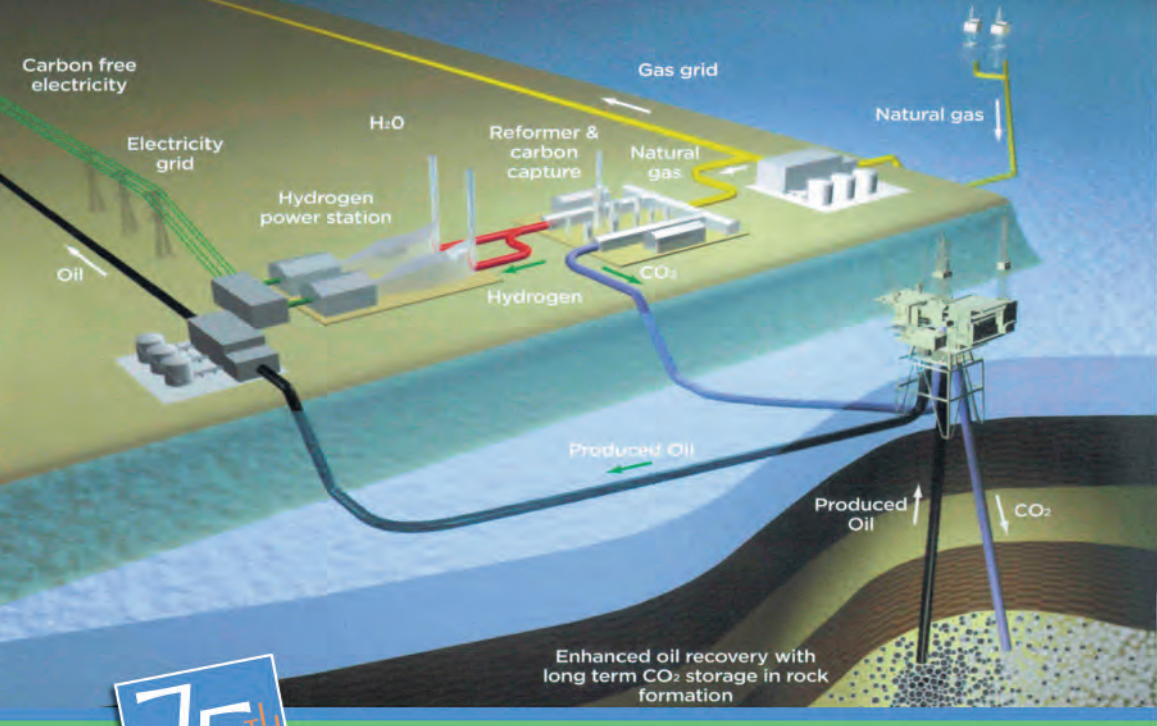

35TH ANNIVERSARY ESCWA

تغيّر المناخ وتقنيات اقتناص واحتجاز الكربون وتخزينه

CO2 KICK THE HABIT! TOWARDS A LOW CARBON ECONOMY

الإسكوا

الأمم المتحدة - اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

أهمية مشاركة البلدان العربية في الجهود العالمية لمكافحة تغير المناخ!

١- الطاقة والمناخ وتقنيات اقتناص الكربون واحتجازه

لحظ بروتوكول كيوتو[1] في المادة ١٠ منه، أن تضع جميع الأطراف في اعتبارها مسؤولياتها المشتركة، وان تصوغ، متى كان ذلك مناسباً وقدر الإمكان برامج وطنية، وإذا اقتضى الأمر ذلك برامج إقليمية فعالة من حيث التكلفة لتحسين نوعية عوامل الانبعاثات المحلية، وعلى أن تتضمن تدابير لتخفيف تغير المناخ، وتدابير لتسهيل التكيف مع تغير المناخ تكيفاً مناسباً.

وبالرغم من أن بلدان الإسكوا والبلدان العربية لا تتحمل سوى قدر ضئيل جداً من المسؤولية التاريخية في ظهور مشكلة تغير المناخ، فلقد أصبح من المرجح علمياً أن المنطقة العربية ستكون من المناطق الأشد تعرضاً للآثار المحتملة لتغير المناخ. لذلك أصبح من المفيد مشاركة البلدان العربية في الجهود العالمية لمكافحة تغير المناخ، لا سيما تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

وهناك عدد من الإجراءات تتيح للبلدان العربية خيارات متنوعة تشتمل على مداخل واعدة لخفض الانبعاثات يمكن إيجاز أهمها فيما يلي:

- **تحسين كفاءة إنتاج واستخدام الطاقة** بجميع أشكالها؛
- **استخدام تقنيات الدورة المركبة** لزيادة كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية من حوالى ٤٠ في المائة إلى حوالى ٦٠ في المائة، ويؤدي ذلك إلى تقليص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى الثلثين؛
- **التحول إلى استخدام الغاز الطبيعي** لتخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٢٥ في المائة مقارنة بأنواع الوقود الأخرى. وعليه فإن الخفض الإجمالي في الانبعاثات لكل وحدة من الكهرباء المنتجة قد يصل إلى مدى ٥٠ في المائة في حالة استخدام تقنية الدورة المركبة مع استعمال الغاز الطبيعي كوقود بديلاً عن المشتقات النفطية السائلة؛
- **اعتماد أوسع لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة** وأهمها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إضافة إلى الطاقة المائية.

وضمن إطار التوعية المسبقة بمخاطر تغيّر المناخ ووضع سياسات لتخفيف حدته، يتوجب وجود قدرة عالية للجهات الحكومية والصناعية على وضع الحلول المناسبة، كما تصبح الحاجة ملحة لهذه الحلول نسبة للطلب المتزايد على الطاقة، حيث قدّر ارتفاع انتاج البلدان العربية المصدّرة للنفط بمعدل ٤٠ في المائة بين عامي ٢٠٠٤ و٢٠٣٠ ليصل إلى ٤٣ مليون برميل يومياً.

ويتوقع أن يكون عزل الكربون وتخزينه، كوسيلة لتخفيف تغير المناخ، أمراً مفيداً للبلدان النامية المنتجة للبترول والغاز، حيث يمكن أن تقلص جزءاً كبيراً من انبعاثاتها المتزايدة من ثاني أكسيد الكربون بعزله وحقنه في المكامن النفطية، ويرفع ذلك كلاً من الإنتاجية والربحية في آن معاً. كما ستؤدي تصميمات المحطات المتقدمة، التي تصل إلى مدى أبعد في تخفيض الاحتياجات من الطاقة لنظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، إلى الحد أيضاً من التأثيرات البيئية الشاملة للمحطات ومن كلفتها.

ورغم أن العديد من الدول العربية لم تحصر الانبعاثات الكربونية فيها، فإن مجموعة من الدول العربية قد أتمت هذا الحصر من خلال تقارير الإبلاغ الوطنية تحت مظلة الاتفاقية الإطارية للأمم المتحدة المعنية بتغير المناخ (UNFCCC).

---

(١) كافة البلدان العربية، في منطقة الإسكوا وخارجها صادقت على هذا البروتوكول، باستثناء فلسطين والعراق من منطقة الإسكوا، والصومال والجمهورية الصحراوية من البلدان العربية الأخرى.

ويوضح الجدول ١ متوسط نسبة مشاركة القطاعات المختلفة كمصادر لانبعاثات غازات الدفيئة في البلدان العربية حسبما جاء في تقارير الإبلاغ الوطنية لتلك البلدان.

من المفيد مشاركة البلدان العربية الجهود العالمية لمكافحة تغيّر المناخ، سواء بالإجراءات الضرورية على المستويات الوطنية، أو بالمشاركة الدولية في مجمل الجهود العالمية للحد من انبعاثات غازات الدفيئة. والخطوة الأولى اللازمة في هذا السبيل هي احتساب انبعاثات غازات الدفيئة على الصعيد الوطني، وتبني الاستراتيجيات الضرورية للمواءمة والتكيف مع الأخطار المرجحة لتغيّر المناخ واعتماد السياسات والإجراءات اللازمة للتخفيف من حدته.

الجدول ١- متوسط نسبة مشاركة القطاعات المختلفة كمصادر لانبعاثات غازات الدفيئة

القطاع	المشاركة (بالنسبة المئوية)
الطاقة	٦٧
الزراعة	١٧
الأحراج	٦
الصناعة	٧
المخلفات	٣

٢- تقنيات عزل الكربون والاستخلاص المعزز للنفط

يبذل حالياً الكثير من الجهود في أنحاء العالم لتقليص ما ينبعث من غازات الاحتباس الحراري. ويعتبر ثاني أكسيد الكربون أحد الغازات المسببة للاحتباس الحراري الذي يرفع درجة حرارة الكرة الأرضية مما ينتج عنه تغيّر مناخ العالم. ومن ضمن الطرق المطروحة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة يحاول المختصون تطوير سبل عزل ثاني أكسيد الكربون، وجمعه من الانبعاثات الغازية الناجمة عن محطات إنتاج الكهرباء ومحطات معالجة النفط الخام والغاز الطبيعي وتكرير البترول ومعامل إنتاج الأسمدة وغيرها من المصانع العاملة بالوقود الأحفوري.

ويعتبر نظام الرفع أو الضخ الاصطناعي للنفط الذي يتمّ بواسطة حقن الغاز المصاحب للنفط من أفضل الخيارات للتعامل مع كميّات ضخّ كبيرة أو مع أعماق آبار سحيقة، وذلك في حال توفر الغاز المصاحب بالموقع. وقد تم استخدام هذه التقنيات في العديد من البلدان العربية المنتجة للنفط. ومثال ذلك تم استخدام عمليات الحقن بالغاز في حقل المودود، بمملكة البحرين عام ١٩٣٨ بمعدل يتراوح بين ٢,٨٣-٣,١٢ مليون م٣ في اليوم. ومنذ مطلع الثمانينات تم تطبيق الاستخلاص الثانوي بحقن الغاز في عدد من المكامن النفطية في ثلاثة من حقول دولة الكويت. كما أصبح حوالى ٩٣ في المائة من الآبار السورية المنتجة تستخدم وسائط الرفع الميكانيكي. فقد تم حقن طبقة الجريبي وآبار طبقتي الشيلو والجدالة بالماء والغاز تباعاً.

وللاستفادة من الغاز المصاحب يتم حقن الحقل بالغاز لإدامة إنتاجه. كما يُوصى باستبدال مضخات الإنتاج تحت السطحية والاستعاضة عنها بوسائط الرفع بالغاز المصاحب كبديل اقتصادي لاستخراج النفط. وعند وجود كمّيات كبيرة من الغاز المصاحب في الحقول الكبيرة لإنتاج النفط يتم إنشاء محطة رفع اصطناعي مركزية تغذي الآبار المنتجة بالضغط المطلوب في حالة انخفاضها. ومن فوائد تطبيق نظام المحطات المركزية للرفع الاصطناعي بالغاز توفيرٍ ما يعادل ٠,٩ جيغاجول (حوالى ٢٥٠ كيلوواط ساعة) لكل ١٠٠٠ برميل منتجة باستخدام الغاز المصاحب بديلاً عن بخار الماء المشبع؛ وتجميع الغاز المصاحب والاستفادة منه بدلاً من حرقه أو تبديده في الهواء، مما يؤدّي إلى تقليل الآثار السلبية على البيئة. ويمكن استبدال الغاز المصاحب بثاني أكسيد الكربون أو استعمالهما متوازيين معاً كجزء من نظام المحطات المركزية لاستخدامهما في تعزيز استخلاص النفط.

ويجري في الولايات المتحدة ومختلف أنحاء العالم منذ حوالى سبعين عاماً عزل ثاني أكسيد الكربون المنبعث من المداخن الصناعية كما يجري حقنه في باطن الأرض منذ ٣٠ عاماً لتعزيز القدرة على استخراج النفط. حيث يوجد حالياً حوالى ٣٥ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون المحتجزة في الولايات المتحدة. والهدف الأساسي من ذلك هو تعزيز استخراج البترول.

لقد برزت تقنية احتجاز ثاني أكسيد الكربون كإحدى الوسائل للإسهام في زيادة إنتاج آبار النفط بجانب تخفيض معدلات انبعاث هذا الغاز نتيجة استخدام النفط كوقود.

وقد بات من المعروف أن حقن ثاني أكسيد الكربون في مكمن النفط يقلص لزوجة الزيت ويزيد حجمه ويزيد

من تدفقه، وهي أمور تتيح استخراج كمية أكبر من النفط من باطن الأرض. ولكن جهود الاحتجاز التي تجمع بين عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون من خلال حقن تيارات من الغاز في باطن الأرض لم تبدأ إلا في عام ١٩٩٧. فقد بدأت مشاريع عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون على نطاق تجاري في مختلف أنحاء العالم في المشاريع الثلاثة التي يلي ذكرها:

- **المشروع الأول** في حقل سليبنر وست (Sleipner West) للغاز الطبيعي في بحر الشمال (١٩٩٦) حيث يتم عزل ثاني أكسيد الكربون من الغاز الطبيعي لاحتوائه على ٩ في المائة من ثاني أكسيد الكربون أكثر من ما تسمح به معدلات الجودة التجارية. تتم عملية العزل باستخدام المحاليل الأمينية (Amine Solvents). ويعتبر ثاني أكسيد الكربون من مخلفات هذا المشروع حيث تقوم شركة (StatOil) النرويجية بحقن وتخزين حوالى مليون طن سنوياً في بعض الطبقات الأرضية المحتوية على المياه المالحة على جزيرة ببحر الشمال؛
- **المشروع الثاني** هو مشروع واي بيرن لثاني أكسيد الكربون في جنوب سسكتشوان، بكندا (١٩٩٧). ويتم فيه عزل ثاني أكسيد الكربون في محطة تغويز للفحم بولاية داكوتا الشمالية بالولايات المتحدة الأمريكية حيث يجري منذ ثلاثين عاماً إنتاج غاز الميثان. ويتم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر ٢٠٤ أميال إلى حقل وايبيرن ليتم استعماله في عملية استخلاص النفط المعزز وذلك بحقن ما يقارب ١,٥ مليون طن من الغاز سنوياً. وقد قدر استخلاص حوالى ١٣٠ مليون برميل نفط إضافية من ذلك الحقل في خلال عمر المشروع (٢٥ عاماً). ويعطي الجدول ٢ تفاصيل هذا التطبيق؛
- **المشروع الثالث** يقع في حقل صلاح للغاز الطبيعي في الصحراء الجزائرية (٢٠٠٤)، ويشابه مشروع حقل سليبنر حيث يجري عزل ثاني أكسيد الكربون من الغاز الطبيعي ويتم حقنه في الطبقات الجوفية بمعدل ١,٢ مليون طن سنوياً.

وقد ساهمت الولايات المتحدة الأمريكية بدعم مالي للمشاركة في رصد عمليات عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون في هذه المشاريع الثلاثة وذلك بهدف التعلم بالممارسة. كما بدأت وزارة الطاقة الأمريكية مؤخراً، بالتعاون مع وكالة حماية البيئة الأمريكية، التحرك قدماً بشأن أول المشاريع التجريبية الأمريكية الواسعة النطاق في مجال عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون. وستقوم الولايات المتحدة بالتعاون مع كندا بتجارب كبيرة من خلال ثلاثة مشاريع تتعلق بتخزين مليون طن أو أكثر من ثاني أكسيد الكربون في طبقات صخرية تنفذ إليها السوائل وتحوي مياهاً مالحة على عمق كبير تحت سطح الأرض يمكن ملء مسامها بثاني أكسيد الكربون. ومن المتوقع أن يبقى ثاني أكسيد الكربون في باطن الأرض لقرون أو أكثر، ولكن علماء الجيولوجيا ما زالوا عاكفين على دراسة ما يحدث لهذا الغاز بعد وضعه في باطن الأرض.

الجدول ٢- الاستخلاص المعزز للنفط بحقل وايبيرن(*)

العوامل	الوحدات	الاسترجاع المعزز للنفط		
		حالة أساس	أعلى كلفة	أدنى كلفة
فعالية ثاني أكسيد الكربون CO_2 effectiveness	متر مكعب/برميل نفط معزز	١٧٠	٢٢٧	٨٥
إنتاج البئر - Oil production per well	برميل نفط معزز/يوم/بئر	٤٠	٢٠	٧٠
سعر النفط - Oil price	دولار/برميل	١٥	١٢	٢٠
العمق - Depth	متر	١ ٢١٩	٢ ٤٣٨	٦١٠
مسافة خط الأنابيب Pipeline distance	كيلومتر	١٠٠	٣٠٠	٠
الإنتاج الكلي للنفط Total oil production	برميل نفط معزز/يوم	٢٢ ١٤٢	١٦ ٥٨٢	٤٤ ٢٨٢
ثاني أكسيد كربون جديد New CO_2	متر مكعب/يوم/موديول	٦٨ ٠٠٠	٤٥ ٠٠٠	٥٩ ٠٠٠
أقصى تدوير لـ CO_2 Maximum recycle CO_2	متر مكعب/يوم/موديول	٢٠٤ ٠٠٠	١٨٢ ٠٠٠	٥٩ ٠٠٠
Levelized annual CO_2 net storage cost	دولار/طن من مكافئ CO_2 أمكن تجنبه	(١٢,٢١)	٧٣,٨٤	٩١,٢٦

(*) جميع التكاليف المذكورة في هذه الدراسة معبر عنها بسعر الدولار الأمريكي عام ٢٠٠٢.

وقد أعلنت وزارة الطاقة الأمريكية في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٧ عزمها على استثمار ١٩٧ مليون دولار على امتداد فترة عشر سنوات على هذه المشاريع. كما تسعى وكالة حماية البيئة الأمريكية إصدار قوانين منظمة لعمليات تخزين ثاني أكسيد الكربون في باطن الأرض منذ العام ٢٠٠٨، بعد دراسة كل ما لديها من ملاحظات من الوكالات الفدرالية الأخرى والقطاع الصناعي.

وهناك ثلاثة نظم رئيسية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن المصادر الأولية للوقود الأحفوري يمكنها احتجاز ما بين ٨٥ و٩٥ في المائة من ثاني أكسيد الكربون المنتج. وفي ما يلي تفصيل لهذه النظم حسب التقنيات المختلفة المستخدمة في محطات الطاقة:

(أ) نظم يجري فيها فصل ثاني أكسيد الكربون عن غازات المداخن الناجمة عن احتراق الوقود في الهواء وتسمى بنظم ما بعد الاحتراق؛

(ب) ونظم يجري فيها معالجة الوقود الأولي في مفاعل بالبخار والهواء أو الأكسجين لإنتاج خليط يتألف بصفة رئيسية من أكسيد الكربون الأحادي والهيدروجين. وتستخدم هذه النظم في محطات الطاقة التي تستخدم تقنية الدورة المركبة وتسمى بنظم ما قبل الاحتراق؛

(ج) ونظم تستخدم الأكسجين بدلاً من الهواء في عملية احتراق الوقود فيتكون غاز المداخن من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون وتسمى بنظم احتراق الوقود الأكسجيني.

وتستهلك عملية إنتاج وحقن بخار الماء المشبع طاقة حرارية مقدارها ٢,١ جيغاجول لإنتاج ١ ٠٠٠ برميل من النفط، مقابل استهلاك ١,٢ جيغاجول عند استخدام تقنية الحقن بالغاز المصاحب أو ثاني أكسيد الكربون، إن توفر في مواقع قريبة. ويُتوقع أن تكون طرق الإزاحة بثاني أكسيد الكربون أكثر اقتصادية في حقول النفط العربية لوجود مصادر طبيعية لثاني أكسيد الكربون مع وجود بعض محطات معالجة الغاز والمصانع التي تنتج هذا الغاز كمنتج ثانوي لها وفي أماكن قريبة من حقول النفط.

وقد شهدت معظم البلدان العربية في الآونة الأخيرة جهوداً تم فيها تقليص غازات الشعلة (gas flaring) إلى درجة كبيرة. ولذلك يُتوقع أيضاً أن يتنامى الدور الذي ستؤديه هذه البلدان باستخدام حقن ثاني أكسيد الكربون في التكوينات الجيولوجية المناسبة بالمنطقة وذلك بعد دراسة وافية لهذه التقنيات.

٣-اقتصاديات عزل ثاني أكسيد الكربون واستخدامه في عمليات الاستخلاص المعزز للنفط

من المعلوم أن نظم عزل ثاني أكسيد الكربون تحتاج إلى مقادير كبيرة من الطاقة لتشغيلها، مما يحد من كفاءتها الصافية. وإذا إنطلقنا من قيام شركات النفط الكبرى العاملة في منطقة الإسكوا بإنشاء بنية تحتية ضخمة لمعالجة النفط والغاز الطبيعي، والتي يجري فيها احتجاز ثاني أكسيد الكربون، فإن كلفة عزل ثاني أكسيد الكربون لن تدخل في التقييم الاقتصادي لتقنية احتجاز هذا الغاز لاستخدامه في عملية الاستخلاص المعزز للنفط.

وتشير معظم التقديرات إلى أن استخدام نظم عزل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه سيكون على مستوى واسع عندما تقترب أسعار ثاني أكسيد الكربون من ٢٥ إلى ٣٠ دولاراً لكل طن. ورغم أن عملية حقن ثاني أكسيد الكربون تكلف ما بين ٠,٥ و٨,٠ دولارات أمريكية لكل طن، فإن الفائدة الاقتصادية الحقيقية من عملية حقن ثاني أكسيد الكربون لأجل استخلاص مزيد من النفط تعتمد على أسعار النفط السائدة.

وسيؤدي تطبيق نظام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في مجال إنتاج الكهرباء إلى زيادة كلفة انتاج الكهرباء من ٠,٠١ إلى ٠,٠٥ دولاراً أمريكياً تقريباً لكل كيلوواط ساعة، تبعاً للوقود المستخدم، والتقنيات المحددة، والموقع، والظروف الوطنية. ولكن إدراج منافع الاستخلاص المعزز للنفط من شأنه أن يقلل من الكلفة الاضافية لإنتاج الكهرباء الناجمة عن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه بما يتراوح بين ٠,٠١ و٠,٠٢ دولاراً أمريكياً للكيلوواط ساعة تقريباً. ويمكن أن تنخفض كلفة هذا الاحتجاز في المستقبل مع تطور الأبحاث ووفورات الحجم.

ويوضح الجدول ٣ كلفة احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في حالة أنواع مختلفة من الانتاج الكهربائي بدون الاحتجاز وباستخدام نظام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. وتتباين تكاليف مختلف عناصر نظام عزل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه تبعاً للمحطة المقَارنة والتفاوت الواسع في حالات مصدر ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه.

الجدول ٣- تكلفة إنتاج الكهرباء لنظم محطات الطاقة المختلفة

نظام محطة الطاقة	نظام الدورة المركبة بالغاز الطبيعي(*) دولار/ك. و. س.	نظام الدورة المركبة بغاز الفحم دولار/ك. و. س.
بدون احتجاز (المحطة المقارنة)	٠,٠٣-٠,٠٥	٠,٠٤-٠,٠٦
مع الاحتجاز والتخزين الجيولوجي	٠,٠٤-٠,٠٨	٠,٠٥-٠,٠٩
مع الاحتجاز والاسترجاع المحسن للنفط	٠,٠٤-٠,٠٧	٠,٠٤-٠,٠٧

(*) افتراض أن أسعار الغاز تبلغ ما يتراوح بين ٢,٨ و٤,٤ دولارات أمريكية/جيغاجول، وأن أسعار الفحم تبلغ ما يتراوح بين دولار أمريكي واحد و١,٥ دولار/جيغاجول.

ويوضح الجدول ٤ تقدير انبعاثات غازات الدفيئة في قطاع الكهرباء في البلدان العربية خلال الفترة ٢٠١٠-٢٠٢٥.

الجدول ٤- تقدير انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن إنتاج الكهرباء للفترة ٢٠١٠-٢٠٢٥

الإنبعاثات	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٢٥
ثاني أكسيد الكربون CO_2 (مليون طن)	٣٤٤ ٩٦٤	٤٦١ ٦٢١	٥٥٨ ٧٠١
الميثان CH_4 (طن)	٤٩٢٥,٨٥	٩٣١١,٤٦	١١٤٣٤,٨
ثاني أكسيد النتروجين N_2O (طن)	٤٧٨,٥٤	٣٣٢,٣٦	٤٠٢,٢٤

واستناداً إلى المعلومات المتوفرة بشأن اقتصاديات احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله، يمكن تلخيص الآتي:

(أ) الفائدة الاقتصادية الحقيقية من عملية حقن ثاني أكسيد الكربون لأجل استخلاص مزيد من النفط تعتمد على أسعار النفط السائدة. وقد تم تقييم صافي مردود حقن كل طن من ثاني أكسيد الكربون بين ١٠ و١٦ دولاراً أمريكياً عندما يكون سعر برميل النفط بين ١٥ و٢٠ دولاراً أمريكياً، وترتفع إلى ما بين ٣٠ و٥٠ دولاراً أمريكياً لكل طن غاز عندما تتراوح أسعار النفط بين ٥٠ و٧٠ دولاراً أمريكياً؛

(ب) تحتاج نظم احتجاز ثاني أكسيد الكربون إلى مقادير كبيرة من الطاقة لتشغيلها، مما يحد من الكفاءة الصافية للمحطة، ومن ثمّ تحتاج محطات القوى الكهربية إلى كمية إضافية من الوقود لتوليد كل كيلوواط ساعة من الكهرباء المنتجة. وتسفر الزيادة في الاحتياجات من الوقود عن زيادة في معظم الانبعاثات الأخرى لكل كيلوواط ساعة يتم توليده مقارنة بأحدث المحطات الجديدة التي ليس لديها نظام لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون؛

(ج) ستؤدي إعادة تصميم شبكات خطوط نقل الغاز الطبيعي لاستخدامها لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون إلى تخفيض كلفة خيار استخدام تقنيات احتجاز الكربون في منطقة الخليج العربي، وبذلك ستعزز فرص تولي هذه البلدان لدور ريادي في استخدام هذه التقنيات عالمياً للتخفيف من حدة ظاهرة الاحتباس الحراري؛

(د) ستؤدي تصميمات المحطات المتقدمة إلى تخفيض الاحتياجات من الطاقة، ومقارنة بالكثير من المحطات القديمة القائمة فإن المحطات الجديدة الأكثر كفاءة أو المعاد بناؤها قد تحقق بالفعل تخفيضات صافية في الانبعاثات البيئية الصادرة عنها؛

(هـ) يمكن إدراك حساسية كلفة تخزين ثاني أكسيد الكربون للاسترجاع المعزز للنفط في الزيادات في عمق البئر، وفعالية ثاني أكسيد الكربون (CO2 effectiveness)، ونسبة التدوير (recycle ratio)، وامتداد خط الأنابيب التي تزيد جميعها من الكلفة النهائية، بينما تقلل الزيادات في هذه العوامل من معدل إنتاج النفط، كما إن تغيرات سعر النفط لها أكبر الأثر على كلفة التخزين.

٤-عمليات تخزين ثاني أكسيد الكربون

التخزين هو وضع ثاني أكسيد الكربون في مستودع على النحو الذي يبقى فيه محتجزاً لمئات الآلاف من السنين. وقد قدّرت سعة المستودعات العالمية في الطبقات الجوفية بحوالى ١ ٠٠٠ إلى ١٠ ٠٠٠ جيغاطن من ثاني أكسيد الكربون، وفي حقول النفط والغاز الناضبة بحوالى ١ ١٠٠ جيغاطن، وهو ما يُناظر ٩٠ إلى ٤٨٠ سنة من الانبعاثات العالمية الراهنة التي بلغت ٢٣-٢٤ جيغاطن من ثاني أكسيد الكربون/سنة.

وتتضمن القضايا المرتبطة بالتخزين: تقييم سعات التخزين على نحو موثق، والفهم الأعمق لاقتناص ثاني

أكسيد الكربون، والتأثير على المياه الجوفية، ومنع حدوث التسربات ومراقبتها ومعالجتها حال حدوثها. ولا بدّ من معالجة التخوفات من مخاطر التسرّبات في مرحلة مبكرة. وتتركز جهود التخزين حالياً على فئات ثلاث من الخزانات/المكامن:

(أ) **الخزانات الناضبة للنفط والغاز:** وهي تلك التكوينات التي كانت تحتجز النفط الخام والغاز الطبيعي، وهي طبقة من الصخر المسامي فوقها طبقة من الصخر غير المسامي، بحيث تكون هذه الطبقة بهيئة قبة، وهي التي كانت تحتجز الهيدروكربون؛ وتقدم إمكانية كبيرة لتخزين ثاني أكسيد الكربون.

(ب) **طبقات الفحم غير القابلة للتعدين:** وتقبع هذه الطبقات في الأعماق السحيقة ومن غير المجدي إقتصادياً تعدينها، كما يصاحب الفحم كميات متغيرة من الميثان على سطوح المسام، ويمكن حفر الآبار إلى طبقات الفحم غير المعدَّن لاسترجاع ميثان المهد الفحمي. ويتم امتزاز جزيئين أو ثلاثة من ثاني أكسيد الكربون لكل جزيء من الميثان يتم تحريره بما يوفر حوضاً تخزينياً شديد الملاءمة لثاني أكسيد الكربون. وقد قدرت الاستطاعة القصوى لميثان هذه الطبقات المعزز بثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها بنحو ٩٠ مليار طن متري من ثاني أكسيد الكربون، تقع ٤٠ مليار طن متري منها في ألالسكا.

(ج) **التكوينات الملحية:** التكوينات الملحية هي طبقات من الصخر المسامي المشبعة بالماء الملحي. وتمثل إمكانية هائلة للسعة التخزينية لثاني أكسيد الكربون. وتحتوي التكوينات الملحية على المعادن التي قد تتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون المحقون لتكوين كربونات صلبة، وتفاعلات الكربونات لها إمكانية أن تكون موجبة وسالبة معاً؛ فيمكنها أن تزيد الإنفاذ ولكنها قد تسد التكوين في الجوار المباشر لبئر الحقن.

كما تجدر الإشارة إلى إمكانية الاستعمال الصناعي لغاز ثاني أكسيد الكربون، لكن ذلك لن يساهم سوى بنسبة ضئيلة في تخفيف الانبعاثات.

٥-آفاق تطبيق تكنولوجيات احتجاز الكربون في البلدان العربية

تتجمّع في أفق تطبيق تقنيات احتجاز الكربون فرص ضخمة للبلدان العربية المنتجة للنفط لناحية اقتناص واحتجاز ثاني أكسيد الكربون لاستخدامه في تعزيز استخلاص النفط. وتبرز تقنيات تخزين ثاني أكسيد الكربون كأحد الحلول المتاحة لقطاع البترول العربي للمساهمة في تخفيف حدة تغيّر المناخ.

وتكشف خريطة احتمالات التخزين التى أوردها التقرير الخاص للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) عن توافر احتمالات كبيرة لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون، حيث يظهر فيها أن الجزيرة العربية والمنطقة العربية بأسرها تحظى بعدد كبير من التكوينات الجيولوجية المناسبة، مع وجود مصادر كبرى لثاني أكسيد الكربون إما فوق المناطق ذات إمكانات التخزين الجيولوجي مباشرة، وإما في حدود مسافات معقولة (أقل من ٣٠٠ كلم). وهذه التكوينات الجيولوجية تنتشر في المنطقة كلها تقريباً مما يجعل من احتجاز الكربون تقنية ممكنة التطبيق، بغض النظر عن الإمكانية الراهنة للاسترجاع المعزز للنفط. ولا شك أن تطوير بيانات قرب مصادر ثاني أكسيد الكربون من مواقع التخزين الملائمة ووضع الدراسات الاقتصادية لكلفة عزل ونقل وتخزين هذا الغاز سوف ييسران عملية صنع القرار بشأن نشر تطبيق تقنيات احتجاز الكربون في البلدان العربية على نطاق واسع.

ويبدو بأن مساندة دول الاتحاد الأوروبي لتطبيق تقنيات عزل واحتجاز ثاني أكسيد الكربون سيتم من خلال شراكة مع قطاعه الخاص، حيث تجري تنمية قدرات هذه الشركات الأوروبية في مجال تكنولوجيات احتجاز الكربون وتطويرها تقنياً منذ عام ١٩٩٦. ويتضح هذا من خلال الدعم المالي الذي تقدمه بَعْض الحكومات الأوروبية لهذه الشركات من خلال تبني السياسات اللازمة والقوانين المساندة مثل فرض «ضريبة الكربون». (لقد فرضت الحكومة النرويجية مثلاً ضريبة قدرها ٤٠ دولاراً أمريكياً على كل طن ثاني أكسيد الكربون يطلق في الغلاف الجوي)، مما جعل مشاريع تطبيق احتجاز ثاني أكسيد الكربون عملية مربحة للشركات الخاصة الأوروبية التي أصبحت اليوم ذات خبرة في هذا المجال.

وكاستراتيجية أكثر فعالية فإنه من الضروري بمكان توجه البلدان العربية إلى مواكبة البحوث التطويرية وتنفيذ مشاريع ريادية جادة لكسب الخبرة المطلوبة لتطوير وامتلاك هذه التقنيات وبناء القدرات الوطنية القادرة على إمكانية تطبيق هذه التقنيات بالمنطقة. كما يقع على عاتق الدول المتقدمة تحمل المسؤولية التاريخية والمساهمة في نقل هذه التكنولوجيات إلى البلدان العربية. وإذا ما تقرر اعتماد هذه التقنيات كمنهجية في إطار آلية التنمية النظيفة، فستكون شركات النفط في البلدان العربية تقنياً في المقدمة ومهيئة لتَنفيذ

مشاريع وطنية وإقليمية في هذا المجال، وسيكون لها نتائج إيجابية على المستوى العالمي.

وتجدر الإشارة في هذا السياق، إلى وعي الجهات العربية المسؤولة، والمساعي المبذولة في هذا الإطار، وقد تضمنت قرارات مجلس الوزراء العرب المسؤولين عن شؤون البيئة في دورته العشرين في مقر الأمانة العامة لجامعة الدول العربية يومي ٢١ و٢٢ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٨: بذل المساعي لـ «متابعة اصدار قرار بشأن اعتماد اصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ضمن مشاريع آلية التنمية النظيفة».

كما تجدر الاشارة هنا إلى أهمية نظر بلدان الخليج بصفة خاصة في استغلال شبكات خطوط نقل الغاز الطبيعي الحالية كبنية تحتية لأكبر شبكة عزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون في العالم، وذلك عبر لحظ إعادة تصميم تلك الخطوط بالصورة المطلوبة وإجراء التعديلات اللازمة لها لتصلح لتجميع ثاني أكسيد الكربون من مصادر إنتاجه المتعددة في تلك المنطقة ونقله إلى التكوينات الجيولوجية حيث يتم الاتفاق على تخزينه. وبذلك تعطي هذه البلدان متعاونة المثال الإنساني والأخلاقي في المساهمة في حماية البيئة.

الخلاصة والتوصيات

(أ) تعزيز استخدام الطاقة المتجدّدة التي تزيد من الكفاءة والسعي إلى ترشيد استهلاك الوقود الأحفوري بحيث يمكن الإستفادة منه لفترات أطول؛

(ب) تحضير البلدان العربية لخيار احتجاز الكربون وتخزينه ببناء القدرات الفنية كدعامة لنقل التقنيات وإقامة الشراكات الفاعلة بين الدول الصناعية المتقدمة والبلدان المنتجة للنفط لعزل الكربون وتخزينه؛ وإيجاد تجمّعات إقليميّة للاستفادة من آليات التمويل المتاحة لذلك، مع وضع خرائط السعات التخزينيّة في جوف الأرض، ودراسة سبل المشاركة في تصنيع مكوّنات قليلة الكلفة للمعدّات اللازمة لذلك؛

(ج) النظر في إعادة تصميم شبكات خطوط نقل الغاز الطبيعي لتصبح أكبر مشروع إقليمي لعزل وتخزين ثاني أكسيد الكربون، ليصبح التركيز على إمكانات عزل الكربون وتخزينه أحد الخيارات الهامة للتنمية الاقتصادية والبيئية؛

(د) العمل على تصميم وتنفيذ المحطات الكهربائية الجديدة بحيث تلحظ إمكانيات عزل الكربون وتخزينه مستقبلاً.

الاتفاقية الإطارية للأمم المتحدة المعنية بتغيّر المناخ

تلتزم الدول من خلال هذه الاتفاقية بالآتي:

١- تجميع ونشر المعلومات والسياسات الوطنية وأفضل السبل ذات الصلة بانبعاثات غازات الدفيئة.

٢- تبني الاستراتيجيات الوطنية التي من شأنها درء الأضرار المحتملة من انبعاثات غازات الدفيئة، ووضع تصور في كيفية المشاركة لمقابلة متطلبات الدول النامية من الدعم الفني والمادي لتنفيذ ما يتم الاتفاق عليه من أنشطة في هذا المجال.

٣- التعاون في إعداد خطة عمل تتضمن أنشطة المواءمة لتخفيف حدة ظاهرة تغيّر المناخ.

تتمتع الاتفاقية حالياً بعضوية ١٩٢ دولة وقعت كلٍ منها على الاتفاقية، وقد نتج عن ذلك دخول الاتفاقية حيز التنفيذ في ٢١ آذار/مارس ١٩٩٤.

الإسكوا
بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح
هاتف: ٩٨١٣٠١ ١ ٩٦١+ ، فاكس: ٩٨١٥١٠ ١ ٩٦١+
صندوق بريد: ٨٥٧٥-١١، بيروت، لبنان
www.escwa.un.org

E/ESCWA/PI/2009/13
09-0370, October 2009, 150
Designed & Printed by ESCWA, Beirut
Copyright © ESCWA 2009