدر الجديد لانبعاثات غازات الدفيئة من وحدات توليد الكهرباء الجديدة والمعدلة والمعاد بناؤها التي تعمل بالوقود الأحفوري".9 تحتوي القاعدة على متطلبات تركيب معدات احتجاز الكربون في محطات توليد الطاقة.[9] تحتوي القاعدة على متطلبات تركيب معدات احتجاز الكربون في محطات توليد الطاقة. وكمثال آخر، تدرس المملكة العربية السعودية جعل جميع محطات الغاز الجديدة مزودة بتقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، أو أن تكون على الأقل "جاهزة لالتقاط ثاني أكسيد الكربون".[10]

## نفقات البحث والتطوير والنشر

أحد السبل المحتملة لتحفيز نشر تكنولوجيا CCUS و أن تقوم الحكومات بأنشطة البحث والتطوير والنشر لتعزيز المعرفة المحلية والعالمية بتقنيات CCUS. تتوفر حاليًا برامج قوية للبحث والتطوير في الولايات المتحدة وأوروبا وكندا وأستراليا واليابان للمساعدة في نشر تكنولوجيا CCUS. ويتم تمويل بعض هذه البرامج جزئيًا من خلال الحوافز، مثل الضرائب أو البدلات الفائضة.[11]

وينبغي أن يسبق نشر برامج البحث والتطوير الجديدة تحديد قوي للاحتياجات والفرص المستهدفة. وقد تكون هناك حاجة أيضًا إلى مراجعة متسقة من قبل خبراء خارجيين لضمان استخدام التمويل بكفاءة وإنتاجية. ولهذه البرامج قيمة في تشجيع الصناعة على اتخاذ الإجراءات المطلوبة. يمكن مكافأة المنتقلين الأوائل بمنح البحث والتطوير، والإعفاءات الضريبية المواتية، وما إلى ذلك لدفع

عملية النشر. من الممكن استخدام البنية التحتية من مشاريع البحث والتطوير في النشر التجاري المستقبلي. ومن الأمثلة على ذلك استخدام الآبار المحفورة لدراسات توصيف المواقع الجيولوجية.

## بنوك التنمية متعددة الأطراف

توفر بنوك التنمية المتعددة الأطراف، مثل بنك التنمية الآسيوي (ADB) ومجموعة البنك الدولي، موارد متنوعة للبلدان النامية لتسهيل تطوير البنية التحتية لـ CCUS (انظر دراسة الحالة التالية حول دعم ADB لتكنولوجيا CCUS في جمهورية الصين الشعبية). وكما هو ملخص أدناه، تشمل الموارد منحًا لإجراء دراسات الجدوى وصياغة السياسات ذات الصلة، وإنشاء منشورات لتبادل المعرفة، وتنظيم أحداث مثل الجولات الدراسية، والقروض الميسرة، وإنشاء صناديق خاصة لتعبئة تمويل الكربون.

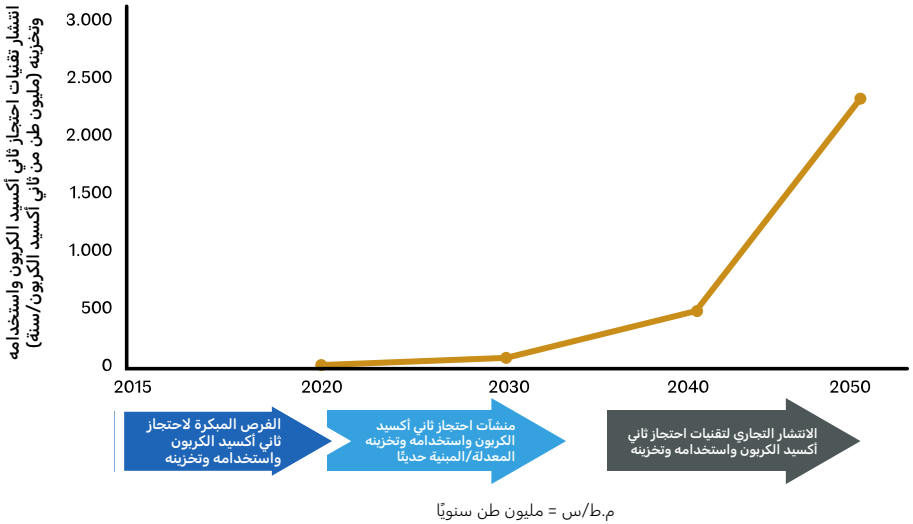
وتتمثل إحدى أفضل الممارسات الرئيسية لحشد الدعم من البنوك في التعبير بوضوح عن رغبة الدولة في أن يشارك البنك في تسريع وتيرة CCUS وطلب المساعدة من البنك طوال دورة حياة المشروع، بدءًا من العمل التحضيري وحتى تمويل مشروع تجريبي لـ CCUS. كما أعرب ممثلون عن هذه البنوك المختلفة عن رغبتهم في إجراء محادثات مباشرة مع الحكومات قبل تلقي الطلب الرسمي.

## دعم ADB لبرنامج CCUS في جمهورية الصين الشعبية

منذ عام 2009، دخلت الصين في شراكة مع (ADB) لرفع مستوى الوعي ببرنامج CCUS من خلال المنتجات المعرفية، و ورش العمل، وإنشاء مراكز التميز لـ CCUS. ونتيجة لهذا الدعم، في عام 2012، بدأ تشغيل تكنولوجيا الاحتجاز بعد الاحتراق في محطة لتوليد الطاقة تعمل بالفحم (قدرة احتجاز تبلغ 20 ألف طن في العام) في تيانجين.

تعد الصين إحدى الشركات الرائدة في مجال CCUS في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، ولديها 21 مشروعًا، 11 منها جاهزة للعمل اعتبارًا من عام 2023 (وفقًا لـ GCSI). ويُعزى مفتاح عقدين من النشر الناجح إلى حد كبير إلى عدة عوامل.[12] أولًا، طورت الدولة (2015) خارطة طريق أولية لعرض ونشر CCUS والتي تم تحديثها لاحقًا (2022). وقد شجع هذا عدداً من التطورات في سياسة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وتقنياتها وتمويلها.

ثانيا، تم إنشاء مركز أبحاث احتجاز الكربون وتخزينه في شنغهاي (2016) لتعزيز ابتكارات CCUS وبناء القدرات الصناعية في شانغهاي ودلتا نهر اليانغتسي. وعلاوة على ذلك، قام مركز جواندونج CCS للتميز في احتجاز وتخزين الكربون بتطوير القدرة المؤسسية للبحث وإظهار التقنيات والسياسات والآليات المالية لتسويق CCUS . ثالثًا، تواصل البلاد تطوير وتحسين سياسات ولوائح CCUS، ونشر "التقاط الكربون وتخزينه - سياسة جاهزة لتسهيل نشر CCS في المستقبل في جمهورية الصين الشعبية" (ديسمبر 2014). وأخيرًا، تواصل جمهورية الصين الشعبية دعمها بشكل استباقي لمشاركة CCUS منذ خطتها الخمسية الحادية عشرة (2005 - 2010).




الشكل 8.2: خارطة الطريق لعرض ونشر CCUS في الصين. (مبسط من بنك التنمية الآسيوي 2015: خارطة الطريق لعرض توضيحي لاحتجاز الكربون وتخزينه ونشره في جمهورية الصين الشعبية)

## حوافز الاستثمار والإنتاج المباشر

في أمريكا الشمالية، تعتبر الإعفاءات الضريبية على الاستثمار (ITC) والإعفاءات الضريبية على الإنتاج (PTC) الحافزين المباشرين الرئيسيين. يتم توزيع مراكز تكنولوجيا المعلومات على أساس البنية التحتية ونفقات البناء وتكون متاحة بشكل عام مباشرة بعد وضع المعدات في الخدمة، بغض النظر عن استخدام المعدات. يتم توزيع PTCs على أساس إنتاج المادة (على سبيل المثال، دولار/طن). لا يتم صرف الرصيد إلا بعد إنتاج المنتج واستيفاء شروط تسليمه. لا تأخذ PTCs في الاعتبار التكلفة المتكبدة في إنتاج وحدة الإنتاج التي يتم تحفيزها، ولكنها فعالة في ضمان الاستخدام المجدي للاستثمار. في الولايات المتحدة، كان للقسم 45Q PTC تأثير كبير على إعلانات وتطوير مشاريع CCUS (راجع

دراسة الحالة التالية حول PTC - القسم 45Q). وفي كندا (ألبرتا) تم تطوير حافز مماثل لتطوير مشروع التقاط $CO_2$ وتخزينه في شكل اعفاءات ضريبية على الاستثمار (كما هو موضح أدناه).

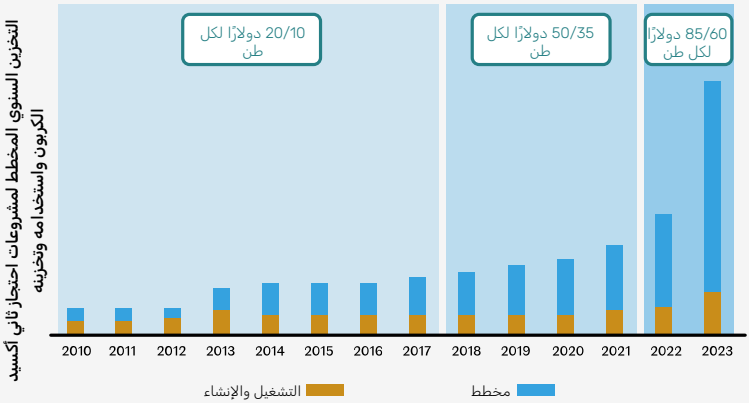
وفي أوروبا، هناك حوافز أخرى للاستثمار المباشر والإنتاج. وتأتي بعض هذه المساعدات في شكل منح مباشرة لتغطية النفقات الرأسمالية و/أو التشغيلية (يتم تمويلها في كثير من الأحيان من عائدات نظام مقايضة الانبعاثات)، فضلا عن الضمانات والقروض والأعباء التنظيمية المخفضة. في النرويج، حصل مشروع Longship التجريبي على مساعدات حكومية تبلغ قيمتها حوالي إجمالي تكلفة المشروع، والتي ستغطي مجموعة من تكاليف تطوير البنية التحتية للمشروع، وحوافز لأحجام $CO_2$ الحيوي (والتي لا يتم تحفيزها حاليًا بواسطة ضريبة أو بدل الكربون)، وتكاليف التشغيل لفترة ما، والمخاطر المتعلقة بقضايا التفاعل بين أصحاب المصلحة في سلسلة القيمة وبدلات الانبعاثات المحتملة.[13]

## PTC - القسم 45Q من قانون خفض التضخم الأمريكي (IRA) لعام 2022

الإعفاءات الضريبية بموجب القسم 45Q متاحة منذ عام 2008. ومع ذلك، فإن القيمة وقيود العتبة وتاريخ بدء البناء حدت من النشر التجاري على نطاق واسع. وفي عام 2022، وفرت التغييرات المستوى المطلوب من الحوافز وإطارًا زمنيًا قابلاً للتنفيذ للنشر بناءً على آليات يحركها السوق في مشهد جيوسياسي دائم التغير. تتضمن التعديلات (1) زيادة قيمة الائتمان الضريبي من 50 إلى 85 دولارًا للطن للتخزين الجيولوجي؛ (2) زيادة قيمة الائتمان الضريبي من 35 إلى 60 دولارًا للطن لاستخدام $CO_2$ في الاستخراج المُحسَّن للنفط؛ (3) قيمة ائتمان ضريبي لالتقاط الهواء المباشر (DAC) بقيمة 180 دولارًا للطن للتخزين الجيولوجي و 130 دولارًا للطن لاستخدام $CO_2$، بما في ذلك استخراج النفط المُحسَّن باستخدام $CO_2$؛ (4) انخفاض في حدود الأهلية للمشاريع المؤهلة الخاصة بالانبعاثات، و (5) السماح بالدفع المباشر مع الاحتفاظ بقابلية تحويل الائتمان الضريبي لخيارات السيولة (سيسمح ذلك لمطوري المشاريع بتجنب العبء والتكلفة المرتفعة غالبًا لرفع الأموال الضريبية لتحويل الائتمانات الضريبية التقليدية التي تُولد بموجب القسم 45Q إلى نقود).[14]

من منظور الصناعة، أحد أهم التغييرات المدرجة في IRA هو تمديد تاريخ بدء البناء إلى 1 يناير 2033. قبل ذلك، كان يجب أن يبدأ "تشييد" منشأة الالتقاط بحلول الأول من يناير/كانون الثاني 2026، إما عن طريق بدء العمل المادي ذي الطبيعة الكبيرة أو بتكبد 5 بالمائة أو أكثر من التكلفة الإجمالية للمنشأة المؤهلة.

يوفر القسم 45Q ائتمانًا ضريبيًا لتخزين $CO_2$، سواء كان التخزين جزءًا من سلسلة قيمة CCS أو لتطبيقات الاستخلاص المعزز للنفط/التطبيقات الصناعية. وتسمح إرشادات مصلحة الضرائب الأمريكية للكيانات التي تدير مشاريع لاستخلاص النفط المعزز ب-$CO_2$ باستخدام ISO 27916 كأداة لتحديد كمية $CO_2$ المخزنة والتحقق منها أثناء مشروع الاستخلاص المعزز للنفط باستخدام $CO_2$ - من أجل الحصول على ائتمانات ضريبية. وتطلب وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) تقديم خطة للمراقبة والإبلاغ والتحقق (MRV) وفقًا للجزء الفرعي "RR" من برنامج الإبلاغ عن الغازات الدفيئة كما أنه قدمت بعض التوجيهات.[15] ويتضمن ذلك بصفة عامة وصفًا للموقع وتضاريسه ومنطقة المراقبة وخطة المراقبة وتكرارها ومسارات التسرب المحتملة في منطقة المراقبة. وفي حالة الموافقة، فإن التقارير السنوية المقدمة إلى وكالة حماية البيئة الأمريكية U.S. EPA تتضمن الكتلة السنوية لـ $CO_2$ المحقون/المنتج من موقع التخزين، والتسرب السطحي في الآبار والمعدات القريبة من البئر، وصافي القيمة المخزنة، بالإضافة إلى الكتلة التراكمية المخزنة على مدار عمر المشروع.




الشكل 8.3: تطوير المشاريع بناءً على تطور القسم 45Q المتعلق بالائتمان الضريبي. (معدل من متتبع مشاريع CCUS التابعة للوكالة الدولية للطاقة 2023)

### مثال على الإعفاءات الضريبية على الاستثمار: كندا

في نوفمبر 2023، أعلنت حكومة كندا ومقاطعة ألبرتا عن برنامج للإعفاء الضريبي على الاستثمار في CCUS، بهدف تحفيز تطوير مشاريع CCUS. وسيتم تحديد هذا الإعفاء الضريبي على الاستثمار بنسبة 50 في المئة للمعدات المستخدمة في التقاط الكربون وبنسبة 37.5 في المئة للمعدات المستخدمة في نقل وتخزين الكربون. بالإضافة إلى ذلك، صدر التشريع الأولي في أغسطس الماضي لتوسيع الإعفاء الضريبي على الاستثمار في CCUS لجعل جزءًا من مشاريع استخراج النفط المُحسَّن مؤهلة للإعفاءات الضريبية على الاستثمار في CCUS. وتتوفر الإعفاءات الضريبية على الاستثمار في CCUS من 1 يناير 2022.

# القروض والضمانات المالية

وبصرف النظر عن التفويضات والحوافز، فإن البرامج المالية منخفضة الفائدة التي تقدمها الحكومات يمكن أن تساعد أيضًا في بدء المشاريع. ورغم أن هذه الآليات ليست متاحة على نطاق واسع في الاقتصادات الناشئة، إلا أنها أكثر شيوعًا في الولايات المتحدة، مثل مكتب القروض التابع لوزارة الطاقة. يوفر قانون تمويل وابتكار البنية التحتية لوسائل نقل $CO_2$ (CIFIA) داخل مكتب برامج القروض التابع لوزارة الطاقة بالتعاون مع إدارة الطاقة الأحفورية والكربون الدعم المالي لمشاريع نقل $CO_2$ ذات السعة العالية والناقل المشترك (مثل خطوط الأنابيب والسكك الحديدية والشحن، وطرق النقل الأخرى) كجزء من مبادرة CIFIA، التي تم دمجها في قانون الاستثمار في البنية التحتية والوظائف (IIJA) وتم إصداره بموجبه.[16]

وفي آسيا، هناك صناديق ذات صلة بتغير المناخ تدعم الاستثمار الرأسمالي. وتشمل الأموال المحتملة، التي تخضع لشروط التصميم، صندوق تحفيز العمل

المناخي التابع لبنك التنمية الآسيوي وصندوق اليابان التابع للحكومة اليابانية لآلية الائتمان المشتركة. وبشكل عام، فإن فوائد القروض التي تقدمها بنوك التنمية المتعددة الأطراف أقل من تلك التي تقدمها البنوك التجارية.

# أسواق المنتجات منخفضة الكربون

ومن الممكن أن يؤدي إنشاء سوق للمنتجات المنخفضة الكربون، والتي تباع كمواد متميزة، إلى التعجيل بتبني تكنولوجيا CCUS. ومن الممكن أن يحصل كل من القطاعين العام والخاص على هذه المنتجات، مثل الأسمنت المنخفض الكربون، والصلب، والمواد الكيميائية بكميات كبيرة (وخاصة في الاقتصادات الناشئة حيث لا يزال الطلب على هذه المواد قائمًا).

# العواقب غير المقصودة

يمكن أن تؤدي العواقب غير المقصودة إلى إنشاء عائق أمام تطوير المشروع أو تؤدي إلى إلغاء المشروع. ومن الأمثلة على ذلك تحديد سقف للائتمانات التي لا تشجع أو تعيق نشر CCUS الإضافي. وهناك حالة أخرى تتمثل في بيع أرصدة الكربون إلى جهة باعثة لاحتجازها، الأمر الذي قد يثني الجهة الباعثة عن القيام باستثمارات أخرى في التكنولوجيات التي من شأنها أن تحد من إجمالي انبعاثاتها.[17]

# الدوافع الخارجية

ويمكن أيضًا أن تتأثر الحكومة بقوى خارج حدودها. ويشمل ذلك ضرائب الكربون عبر الحدود (مثل آلية تعديل حدود الكربون التابعة للاتحاد الأوروبي)، والإبلاغ الإلزامي أو الطوعي والإفصاح عن انبعاثات $CO_2$ على المستوى القطاعي أو الصناعي، وأسواق الكربون.

## ضرائب الكربون في الخارج

في عام 2023، اعتمد الاتحاد الأوروبي ضريبة الكربون على المنتجات كثيفة الكربون المستوردة، والمعروفة باسم آلية تعديل حدود الكربون (CBAM). على الرغم من أن التزامات الإبلاغ لن تكون قابلة للتنفيذ حتى عام 2026، فقد بدأت. التزامات تقديم التقارير. الهدف الأساسي هو تقليل احتمالية انبعاثات الكربون من خلال فرض ضريبة على أساس كثافة الكربون لبعض الواردات بما في ذلك الحديد والصلب والأسمنت والأسمدة والألمنيوم والكهرباء والهيدروجين على المنتجات المستوردة إلى الاتحاد الأوروبي من الولايات القضائية دون ضريبة الكربون. أو بدل. وتدرس الدول الأخرى التي تستورد هذه السلع كثيفة الكربون من منطقة آسيا والمحيط الهادئ فرض ضرائب مماثلة عبر الحدود. وبناء على ذلك، فإن القطاعات التي يصعب تخفيفها والخاضعة لسياسة CBAM تفكر في احتجاز انبعاثات $CO_2$ للمساعدة في الحد من كثافة الانبعاثات من السلعة (وبالتالي ضريبة الكربون التي سيتم فرضها أثناء التصدير).

## محاسبة الكربون/الإفصاح/الإبلاغ

هناك ضغوط متزايدة على الصناعات والشركات لكي تكون شفافة في الكشف عن انبعاثات غازات الدفيئة والإبلاغ عنها. في حين أن العديد من الصناعات كثيفة الانبعاثات غالبًا ما يكون لديها متطلبات إعداد تقارير محلية من خلال لوائحها البيئية، فقد تم الطلب مؤخرًا من قبل الولايات والوكالات الفيدرالية، بالإضافة إلى عامة الناس، لإتاحة الإفصاح عن الانبعاثات. وفي حالة الشركات التي يتم تداول أسهمها علناً، تطالب مقترحات المساهمين على نحو متزايد بالإبلاغ عن الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة. ويعمل مجلس معايير الاستدامة الدولي، الذي تم تشكيله في مؤتمر الأطراف السادس والعشرين في جلاسكو، على تطوير معايير الإفصاح المتعلقة بالاستدامة.

وفي حين يتزايد هذا الاتجاه في الاقتصادات الغربية، فإن الشركات الدولية التي تمارس أعمالها في الاقتصادات الناشئة (بما في ذلك آسيا) مطالبة بإجراء حساب واضح لكثافة الانبعاثات الناجمة عن كل المنتجات والعمليات التي تخطط لاستيرادها. ولهذا السبب، فإن المراقبة الشفافة والقابلة للتحقق لكميات $CO_2$ على طول سلسلة قيمة CCUS أمر مهم. إن استخدام مدقق خارجي لمراجعة

بيانات قياس كمية الانبعاثات يوفر مستوى من الاستقلالية للمشغل/المطور والجمهور. في الهند، يُطلب من أكبر 1000 شركة مدرجة في البورصة من حيث القيمة السوقية تقديم إفصاحاتها البيئية والاجتماعية والحوكمة مع الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة، بموجب إطار مسؤولية الأعمال وإعداد التقارير عن الاستدامة، المنصوص عليه في مجلس الأوراق المالية والبورصة الهندي (التزامات الإدراج ومتطلبات الإفصاح) اللوائح، 2015.

## أسواق الكربون

كما تتطلع دول المنطقة، مثل ماليزيا وإندونيسيا والهند وفيتنام وتايلاند، إلى استخدام أسواق الكربون لتمكين مشاريع CCUS . يمثل رصيد الكربون كمية الانبعاثات التي تم تخفيضها أو إزالتها أو تجنبها ويتم قياسها عادةً بطن واحد من $CO_2$ أو ما يعادله من $CO_2$. هناك نوعان من خطط سوق الكربون - طوعية وإلزامية/إمتثال. ويعتبر نظام تبادل إطلاق النار للاتحاد الأوروبي، كما هو موضح أعلاه، مثالاً على هذا الأخير. وفي كلا المخططين، يقوم المشترون (مثل الأفراد والشركات والحكومات) بشراء أرصدة الكربون لتعويض انبعاثاتهم من البائعين (مثل مطوري المشاريع والمالكين والممولين).

لدعم سلامة سوق الكربون، من الضروري (1) وضع خط أساس متحفظ (كمية الانبعاثات قبل التخفيض أو الإزالة أو التجنب)، (2) قياس التخفيض إلى خط الأساس هذا، والتأكد من أن النشاط حقيقي وإضافي (لقد حدث النشاط ولم يكن ليحدث لولا آلية الائتمان)، و (3) جعل النشاط دائمًا (لا يوجد أي عكس مستقبلي لنشاط خفض الانبعاثات وإزالتها وتجنبها)، و (4) عدم حساب النشاط مرتين (يجب أن يتم احتساب نشاط خفض الانبعاثات مرة واحدة فقط). ومن الضروري أيضًا أن تقوم الجهات المصدرة للانبعاثات بإعطاء الأولوية للانبعاثات ضمن سلسلة القيمة الخاصة بها - أي الانبعاثات المباشرة، وغير المباشرة حيثما أمكن ذلك. يمكن أن تساعد أرصدة الكربون الصناعة في تقليل الانبعاثات المتبقية لتحقيق أهداف صافية صفرية.

## حوافز وإيرادات البلدان

كما هو الحال مع المشاريع الصناعية الأخرى، هناك العديد من التكاليف المرتبطة بتنظيم أنشطة CCUS والسماح بها والإشراف عليها. ويمكن للبلدان أن تعوض هذه التكاليف عن طريق دمج آليات استرداد التكاليف في أطر احتجاز واستخدام الكربون واستخدامه واستخدامه. وقد تتخذ هذه الآليات عدة أشكال، مثل تطبيق رسوم الترخيص، والسماح للدولة بتحصيل "الإيجار" عن المساحة المسموح بها للأنشطة، ورسوم الامتثال، وتعريفات الحقن.

يمكن للبلدان أيضًا أن تطلب من الشركات المملوكة للدولة المشاركة كشركاء في تراخيص تخزين $CO_2$. فعلى سبيل المثال، ستمتلك شركة نوردسوفوندن الدنماركية المملوكة للدولة مشاركة بنسبة 20 في المئة في جميع تراخيص تخزين $CO_2$.[18] لذلك، ستتحمل دولة الدنمارك 20 في المئة من التكاليف والمخاطر والإيرادات المرتبطة بتطوير وعمليات تراخيص التخزين. وفي مناطق أخرى من العالم، تميل الشركات المملوكة للدولة (وخاصة شركات النفط الوطنية) إلى القيام بدور أكثر بروزا في تطوير سلسلة القيمة الكاملة لـ CCUS مقارنة بتلك الكيانات في أوروبا. على سبيل المثال، شركة أرامكو في المملكة العربية السعودية والشركة الوطنية الصينية للنفط البحري في الصين.

# 9. موارد إضافية

## مبررات لـ CCUS

**استراتيجية الولايات المتحدة الأمريكية طويلة الأجل للانبعاثات الصفرية**

*www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf*

يؤدي هذا الرابط إلى التقرير الخاص باستراتيجية الولايات المتحدة طويلة المدى لتخفيض صافي الانبعاثات إلى الصفر. ويمكن استخدام التقرير كمثال للتحليل المتكامل وخريطة طريق لتحقيق إزالة الكربون بشكل عميق.

**تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)**

*www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/*

يؤدي هذا الرابط إلى تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ والذي يحتوي على معلومات قيمة حول الحاجة إلى تحقيق تخفيضات في انبعاثات غازات الدفيئة. ويحتوي أيضًا على البيانات الفنية اللازمة التي يجب على البلدان مراعاتها عند تطوير استراتيجيات إزالة الكربون الخاصة بها.

**خارطة طريق الوكالة الدولية للطاقة نحو تحقيق صافي انبعاثات صفرية**

*www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach*

خارطة طريق وضعتها وكالة الطاقة الدولية للعالم لتحقيق إزالة الكربون. وهي تسلط الضوء على الحاجة إلى نشر تقنيات احتجاز $CO_2$ وتخزينه.

**استراتيجية الصين للحد من الانبعاثات تتضمن CCUS**

*www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S1750583617307570*

مثال على تحليل نشر CCUS للصين باستخدام نموذج تحليل التغير العالمي (GCAM). ويوضح كيف يمكن استخدام نماذج التقييم المتكاملة لدراسة دور CCUS في إزالة الكربون العميق.

**سيناريوهات تحقيق صافي انبعاثات صفرية لـ $CO_2$ بحلول عام 2050 للولايات المتحدة**

www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2666278723000119

يمكن أن يساعد مثال على استخدام تمرين مقارنة النماذج الداخلية في فهم عدم اليقين في نماذج تمثل سيناريوهات إزالة الكربون العميقة. كما يقدم البحث أيضًا معلومات حول قيمة CCUS باعتباره جزء من استراتيجيات ازالة الكربون

## حالة المشروع / المتتبع

**متتبع مشاريع التقاط الكربون للمهام الهوائية النظيفة في الولايات المتحدة**

www.catf.us/ccsmapus

خريطة تفاعلية لمشاريع CCUS في التنمية في الولايات المتحدة.

**مشاريع CCUS العالمية الجمعية الدولية لمنتجي النفط والغاز (IOGP)**

www.iogp.org/bookstore/wp-content/uploads/sites/2/woocommerce_uploads/2020/03/GRA002_220131.pdf

حصر مشاريع CCUS من قبل الجمعية الدولية لمنتجي النفط والغاز.

**قاعدة بيانات المرافق التقاط وتخزين الكربون التابعة لمعهد CCS العالمي**

/www.globalccsinstitute.com/co2re

قاعدة بيانات لمشاريع CCUS التي يتتبعها المعهد العالمي لالتقاط $CO_2$ وتخزينه

**متتبع مشاريع التقاط وتخزين الكربون التابعة لوكالة الطاقة الدولية**

www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ccus-projects-explorer

مستكشف المشاريع - أدوات البيانات - وكالة الطاقة الدولية. قاعدة بيانات عالمية لمشاريع CCUS وضعتها وكالة الطاقة الدولية.

**متتبع تراخيص آبار وكالة حماية البيئةالأمريكية**

*www.epa.gov/uic/table-epas-draft-and-final-class-vi-well-permits*

جدول مسودة وكالة حماية البيئة وتصاريح الآبار النهائية من الدرجة السادسة | وكالة حماية البيئة الأمريكية جدول اونلاين تحتفظ به هو برنامج البحث والتطوير الخاص بغازات الدفيئة التابع لوكالة الطاقة الدولية مع مسودة وتصاريح الآبار من الدرجة السادسة.

## معلومات CCUS التقنية

**IEAGHG**

*https://ieaghg.org/*

هذا البرنامج IEAGHG يمول الأبحاث في مجال تطوير ونشر تقنيات CCS.

**أطلس تخزين الكربون لوزارة الطاقة الأمريكية**

*https://netl.doe.gov/carbon-management/carbon-storage/atlas-data*

موقع ويب يديره مكتب تكنولوجيا الطاقة الوطني التابع لوزارة الطاقة الأمريكية ويحتوي على معلومات قائمة على نظام المعلومات الجغرافية لموارد التخزين في الولايات المتحدة.

**مسودة خارطة طريق 2030 لـ CCUS لشركات الاستكشاف والانتاج**

*https://mopng.gov.in/files/article/articlefiles/Draft_UFCC_Roadmap_2030_v3.pdf*

تقرير فني صادر عن وزارة البترول والغاز الطبيعي الهندية يوضح الجوانب الفنية لبرنامج CCUS.

**جدوى تسريع نشر تكنولوجيا CCUS في تنمية اقتصادات منظمة التعاون الاقتصادي لآسيا والمحيط الهادي (APEC)**

*www.apec.org/docs/default-source/Publications/2014/3/Feasibility-of-Accelerating-the-Deployment-of-Carbon-Capture-Utilization-and-Storage-in-Developing-A/Final-EWG_24_2011-ARI-APEC-CCUS-EOR-Report.pdf*

تقرير صادر عن منظمة التعاون الاقتصادي لآسيا والمحيط الهادي حول جدوى تسريع CCUS-EOR في اقتصادات APEC النامية، مختارة.

**مركز المعرفة الدولي لالتقاط وتخزين الكربون**

*https://ccsknowledge.com*

مركز المعرفة الدولي لالتقاط وتخزين الكربون، الذي تستضيفه شركة ساسك باور في كندا، هو منظمة تركز على بناء القدرات لتطوير الإطار الدولي لـ CCUS. يركز مركز المعرفة على تحسين تطبيقات CCUS واسعة النطاق لمحطات الصلب والأسمنت ومحطات الطاقة الحرارية (الغاز الطبيعي والفحم) من خلال مبادرات خفض التكاليف والتقدم التكنولوجي.

## الأطر

**بروتوكول اتفاقية لندن**

*www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx*

موقع إلكتروني تديره المنظمة البحرية الدولية (IMO) حول بروتوكول اتفاقية لندن.

**الإطار التنظيمي النموذجي لالتقاط وتخزين - تقرير صادر عن وكالة الطاقة الدولية**

*www.iea.org/reports/carbon-capture-and-storage-model-regulatory-framework*

تقرير وكالة الطاقة الدولية الذي يحتوي على معلومات حول المكونات الضرورية لإنشاء إطار تنظيمي نموذجي لتطوير CCUS.

**متطلبات الإبلاغ للمرخصين في تراخيص UIC بالولايات المتحدة**
www.law.cornell.edu/cfr/text/40/146.92
يحتوي هذا الرابط على اللائحة الحالية للإبلاغ عن $CO_2$ الذي يتم حقنه في الخزانات الجيولوجية المسموح بها بموجب الفئة السادسة.

**إطار سياسة CCUS وآلية تنفيذه في الهند**
www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-12/CCUS-Report.pdf
تقرير من حكومة الهند حول إطار سياسة CCUS.

**شبكة آسيا CCUS**
/www.asiaccusnetwork-eria.org
موقع على شبكة الإنترنت لشبكة CCUS الآسيوية والذي يوفر منصة لأصحاب المصلحة في CCUS في منطقة آسيا.

## مشاركة

**إرشادات WRI لمشاركة المجتمع في مشاريع احتجاز $CO_2$ ونقله وتخزينه**
www.wri.org/research/guidelines-community-engagement-carbon-dioxide-capture-transport-and-storage-projects
تقرير إرشادي صادر عن معهد الموارد العالمية لتنمية المشاركة المجتمعية في مشاريع CCUS.

**وزارة الطاقة الأمريكية للتوعية العامة والتعليم لمشاريع تخزين الكربون**
https://netl.doe.gov/node/5828
دليل من وزارة الطاقة الأمريكية لتصميم إطار للتوعية العامة لمشاريع التخزين.

**إرشادات لإعداد خطط فوائد المجتمع لمراكز التقاط الهواء المباشر الإقليمية**
www.energy.gov/oced/articles/community-benefits-plan-guidance
وثيقة توجيهية أنشأها مكتب عروض الطاقة النظيفة التابع لوزارة الطاقة الأمريكية (OCED) لإنشاء خطط منافع المجتمع مع التركيز بشكل خاص على برنامج محاور الالتقاط المباشر للهواء.

## قائمة المنظمات المهنية المشاركة في تطوير CCUS

- الجمعية الأمريكية لعلماء جيولوجيا البترول (AAPG)
- الجمعية الكيميائية الأمريكية
- الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي
- المعهد الأمريكي للمهندسين الكيميائيين (AIChE)
- المعهد الأمريكي لمهندسي التعدين والمعادن والبترول (AIME)
- جمعية تكنولوجيا الحديد والصلب (AIST)
- معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE)
- المركز الوطني للتميز في احتجاز الكربون و الاستخدام، IIT بومباي، الهند
- الرابطة الأوروبية لعلماء الجيولوجيا والمهندسين (EAGE)
- الجمعية الجيولوجية الأمريكية (GSA)
- جمعية التعدين والمعادن والاستكشاف (SME)
- جمعية مهندسي البترول (SPE)
- جمعية المعادن والفلزات والمواد (TMS)

# المختصرات

| | |
|---|---|
| **ADB** | بنك التنمية الآسيوي |
| **BECCS** | احتجاز الكربون من الكتلة الحيوية وتخزينه |
| **CAPEX** | النفقات الرأسمالية |
| **CBAM** | آلية تعديل حدود الكربون |
| **CCS** | احتجاز الكربون من الكتلة الحيوية وتخزينه |
| **CCUS** | التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه |
| **CDR** | إزالة $CO_2$ |
| **CIFIA** | قانون تمويل البنية التحتية لوسائل النقل لـ $CO_2$ والابتكار |
| **$CO_2$** | ثاني أ سيد الكربون |
| **EOR** | الاستخلاص المعزز للنفط |
| **DAC** | التقاط الهواء المباشر |
| **DFI** | الاستثمار الأجنبي المباشر |
| **EGR** | استخراج الغاز بأساليب متطورة |
| **EHR** | تعزيز استعادة الهيدروكربون |
| **EOR** | الاستخلاص المعزز للنفط |
| **EOR/EGR** | الاستخلاص المعزز للنفط/الغاز |
| **ETS** | نظام التجارة الأوروبي |
| **FECM** | الطاقة الأحفورية وإدارة الكربون |
| **FEED** | الدراسات الهندسية للواجهة الأمامية |
| **FOM** | تكلفة التشغيل والصيانة الثابتة |
| **GCSSI** | معهد CCS العالمي |
| **GHG** | غاز الدفيئة |
| **IEA** | وكالة الطاقة الدولية |
| **IIJA** | قانون للاستثمار في البنية التحتية والوظائف |

| | |
|---|---|
| **IPCC** | الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. |
| **IRA** | قانون خفض التضخم |
| **ISO** | المنظمة الدولية للتوحيد القياسي |
| **ISO/TC** | اللجنة الفنية للمنظمة الدولية للتقييس |
| **ITC** | الاعفاءات الضريبية على الاستثمار |
| **LCA** | تحليل دورة الحياة |
| **MoU** | مذكرة تفاهم |
| **MRV** | القياس والإبلاغ والتحقق |
| **MTPA** | مليون طن سنويا |
| **NCCC** | الركز الوطني لالتقاط الكربون |
| **NGO** | منظمة غير حكومية |
| **NCoE** | المركز الوطني للتميز |
| **NDC** | المساهمة المحددة وطنيا |
| **PTC** | الاعفاءات الضريبة على الانتاج |
| **R&D** | البحث والتطوير |
| **RD&D** | البحث والتطوير والانتشار |
| **RECS** | التجربة البحثية في عزل الكربون |
| **SCADA** | التحكم الإشرافى واستحصال البيانات |
| **TCM** | مركز الاختبار مونجستاد |
| **UIC** | التحكم في الحقن تحت الأرض |
| **UNCLOS** | اتفاقية الأمم المتحدة لقانون البحار |
| **VOM** | تكاليف التشغيل والصيانة المتغيرة |

# المسرد

**التخلي عن (الهجر)**
العملية المستخدمة لإنهاء العملية بشكل دائم؛ يستخدم مصطلحًا فنيًا في الصناعة للدلالة على توقف عمليات الآبار

**الهيئة**
جهة حكومية أو جهات تتمتع بسلطة قانونية لتنظيم الأنشطة أو السماح بها

**بارجة (صندل)**
وحدة عائمة تحمل البضائع على المياه تحت سحبها بواسطة سفينة

**التقاط النبات**
المعالجة والمعدات المرتبطة بها التي تفصل وتعالج $CO_2$ من انبعاثات المنشأة

**ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$)**
غاز عديم اللون والرائحة يتكون من جزيء واحد من الكربون وجزيئين من الأكسجين؛ مُصنف على أنه أحد غازات الدفيئة التي تساهم في تغير المناخ؛ يتم إنتاجه عادة عن طريق الاحتراق أو تحويل المنتجات القائمة على الكربون

**ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) المكافئ**
إجراء لمقارنة الانبعاثات الناجمة عن غازات الدفيئة المختلفة بناءً على إمكانات الاحترار العالمي لكل منها، مقارنة بإمكانيات الاحترار ل $CO_2$

**تيار ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$)**
سائل يتكون بشكل رئيسي من ثاني أكسيد الكربون

**إغلاق**
إغلاق موقع التخزين الذي لم يعد قيد الاستخدام؛ يتطلب عادةً الحصول على إذن من السلطة ذات الاختصاص القضائي

**الحد من انبعاثات $CO_2$**
حساب صافي النقصان في انبعاثات $CO_2$ لعملية معينة؛ هناك حاجة إلى استخدام أساليب التحليل المعقدة مثل تقييم دورة الحياة للتأكد من صافي التخفيضات

**الضاغط**
استخدام جهاز يرفع ضغط $CO_2$. يستخدم الضاغط عادة الإزاحة الميكانيكية لضغط الغاز إلى ضغوط أعلى بحيث يمكن للغاز أن يتدفق إلى خطوط الأنابيب والمرافق الأخرى

**الاحتواء**
يتم احتجاز حالة $CO_2$ داخل مستودع التخزين بواسطة مصيدة فعالة أو مجموعة من المصائد

**الخروج من التشغيل**
عملية إخراج النظام أو المكون الهندسي من الخدمة وإعادة المنطقة إلى حالتها السابقة

**المرحلة الكثيفة $CO_2$**
$CO_2$ في مراحله السائلة أو فوق الحرجة

**مشاركة**
عملية تشاور تتضمن أصحاب المصلحة تحديد ومعالجة القضايا ذات الأهمية المشتركة وتبادل المعلومات

**الاستخلاص المعزز للنفط بـ $CO_2$ ($CO_2$-EOR)**
عملية مصممة لإنتاج الهيدروكربونات $CO_2$ من مكمن جيولوجي باستخدام حقن $CO_2$

**انبعاثات**
إطلاق المواد الكيميائية من العمليات الصناعية إلى البيئة

**غاز المداخن**
خليط من الغازات الناتجة عن احتراق الوقود؛ يمكن أن تتكون غازات المداخن من منتجات الاحتراق الثانوية والمواد الكيميائية الأخرى التي تنتجها التفاعلات الثانوية

**تكوين**
الصخور أو الرواسب أو المكامن

**التخزين الجيولوجي**
احتواء $CO_2$ على المدى الطويل في باطن الأرض العميق في المسام داخل التكوينات

**الغازات الدفيئة (GHG)**
الغازات الدفيئة هي غازات موجودة في الغلاف الجوي مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان والغازات المفلورة وأكسيد النيتروز التي يمكنها امتصاص الأشعة تحت الحمراء، مما يؤدي إلى حبس الحرارة في الغلاف الجوي

**الشوائب**
المواد الموجودة بكميات صغيرة جدًا ضمن حدود المادة؛ كما هو مستخدم في هذا الكتاب، المواد غير $CO_2$ التي تشكل جزءًا من تيار $CO_2$ والتي يمكن إضافتها من المواد المصدر أو عملية الالتقاط، أو تضاف نتيجة الخلط لأغراض النقل، أو يتم إطلاقها أو تشكلها نتيجة للضغط تحت السطح تخزين و/أو تسرب $CO_2$

**التسرب**
إطلاق غير مقصود لـ $CO_2$

**تقييم دورة الحياة (LCA)**
تجميع وتقييم المدخلات والمخرجات والآثار البيئية والصحية المحتملة لمشروع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه طوال دورة حياته

**المسؤولية الطويلة الأجل أو الإشراف**
المسؤولية القانونية والمالية عن جميع جوانب موقع التخزين الجيولوجي بعد الإغلاق لفترة طويلة من الزمن

**المراقبة**
الفحص المستمر أو المتكرر أو الإشراف أو المراقبة النقدية أو القياس أو تحديد حالة النظام لتحديد التغيير من خط الأساس أو التباين من مستوى الأداء المتوقع

**صافي الصفر**
التوازن الإجمالي بين انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة وانبعاثات الغازات الدفيئة المستخرجة من الغلاف الجوي

**المُشغل**
الشخص أو الكيان المسؤول قانونًا عن تشغيل مشروع CCUS

**التخزين البري**
التخزين الجيولوجي تحت الأرض

**التخزين البحري**
التخزين الجيولوجي تحت المحيط

**اتفاقية بارس**
تم اعتماد هذه الاتفاقية في عام 2015، وهي معاهدة دولية تغطي التخفيف من تغير المناخ والتكيف معه وتمويله. فهو يتطلب تحولا اقتصاديا واجتماعيا يعتمد على أفضل العلوم المتاحة

**مصدر النقطة**
مصدر انبعاثات $CO_2$ الناتجة عن العمليات الصناعية والاحتراق الثابت من الصناعة ومحطات الطاقة

**فترة ما بعد الإغلاق**
الفترة التي تبدأ بعد إثبات الالتزام بمعايير إغلاق الموقع

**احتجاز $CO_2$ بعد الاحتراق**
احتجاز ثاني أكسيد الكربون من تيار غاز المداخن الناتج عن احتراق الوقود الأحفوري

**نقاء $CO_2$**
النسبة المئوية حسب الكتلة لـ $CO_2$ كأحد مكونات $CO_2$

**الجهة التنظيمية**
الكيان أو الكيانات التي لديها سلطة السماح والموافقة و/أو الترخيص بطريقة أخرى لواحد أو أكثر من مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه

**تقييم المخاطر**
العملية الشاملة لتحديد المخاطر وتحليل المخاطر وتقييم المخاطر

**آمنة على المدى الطويل**
الفترة اللازمة للتخزين لكي يعتبر آمنًا بيئيًا بموجب المخطط الذي يتم بموجبه تنفيذ القياس الكمي، ويمكن أن يكون وفقًا لمعيار أو اتفاقية توصيف الموقع

**توصيف الموقع**
تقييم تفصيلي لواحد أو أكثر من المواقع المرشحة لتخزين $CO_2$ المحددة في مرحلة الفحص والاختيار لمشروع تخزين $CO_2$ لتأكيد وتحسين سلامة التخزين، وموارد التخزين، وتقديرات الحقن وتوفير البيانات الأساسية للنمذجة التنبؤية الأولية لتدفق السوائل والتفاعلات الجيوكيميائية والتأثيرات الجيوميكانيكية وتقييم المخاطر وتصميم برامج المراقبة والتحقق من الصحة

**فحص واختيار الموقع**
عملية تقييم وتحديد أولويات عدد من مواقع التخزين الجيولوجية

**إدارة الموقع**
وظيفة الإشراف أو العناية بموقع التخزين

**الترخيص الاجتماعي للعمل**
القبول المستمر للممارسات التجارية وإجراءات التشغيل القياسية للشركة أو الصناعة من قبل موظفيها والمجتمعات المحلية والمجموعات المتضررة من السكان الأصليين وعامة الناس

**أصحاب المصالح**
الأفراد أو مجموعة الأفراد أو المنظمات التي تتأثر مصالحها أو يمكن أن تتأثر بمشروع CCUS

**مشروع تخزين**
النطاق المادي والزمني للأنشطة المرتبطة بمشروع التخزين الجيولوجي لـ $CO_2$ الذي يتضمن اختيار الموقع وتوصيفه، وجمع البيانات الأساسية، والتصاريح، وتصميم وبناء مرافق الموقع (خطوط أنابيب الموقع، والضواغط، وما إلى ذلك)، وحفر الآبار واستلام $CO_2$ في موقع التخزين وحقن $CO_2$ أثناء مرحلة الحقن النشط، وإغلاق الموقع (بما في ذلك التخلي عن البئر والمرافق)

**موقع التخزين**
الموقع الذي يضم منشأة التخزين وآبار المشروع لتخزين $CO_2$ فوق الحرج

**$CO_2$ فوق الحرج**

$CO_2$ عند ضغوط ودرجات حرارة أعلى من الضغط الحرج ودرجة الحرارة الحرجة

**تَحَقّق**

التأكيد عن طريق الفحص وتقديم الأدلة الموضوعية على استيفاء المعايير المحددة

**بئر أو حفرة بئر**

الثقوب التي يتم إنشاؤها في الأرض حيث يتم وضع مجموعات من الأنابيب والغلاف والأسمنت لنقل السوائل إلى داخل أو خارج السطح

# ملحوظة

# دليل لهذا الكتاب

1 في عام 2022، أطلقت آسيا أكثر من 58% من $CO_2$ في العالم. ريتشي وهانا وروزر ماكس 2020: "انبعاثات $CO_2$"،
*https://ourworldindata.org/co2-emissions*

# الفصل 1

1 IPCC 2023: أجزاء من التقرير الصادر في: تغير المناخ 2023: التقرير التجميعي. مساهمة مجموعات العمل الأولى والثانية والثالثة في تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [فريق الكتابة الأساسي، إتش لي وجي روميرو (الإصدارات)]. IPCC، جنيف، سويسرا، الصفحات من 115-35،
*https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf*

---

2 ريتشي وهانا وروزر ماكس 2020: انبعاثات $CO_2$،
*https://ourworldindata.org/co2-emissions*

---

3 اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) 2016: اتفاقية باريس،
*https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf*

---

4 المفوضية الأوروبية 2023: آلية تعديل حدود الكربون،
*https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en*

---

5 وزارة البيئة والغابات وتغير المناخ 2022: بيان صحفي منشور عن موقف الهند في مؤتمر الأطراف 26 المعني بالمناخ،
*https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1795071*

---

6 IPCC 2023: أجزاء من التقرير الصادر في: تغير المناخ 2023: التقرير التجميعي. مساهمة مجموعات العمل الأولى والثانية والثالثة في تقرير التقييم السادس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [فريق الكتابة الأساسي، إتش لي وجي روميرو (الإصدارات)]. IPCC، جنيف، سويسرا، الصفحات من 115-35،
*https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf*

7 وكالة الطاقة الدولية 2023: خارطة طريق للوصول إلى صافي صفر،
https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach/making-the-net-zero-scenario-a-reality

8 سارة بودينيس وآخرون. 2018: تقييم تكاليف احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه والحواجز والإمكانات، مراجعات استراتيجية الطاقة، المجلد 22، 2018، الصفحات 61-81، ISSN 2211-467X،
https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.08.003.

9 داريوس تشين، إد لوك، وجيس لين لو 2023: إطلاق العنان لإمكانيات منطقة آسيا والمحيط الهادئ الهائلة في احتجاز الكربون،
https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential

10 اكوينور. منطقة سليبنر،
https://www.equinor.com/energy/sleipner

11 المعهد العالمي CCS 2023: الوضع العالمي لـ CCS 2023 - التقرير والملخص التنفيذي،
https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/global-status-of-ccs-2023-executive-summary

12 ماكينزي اند كومباني 2023؛ الكربون المتماسك،
https://www.mckinsey.com/featured-insights/sustainable-inclusive-growth/chart-of-the-day/corralling-carbon

13 داريوس تشين، إد لوك، وجيس لين لو 2023: إطلاق العنان لإمكانات منطقة آسيا والمحيط الهادئ الهائلة في احتجاز الكربون،
https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/unlocking-asia-pacifics-vast-carbon-capture-potential

14 المعهد العالمي CCS 2023: رؤية: أطلق المعهد تقريرًا مرحليًا عن CCUS في الصين،
https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/insight-/institute-launched-a-china-ccus-progress-report

15 المعهد العالمي لالتقاط الكربون وتخزينه 2023: تتلقى الدعم من الحكومة اليابانية لسبعة مشاريع CCS،
https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/seven-ccs-projects-to-receive-support-from-the-japanese-government

16 إندونيسيا تقول إن إكسونموبيل تخطط لاستثمار ما يصل إلى 15 مليار دولار في البلاد، 15 نوفمبر 2023،
https://www.reuters.com/business/energy/indonesia-says-exxon-mobil-plans-invest-up-15-bln-country-2023-11-16

# الفصل 2

1 carboncapturecoalition.org/coalition-publishes-fact-sheet-on-co2-pipeline-safety-federal-safety-authority

2 يارا الدولية، 17 أغسطس 2015: سفينة جديدة $CO_2$ السائل لشركة يارا،
www.yara.com/news-and-media/news/archive/2015/new-liquid-co2-ship-for-yara

3 منظمة تطوير الطاقة الجديدة والتكنولوجيا الصناعية، اليابان، 28 نوفمبر 2023: بيان صحفي (باللغة اليابانية): 世界初、低温・低圧の液化 $CO_2$ 大量輸送に向けた実証試験船「えくすくぅる」が完成。
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101705.html

4 الطاقة البحرية، باهتيك، فاطمة 28 مارس 2023: إطلاق أول ناقلة لثاني أكسيد الكربون السائل في العالم مخصصة لالتقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربون،
https://www.offshore-energy.biz/worlds-1st-liquid-co2-carrier-intended-for-ccus-launched

5 هرتزوغ، هوارد 2023: التقاط الكربون،
https://climate.mit.edu/explainers/carbon-capture#:~:text=Using%20the%20CO2&text=Other%20possible%20uses%20of%20CO,of%20the%20%20 captured%20CO2

6 مكتب الطاقة الأحفورية وإدارة الكربون: الاستخلاص المعزز للنفط،
https://www.energy.gov/fecm/enhanced-oil-recovery

7 ADB 2021: دراسة جدوى مسبقة حول احتجاز الكربون واستخدامه في صناعة الأسمنت في الهند. تقرير المستشار. مانيلا (TA 9686-REG).

## الفصل 3

1 شبكة مشاريع CCUS: بارميتر، فيليبا؛ بيل ريبيكا 2020 التصور العام لتكنولوجيا CCS A مراجعة المشاركة العامة في مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

2 شبكة مشاريع CCUS: بارميتر، فيليبا؛ بيل ريبيكا 2020 التصور العام لتكنولوجيا CCS A مراجعة المشاركة العامة في مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

3 بيلونا، 11 نوفمبر 2010: CCS اتصالات الدروس المستفادة من باريندريشت، https://bellona.org/news/ccs/2010-11-ccs-communication-lessons-learnt-from-barendrecht

4 برونستينغ، سوزان. بيست فالدهوبر، مارجولين دي؛ فينسترا، ينكي؛ ميكوندا، توم (2011) كما هو مشار إليه في شبكة مشاريع CCUS، بارميتر، فيليبا؛ بيل، ريبيكا مايو 2020: التصور العام لتكنولوجيا CCS مراجعة للمشاركة العامة في مشاريع، https://www.ccusnetwork.eu/sites/default/files/TG1_Briefing-Report-Public-Perception-of-CCS.pdf

## الفصل 4

1 برنامج البحث والتطوير في مجال غازات الاحتباس الحراري التابع للوكالة الدولية للطاقة، https://ieaghg.org/summer-school

2 مركز التكنولوجيا مونجستاد، 19 ديسمبر 2023: TCM مستمر تحت نفس الملكية، https://tcmda.com/tcm-to-continue-under-the-same-ownership

3 مركز التكنولوجيا مونجستاد، 6 مايو 2022: مشاركة النتائج التي توصلنا إليها، https://tcmda.com/sharing-our-findings

4 مشروع الوصول، 2024: التعريف TCM،
https://www.projectaccsess.eu/partners/technology-centre-mongstad

5 مركز التكنولوجيا مونجستاد، 25 يناير 2024: بالتعاون مع SINTEF،
https://tcmda.com/collaboration-with-sintef/

6 شبكة مراكز الاختبار الدولية 2024: نبذة حول ITCN:
https://itcn-global.org/about-the-itcn/#%20

7 .Ibid

# الفصل 5

1 دونيلان، إدوارد 2022: الحوكمة التنظيمية: صنع السياسات وصياغة التشريعات وإصلاح القوانين

2 وزارة الاقتصاد 2023: خارطة الطريق الوطنية لتحول الطاقة،
https://www.ekonomi.gov.my/sites/default/files/2023-09/National%20Energy%20Transition%20Roadmap_0.pdf

3 PIB دلهي 2022: نيتي ايوج تصدر تقرير دراسة حول "احتجاز الكربون الاستخدام والتخزين (CCUS) إطار السياسات وآلية نشره في الهند"،
https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1879865

4 كوليتشينكو، ناتاليا؛ إريرا، إليانور 2012: احتجاز الكربون وتخزينه في البلدان النامية. منظور حول عوائق النشر،
https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/615481468315295070/carbon-capture-and-storage-in-developing-countries-a-perspective-on-barriers-to-deployment

# الفصل 6

1 https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus

2 ISO/TC 265, 2011: احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه الجيولوجي،
https://www.iso.org/committee/648607.html

3 DNV، شون، باربرا 14 يونيو 2023: لقد تحققت DNV من سلامة جميع جوانب تخزين CO2 في مشروع جرينساند في بحر الشمال،
https://www.dnv.com/news/dnv-has-verified-the-safety-of-all-aspects-of-project-greensand-s-co2-storage-in-the-north-sea-244503;
انظر أيضًا يوروبترول، 26 نوفمبر 2020: مشروع جرين ساند: في بحر الشمال، الخزان والبنية التحتية المعتمدة لتخزين $CO_2$،
https://www.euro-petrole.com/project-greensand-north-sea-reservoir-and-infrastructure-certified-for-co2-storage-n-i-21438

4 نوفاتيك، 3 فبراير 2022: نوفاتيك تحصل على شهادة دولية لمواقع تخزين CO2 تحت الأرض في يامال وجيدان،
https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus

5 الوكالة الدولية للطاقة 2022: أطر العمل القانونية والتنظيمية لـ CCUS
https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus

6 يتضمن الموقع الإلكتروني EPA وثائق إرشادية متعلقة بالتحكم في حقن الآبار تحت الأرض من الفئة السادسة على موقع الويب التالي:
www.epa.gov/uic/final-class-vi-guidance-documents.
وتم تضم ن مسودة التصاريح في هذا الموقع:
www.epa.gov/uic/current-class-vi-projects-under-review-epa.
يمكن العثور على أدوات تصريح إضافية على موقع الويب العام الخاص بوكالة حماية البيئة EPA للتحكم في حقن الآبار تحت الأرض من الفئة السادسة:
www.epa.gov/uic/class-vi-wells-used-geologic-sequestration-carbon-dioxide#ClassVITools.

7 IEA 2010 : الإطار التنظيمي النموذجي لـ CCS 6.11.1
https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus

8 نفس المرجع.

9 التوجيه رقم EC/2009/31 الصادر عن البرلمان الأوروبي والمجلس بتاريخ 23 أبريل 2009، المادة 18

10 يتضمن الموقع الإلكتروني للمنظمة البحرية الدولية قائمة نشطة بالدول الأطراف المتعاقدة في بروتوكول لندن:
https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx.

11 المنظمة البحرية الدولية، 2024: اتفاقية وبروتوكول لندن،
https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/London-Convention-Protocol.aspx

12 منشورات المنظمة البحرية الدولية، نوفمبر 2023: كتالوج،
https://indd.adobe.com/view/92aa64cd-a96c-45c5-ad0b-26671c21be13

13 المنظمة البحرية الدولية: حالة الاتفاقيات،
https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/StatusOfConventions.aspx

14 مجموعة معاهدات الأمم المتحدة 10 سبتمبر 1997: الفصل السابع والعشرون البيئة 4. اتفاقية تقييم الأثر البيئي في إطار عابر للحدود السياق،
https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-4&chapter=27&clang=_en

15 مجموعة معاهدات الأمم المتحدة 30 سبتمبر 1997: الفصل السابع والعشرون البيئة اتفاقية الوصول إلى المعلومات، المشاركة العامة في القرار- .13، الوصول إلى العدالة في المسائل البيئية،
https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-13&chapter=27

16 جرينساند 2024: أول تخزين للكربون – يمهد مشروع جرينساند الطريق لعام للتخفيف من تغير المناخ باستخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه،
https://www.projectgreensand.com/en/first-carbon-storage

17 إنرجي فورسكنينج 2024: المرحلة الأولى من مشروع جرينساند،
https://energiforskning.dk/files/media/document/64020-1080%20-%20Project%20Greensand%20Phase%201%20-%20End%20of%20Phase%20Report.pdf

18 جرينساند 2024: ما هو مشروع جرينساند؟،
https://www.projectgreensand.com/en/hvad-er-project-greensand

19 حالة البيئة الخضراء 30 سبتمبر 2022: الدنمارك وفلاندرز وبلجيكا يوقعون على اتفاق مبتكر لعام 2022 بشأن نقل CO2 عبر الحدود لأغراض التخزين الجيولوجي، https://stateofgreen.com/en/news/denmark-flanders-and-belgium-sign-groundbreaking-arrangement-on-cross-border-transportation-of-co2-for-geological-storage

20 مذكرة تفاهم بين وزير البيئة في الإقليم الفلمنكي والوزير الاتحادي لبحر الشمال في بلجيكا و وزير المناخ والطاقة والمرافق في الدنمارك بشأن نقل $CO_2$ عبر الحدود بغرض الجيولوجية الدائمة، https://kefm.dk/Media/638000596525014193/Bilateral%20arrangement%20DK-BE.pdf

21 سانتوس 7 أغسطس 2023: مشروع Bayu-Undan المشترك و Timor Gap يوقعان مذكرة تفاهم للتعاون في احتجاز الكربون وتخزينه، https://www.santos.com/news/bayu-undan-joint-venture-and-timor-gap-sign-mou-to-cooperate-on-carbon-capture-and-storage

22 حكومة تيمور الشرقية 13 أكتوبر 2023: وزارة البترول والمعادن الموارد تروج لندوة حول الإطار القانوني والتنظيمي للكربون واحتجازه وتخزينه في تيمور الشرقية، http://timor-leste.gov.tl/?p=34678&lang=en&n=1

# الفصل 7

1 وكالة الطاقة الدولية (IEA)، المشروع التجريبي لاحتجاز وتخزين الكربون في توماكوماي، https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world/tomakomai-ccs-demonstration-project

2 قانون منع التلوث البحري والكوارث البحرية لعام 1970: القانون رقم 136

3 معهد CCS العالمي 2016: الإطار القانوني والتنظيمي الياباني لالتقاط الكربون وتخزينه CCS، https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/japans-legal-and-regulatory-framework-for-ccs

4 وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة (METI)، ومنظمة تطوير الطاقة الجديدة والتكنولوجيا الصناعية (NEDO)، وشركة Japan CCS Co., Ltd. (JCCS) 2023: تقرير المشروع التجريبي لـ CCS في توماكوماي عند حقن تراكمي بقدرة 300 ألف طن، https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/0515_004a.pdf

5 نفس الشريحة رقم 13

6 نفس الشريحة رقم 13

7 إكوينور 2019: شراكة سليبنر تُصدر بيانات تخزين ثاني أكسيد الكربون $CO_2$، https://www.equinor.com/news/archive/2019-06-12-sleipner-co2-storage-data

8 نفس المرجع.

9 اللوائح المتعلقة باستغلال الخزانات البحرية على الجرف القاري لتخزين ثاني أكسيد الكربون ونقله على الجرف القاري بموجب المرسوم الملكي الصادر في 5 ديسمبر 2014، كما تتوفر ترجمة باللغة الإنجليزية: https://www.sodir.no/en/regulations/regulations/exploitation-of-subsea-reservoirs-on-the-continental-shelf-for-storage-of-and-transportation-of-co

10 لائحة مكافحة التلوث النرويجية §35-16 §35-16, FOR-2004-06-01-931

11 Miljødirektoratets 2016: Tillatelse etter forurensningsloven for Injeksjon og lagring av $CO_2$ på Sleipnerfeltet Statoil Petroleum، https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=301400&documentType=T&companyID=16802&aar=0&epslanguage=en

12 رينيرسون، آرثر ج. 2013: الصياغة التشريعية خطوة بخطوة. معهد القانون الدولي

13 اومبادزتيفيديت إنجفيلد وكوبرنا، جورج 2023: مقارنة أنظمة السماح بتخزين ثاني أكسيد الكربون غير منصفة فهي مثل مقارنة التفاح بالبرتقال؟، https://www.ogel.org/article.asp?key=4091

14 جاسنوفا 2020: تطوير الدروس الأساسية المستفادة من مشروع السفينة الطويلة، https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/06/Gassnova-Developing-Longship-FINAL.pdf

15 برنامج تطوير القانون التجاري: فهم اتفاقيات شراء الطاقة، https://cldp.doc.gov/sites/default/files/PPA%20Second%20Edition%20Update.pdf

## الفصل 8

1 المندرا، فرانسيسكو وآخرون. آل. 2011: مشروع CCS التجريبي في البلدان النامية: أولويات آلية تمويل احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، https://www.wri.org/publication/ccs-demonstration-in-developing-countries

2 لويس، جانجيرا 2022: تقييم ضريبة الكربون في اليابان، https://earth.org/japan-carbon-tax

3 الأمانة الوطنية لتغير المناخ في سنغافورة، ضريبة الكربون، www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax

4 المفوضية الأوروبية، نطاق نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي، https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/scope-eu-emissions-trading-system_en

5 المفوضية الأوروبية، ما هو نظام ETS نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات؟، https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en

6 اللائحة التنفيذية للمفوضية (الاتحاد الأوروبي) 2018/2066 المؤرخة 19 ديسمبر 2018 بشأن مراقبة انبعاثات غازات الدفيئة والإبلاغ عنها وفقًا للتوجيه EC/2003/87 الصادر عن البرلمان الأوروبي والمجلس واللائحة المعدلة للمفوضية (الاتحاد الأوروبي) رقم 601/2012 (نص ذو صلة بالمنطقة الاقتصادية الأوروبية)

7 البترول النرويجي 2023: الانبعاثات إلى الهواء، https://www.norskpetroleum.no/en/environment-and-technology/emissions-to-air

8 ولأغراض هذه المناقشة، يمثل مصطلح "تدابير التحكم في الانبعاثات" نشر مشاريع احتجاز الكربون ونقله وتخزينه. هناك تدابير أخرى للتحكم في الانبعاثات، مثل تحسين الكفاءة، والتي قد تكون مطلوبة للحد من انبعاثات $CO_2$ في الصناعة ومحطات الطاقة.

9 وكالة حماية البيئة 2023: NSPS لانبعاثات الغازات الدفيئة من وحدات توليد المرافق الكهربائية الجديدة والمعدلة والمعاد بناؤها، https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/nsps-ghg-emissions-new-modified-and-reconstructed-electric-utility

10 https://www.utilities-me.com/news/all-new-power-plants-in-saudi-arabia-to-add-carbon-capture-facility

11 المفوضية الأوروبية، مشاريع صندوق الابتكار، https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-projects_en

12 معهد CCS العالمي 2023: الوضع العالمي لـ CCS 2023 - التوسع من خلال 2030، https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2024/01/Global-Status-of-CCS-Report-1.pdf

13 جاسنوفا 2020: الدروس التنظيمية المستفادة من Longship، https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/07/Regulatory-lessons-learned-from-Longship-FINAL-WEB-1.pdf

14 يسمح IRA بالدفع المباشر لمدة 5 سنوات، والدفع المباشر لمدة 12 عامًا كاملة للكيانات التي لا تدفع الضرائب. القانون الأمريكي رقم 26، الفقرة 6417

15 ماوالكار، سانجاي؛ هاجسما، الخريف؛ وجوبتا، نيراج 2020: الرصد والإبلاغ وخطة التحقق (MRV) - تلبية إرشادات وكالة حماية البيئة (EPA) الخاصة بـ GHGRP والجزء الفرعي،
*https://www.osti.gov/servlets/purl/1773379*

16 يخصص IIJA 600 مليون دولار لبرنامج CIFIA لكل سنة مالية اتحادية 2022 و 2023، إلى جانب 300 مليون دولار لكل سنة مالية فيدرالية من عام 2024 حتى 2026. وزارة الطاقة الأمريكية، البنية التحتية لنقل ثاني أكسيد الكربون،
*https://www.energy.gov/lpo/carbon-dioxide-transportation-infrastructure*

17 خدمة أبحاث الكونجرس الأمريكي 2020: الائتمان الضريبي لعزل الكربون (القسم 45Q)،
*https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11455/1*

18 تشارك Nordsøfonden أيضًا في التراخيص القادمة لتخزين الكربون بنسبة 20 بالمائة،
*https://eng.nordsoefonden.dk/news/2023/september/nordsoefonden-also-participates-in-upcoming-licenses-for-carbon-storage-with-20-percent*

# بيانات النسخ

هذا العمل صدر بموجب الرخصة الدولية بإسناد المشاع الإبداعي-غير تجاري-ShareAlike 4.0 (CC BY NO SA)

تم تأليف هذا الكتاب باستخدام طريقة (www.booksprints.net) من 29 يناير حتى 2 فبراير 2024.

المؤلفون: فيكرام فيشال، أتسوماسا ساكاي، بريا براساد، خوسيه بينيتيز توريس

إنجفيلد اومبادزتفيدف، ريتشارد إسبوزيتو، جورج كوبرنا، باميلا تومسكي

ميسر بوك سبرينتس باربرا رولينج، أنا روكساس

محررو النسخ: راوين وايت، كيستين ديفيس

مصمم كتب HTML: أجاث بايز

رسام ومصمم غلاف: لينارت ولفيرت، هنريك فان ليوين

صورة الغلاف: الشركة الجنوبية / المركز الوطني لالتقاط الكربون

حجم الخط: Inria بواسطة The Black [Foundry] Techna، بواسطة Carl Enlund بواسطة, Faune واسطة Alice Savoie

يجب الاستشهاد بهذه الوثيقة على النحو التالي: التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه: كتيب لواضعي السياسات (2024).

**بتمويل من**

Bureau of Energy Resources

U.S. DEPARTMENT *of* STATE

**مطور بواسطة:**

CLDP

COMMERCIAL LAW DEVELOPMENT PROGRAM

**المساهمون المؤسسيون:**