



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)
ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES (OAPEC)



THE OXFORD
INSTITUTE
FOR ENERGY
STUDIES

A RECOGNIZED INDEPENDENT CENTRE OF THE UNIVERSITY OF OXFORD



UNIVERSITY OF
OXFORD

الكربون بلا حدود: بناء سوق لثاني أكسيد الكربون في أوروبا

Carbon without Borders: Building Europe's CO₂ Market

ترجمة وتلخيص : إعداد: د. ياسر بغدادي - خبير أول صناعات نفطية - إدارة الشؤون الفنية

مقدمة

أصدر معهد أكسفورد لدراسات الطاقة (OIES)، في سبتمبر 2026، ورقة بحثية بعنوان «الكربون بلا حدود: بناء سوق لثاني أكسيد الكربون في أوروبا». وتتناول الورقة سبل انتقال أوروبا من مجموعة من المشروعات المنفردة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه إلى سوق مترابطة وقابلة للاستمرار تجارياً، بما يدعم تطوير بنية تحتية مشتركة، ويوسع نطاق نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر الحدود.

وسلّطت الورقة الضوء على أن التحدي المقبل في مجال احتجاز الكربون وتخزينه في أوروبا لا يقتصر على تطوير المزيد من مشروعات الاحتجاز أو زيادة قدرات النقل والتخزين، بل يتمثل بصورة أكبر في ربط مختلف مكونات سلسلة القيمة ضمن منظومة تجارية متكاملة. فتوافر قدرات التخزين لا يعني بالضرورة وجود سوق قادرة على الاستفادة منها، إذ يتطلب ذلك تدفقات كافية ومنظمة من ثاني أكسيد الكربون، وربط مصادر الانبعاثات بالبنية التحتية للنقل ومواقع التخزين، إلى جانب عقود وترتيبات تجارية تدعم تمويل المشروعات وتشغيلها بصورة مستدامة.

وفي هذا السياق، أشارت الورقة إلى أهمية التمييز بين الإمكانيات الجيولوجية المتاحة للتخزين، والقدرات التي جرى تطويرها فعلياً لنقل ثاني أكسيد الكربون وحرقه وتخزينه، ووجود سوق تجارية تربط مصادر ثاني أكسيد الكربون بمقدمي خدمات النقل والتخزين. فقد تتوافر تكوينات جيولوجية قادرة على استيعاب كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون دون أن تكون مهيأة للاستخدام التجاري. ومن ثم، يعتمد تطور السوق على التكامل بين مصادر ثاني أكسيد الكربون والبنية التحتية للنقل وقدرات التخزين والأطر التعاقدية والجدوى الاقتصادية، بما يحول الإمكانيات الفنية المتاحة إلى منظومة تجارية مترابطة وقابلة للتوسع.

تطور سوق ثاني أكسيد الكربون في أوروبا

أوضحت الورقة أن مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه في أوروبا تتجه تدريجياً من نموذج المشروعات المنفردة، التي يطور فيها كل مشروع سلسلة خاصة به للاحتجاز والنقل والتخزين، إلى نماذج تعتمد على بنية تحتية مشتركة تخدم عدداً من مصادر الانبعاثات. ويسمح هذا التوجه بتجميع ثاني أكسيد الكربون من منشآت

صناعية متعددة ونقله إلى مواقع تخزين مشتركة، بما يوسع قاعدة المستخدمين المحتملين و يتيح الاستفادة من وفورات الحجم.

كما أبرزت الورقة أهمية مشروعات النقل والتخزين التي تخدم عدة منشآت صناعية في تطوير سوق أكثر ترابطا لثاني أكسيد الكربون. وتتيح البنية التحتية المشتركة لهذه المنشآت الاستفادة من خدمات النقل والتخزين دون الحاجة إلى إنشاء مرافق مستقلة لكل منها، وهو ما قد يفيد المنشآت التي لا تسمح كميات انبعاثاتها بتطوير سلسلة خاصة بها بتكلفة مجدية.

وبينت الورقة أن تطور السوق يرتبط بتحقيق التوازن بين العرض والطلب. فمطورو شبكات النقل ومواقع التخزين يحتاجون إلى تدفقات كافية ومنتظمة من ثاني أكسيد الكربون لضمان الاستفادة من الأصول وتبرير الاستثمارات الرأسمالية، في حين تحتاج المنشآت الصناعية إلى التأكد من توافر خدمات نقل وتخزين موثوقة قبل الاستثمار في وحدات الاحتجاز. ويخلق هذا الترابط تحديا يتعلق بتنسيق توقيت الاستثمارات وحجمها على امتداد سلسلة القيمة، إذ يعتمد تقدم كل مكون على مدى جاهزية المكونات الأخرى.

وأشارت الورقة إلى أن القدرات المعلنة للنقل والتخزين لا تعكس بالضرورة الحجم الفعلي للسوق. فهناك فارق بين المشروعات المعلنة أو المخطط لها، والمشروعات التي وصلت إلى مراحل متقدمة من التطوير، والقدرات المتاحة فعلياً للمستخدمين ضمن ترتيبات تجارية. ولذلك، يتطلب تقييم مدى نضج السوق النظر إلى مستوى تقدم المشروعات، والكميات المتاحة والمتعاقد عليها، ومدى ارتباطها بمصادر فعلية لثاني أكسيد الكربون، وليس إلى إجمالي القدرات الاسمية المعلنة فقط.

الفجوة الجغرافية بين الانبعاثات وقدرات التخزين

سلطت الورقة الضوء على وجود فجوة جغرافية بين مناطق تركيز الصناعات كثيفة الانبعاثات ومواقع تطوير قدرات تخزين ثاني أكسيد الكربون في أوروبا. ففي حين تتركز التجمعات الصناعية في مناطق محددة، توجد التكوينات الجيولوجية المناسبة للتخزين في مناطق أخرى، بما في ذلك الطبقات الملحية العميقة وحقول النفط والغاز المستنفدة. ويعني ذلك أن توافر إمكانات جيولوجية كبيرة على مستوى أوروبا لا يضمن سهولة وصول جميع مصادر الانبعاثات إلى مواقع التخزين.

وتظهر هذه الفجوة بوضوح في وسط وشرق أوروبا، اللذين يمثلان نحو 19% من الانبعاثات الصناعية في أوروبا، في حين لا تمثل مشروعات التخزين المعلنة في المنطقة سوى نحو 1.5% من إجمالي قدرات التخزين المعلنة. ويكشف هذا التفاوت عن عدم تطابق جغرافي بين مواقع جانب مهم من الانبعاثات الصناعية ومواقع القدرات التخزينية الجاري تطويرها.

وأشارت الورقة إلى أن بعض دول المنطقة، ومنها بولندا، تمتلك إمكانات جيولوجية كبيرة لتخزين ثاني أكسيد الكربون. غير أن الاستفادة منها تجاريا تعتمد على قدرة المنشآت الصناعية على نقل انبعاثاتها إلى مواقع التخزين بصورة موثوقة وبتكلفة مجدية. ولذلك، تبرز أهمية تطوير شبكات تربط التجمعات الصناعية بمواقع التخزين، بما في ذلك الربط عبر الحدود عندما يكون الموقع المناسب خارج الدولة التي تنشأ فيها الانبعاثات.

البنية التحتية العابرة للحدود وإعادة استخدام الأصول

سلطت الورقة الضوء على أهمية تطوير شبكات لنقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود، في ظل التفاوت الجغرافي بين مواقع التجمعات الصناعية ومواقع التخزين في أوروبا. فإتاحة أكثر من مسار ووجهة للتخزين تمنح المنشآت الصناعية خيارات أوسع، وقد تعزز المنافسة بين مقدمي خدمات التخزين وتحسن الاستفادة من القدرات المتاحة .

وأشارت إلى إمكان الاستفادة من بعض خطوط أنابيب النفط والغاز القائمة في تطوير هذه الشبكات. ووفقا لتقييم مشروع **Re-Stream** الذي استعرضته الورقة، لم تظهر عوائق تقنية جوهرية أمام استخدام عدد من الخطوط التي شملها التقييم لنقل ثاني أكسيد الكربون في الحالة الغازية، كما اعتبر أن أكثر من نصف الخطوط البحرية التي جرى تقييمها مرشحا محتملا لنقله في الحالة الكثيفة. وتمثل هذه النتائج فحصا أوليا للأصول المدروسة، ولا تعني صلاحية جميع الخطوط لإعادة الاستخدام .

وأوردت الورقة مشروع **HyNet** في المملكة المتحدة مثالا على هذا التوجه، إذ يتضمن تصميمه إعادة استخدام نحو 24 كيلومترا من خط أنابيب غاز بري قائم لنقل ثاني أكسيد الكربون. وتظل صلاحية إعادة استخدام أي خط مشروطة بتقييم فني مستقل يشمل ضغط التصميم، وحالة المعدن، والتآكل والشوائب، ومخاطر انتشار الكسور، إلى جانب الحالة الفيزيائية لثاني أكسيد الكربون وظروف التشغيل .

منهجية تحليل التجمعات الصناعية وممرات النقل والتخزين

اعتمدت الورقة على تحليل مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعات التي يصعب خفض انبعاثاتها، وجمعت المصادر المتقاربة جغرافيا ضمن تجمعات صناعية. ثم درست مسارات نقل ثاني أكسيد الكربون من هذه التجمعات إلى مواقع التخزين في بحر الشمال، وإلى فرص التخزين الناشئة في رومانيا وبولندا. واستعانت أيضا بمقابلات مع الجهات المعنية لفهم الجوانب العملية لتطوير هذه المسارات.

وقارنت الورقة متوسط تكلفة نقل طن من ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر المسارات المختلفة. وشملت المقارنة نقله بخطوط الأنابيب أو بالسفن، مع دراسة إمكان إعادة استخدام أجزاء من خطوط الغاز الطبيعي القائمة. كما اختبرت خمسة سيناريوهات حتى عام 2035 لفهم العلاقة بين الطلب على التخزين وتطور قدرات

النقل والتخزين. واستُكملت نتائج التحليل بمقابلات مع ممثلين عن الجهات الحكومية، والصناعات صعبة الخفض، وشركات النفط والغاز، ومشغلي النقل والتخزين، ومطوري المشروعات والباحثين.

وشمل النموذج ثلاثة ممرات للنقل والتخزين: ممر بحر الشمال، الذي يتفرع إلى مسارين نحو موقعي **Porthos** و **Northern Lights**، وممر باتجاه رومانيا، وآخر باتجاه بولندا. وتقع ضمن نطاق هذه الممرات مصادر لانبعاثات صناعية يبلغ مجموعها نحو 567.3 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، أي 80.8% من إجمالي انبعاثات الصناعات صعبة الخفض التي حددها تحليل التجمعات. ويمثل هذا الرقم الانبعاثات التي شملها النموذج، وليس كميات يجري نقلها أو تخزينها فعلياً.

ولدراسة أثر اختيار المسار في التكلفة بصورة أوضح، قارنت الورقة خيارات النقل المتاحة لثلاثة تجمعات صناعية يمكن ربط كل منها بأكثر من ممر للتخزين: وسط ألمانيا قرب لايبزيغ، وجنوب ألمانيا قرب باساو، ومنطقة تضم النمسا وتشيكيا وسلوفاكيا قرب باومغارتن

نتائج تحليل الممرات: أثر خيارات التخزين في شرق أوروبا على التكلفة

اختارت الدراسة ثلاثة تجمعات صناعية يمكن توجيه ثاني أكسيد الكربون الصادر عنها بصورة معقولة إلى أكثر من مسار للتخزين، وهي وسط ألمانيا، وجنوب ألمانيا، ومنطقة تضم النمسا وتشيكيا وسلوفاكيا. وأظهرت نتائج النموذج، في الحالات الثلاث التي جرى تحليلها، أن توجيه ثاني أكسيد الكربون نحو مواقع التخزين في شرق أوروبا كان أقل تكلفة من نقله إلى مواقع التخزين في بحر الشمال.

وبلغ فارق التكلفة نحو 45 يورو لكل طن من ثاني أكسيد الكربون، بما يعادل انخفاضاً يقارب 56-60% مقارنة بمسارات بحر الشمال. وقدرت الورقة أن هذا الفارق يمكن أن يحقق وفراً سنوياً يبلغ نحو 819 مليون يورو للتجمعات الصناعية الثلاثة مجتمعة. وإذا استمر فارق التكلفة بالمستوى نفسه لمدة عشر سنوات، فقد يصل إجمالي الوفرة غير المخصص إلى نحو 8.2 مليار يورو.

وأوضحت الورقة أن هذه النتائج لا تعني أن التخزين في شرق أوروبا سيكون أقل تكلفة من بحر الشمال في جميع الحالات، وإنما تبين مدى تأثير موقع مصدر الانبعاثات وتصميم شبكة النقل واختيار وسيلة النقل في اقتصاديات المشروع. وفي الحالات التي تناولها التحليل، كان تجنب تسهيل ثاني أكسيد الكربون ونقله بحراً أحد العوامل الرئيسية التي منحت مسارات خطوط الأنابيب باتجاه شرق أوروبا ميزة من حيث التكلفة.

وتبرز هذه النتائج أن تطوير سوق مترابطة لثاني أكسيد الكربون في أوروبا لا ينبغي أن يقوم على توجيه التدفقات نحو أكبر قدرات التخزين المتاحة فقط، وإنما على تقييم المسارات الأكثر كفاءة من حيث الموقع

والتكلفة والبنية التحتية. كما تشير إلى أهمية تطوير خيارات متعددة للنقل والتخزين وربط التجمعات الصناعية بأكثر من وجهة محتملة، بما يعزز المنافسة والمرونة ويحد من الاعتماد على مسار أو موقع تخزين واحد.

دور السياسات في تطوير الطلب على التخزين

أشارت الورقة إلى أن السياسات الأوروبية دعمت تطوير مشروعات احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه، لكنها أولت اهتماما أكبر بتوفير البنية التحتية مقارنة بتحفيز الطلب على استخدامها. وفي هذا السياق، يحدد قانون الصناعة ذات الانبعاثات الصفيرية في الاتحاد الأوروبي هدفا ملزما لتوفير قدرة سنوية على حقن 50 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في مواقع التخزين بحلول عام 2030. غير أن توفير هذه القدرة لا يضمن تعاقد المنشآت الصناعية على استخدامها، ما قد يؤدي إلى بقاء جزء منها دون استغلال كاف.

ولمعالجة هذه الفجوة، بحثت الورقة أداة محتملة أطلقت عليها التزام تخزين الكربون (CSO)، تقوم على إلزام بعض الصناعات التي يصعب خفض انبعاثاتها بتخزين كميات من ثاني أكسيد الكربون بصورة دائمة. ويساعد هذا الالتزام مطوري شبكات النقل ومواقع التخزين على تقدير الكميات التي ستحتاج إليها المنشآت الصناعية، والتخطيط لاستثماراتهم بما يتناسب معها.

واختبرت الورقة هذا الالتزام كفرضية ضمن خمسة سيناريوهات حتى عام 2035، وليس بوصفه سياسة أوروبية مطبقة. وهدفت إلى بيان ما إذا كانت قدرات النقل والتخزين ستتطور بالقدر الكافي لمواكبة الطلب المحتمل، أو أن التوسع في أحد الجانبين سيسبق الآخر. وبذلك تعرض الورقة الالتزام المقترح باعتباره إحدى الأدوات الممكنة لتنسيق نمو الطلب مع تطوير البنية التحتية.

السيناريوهات الخمسة: التفاعل بين الطلب والبنية التحتية

اختبرت الورقة خمسة سيناريوهات حتى عام 2035 بهدف تحديد أثر التغير المتزامن في الطلب على التخزين وقدرات النقل والتخزين، وقياس حجم ثاني أكسيد الكربون الذي يمكن تخزينه فعليا في كل حالة، إلى جانب الإيرادات المحتملة لوسط وشرق أوروبا.

في السيناريو الأساسي Sc1، يقتصر الطلب الطوعي على 5 مليون طن سنويا، مقابل قدرة مؤكدة للنقل والتخزين تبلغ 14 مليون طن سنويا. ونتيجة لذلك، لا يستخدم سوى 5 ملايين طن من هذه القدرة، بينما تظل 9 ملايين طن سنويا من قدرة بحر الشمال المؤكدة غير مستخدمة، بما يعكس حالة تكون فيها محدودية الطلب هي القيد الرئيسي أمام نمو السوق.

وفي السيناريو الثاني Sc2، يؤدي تطبيق الإلزام إلى ارتفاع الطلب إلى 51.5 مليون طن سنويا، بينما تظل قدرة النقل والتخزين عند 14 مليون طن سنويا. وعلى الرغم من الزيادة الكبيرة في الطلب، لا تستطيع البنية

التحتية المتاحة استيعاب سوى نحو 27% من الكميات المطلوبة، ما يترك قرابة 73% من الطلب من دون مسار تخزين متاح.

أما السيناريو الثالث Sc3 فيوضح الصورة العكسية، إذ ترتفع قدرة النقل والتخزين إلى 19.2 مليون طن سنوياً، في حين يظل الطلب عند 5 مليون طن سنوياً. ونتيجة لذلك، تظل قرابة 75% القدرة المتاحة غير مستخدمة، بما يوضح أن زيادة البنية التحتية وحدها، من دون نمو مواز في الطلب، لا تكفي لتكوين سوق نشطة. وفي السيناريو المدمج Sc4، يرتفع الطلب إلى 85.1 مليون طن سنوياً، بالتزامن مع زيادة قدرة النقل والتخزين إلى 19.2 مليون طن سنوياً. وفي هذه الحالة تصل الاستفادة من القدرة المتاحة إلى 100%، إلا أن نحو 77% من الطلب يظل من دون مسار متاح للتخزين. كما تبدأ وسط وشرق أوروبا في تحقيق إيرادات من السوق تقدر بنحو 158.6 مليون يورو سنوياً.

أما سيناريو الإمكانية الكاملة Sc5، فيفترض استمرار الطلب عند 85.1 مليون طن سنوياً مع ارتفاع قدرة النقل والتخزين إلى 51.4 مليون طن سنوياً. ويسمح ذلك بخدمة نحو 60% الطلب، بينما يظل نحو خمسي الطلب، أي قرابة 40%، من دون مسار تخزين متاح. وترتفع الإيرادات المحتملة لوسط وشرق أوروبا في هذا السيناريو إلى نحو 211 مليون يورو سنوياً.

وتكتسب نتيجة سيناريو الإمكانية الكاملة أهمية إضافية عند مقارنتها بهدف الاتحاد الأوروبي لتوفير قدرة حقن تبلغ 50 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً بحلول عام 2030. فالقدرة المتاحة في هذا السيناريو، البالغة نحو 51.4 مليون طن سنوياً وفقاً لجدول السيناريوهات، تقارب هذا المستوى، ومع ذلك لا تستطيع خدمة سوى نحو 60% الطلب البالغ 85.1 مليون طن سنوياً، بينما يظل نحو خمسي الطلب من دون مسار تخزين متاح.

وتشير هذه المقارنة إلى أن التحدي لا يتعلق بزيادة إجمالي قدرات التخزين على المستوى الأوروبي فقط، بل بمدى توافر هذه القدرات في مواقع يمكن لمصادر الانبعاثات الوصول إليها من خلال شبكات نقل عملية ومجدية اقتصادياً. وتبرز هذه المسألة بصورة خاصة في وسط وشرق أوروبا، حيث لا يمكن افتراض أن الكميات التي لا تجد مساراً محلياً أو إقليمياً مناسباً يمكن تحويلها تلقائياً إلى مواقع التخزين في بحر الشمال، نظراً إلى المسافات الطويلة وما يرتبط بها من تكاليف ومتطلبات للبنية التحتية.

ومن ثم، تبين السيناريوهات أن تحفيز الطلب يمكن أن يدعم نشوء السوق ويرفع معدلات استخدام البنية التحتية، إلا أن قدرات النقل والتخزين المتاحة جغرافياً هي التي تحدد في نهاية المطاف الحجم الذي يمكن

للسوق الوصول إليه. وبالنسبة لوسط وشرق أوروبا، يرتبط ذلك بضرورة تنسيق نمو الطلب مع تطوير قدرات النقل والحقن التي يمكن الوصول إليها في التوقيت والموقع المناسبين.

تغير القيد الرئيسي مع تطور السوق

تبين السيناريوهات الخمسة أن العائق أمام توسع السوق يتغير بمرور الوقت. فعندما يكون الطلب على التخزين محدودا، تبقى بعض قدرات النقل والتخزين دون استخدام. ومع ارتفاع الطلب، تصبح القدرة المتاحة على نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه هي العامل الذي يحد من نمو السوق. وتبرز هذه النتيجة أهمية تنسيق تدابير تحفيز الطلب مع الاستثمار في البنية التحتية، حتى تنمو قدرات النقل والتخزين بما يواكب الكميات المطلوب تخزينها. كما تعني أن السياسات المناسبة للسوق في بدايتها قد تحتاج إلى التغير مع توسعها، بحسب العائق الذي تواجهه في كل مرحلة.

القيمة الاقتصادية لمشاركة وسط وشرق أوروبا

أظهرت السيناريوهات أن الجمع بين تحفيز الطلب وتطوير البنية التحتية يزيد كمية ثاني أكسيد الكربون التي يمكن نقلها وتخزينها فعليا. فوجود مواقع التخزين وحده لا يكفي؛ إذ تحتاج المنشآت الصناعية إلى مسارات تتيح لها الوصول إلى تلك المواقع بتكلفة مناسبة.

وفي السيناريو المدمج، قدرت الورقة إيرادات خدمات النقل والتخزين في وسط وشرق أوروبا بنحو 158.6 مليون يورو سنويا، ترتفع إلى نحو 211 مليون يورو سنويا في سيناريو الإمكانية الكاملة. ويوضح ذلك أن الإمكانيات الجيولوجية تكتسب قيمة اقتصادية عندما ترتبط مواقع التخزين بمصادر الانبعاثات عبر بنية تحتية مناسبة، وتتوافر كميات كافية من ثاني أكسيد الكربون لاستخدامها.

خطر الاعتماد المبكر على مسارات محدودة

لفتت الورقة إلى أهمية توقيت تطوير ممرات النقل والتخزين في وسط وشرق أوروبا. فإذا تأخر إنشاؤها، فقد تجذب شبكات بحر الشمال التي تدخل الخدمة مبكرا جزءا كبيرا من الكميات المتاحة والعقود المرتبطة بها، ما قد يصعب دخول مسارات تخزين أخرى لاحقا.

ولذلك، لا تقتصر أهمية تطوير الممرات البديلة على احتمال خفض التكلفة في بعض الحالات. فإتاحتها في وقت مناسب تمنح المنشآت الصناعية أكثر من خيار للنقل والتخزين، وتحد من اعتماد السوق على عدد محدود من المسارات عند بدء تشكلها. وتبقى جدوى كل ممر رهنا بحجم الطلب وموقع مصادر الانبعاثات وتكلفة تطوير البنية التحتية.

آراء أصحاب المصلحة

أظهرت المقابلات التي أجرتها الدراسة اتفاقاً بين الجهات المعنية على صعوبة تنسيق الاستثمارات في مراحل احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه. فمطورو شبكات النقل ومواقع التخزين يحتاجون إلى معرفة الكميات التي ستستخدم خدماتهم قبل الاستثمار، بينما تحتاج المنشآت الصناعية إلى التأكد من توافر هذه الخدمات قبل إنشاء وحدات الاحتجاز.

واختلفت الآراء بشأن الخطوة التي ينبغي أن تسبق الأخرى. فرأى بعض المشاركين أن وجود طلب مضمون على التخزين، من خلال أدوات مثل الالتزام بالتخزين، ضروري لتبرير الاستثمار في البنية التحتية. ورأى آخرون أن توفير خدمات نقل وتخزين موثوقة أولاً هو ما يشجع المنشآت الصناعية على الاستثمار في الاحتجاز. وفي وسط وشرق أوروبا، برزت مسائل التمويل وتقاسم المخاطر، إلى جانب اعتبارات أمن الطاقة والأولويات الجيوسياسية. وأثيرت أيضاً مسألة تصنيف ثاني أكسيد الكربون قانونياً، وما يترتب عليها من أحكام تتعلق بملكيته والمسؤولية عنه وإمكان تمويل المشروعات.

من المشروعات المنفردة إلى سوق مترابطة

تدعو الدراسة، على المدى الأطول، إلى الانتقال تدريجياً من المشروعات التي يرتبط فيها كل مصدر للانبعاثات بمسار نقل وموقع تخزين محدد، إلى شبكة تتيح للمنشآت الصناعية الاختيار بين أكثر من مسار ومقدم للخدمة.

ومن شأن تعدد الخيارات أن يقلل الاعتماد على مسار واحد، ويتيح الاستفادة من مواقع التخزين في مناطق مختلفة. كما يمنح المنشآت بدائل إذا تأخر أحد المشروعات أو تعطلت خدماته، ويفتح المجال للمنافسة بين مقدمي خدمات النقل والتخزين.

الخلاصة والتوصيات

تخلص دراسة أكسفورد إلى أن تطوير سوق لثاني أكسيد الكربون يعتمد على ربط مصادر الانبعاثات بشبكات النقل ومواقع التخزين، وتنسيق توقيت الاستثمار في هذه المراحل. وتوصي الدراسة بأن تتطور قدرات النقل والحقن بما يواكب نمو الطلب، حتى لا تبقى قدرات دون استخدام كاف أو تتعذر تلبية الكميات المطلوب تخزينها.

وتدعو الدراسة إلى تخطيط بنية تحتية مشتركة تخدم عدة منشآت داخل التجمعات الصناعية، مع تقييم الممرات العابرة للحدود بحسب تكلفتها وإمكان تنفيذها. كما تؤكد أهمية إدراج فرص التخزين في وسط وشرق أوروبا ضمن التخطيط المبكر للشبكات، بما يتيح للمنشآت أكثر من مسار ووجهة للتخزين مع توسع السوق.

قراءة فنية في ضوء تجارب بعض الدول الأعضاء في أوابك

يمكن النظر إلى نتائج دراسة معهد أكسفورد لدراسات الطاقة في ضوء ما خلصت إليه دراسة أوابك والمعنونة بـ «احتجاز غاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه في صناعة البتروكيماويات: الإمكانيات والتحديات». فقد أشارت دراسة أوابك إلى توافر مصادر صناعية ثابتة للانبعاثات ومقومات جيولوجية وفرص للتكامل بين المصادر المتقاربة في عدد من الأعضاء في أوابك، وأكدت أهمية الاستثمار في البنية التحتية والتعاون والسياسات الداعمة. وتسلط دراسة أكسفورد الضوء على أهمية تنسيق الاستثمار في الاحتجاز والنقل والتخزين وتطوير خدمات مشتركة تخدم أكثر من منشأة. ويتطلب تطبيق هذه الأفكار تقييم ظروف كل دولة ومشروع، مع التمييز بين استخدام ثاني أكسيد الكربون في الصناعة وتخزينه جيولوجيا.

وتعرض الفقرات التالية أمثلة مختارة لمشروعات قائمة أو معلنة في بعض الدول الأعضاء، بهدف توضيح صلة نتائج الدراستين بالتطورات الجارية في المنطقة. ولا تمثل هذه الأمثلة حصرا لجهود الدول الأعضاء أو تقييمها للمشروعات.

المملكة العربية السعودية

تعمل أرامكو، بالتعاون مع شركتي Linde و SLB، على تطوير مركز لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في الجبيل. وتستهدف مرحلته الأولى قدرة تصل إلى 9 ملايين طن سنويا من ثلاثة معامل غاز تابعة لأرامكو ومصادر صناعية أخرى. ويوضح تصميم المشروع إمكان جمع ثاني أكسيد الكربون من عدة مصادر ونقله إلى موقع تخزين عبر بنية تحتية مشتركة.

وتمتلك المملكة خبرة تشغيلية من مشروع الحوية-العثمانية، حيث يلتقط ثاني أكسيد الكربون في معمل سوائل الغاز الطبيعي بالحوية، ثم ينقل عبر خط أنابيب يمتد نحو 85 كيلومترا لحقنه في مكنم العثمانية. وتبين هذه التجربة أهمية الربط بين مصدر الغاز وخط النقل وموقع الحقن عند تصميم المشروع.

دولة الإمارات العربية المتحدة

تمثل منشأة الريادة التابعة لأدنوك تجربة قائمة لالتقاط نحو 800 ألف طن سنويا من ثاني أكسيد الكربون من منشآت حديد الإمارات. وتعمل أدنوك كذلك على تطوير مشروعات أخرى، منها حبشان والحيل وغشا، ضمن خططها لزيادة قدرات الاحتجاز. ويبرز تعدد هذه المشروعات أهمية التخطيط لوسائل نقل وتخزين تستوعب نمو الكميات المحتجزة، مع التمييز بين القدرة التشغيلية والقدرات المعلنة للمشروعات قيد التطوير.

دولة قطر

تستخدم قطر للطاقة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ضمن جهود خفض كثافة الانبعاثات من أنشطة الغاز الطبيعي. تبلغ القدرة القائمة نحو 2.2 مليون طن سنوياً، بينما تستهدف الشركة رفع إجمالي قدراتها إلى نحو 7-9 ملايين طن سنوياً بحلول 2030، ثم إلى أكثر من 11 مليون طن سنوياً بحلول 2035. وترتبط خطط التوسع بمشروعات حقل الشمال، بما يوضح أهمية إدراج متطلبات الاحتجاز والنقل والتخزين في التخطيط للتوسعات الصناعية.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

تمتلك الجزائر خبرة مبكرة في التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون من خلال تجربة عين صالح. وتواصل سوناطراك، بالتعاون مع شركاء دوليين، دراسة فرص تطوير تطبيقات الاحتجاز والاستخدام والتخزين، ومنها الدراسات المتعلقة بموقعي عين صالح وعين أميناس. ويمكن أن تدعم الخبرة الجيولوجية والبنية التحتية لقطاع الغاز تطوير مشروعات مستقبلية، بعد تقييم صلاحية كل موقع وأصل قائم من الناحيتين الفنية والاقتصادية.

جمهورية مصر العربية

تركز الجهود المشار إليها في دراسة أوابك على تقييم مواقع التخزين وإعداد الأساس الفني والتنظيمي للمشروعات. وشملت دراسة إقليمية أجرتها بوابة مصر للاستكشاف والإنتاج إمكانات تخزين ثاني أكسيد الكربون في المياه الضحلة قبالة شرق دلتا النيل وغربها. كما وقعت وزارتات البترول المصرية والبيئة والطاقة اليونانية مذكرة تفاهم في فبراير 2025 للتعاون في تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، بما يشمل تبادل الخبرات ودراسة الأطر التنظيمية والجدوى الفنية والاقتصادية.

الدروس المستفادة للدول الأعضاء

تؤكد دراسة أوابك توافر مصادر صناعية للانبعاثات وفرص للتكامل بين المصادر المتقاربة في عدد من الدول العربية، إلى جانب الحاجة إلى بنية تحتية وسياسات داعمة. وتضيف دراسة أكسفورد دروساً تتعلق بتصميم منظومات النقل والتخزين وتشغيلها. ولا تعني الأمثلة السابقة أن نموذجاً واحداً يصلح لجميع الدول أو أن جدوى المشروعات المعلنة قد ثبتت إذ تتحدد الخيارات المناسبة بحسب مواقع مصادر الانبعاثات، وإمكانات التخزين، والتكاليف، والأطر التنظيمية.

أولاً، دراسة المراكز المشتركة.

قد يكون جمع ثاني أكسيد الكربون من عدة منشآت داخل تجمع صناعي أنسب من إنشاء سلسلة مستقلة لكل منشأة، إذا توافرت كميات كافية ومواقع تخزين ومسارات نقل مجدية. ويقدم تصميم مركز الجبيل مثالا على هذا التوجه.

ثانياً، تنسيق مراحل المشروع.

ينبغي أن يتوافق توقيت تطوير وحدات الاحتجاز مع إنشاء خطوط النقل وتجهيز مواقع الحقن والتخزين. فالتوسع في مرحلة واحدة دون غيرها قد يترك قدرات دون استخدام أو يمنع تخزين الكميات المحتجزة.

ثالثاً، تقييم الأصول القائمة.

يمكن دراسة إعادة استخدام بعض أصول النفط والغاز، لكن وجود خط أنابيب أو منشأة قائمة لا يثبت صلاحيتها لنقل ثاني أكسيد الكربون. ويتطلب القرار فحص التصميم وحالة الأصل والشوائب وظروف التشغيل ومتطلبات السلامة.

رابعاً، دراسة أكثر من مسار للتخزين.

لا تتحدد جدوى موقع التخزين بسعته الجيولوجية وحدها؛ بل بتكلفة الوصول إليه وموثوقية مسار النقل. ويمكن مقارنة البدائل المتاحة لكل تجمع صناعي متى سمحت ظروفه الجغرافية والجيولوجية بذلك.

خامساً، تقييم التعاون الإقليمي بحسب كل حالة.

قد تظهر فرص لربط مصادر الانبعاثات بمواقع تخزين خارج حدود الدولة، لكن أي ممر مقترح يحتاج إلى دراسة فنية واقتصادية وقانونية، واتفاقات واضحة بشأن النقل والملكية، والمسؤولية، والحقن، والتخزين.

سادساً، تطوير ترتيبات تجارية واضحة.

تحتاج المشروعات المشتركة إلى تحديد مسؤوليات مصدر ثاني أكسيد الكربون ومشغلي النقل والتخزين، وآليات تسعير الخدمات وتقاسم المخاطر. وتختلف الترتيبات المناسبة باختلاف هيكل الصناعة والتنظيم في كل دولة.

خاتمة

تشير المقارنة بين الدراستين إلى أن لدى بعض الدول الأعضاء مقومات لتطوير تطبيقات احتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه أو تخزينه. وتختلف متطلبات كل تطبيق؛ ففي مشروعات التخزين الجيولوجي، تعتمد الاستفادة من هذه المقومات على الربط العملي بين مصادر الانبعاثات ووسائل النقل ومواقع الحقن، ضمن ترتيبات فنية وتجارية وتنظيمية ملائمة لكل مشروع.