2024-07

QATAR NATIONAL DIALOGUE ON CLIMATE CHANGE
حوار قطر الوطني حول تغير المناخ
1-2 OCTOBER 2024 1-2 أكتوبر

المسارات التكنولوجية لتحقيق حلول مناخية ناجحة

الورقة البيضاء ل QNDCC 2024

إرثنا earthna
عضو في مؤسسة قطر
Member of Qatar Foundation

وزارة البيئة والتغيّر المناخي
Ministry of Environment and Climate Change
State of Qatar • دولة قطر

الورقة البيضاء لحوار قطر الوطني حول تغير المناخ 2024
17 ديسمبر 2024

المسارات التكنولوجية لتحقيق حلول مناخية ناجحة

من إعداد StrategyHub

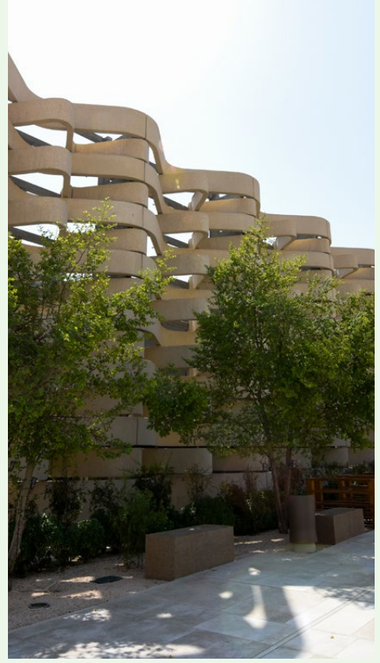
عن مركز "إرثنا

مركز إرثنا لمستقبل مستدام (إرثنا) هو منظمة غير ربحية معنية بالسياسات والبحوث والدعوة، أنشأته مؤسسة قطر لتعزيز وتمكين نهج منسق للاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية والازدهار،

ويعمل المركز على تيسير جهود الاستدامة والعمل في قطر وغيرها من البلدان الحارة والقاحلة، مع التركيز على أطر الاستدامة، والاقتصادات الدائرية، والتحول في مجال الطاقة، وتغير المناخ،

والتنوع البيولوجي والنظم البيئية، والمدن والبيئة المبنية، والتعليم، والأخلاق، والعقيدة. ومن خلال الجمع بين الخبراء التقنيين، والأوساط الأكاديمية، والمنظمات الحكومية وغير الحكومية، والشركات، والمجتمع المدني، تعمل "إرثنا" على تعزيز التعاون والابتكار والتغيير الإيجابي. وباستخدام مقرها - المدينة التعليمية - كمركز اختبار، تعمل "إرثنا" على تطوير وتجربة حلول مستدامة وسياسات قائمة على الأدلة لقطر والمناطق الحارة والقاحلة. وتلتزم المنظمة بالجمع بين التفكير الحديث والمعرفة التقليدية، والمساهمة في رفاهية المجتمع من خلال خلق إرث من الاستدامة في بيئة طبيعية مزدهرة.

للمزيد من المعلومات عن مؤسسة "إرثنا" وللاطلاع على أحدث مبادراتنا، يُرجى زيارة



Earthna 2024 ©
P.O. Box: 5825, Doha, Qatar
Number: (+974) 4454 0242
Website: www.earthna.qa

PI: ETCC-2024-008

الوصول المفتوح، خضع هذا التقرير لترخيص المشاع الإبداعي - النسبة - غير التجاري - عدم الاشتقاق 4.0 الدولي (Creative Commons Attribution-Non-Commercial-No Derivatives 4.0 International License) (http://creativecommons.org/licens-es/by-nc-nd/4.0/)، الذي يسمح بأي استخدام غير تجاري، بما في ذلك المشاركة والتوزيع وإعادة الإنتاج بأي وسيلة أو شكل، بشرط: تقديم نسبة مناسبة للمؤلف(ين) الأصلي(ين) والمصدر. إدراج رابط الترخيص الخاص بالمشاع الإبداعي. الإشارة إلى أي تعديلات تم إجراؤها على المادة المرخصة. لا يُسمح بموجب هذا الترخيص بمشاركة أي مواد معدلة أو مشتقة من هذا التقرير أو من أجزائه.

يُفترض أن الناشر، والمؤلفون، والمحررون يقدمون المعلومات والنصائح الواردة في هذا التقرير على أنها صحيحة ودقيقة في تاريخ النشر. ومع ذلك، لا يقدم أي منهم أي ضمانات صريحة أو ضمنية فيما يتعلق بالمحتوى أو بشأن أي أخطاء أو سهو قد تكون حدثت. يظل الناشر محايدًا فيما يتعلق بأي مطالبات قضائية تتعلق بالحدود الجغرافية في الخرائط المنشورة أو فيما يخص الانتماءات المؤسسية."

فريق التقرير

د. سعود ك. آل ثاني
إرثنا، مؤسسة قطر
الدوحة، قطر

محمد أ. محمد
إرثنا، مؤسسة قطر
الدوحة، قطر

فرانسيس أنتوني جاكوب
إرثنا، مؤسسة قطر
الدوحة، قطر

الشيخة آمنة آل ثاني
ستراتيجي هاب
الدوحة، قطر

هاجرة خان
ستراتيجي هاب
الدوحة، قطر

رامي شوقي
ستراتيجي هاب
الدوحة، قطر

عذبة الكواري
متدربة
الدوحة، قطر

اللجنة التحريرية

د. غونزالو كاسترو دي لا ماتا
إرثنا، مؤسسة قطر

د. سعود خليفة آل ثاني
إرثنا، مؤسسة قطر

د. رضوان بن حماد
إرثنا، مؤسسة قطر

د. منى مطر الكواري
إرثنا، مؤسسة قطر

د. معيز علي
إرثنا، مؤسسة قطر

طلحة أ. ميرزا
إرثنا، مؤسسة قطر

سيباستيان ب. توربو
إرثنا، مؤسسة قطر

فهرس المحتويات

٠٦ الملخص التنفيذي

٠٧ النطاق والمنهجية

٠٨ التكنولوجيا كمحفز للعمل من أجل مواجهة تغير المناخ

١١ أطر العمل والاتفاقيات الدولية والمحلية

١٢ أهمية توطين الحلول التكنولوجية لتخفيف آثار تغير المناخ

١٦ المناهج الاستراتيجية لتمويل تكنولوجيا المناخ

١٩ التحديات التي تواجه ابتكار تكنولوجيا المناخ

٢٢ الفرص والتوصيات

٢٥ الخاتمة

٢٦ شكر وتقدير

٢٦ المراجع

الملخص التنفيذي

تتطلب مواجهة تغير المناخ اتباع مناهج تكنولوجية مبتكرة، مع التركيز على الحلول المحلية والتعاون المشترك، لمواجهة تأثيراته بعيدة المدى على سطح الأرض. ومع ارتفاع درجات الحرارة في العالم، أصبحنا في حاجة ماسّة إلى حلول تحويلية، أكثر من أي وقت مضى. ويعمل حوار قطر الوطني حول تغير المناخ (QNDCC) كمنصة أساسية لمواجهة التحديات المناخية وتعزيز التنمية المستدامة. إذ يستضيف المؤتمر، الذي ينظمه سنويًا مركز إرثنا لمستقبل مستدام - عضو مؤسسة قطر – بالشراكة مع وزارة البيئة وتغير المناخ، خبراء عالميين وإقليميين، لمناقشة الحلول المبتكرة والاستراتيجيات التعاونية. حيث تقدم الرؤى المستمدة من ندوة «النجاحات القطرية والألمانية في الاستدامة البيئية» خلال حوار قطر الوطني حول تغير المناخ 2024، أساسًا قويًا لفهم كيف يمكن أن يدفع تعزيز الابتكار التكنولوجي وإقامة الشراكات نحو التغيير الفعال، وخاصة في إطار الجهود المحلية والإقليمية.

وتستعرض الورقة البيضاء هذه، الدور الحاسم للتكنولوجيا كدافع لمواجهة تحديات تغير المناخ، بالتركيز على (CCS)، والذكاء الاصطناعي(AI) ، وإنترنت الأشياء (IoT)، والشبكات الذكية. حيث تسلط الضوء على بعض الانجازات التي حققتها قطر، مثل استخدام تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في قطاع النفط والغاز، ومبادرات القياس الذكي التي قامت بها مؤسسة كهرماء. كما تدرس بعض الجهود الرائدة التي تبذلها ألمانيا في مجال الهيدروجين الأخضر وتخزين الطاقة المتجددة.
وتعتبر الحلول المخصصة أمرا بالغ الأهمية في مواجهة تحديات تغير المناخ، حيث تعمل على تكييف الابتكارات العالمية لتلبية متطلبات إقليمية محددة. وتُظهر مبادرات، مثل سولير سيستر(Solar Sister) في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى وأنظمة التبريد المركزي في قطر، القدرة على إحداث تغيير في المناهج المحلية. حيث تؤكد هذه الجهود المبتكرة على إمكانية تحقيق تقدم كبير في مجال الاستدامة من خلال الدمج بين التكنولوجيا الحديثة والاستراتيجيات الموجهة محليا، مما يؤدي إلى فوائد اجتماعية واقتصادية ملموسة.
وعلى الرغم من التقدم الذي تم إحرازه، إلا أن هناك تحديات عدة تعيق اعتماد الابتكارات المناخية على نطاق واسع؛ وتشمل هذه التحديات العوائق المالية، ونقص اليقين التنظيمي، والقيود الفنية، فضلا عن الفوارق الإقليمية بين البلدان المتقدمة والبلدان النامية. وتتطلب مواجهة هذه العقبات، إقامة شراكات قوية بين القطاعين العام والخاص، إلى جانب آليات السوق الفعالة والاستثمارات الاستراتيجية. ويبرز دور قطر، كرائدة في مجال الاستدامة، نموذجا يمكن اتباعه لتحقيق توازن مستدام بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة، كما يتضح من مبادراتها الطموحة مثل رؤية قطر الوطنية 2030.

ويمكن لقطر أن تثبت نفسها كرائدة في مواجهة التحديات العالمية لتغير المناخ، من خلال تعزيز الابتكار التكنولوجي، وتشجيع حلول محلية لتغير المناخ، وتعزيز التعاون الدولي. إذ تسلط هذه الورقة الضوء على توصيات قابلة للتنفيذ لتسريع هذه الجهود، مع التركيز على الاستفادة من التكنولوجيا المتطورة، والاستثمارات الاستراتيجية في البحث والتطوير، والسياسات الشاملة لايجاد حلول مناخية فعالة ومستدامة وقابلة للتطوير.

النطاق والمنهجية

يغطي نطاق هذه الورقة المواضيع التي ناقشها المتحدثون في جلسة «النجاحات القطرية والألمانية في الاستدامة البيئية» في اليوم الأول من حوار قطر الوطني حول تغير المناخ 2024، بمن فيهم الدكتور مايكل لودن (Michael Ludden)، المدير العام لشركة سوتكو (Sutco) لتكنولوجيا إعادة التدوير؛ والسيد هاكان أوزدمير (Hakan Özdemir) ، الرئيس التنفيذي لشركة سيمنس قطر (Siemens) والرئيس التنفيذي لسيمنس للبنية التحتية الذكية في الشرق الأوسط ؛ والدكتور محمد المسلماني، خبير في الطاقة والمناخ؛ والسيد رينيه سيجر (René Seijger) ، رئيس مجلس إدارة شركة رولاند بيرجير (Roland Berger) في الشرق الأوسط؛ والمهندسة بدور المير، المدير التنفيذي لإدارة الاستدامة باللجنة العليا للمشاريع والإرث.

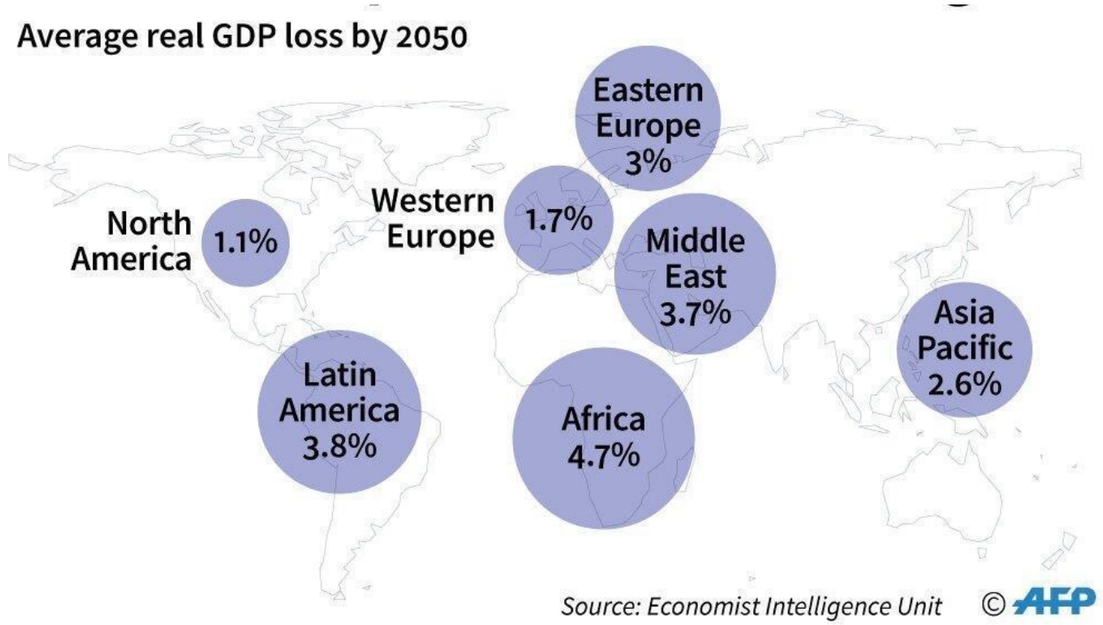
بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء بحث تكميلي لإثبات النتائج الرئيسية للجلسة والخروج بتوصيات فعالة بكفاءة. والتي يمكن أن تساهم في تعزيز أهداف قطر الوطنية المتعلقة بمواجهة تحديات تغير المناخ، وكذلك لتطوير مبادرات محلية وإقليمية ذات صلة بهذا المجال. وتشمل المنهجية المتبعة لجمع البيانات: البحث الأكاديمي الأولي، وتدوين ملاحظات الجلسة في الموقع، والبحث التكميلي بعد الجلسة ثم المقارنة بينهما. وبناءً على هذه الرؤى المفصلة، تقدم هذه الورقة البيضاء توصيات لدعم الابتكارات والاستراتيجيات التكنولوجية لمواجهة تحديات تغير المناخ.

التكنولوجيا كمحفز للعمل من أجل

تلعب التكنولوجيا دورا محوريا في تسريع عملية ابتكار الحلول الفعالة، لمواجهة التحديات الملحة الناجمة عن تغير المناخ. فهي تعمل كمحفز رئيسي لمعالجة الأزمة من خلال تمكين المجتمعات من مواجهة التغيرات التدريجية، وتبني استراتيجيات تحويلية توضح الأسباب المباشرة وراء ظاهرة الاحتباس الحراري والآثار المترتبة عنه. إذ يشكل تغير المناخ تحديا عالميا مترابطا ومعقدا؛ حيث يتسبب بارتفاع درجات الحرارة على مستوى العالم، ويزيد من تدهور البيئة، وتفاقم الاضطرابات الاجتماعية والاقتصادية [1]. وفي حين أن الأساليب التقليدية قد لا تكون كافية لمواجهة هذه التحديات، فإن الابتكارات توفر الأدوات والأطر اللازمة لتوفير حلول فعالة ومستدامة وقابلة للتطوير.

وتؤكد التحذيرات الشديدة الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، والتي أفادت بأن درجات الحرارة العالمية ارتفعت بمقدار 1.1 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعة. وإذا لم تتخذ تدابير فورية، فمن المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة بمقدار 1.5 درجة مئوية مطلع الثلاثينيات، وهذا يؤدي إلى زيادة الظواهر الجوية الشديدة، مثل الأعاصير وموجات الحر والفيضانات [2]. ما يترتب عنها عواقب اقتصادية واجتماعية وخيمة. فعلى سبيل المثال، في عام 2023، أسفرت أكثر من 300 ظاهرة جوية شديدة عن خسائر اقتصادية عالمية تجاوزت 340 مليار دولار [3]. ويوضح الشكل 1 أدناه متوسط خسارة الناتج المحلي الإجمالي في جميع أنحاء العالم، نتيجة لتغير المناخ، حيث تقع المناطق الأكثر تضرراً في الجنوب العالمي.[4]

الشكل 1: التأثيرات الاقتصادية لتغير المناخ



[1] جينيفر وال، مركز مارشال لبعثات الفضاء. "ما هو تغير المناخ؟"، ناسا (برلين دنيار، 13 مايو 2015)، http://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-climate-change-k4.html.
[2] "تغير مناخي واسع النطاق، سريع، ومتصاعد – الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)"، تم الوصول إليه في 26 أكتوبر 2021، عبر الرابط: https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/.
[3] أليس هيل، "عصر الكوارث المناخية قد بدأ: الاستعداد لمستقبل من الطقس المتطرف"، 25 أغسطس 2023، عبر الرابط: https://www.foreignaffairs.com/world/age-climate-disaster-here-extreme-weather-alice-hill.
[4] "التغير المناخي: أحدث الرؤى والتحليلات من الخبراء"، وحدة الاستخبارات الاقتصادية، تم الوصول إليه في 25 ديسمبر 2024، عبر الرابط: https://www.eiu.com/n/global-themes/climate-change-hub/.

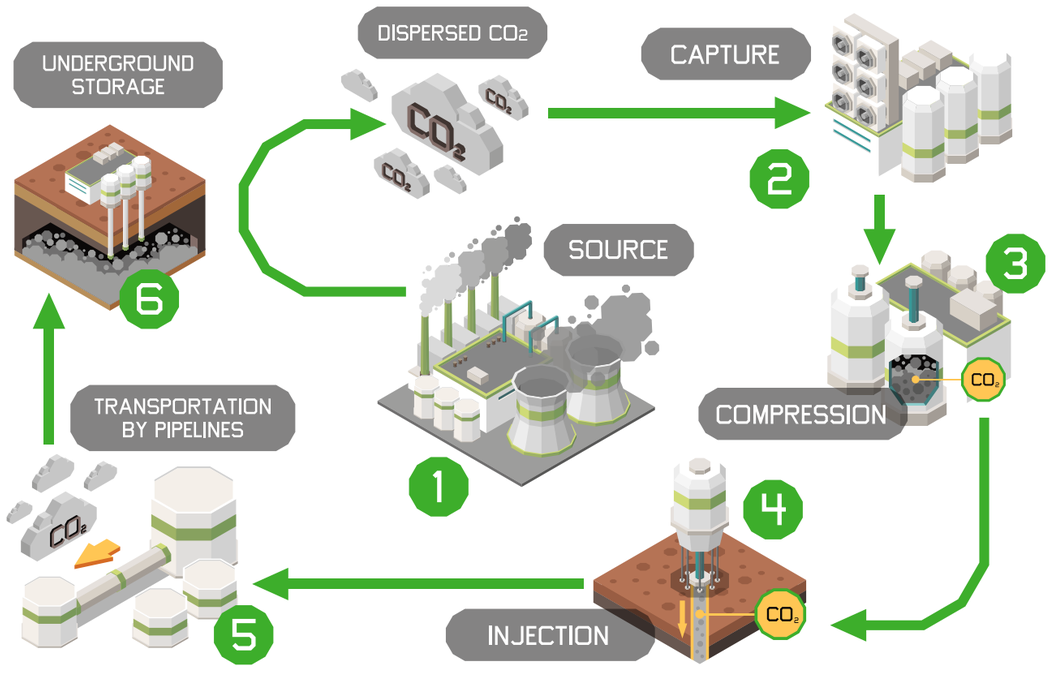
يعالج الابتكار التكنولوجي هذه التحديات من خلال تمكين تطوير الحلول والاستراتيجيات ونشرها، بحيث لا تقتصر على التخفيف من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري فحسب، بل تعزز أيضًا المرونة والتكيف. وتوضح هذه الحلول مثل احتجاز الكربون وتخزينه والذكاء الاصطناعي والشبكات الذكية وطاقة الهيدروجين وأنظمة الطاقة المتجددة، كيف يعمل الابتكار على إعادة تشكيل الصناعات وأنظمة الطاقة وإدارة الموارد [5]. كما توفر هذه التكنولوجيا القدرة على معالجة تغير المناخ من أساسه، مع إحداث تحولات جذرية في كيفية تعاطي المجتمعات معها. ومن خلال تعزيز الإبداع والاستفادة من التطورات الحديثة، توفر الابتكارات التكنولوجية مساراً نحو مستقبل مستدام، حيث يصبح النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة متكاملين بدلاً من أن يكونا متعارضين.

احتجاز الكربون وتخزينه

يعد احتجاز الكربون وتخزينه أحد أكثر الابتكارات الواعدة في مواجهة تغير المناخ، حيث تم تصميم هذه التكنولوجيا الرائدة لالتقاط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من العمليات الصناعية وإنتاج الطاقة، ومنع إطلاقها في الجو. وتتجلى عملية احتجاز الكربون وتخزينه في ثلاث مراحل حاسمة: الالتقاط والنقل والتخزين. ففي مرحلة الالتقاط، يتم فصل ثاني أكسيد الكربون عن الغازات الأخرى المنتجة أثناء العمليات الصناعية، مثل محطات الطاقة ومصانع الصلب ومصانع الأسمنت [6]. حيث يتم توليد تيار مركز من ثاني أكسيد الكربون، باستخدام تقنيات متطورة مثل الالتقاط قبل الاحتراق، الذي يسمح بفصل الكربون عن الوقود قبل بدء الاحتراق، والتقاط ما بعد الاحتراق، الذي يستخرجه من غازات العادم بعد الاحتراق، واحتراق الوقود بالأكسجين، حيث يحرق الوقود في الأكسجين بدلا من الهواء.

ويخضع ثاني أكسيد الكربون، بمجرد التقاطه، للضغط حتى يتحول إلى شبه سائل استعدادًا لمرحلة النقل، ثم يشحن إلى أماكن التخزين عن طريق خطوط الأنابيب أو السفن أو الشاحنات [7]. وتتضمن المرحلة الأخيرة، وهي التخزين، حقن ثاني أكسيد الكربون في أعماق الأرض داخل تكوينات جيولوجية، مثل الخزانات المستنفدة للنفط والغاز، أو طبقات الفحم غير القابلة للتعدين، أو طبقات المياه الجوفية المالحة العميقة. ويتم اختيار هذه التكوينات الطبيعية لقدرتها على احتواء ثاني أكسيد الكربون بشكل آمن لآلاف السنين، مما يضمن عدم عودته إلى الغلاف الجوي.

الشكل 2: Carbon and Capture Storage



[5] "اتجاهات التكنولوجيا المناخية: استشراف مستقبل الابتكار البيئي | Vaayu"، تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024، عبر الرابط: https://www.vaayu.tech/insights/climate-tech-trends.
[6] "احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه - نظام الطاقة"، الوكالة الدولية للطاقة (IEA)، تم الوصول إليه في 25 ديسمبر 2024، عبر الرابط: https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage.
[7] "احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه - نظام الطاقة".

وتتمتع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بإمكانات هائلة في التخفيف من تغير المناخ، وخاصة في الصناعات التي يصعب إزالة الكربون منها، مثل الصلب والأسمنت والبتروكيماويات. فعلى سبيل المثال، قامت ألمانيا بدمج تكنولوجيا النانو المتقدمة في أنظمة احتجاز الكربون وتخزينه، مما أدى إلى تحسين كفاءة العمل بشكل كبير مع تقليل التكاليف التشغيلية . وبسبب تحسين هذه المواد النانونية معدلات امتصاص ثاني أكسيد الكربون، وضعت ألمانيا معيارًا عالميًا لتقنيات الانبعاثات الصفرية [8]. وعلى نحو مماثل، وضعت قطر نفسها كرائدة في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في قطاع النفط والغاز، بالتركيز على خفض انبعاثات الميثان وتحسين عزل الكربون. كما تضمن قطر التتبع الدقيق لعملية احتجاز الكربون وتخزينه وإدارته بشكل جيد، من خلال استخدام أنظمة المراقبة التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، بما يتواءم مع أهداف الاستدامة الوطنية [9]. وقد التزمت قطر بخفض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري بنسبة 25% بحلول عام 2030، حيث تلعب تقنية احتجاز الكربون وتخزينه دورًا محوريًا في تحقيق هذا الهدف [10] .

وخلال ندوة «النجاحات القطرية والألمانية في الاستدامة البيئية»، أكد الدكتور مسلماني على أن «احتجاز الغاز وتخزينه، إلى جانب ابتكارات الحد من الحرق، يجسدان كيف تستفيد قطر من احتجاز الكربون وتخزينه لتعزيز أهداف الاستدامة الطموحة وتحقيق التوازن في النمو الاقتصادي» [11]. حيث يوضح نجاح احتجاز الكربون وتخزينه في ألمانيا وقطر كيف يمكن للتقدم التكنولوجي، بالإضافة إلى أطر السياسات الاستراتيجية، مواجهة تحديات تغير المناخ وتدعم التنمية الاقتصادية في الوقت نفسه. ويوفر احتجاز الكربون وتخزينه وسيلة فعالة للدول، لسد الفجوة بين النشاط الصناعي والاستدامة البيئية، من خلال مواجهة الانبعاثات في منشأها، وتوفير حل قابل للتطوير لتخزين طويل الأجل.

وتعمل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على التقليل من انبعاثات الكربون الصناعية، بالإضافة إلى دعم النمو الاقتصادي. حيث تتمتع هذه التقنية بالقدرة على التقاط ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه بشكل آمن، مما يعالج التحديات المزدوجة للتخفيف من آثار تغير المناخ والاستدامة الصناعية [12] . إذ يؤكد نجاح تنفيذ تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في ألمانيا وقطر قابليتها للتوسع، وفعاليتها في الصناعات التي يصعب فيها خفض الانبعاثات. ومع اعتماد المزيد من الدول لهذه التكنولوجيا، ستلعب دورا حيويا في سد الفجوة بين الأنشطة الصناعية والحفاظ على البيئة.

الذكاء الاصطناعي

يبرز الذكاء الاصطناعي كقوة قادرة على إحداث تحول في مواجهة تغير المناخ، عن طريق تسخير قدراته لتحليل مجموعات البيانات الضخمة، وتوليد نماذج تنبؤية، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد. فقد أحدثت قدرة الذكاء الاصطناعي على تحديد الأنماط والتنبؤ بالنتائج، ثورة في استراتيجيات التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه، بدءًا من تعزيز الاستعداد للكوارث ووصولاً إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة عبر مختلف الصناعات. [13]

يعتبر تقييم أخطار المناخ والاستعداد للكوارث أحد أكبر إسهامات الذكاء الاصطناعي تأثيرًا. ففي الولايات المتحدة، يتم استخدام الأنظمة التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالظواهر الجوية القاسية، بدقة غير مسبوقة. إذ يمكن للذكاء الاصطناعي التنبؤ بالأعاصير وموجات الحر والفيضانات، من خلال تحليل بيانات المناخ القديمة بجانب المعلومات الآنية، مما يمنح المواطنين وقتًا كافيا للاستعداد [14]. وهذا يتيح تصميم البنية التحتية التكيفية، مثل الأنظمة الحضرية المقاومة للفيضانات، والتي تعزز المرونة وتقلل من الخسائر الاقتصادية والبشرية. وعلى نحو مماثل، تساعد أنظمة الإنذار المبكر المدعومة بالذكاء الاصطناعي في الدول النامية في التخفيف من آثار الكوارث الطبيعية على السكان المعرضين

[8] "مجلس الوزراء الألماني يوافق على خطط للسماح بنقل الكربون وتخزينه"، رويترز، 29 مايو 2024، قسم أسواق الكربون، عبر الرابط: https://www.reuters.com/markets/carbon/german-cabinet-approves-plans-allow-carbon-transport-storage-2024-05-29/.

[9] Vijo Varkey Theeyattuparampi، فيجو فاركي ثياتوبارامبيل وآخرون، "احتجاز الكربون وتخزينه: الوضع الراهن، التحديات، والفرص لدول مجلس التعاون الخليجي"، المجلة الدولية لإدارة قطاع الطاقة 7، العدد 2 (2013): 223–242، عبر الرابط: http://dx.doi.org.proxy.library.georgetown.edu/10.1108/IJESM-04-2013-0010.

[10] صحيفة دا بينسولا، "دول مجلس التعاون الخليجي تستثمر بشكل كبير في البنية التحتية لتقنيات احتجاز الكربون"، 15 أبريل 2024، عبر الرابط: https://thepeninsulaqatar.com/article/15/04/2024/gcc-investing-big-in-infrastructure-for-carbon-capture-technologies.

[11] "النجاحات القطرية والألمانية في الاستدامة البيئية"، حوار قطر الوطني حول تغير المناخ (QNDCC، 2024).

[12] "احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه - نظام الطاقة".

[13] "تسع طرق يساعد بها الذكاء الاصطناعي في مواجهة التغير المناخي"، المنتدى الاقتصادي العالمي، 12 فبراير 2024، عبر الرابط: https://www.weforum.org/stories/2024/02/ai-combat-climate-change/.

[14] نفس المصدر.

[15] نفس المصدر.

[16] "تقليل انبعاثات غازات المسببة للاحتباس الحراري وتكاليف الطاقة في مبناك باستخدام الذكاء الاصطناعي لأنظمة التدفئة والتهوية والتكييف (HVAC)"، تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024، عبر الرابط: https://brainboxai.com/en/solutions/building-decarbonization/reduce.

[17] نغويينثان سون، تشينغ-رو تشين، وتشين-هوي سيو. Nguyenthanh Son, Cheng-Ru Chen, and Chien-Hui Syu "نحو تطبيقات الذكاء الاصطناعي في

للخطر [15]. وفي إدارة الطاقة الحضرية، تستغل دول، على غرار سويسرا، الذكاء الاصطناعي لتحسين استهلاك الطاقة والحد من النفايات. وتمكن التحليلات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، والمتكاملة مع تقنيات الشبكة الذكية، من إجراء تعديلات في الوقت الفعلي على توزيع الطاقة، وضمان استخدام مصادر الطاقة المتجددة بكفاءة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. إذ لا يعمل هذا التكامل على تقليل الهدر للطاقة فحسب، بل يدعم أيضًا الهدف الطموح لسويسرا المتمثل في تحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050. ويتم تبني تقدم مماثل في المدن في جميع أنحاء العالم، حيث تراقب المنصات المدعومة بالذكاء الاصطناعي استخدام الطاقة في المباني، وتحسين أنظمة التدفئة والتهوية، والحد من استهلاك الكهرباء غير الضروري، مما يساهم في خفض البصمة الكربونية بشكل كبير [16].

تعتبر الزراعة الدقيقة تطبيقا تحويليا للذكاء الاصطناعي، إذ تقدم للمزارعين معلومات فورية لتحسين الممارسات الزراعية وتعزيز الاستدامة. وتوفر الأدوات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي توصيات عملية بشأن جدول الري واستخدام الأسمدة ومكافحة الآفات، من خلال تحليل صحة التربة وأنماط الطقس وجودة المحاصيل [17]. حيث تعمل هذه الاستراتيجيات القائمة على البيانات على تقليل استهلاك المياه والحد من استخدام المواد الكيميائية بشكل كبير، مما يخفف من الضرر البيئي مع زيادة الغلة. ففي الهند، على سبيل المثال، تم استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي لمراقبة الأمراض التي تصيب المحاصيل، للقيام بتدخلات دقيقة مكيفة خصيصا حسب الظروف المحلية. وهذا لا يدعم المزارعين في التكيف مع تحديات تغير المناخ فحسب، بل يعزز أيضًا الأمن الغذائي، من خلال تحسين القدرة على الصمود في مواجهة التقلبات الجوية غير المتوقعة والآفات. إذ يحمل تبني مثل هذه التكنولوجيا على مستوى العالم، إمكانات هائلة لمواجهة التحديين المزدوجين المتمثلين في إطعام عدد السكان متزايد والحفاظ على الموارد الطبيعية.

ومن الجدير بالذكر الإشارة إلى دور الذكاء الاصطناعي في الحد من الانبعاثات الصناعية. إذ يمكنه تحديد أوجه القصور واقتراح بدائل مستدامة، بل وحتى مراقبة انبعاثات الكربون في الوقت الحقيقي، من خلال تحسين عمليات التصنيع. وعلى سبيل المثال، في صناعات الصلب والأسمنت، وهما من المصادر الرئيسية للغازات المسببة للاحتباس الحراري، فإن الأتمتة المدعومة بالذكاء الاصطناعي وخدمات الصيانة الوقائية تقلل من استهلاك الطاقة وتحد من النفايات. [18]

ويعمل الذكاء الاصطناعي، في أنظمة الطاقة المتجددة، على تعزيز الكفاءة من خلال التحليلات التنبؤية لنسبة استهلاك الطاقة وتحسين تشغيل عنفات الرياح والألواح الشمسية ومحطات الطاقة الكهرومائية. إذ تُعد مراكز البيانات المدعومة بالذكاء الاصطناعي من جوجل (Google) مثالًا بارزًا على هذا النهج، حيث تم تحسين كفاءة الطاقة بنسبة 15%، مما ساهم بشكل كبير في تقليل بصمتها الكربونية. وعلاوة على ذلك، تعمل أنظمة تخزين الطاقة المعززة بالذكاء الاصطناعي على زيادة موثوقية الشبكة من خلال موازنة العرض والطلب، مما يضمن دمجًا مستقرًا لمصادر الطاقة المتجددة المتقطعة. [19]

وقد برز الذكاء الاصطناعي كعنصر أساسي في الابتكارات بمجال المناخ، حيث يقدم تطبيقات متنوعة في الاستغلال الأمثل للطاقة والتأهب لمواجهة الكوارث والزراعة الدقيقة ورصد الانبعاثات. وتكمن قوته في قدرته على معالجة كميات هائلة من البيانات وتحقيق الكفاءة عبر مختلف القطاعات، مما يبين إمكاناته التحويلية. ورغم التحديات القائمة، مثل التكاليف العالية وقضايا الخصوصية المتعلقة بالبيانات، فإن الاستثمارات محددة الأهداف والتعاون على الصعيد العالمي قادران على إطلاق الإمكانات الكاملة للذكاء الاصطناعي، لتعزيز الممارسات المستدامة وتحسين المرونة المناخية.

إنترنت الأشياء والشبكات الذكية

إن التكنولوجيا الرقمية، وخاصة إنترنت الأشياء والشبكات الذكية، تعمل على إحداث ثورة في طريقة إدارة الطاقة، وخلق مسارات للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتعزيز كفاءة الموارد [20]. وتمكن هذه التكنولوجيا من المراقبة في الوقت الفعلي، والتحسين القائم على البيانات، والتكامل السلس لمصادر الطاقة المتجددة، ومواجهة التحديات الحرجة في التحول العالمي نحو مستقبل طاقة أكثر استدامة. ومن خلال تسهيل اتخاذ القرارات الذكية والحد من عدم الكفاءة، تلعب إنترنت الأشياء والشبكات الذكية دورًا محوريًا في مواجهة تغير المناخ وتحديث البنية التحتية الحضرية.

توفر الأجهزة التي تدعم إنترنت الأشياء، مثل العدادات الذكية، للأسر والشركات والمرافق معلومات مفصلة في الوقت الفعلي عن أنماط استهلاك الطاقة. وتمكن هذه الشفافية المستخدمين من تحسين استخدامهم للطاقة، والحد من النفايات، وتقليل التكاليف. وعلى المستوى النظامي، تسهل إنترنت الأشياء آليات الاستجابة للطلب، حيث تعدل المرافق توزيع الطاقة استجابة لذروة الاستهلاك، مما يضمن استقرار الشبكة وموثوقيتها. على سبيل المثال، في سويسرا، تم نشر تقنيات إنترنت الأشياء لموازنة أحمال الطاقة عبر المراكز الحضرية، مما يقلل من ذروة الطلب ويعزز مرونة شبكات الكهرباء.

الشبكات الذكية، التي تدمج أجهزة إنترنت الأشياء مع التحليلات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، تأخذ هذه القدرات إلى خطوة أبعد. من خلال تمكين الاتصال ثنائي الاتجاه بين منتجي الطاقة والمستهلكين، تعمل الشبكات الذكية على تحسين تدفق الطاقة، واستيعاب تباين المصادر المتجددة مثل الرياح والطاقة الشمسية، ومنع زيادة الأحمال على الشبكة. تدعم هذه الشبكات المتقدمة تكامل أنظمة الطاقة اللامركزية، مثل الألواح الشمسية على الأسطح ووحدات تخزين البطاريات، مما يضمن تسخير الطاقة المتجددة وتوزيعها بكفاءة. في ألمانيا، أدت ابتكارات الشبكة الذكية إلى انخفاض بنسبة 20٪ في عدم كفاءة الشبكة، مما يبرز إمكانات هذه التكنولوجيا في إزالة الكربون من أنظمة الطاقة مع الحفاظ على استقرار الشبكة. [21]. الشبكات الذكية، التي تدمج أجهزة إنترنت الأشياء مع التحليلات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، تأخذ هذه القدرات إلى خطوة أبعد. من خلال تمكين الاتصال ثنائي الاتجاه بين منتجي الطاقة والمستهلكين، تعمل الشبكات الذكية على تحسين تدفق الطاقة، واستيعاب تباين المصادر المتجددة مثل الرياح والطاقة الشمسية، ومنع زيادة الأحمال على الشبكة [22]. وتدعم هذه الشبكات المتقدمة تكامل أنظمة الطاقة اللامركزية، مثل الألواح الشمسية على الأسطح ووحدات تخزين البطاريات، مما يضمن تسخير الطاقة المتجددة وتوزيعها بكفاءة. وفي ألمانيا، أدت ابتكارات الشبكة الذكية إلى انخفاض بنسبة 20% في عدم كفاءة الشبكة، مما يبرز إمكانات هذه التكنولوجيا في إزالة الكربون من أنظمة الطاقة مع الحفاظ على استقرار الشبكة. [23]

وفي الشرق الأوسط، توضح قطر كيف يمكن تصميم الشبكات الذكية لمواجهة التحديات الإقليمية، مثل ارتفاع الطلب على الطاقة ودرجات الحرارة القصوى. ومن خلال برنامج القياس الذكي التابع لكهرماء، قامت قطر بتثبيت أكثر من 800 ألف عداد ممكّن لإنترنت الأشياء يوفر للمستهلكين رؤى قابلة للتنفيذ حول استخدامهم للطاقة والمياه [24]. ولا تشجع هذه الأجهزة سلوكيات توفير الطاقة فحسب، بل تسمح أيضًا للمرافق بتحسين توزيع الطاقة وتقليل الخسائر وضمان موثوقية الشبكة. ومن المبادرات النموذجية في قطر التي تدمج تقنيات إنترنت الأشياء من أجل الاستدامة والكفاءة مشروع مشيرب وسط مدينة الدوحة، الذي أشاد به باعتباره أول مشروع مستدام لتجديد وسط المدينة في العالم [25]. وتتضمن مدينة مشيرب الذكية أنظمة إنترنت الأشياء المتطورة لمراقبة وإدارة استهلاك الطاقة والمياه عبر بنيتها التحتية [26]. وتسمح العدادات الذكية وأجهزة

الزراعة الدقيقة والمستدامة"، مجلة Agronomy، المجلد 14، العدد 2 (فبراير 2024): 239. عبر الرابط: https://doi.org/10.3390/agronomy14020239.

[18] "تقنية الذكاء الاصطناعي تُحدث ثورة في التخفيف من تحديات تغير المناخ | Appen"، تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. عبر الرابط: https://www.appen.com/blog/how-ai-technology-is-revolutionizing-climate-change-mitigation?/.

[19] "الابتكار والتكنولوجيا المستدامة - استدامة Google"، قسم الاستدامة، تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. عبر الرابط: https://sustainability.google/.

[20] نحسين مظهر وآخرون، "تحليل التحديات والحلول لإنترنت الأشياء في الشبكات الذكية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة: مراجعة"، الإلكترونيات 12، العدد 1 (يناير 2023): 242. https://doi.org/10.3390/electronics12010242.

[21] مو محمود وآخرون، "تأثيرات الرقمنة على الشبكات الذكية والطاقة المتجددة واستجابة الطلب: مراجعة محدثة للتطبيقات الحالية"، تحويل وإدارة الطاقة: إكس 24 (1 أكتوبر 2024): 100790. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100790.

[22] محمود وآخرون

[23] محمود وآخرون

[24] فريق سيّوك قطر، "قيادة التغيير: حالة إنترنت الأشياء في قطر"، سيّوك قطر، 6 نوفمبر 2024. https://www.syook.qa/post/driving-change-the-state-of-iot-in-qatar.

[25] "المدينة الذكية ذات الروح" تم الكشف عنها في مشيرب"، جلف تايمز، 22 ديسمبر 2020. https://gulf-times.com/story/680894.

[26] المدينة الذكية ذات روح" تم الكشف عنها في مشيرب".

الاستشعار وأنظمة إدارة المباني بجمع البيانات وتحليلها في الوقت الفعلي، مما يتيح الاستخدام الأمثل للموارد وتقليل النفايات. كما تم دمج أنظمة إدارة الطاقة المتقدمة للمشروع مع مصادر الطاقة المتجددة، مثل الألواح الشمسية، مما يقلل من بصمته الكربونية. بالإضافة إلى ذلك، تراقب أجهزة استشعار إنترنت الأشياء في جميع أنحاء المدينة تدفق حركة المرور وإدارة النفايات وجودة الهواء، مما يضمن كفاءة البيئة الحضرية واستدامتها. وتسلط مثل هذه التطورات الضوء على مدى أهمية الحلول التي تعتمد على إنترنت الأشياء في تحقيق أهداف التنمية الحضرية المستدامة، وخاصة في المناطق التي تواجه قيوداً بيئية فريدة. [27]

الشكل 1: مدينة مشيرب الذكية

وعلى الصعيد العالمي، تشكل إنترنت الأشياء والشبكات الذكية مكونات أساسية للتحول نحو المدن الذكية ـ وهي المراكز الحضرية المصممة لتحسين استخدام الموارد والحد من التأثير البيئي [28]. إذ تدمج مبادرات هذه المدن التكنولوجيا مع ابتكارات أخرى، مثل البنية الأساسية للسيارات الكهربائية، والأنظمة الذكية لإدارة الموارد المائية ، والتخطيط الحضري القائم على الذكاء الاصطناعي. ومن الأمثلة البارزة على ذلك «مشيرب قلب الدوحة»، وهو مشروع تجديد حضري طموح يعتمد على تقنيات المدن الذكية لإنشاء بيئة حضرية مستدامة ومترابطة. ويضم المشروع أكثر من 650 ألف جهاز من أجهزة إنترنت الأشياء، متصلة بشبكات الألياف الضوئية تحت الأرض بطول 450 كيلومترا، مما يتيح إدارة خدمات المدينة بكفاءة. وعلاوة على ذلك، يبرز هذا المشروع بميزة فريدة، تتمثل في توفير نظام لمواقف السيارات تحت الأرض، مما يسهم في تقليل ازدحام الطرقات. كما يشتمل على شبكة متكاملة من الأزقة الخدمية التي تعمل على إزالة مركبات الخدمة من الشوارع الرئيسية. ويحتوي أيضا على أكثر من 6,400 من الألواح الشمسية مثبت على أسطح المباني، حيث يلعب دورا محوريا في توليد الطاقة الكهربائية للموقع [29]. وتضع هذه الابتكارات مشيرب قلب الدوحة كنموذج عالمي للتنمية الحضرية التي تركز على الاستدامة. حيث يمكن لأجهزة الاستشعار التي تعمل بتقنية إنترنت الأشياء في المباني وأنظمة النقل أن تقلل من استهلاك الطاقة والانبعاثات، من خلال ضبط العمليات بشكل ديناميكي على أساس البيانات في الوقت الفعلي. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لتقنية التوأم الرقمي - وهي نسخة افتراضية من الأنظمة الفيزيائية - محاكاة وتحسين استخدام الموارد على مستوى المدينة، مما يعزز الاستدامة بشكل أكبر.

وتؤكد هذه التطورات على الإمكانات التحويلية لتقنيات إنترنت الأشياء والشبكات الذكية في مواجهة التحديات المزدوجة المتمثلة في تغير المناخ والتوسع الحضري. حيث تضع هذه الابتكارات الأسس لمستقبل يتعايش فيه النمو الاقتصادي والاستدامة البيئية، من خلال تمكين إدارة الموارد بكفاءة، ودعم تبني الطاقة المتجددة، وتعزيز المرونة. ومع استمرار البلدان والمدن في جميع أنحاء العالم في الاستثمار بالبنية التحتية الرقمية، ستظل إنترنت الأشياء والشبكات الذكية في طليعة الجهود العالمية لتحقيق مستقبل طاقة أنظف وأذكى وأكثر مرونة.

تكنولوجيا التوأم الرقمي

ي يعد استخدام تكنولوجيا التوأم الرقمي مجالا آخر بالغ الأهمية للابتكار التكنولوجي، حيث تقوم بإنشاء نسخ افتراضية طبق الأصل للأنظمة الفيزيائية للتنبؤ بأدائها والعمل على تحسينه. وفي مشاريع الطاقة المتجددة، تم استخدام التوائم الرقمية لمحاكاة العمليات بحقول طاقة الرياح، وتحسين كفاءة التوربينات والحد من وقت التوقف في الانتاج. وقد طبقت هذه التكنولوجيا على التخطيط الحضري في مدن مثل زيورخ، أين ساعدت في تصميم المباني الموفرة للطاقة وأنظمة النقل التي تتوافق مع أهداف المتعلقة بالمناخ. ومن خلال محاكاة سيناريوهات مختلفة، تسمح التوائم الرقمية لصناع القرار والشركات باتخاذ قرارات تعتمد على البيانات، وتوازن بين النمو الاقتصادي والاستدامة البيئية [30].

لقد أصبحت تقنيات المباني الذكية محورية، والتي تدمج بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي وأنظمة إدارة الطاقة، للحد من البصمة الكربونية الحضرية. حيث تمثل المباني ما يقرب 40٪ من استهلاك الطاقة العالمي و30٪ من انبعاثات الكربون المرتبطة بالطاقة. ومن خلال تبني التكنولوجيا الذكية، يمكن للمدن خفض هذه الأرقام بشكل كبير [31]. فعلى سبيل المثال، نجحت أنظمة إدارة الطاقة في نيويورك في تقليل استهلاك الطاقة في المباني بنسبة 25٪،

Figure 3: Mshereib Smart City

في حين قامت أجهزة تنظيم الحرارة الذكية في ألمانيا بتحسين أنظمة التدفئة والتبريد لتقليل الانبعاثات. إيضا تعمل الابتكارات مثل الزجاج الديناميكي، الذي يضبط لونه وفقا لشدة ضوء الشمس، على تعزيز كفاءة الطاقة في البيئات الحضرية [32].

وبالرغم من التقدم الذي تم إحرازه نحو تبني ابتكارات في مجال المناخ على نطاق واسع، إلا أن الطريق لا يزال يواجه الكثير من العقبات. فالتكاليف الأولية المرتفعة، ومحدودية البنية التحتية، ومقاومة التغيير هي تحديات رئيسية لابد من معالجتها. ولذلك، تعد حملات التوعية العامة وبرامج التثقيف ضرورية، لبناء دعم مجتمعي لهذه الوسائل التكنولوجية. وتضطلع الحكومات بدور حيوي من خلال وضع سياسات داعمة، بما في ذلك تقديم إعانات الدعم لمشاريع الطاقة المتجددة وتشجيع البحث والتطوير. ويتعين على التعاون الدولي، كما يتجلى في اتفاقيات

[27] " فريق. "قيادة التغيير".
[28] موكيل بوياموزي Mukilan Poyyamozhi وآخرون. "إنترنت الأشياء—حل واعد لإدارة الطاقة في المباني الذكية: مراجعة منهجية، التطبيقات، العوائق، وآفاق المستقبل". المباني، 14، العدد 11 (نوفمبر 2024): 3446. https://doi.org/10.3390/buildings14113446.
[29] الجزيرة قطر. "مشيرب قلب الدوحة: ريادة عصر جديد من الحياة الحضرية". 20 أكتوبر 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/20/10/2024/mshereib-downtown-doha-pioneering-a-new-era-of-urban-living.
[30] "دراسة الكهرباء النظيفة 100% بحلول 2035"، تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www.nrel.gov/analysis/100-percent-clean-electricity-by-2035-study.html.
[31] برنامج الأمم المتحدة للبيئة. تقرير الحالة العالمية لعام 2023 للمباني والبناء: ما وراء الأساسات - دمج الحلول المستدامة لتقليص الانبعاثات من قطاع المباني (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2024). https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095.
[32] برنامج الأمم المتحدة للبيئة.
[33] جي سي سي بيزنس والتش. "المملكة العربية السعودية تحدد الوتيرة العالمية في إنتاج الهيدروجين الأخضر مع تقدم نيوم في تحقيق أهداف رؤية 2030". تم الوصول إليها في 14 يناير 2025. https://gccbusinesswatch.com/news/saudi-arabia-sets-global-pace-in-green-hydrogen-production-as-neom-advances-vision-2030-goals

مثل اتفاق باريس، أن يعزز الجهود الجماعية لتجاوز هذه العقبات.

وتوضح هذه التطورات الدور الحيوي للابتكار، في دفع عجلة التغيير المنهجي نحو معالجة تغير المناخ. فمن خلال تعزيز تنمية وسائل التكنولوجيا الحديثة، تستطيع الدول تخفيف من آثار تغير المناخ، وزيادة قدراتها على التكيف، وتسريع التحول نحو مستقبل أكثر استدامة. وفي الأخير، فإن التعاون الدولي، وأطر السياسات القوية، والاستثمار المستمر في البحث والتطوير، تعد أموراً أساسية لتوسيع نطاق هذه الحلول على مستوى العالم.

تكنولوجيا الهيدروجين

برزت تكنولوجيا الهيدروجين كعنصر أساسي في التحول العالمي نحو الطاقة النظيفة. وقد كانت ألمانيا سباقة في تطوير البنية التحتية للهيدروجين، مع تركيزها على إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام مصادر الطاقة المتجددة. وقد أحدث هذا الحل للطاقة النظيفة تحولاً في الصناعات الثقيلة وشبكات النقل، حيث يُعتبر نظام النقل العام في برلين الذي يعمل بالهيدروجين نموذجاً للتنقل الحضري المستدام. وفي قطر، تم القيام بتعزيز شراكات مع شركات دولية متخصصة في تقنيات الهيدروجين منخفضة الكربون، مما يساهم في نمو اقتصاد الهيدروجين العالمي وتنويع مصادر الطاقة. ومن الأمثلة البارزة على ذلك في المنطقة، خطة المملكة العربية السعودية لدمج الهيدروجين الأخضر في تشغيل مراكز البيانات، وهي خطوة تهدف إلى تحقيق انبعاثات شبه معدومة، وضمان مصداقية البنية التحتية الرقمية وقابليتها للتوسع، بما يتوافق مع أهداف الاستدامة العالمية. وتظهر هذه المبادرة طموح البلاد في قيادة كل من قطاع الطاقة المتجددة ومساحة التحول الرقمي، مما يضعها كطرف رئيسي في اقتصاد الهيدروجين العالمي. كما تُظهر هذه الجهود كيف يمكن للهيدروجين أن يكون ناقلاً للطاقة متعدد الاستخدامات، ويقدم حلولاً لقطاعات يصعب إمدادها بالتيار الكهربائي، مثل الطيران والشحن.

وتقدم تقنية الهيدروجين بديلاً عن الطاقة النظيفة ومتعددة الاستخدامات للقطاعات التي يصعب إمدادها بالكهرباء، مثل الصناعات الثقيلة والنقل. ومن المبادرات البارزة في المنطقة مشروع نيوم للهيدروجين الأخضر في المملكة العربية السعودية، وهو مشروع مشترك بين أكوا باور ونيوم وإير برودكتس (ACWA Power, NEOM, and Air Products). ويهدف هذا المشروع إلى إنتاج ما يصل إلى 650 طنًا من الهيدروجين الأخضر يوميًا باستخدام الطاقة المتجددة من محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وفي حين لم يتم تفصيل الخطط المحددة لتشغيل مراكز البيانات بالهيدروجين الأخضر في المملكة العربية السعودية، فإن الاستثمارات الكبيرة التي تضخها البلاد في البنية التحتية للهيدروجين الأخضر تؤهلها، في المستقبل، لدعم القطاعات كثيفة الطاقة، بما في ذلك مراكز البيانات، والطاقة المستدامة [33]. ومن خلال تبني إنتاج الهيدروجين وتوسيع نطاقه، يمكن للدول تنويع مصادر الطاقة وتقليل الانبعاثات وتحقيق بيئة طاقة أكثر استدامة ومرونة

الطاقة المتجددة.

تظل الطاقة المتجددة مجالاً بالغ الأهمية للابتكار المناخي. وقد أحرزت الولايات المتحدة تقدماً ملحوظاً في تكنولوجيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، بما في ذلك تطوير الخلايا الشمسية البيروفسكايتية ومحطات طاقة الرياح البحرية.

وقد أدت هذه التطورات إلى زيادة إنتاج الطاقة المتجددة بشكل كبير مع خفض التكاليف، ودعم هدف البلاد المتمثل في تحقيق شبكة كهرباء نظيفة بنسبة 100٪ بحلول عام 2035 [34]. وقد أعطت ألمانيا، التي تعد رائدة عالمياً في مجال الطاقة المتجددة، الأولوية لحلول متطورة في مجال تخزين الطاقة. ومن خلال تطوير البطاريات القادرة على تخزين الطاقة المتجددة لفترات طويلة، تضمن ألمانيا استقرار الشبكة وموثوقيتها حتى أثناء انخفاض الرياح أو أشعة الشمس، والتغلب على واحدة من أهم الحواجز أمام اعتماد الطاقة المتجددة [35]. وعلاوة على ذلك، توفر مشاريع تخزين الطاقة الكهرومائية المبتكرة في سويسرا سعة إضافية لتخزين الطاقة الفائضة من المصادر المتجددة، مما يتيح توافرها باستمرار. وتستفيد دول مجلس التعاون الخليجي من أشعة الشمس الوفيرة والمناظر الطبيعية الصحراوية الشاسعة لتوسيع مشاريع كبيرة للطاقة الشمسية، مما يجعل المنطقة رائدة عالمية في إمكانات الطاقة المتجددة. ولمواجهة مشكلة انقطاع الطاقة، تستثمر دول مجلس التعاون الخليجي في تقنيات التخزين المتقدمة، بما في ذلك أنظمة تخزين طاقة البطاريات (BESS)، وتخزين الطاقة طويلة الأمد (LDES)، وتقييم تخزين الطاقة الكهرومائية بالضخ (PHS). وتعمل هذه الجهود على تعزيز استقرار الشبكة، وتمكين إمدادات الطاقة المتسقة، ودعم التنوع الاقتصادي، بما يتماشى مع أهداف الاستدامة العالمية [36].

وقد مكّن التقارب بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي من إنشاء أنظمة أكثر ذكاءً لإدارة الموارد المائية، وخاصة في المناطق التي تواجه ندرة في المياه. حيث يمكن أجهزة استشعار إنترنت الأشياء من مراقبة استخدام الموارد المائية في الوقت الفعلي، وتحديد التسريبات والعيوب لمنع التبذير.

وقد أظهرت منطقة مجلس التعاون الخليجي تقدماً ملحوظاً في مبادرات الطاقة المتجددة، وفي مقدمتها الطاقة الشمسية. إذ تجسد محطة توليد الطاقة الشمسية في الخرسعة في قطر، بقدرة 800 ميجاوات، التزام الدولة بتحقيق هدفها المتمثل في توليد 4 جيجاوات من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. كما تؤكد محطة سدير للطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، والتي تبلغ قدرتها 1.5 جيجاوات، ومشروع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية في الإمارات العربية المتحدة، وهو أكبر مشروع للطاقة الشمسية في موقع واحد على مستوى العالم، على التزام المنطقة بتنويع مصادر الطاقة والحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري.

وبعيدًا عن الطاقة الشمسية، مكّن التقارب بين تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي من إدارة الموارد بشكل أكثر ذكاءً، وخاصة في المناطق التي تواجه قيودًا بيئية. وقد استفادت قطر من هذه التكنولوجيا لتحسين محطات تحلية المياه لديها، مما أدى إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسبة 15٪ مع زيادة إنتاج المياه لتلبية الطلب المتزايد. ولا تعمل هذه الحلول على الحفاظ على الموارد الأساسية فحسب، بل تقلل أيضًا من البصمة البيئية للبنية التحتية للمياه [37]. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام تقنية التوأم الرقمي لتصميم شبكات توزيع المياه، مما يسمح بالصيانة الوقائية والتخصيص الفعال للموارد. [38]

[34] كولينس ن. نواعو وآخرون. "دمج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في شبكة الكهرباء لتحسين الوصول إلى الطاقة". الموارد، غير التقليدية 5 (1 يناير 2025): 100129. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2024.100129.
[35] محمود وآخرون. "تأثيرات الرقمنة على الشبكات الذكية والطاقة المتجددة واستجابة الطلب".
[36] "السباق لتحقيق طاقة الشمس: الاتجاهات الناشئة في مشهد الطاقة الشمسية في دول مجلس التعاون الخليجي"، تم الوصول إليها عبر الرابط: https://saudimarketresearchconsulting.com/the-race-to-achieve-sun-power-emerging-trends-in-the-gcc-solar-energy-landscape/?utm_source=chatgpt.com
[37] جولبان أرنو. "استغلال الذكاء الاصطناعي، وتعلم الآلة، والتوائم الرقمية لإدارة المياه المستدامة"، مدونة شنايدر إلكتريك، 24 سبتمبر 2024. https://blog.se.com/digital-transformation/2024/09/24/leveraging-ai-for-sustainable-water-management/.
[38] نفس المصدر

أهمية توطين الحلول التكنولوجية للتخفيف من آثار تغير المناخ

تقدم الحلول التكنولوجية المحلية نهجًا تحويليًا لمواجهة تغير المناخ من خلال تكييف الابتكارات التكنولوجية مع بيئات إقليمية معينة. إذ تتوافق هذه الحلول، المحددة السياق والتي يقودها المجتمع، مع التحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية الخاصة بالمناطق المختلفة، حيث تجمع بين المعرفة الأصلية ومواكبة التطورات الحديثة لإحراز تأثير مستدام. وكما أكد السيد هاكان أوزديمير، الرئيس التنفيذي لشركة سيمنز قطر، فإن مفتاح تحقيق أقسى استفادة من التكنولوجيا يكمن في توطينها لتلبية الاحتياجات المحددة لكل بلد، وتمكين الاستدامة وتعزيز استراتيجيات الحياد الكربوني.

وعلى الرغم من تطور تكنولوجيا المناخ العالمية، إلا أنها غالبًا ما تفشل في مواجهة الاحتياجات المتنوعة للمناطق المستهدفة. إذ يعمل التوطين على سد هذه الفجوة من خلال تكييف التكنولوجيا مع الواقع المحلي مثل أنظمة الطاقة الشمسية أو طرق الري، وضمان التطبيق العملي والكفاءة والقبول في المجتمع. إذ يمكن لهذه المجتمعات تحسين النتائج مع تعزيز الملكية وتحقيق الاستدامة طويلة الأجل، من خلال مواءمة الحلول مع الموارد المحلية ومراعاة العادات الثقافية.

ويتناول هذا القسم الإمكانات التحويلية للابتكار المحلي، كما يفحص تأثيره على التحديات العالمية المتنوعة والاستراتيجيات المطلوبة لتوسيع نطاق هذه الحلول بشكل فعال. ومن خلال دمج التكنولوجيا العالمية المتقدمة مع التكيفات المحلية، تتضاعف الإمكانات لإيجاد حلول فعّالة وشاملة وقابلة للتوسع بشكل كبير، مما يمهد الطريق نحو مستقبل أكثر استدامة.

[39] " اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. "الشقيقة الشمسية"، الأمم المتحدة لتغير المناخ. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/lighthouse-activities/solar-sister.

[40] نفس المصدر

دراسات حالة قائمة على القطاعات

الطاقة: شبكات الطاقة الشمسية الصغيرة في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى (سولار سيستر)

تجسد مؤسسة سولار سيستر (Solar Sister) القوة التحويلية لحلول الطاقة النظيفة المحلية. حيث تعمل هذه المؤسسة الاجتماعية في أوغندا ورواندا وجنوب السودان، وتدمج النساء في سلسلة القيمة لقطاع الطاقة النظيفة، من خلال تمكينهن ليصبحن رائدات أعمال في هذا المجال. ويعتمد نموذجها المصغر المبتكر على توفير مجموعة من أدوات بدء التشغيل، خاصة بالنساء، تعرف بـ «العمل في حقيبة»، والتي تشمل الفوانيس الشمسية، وأجهزة الشحن المحمولة، والمخزون، بالإضافة إلى التدريب، ودعم التسويق.

وقد قامت مؤسسة سولار سيستر، منذ تأسيسها في عام 2009، بتدريب 171 سيدة أعمال، ووصلت إلى أكثر من 31000 فرد في جميع أنحاء أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. إذ يعالج هذا النهج الافتقار للطاقة بالإضافة إلى تمكين المرأة اقتصاديًا واجتماعيًا، مما يجعله حلًا قابلًا للتكرار والتطوير في مناطق أخرى معزولة. [39]

وقد حقق هذا المشروع فوائد بيئية ملموسة. إذ يحل كل فانوس شمسي يُباع محل ما يقرب من 600 لتر من الكيروسين، ويقلل 1.5 طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، على مدار عمره الافتراضي البالغ 10 سنوات. وبشكل إجمالي، تمكنت رائدات الأعمال في سولار سيستر من تقليل أكثر من 9,564 طنًا من الانبعاثات، مع توقعات بتوسع المبادرة بنسبة تتجاوز 10 ملايين طن. حيث تسهم هذه المبادرات في تقليل الاعتماد على الكيروسين، مما يحسن جودة الهواء المحلي والصحة العامة، بينما تسهم في مكافحة تغير المناخ.[40]

وعلى الصعيد الاقتصادي، تولد مؤسسة سولار سيستر مدخرات كبيرة لعملائها. حيث يوفر فانوس شمسي يكلف 18 دولارًا أمريكيًا مدخرات تراكمية قدرها 163 دولارًا أمريكيًا، على مدى خمس سنوات من خلال استبدال استخدام الكيروسين. مما يزيد من الدخل المتاح للأسر، ويعزز المرونة الاقتصادية.

يكمن نجاح مؤسسة سولار سيستر في قدرتها على دمج الابتكارات العالمية للطاقة النظيفة مع احتياجات الواقع المحلي. ومن خلال الاستفادة من شراكاتها مع منظمات مثل مؤسسة الحياة البرية الأفريقية وحركة الحزام الأخضر، تضمن المبادرة مشاركة مجتمعية عميقة ومواءمة مع الأهداف الواسعة للحفاظ على البيئة. حيث تبرز هذه الدراسة قوة الحلول المحلية في معالجة الافتقار الى الطاقة، والتخفيف من آثار تغير المناخ، وتمكين المجتمعات المهمشة [41] .

البنية التحتية والتنمية الحضرية: التبريد المركزي في قطر

يمثل نظام التبريد المركزي في قطر حلًا تقنيًا محليًا، مثاليًا مصممًا لمواجهة التحديات الخاصة بالبيئة والموارد في البلاد. ويُعد هذا النظام من أكثر أنظمة التبريد كفاءة في استهلاك الطاقة، حيث يعتمد على المياه المعالجة في عمليات التبريد بدلًا من مياه الشرب، مما يُقلل من الاعتماد على المياه الصالحة للشرب ويُسهم بشكل كبير في خفض استهلاك الطاقة. حيث يتماشى هذا النهج المحلي مع برنامج قطر للاستدامة، كما يدعم جهود التصدي لتحديات تغير المناخ من خلال تكييف تكنولوجيا التبريد المتطورة لتلبية احتياجات المنطقة الفريدة. وتشكل أنظمة التبريد المركزي في قطر ما نسبته 19% من إجمالي قدرة التبريد في البلاد، مع توقعات بارتفاع هذه النسبة إلى 24% بحلول عام 2030. [42] وقد

[41] نفس المصدر

[42] "تبريد المناطق لتقليص انبعاثات الكربون في قطر | شبه الجزيرة قطر"، تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/10/08/2021/District-cooling-to-cut-Qatar%E2%80%99s-carbon-emissions.

كانت هذه الأنظمة من العوامل الرئيسية في تقليص البصمة البيئية للتبريد، الذي يُعد من أكبر مستهلكي الطاقة في المنطقة. فعلى سبيل المثال، توفر أنظمة التبريد المركزي حوالي 40% من استهلاك الكهرباء مقارنة بأساليب التبريد التقليدية، كما تخفض انبعاثات غازات المسببة للاحتباس الحراري بشكل نسبي. ففي عام 2022 وحده، استهلكت أنظمة التبريد المركزي في قطر 13.5 مليون متر مكعب من المياه المعالجة، مما ساعد في توفير كميات كبيرة من المياه المحلاة والغاز الطبيعي المستخدم في توليد الكهرباء. [43] وقد تم تنفيذ أنظمة التبريد المركزي في مشاريع البنية التحتية الكبرى في قطر، بما في ذلك مدينة لوسيل، واللؤلؤة، ومطار حمد الدولي. بالإضافة إلى ذلك، خلال كأس العالم لكرة القدم 2022، تم استخدام أنظمة تبريد المدن على نطاق واسع في الملاعب مثل استاد البيت، حيث وفرت محطة التبريد المركزية طاقة بسعة 30 ألف طن بمناطق المشجعين وفي ميدان الملعب. [44]

كما أبرزت الندوة «نجاحات قطرية وألمانية في الاستدامة البيئية»، حيث تناولت المهندسة بدور المير الدور المحوري لأنظمة التبريد المركزية خلال كأس العالم لكرة القدم 2022. وأكدت أن الاستدامة والإرث كانا من الاعتبارات الأساسية في التخطيط للفعالية وتنفيذها [45]. حيث مكنت أنظمة التبريد المتطورة البنية التحتية للبطولة، من تحقيق تحسن بنسبة 30٪ في كفاءة الطاقة وخفض استخدام المياه بنسبة 40٪. بالإضافة إلى ذلك، تم إعادة تدوير 80% من مخلفات البناء الناتجة عن تحضيرات الملعب، وتم زراعة 16000 شجرة حول الاستادات لإنشاء مساحات خضراء. [46]

تستخدم أنظمة تبريد المركزية المياه المعالجة، في استاد البيت وفي أماكن أخرى، لأغراض التبريد والري، مما أدى إلى تقليل استخدام مياه الشرب بنسبة 98% وتعزيز أمن المياه في قطر. [47] وأشارت المهندسة بدور المير إلى أن هذه التدابير وضعت معيارًا عالميًا للممارسات المستدامة في الفعاليات الكبرى، مظهرة كيف يمكن للحلول المحلية للتبريد أن تحقق التوازن بين الأهداف البيئية والمتطلبات التشغيلية الكبيرة. [48]

وتجسد مبادرات التبريد المركزي في قطر إمكانات التكنولوجيا المحلية لمواءمة الابتكارات العالمية مع الاحتياجات الإقليمية. وقد أثبتت قطر كيف يمكن لأنظمة التبريد المركزية تقليل التأثير البيئي مع دعم الحفاظ على المياه والطاقة، من خلال معالجة الطلب المرتفع على الطاقة للتبريد في المناخات القاحلة. كما تؤكد هذه الأنظمة على أهمية دمج الاستدامة في مشاريع البنية التحتية، مما يخلق قيمة طويلة الأجل لكل من أصحاب المصلحة المحليين والعالميين.

تمتد الدروس المستفادة من أنظمة التبريد المركزية في قطر إلى ما هو أبعد من حدودها الجغرافية، حيث تقدم رؤى قابلة للتطوير في المناطق الأخرى التي تواجه تحديات مماثلة. ومن خلال الاستفادة من المياه المعالجة لتعزيز كفاءة الطاقة، يوضح نهج قطر كيف يمكن للحلول المحلية أن تساهم في تحقيق أهداف الاستدامة العالمية. وكما ذكرت المهندسة بدور، فإن كأس العالم لكرة القدم 2022 كانت بمثابة حافز لتبني هذه التكنولوجيا، مما ترك إرثًا من البنية التحتية والممارسات المستدامة للفعاليات الكبرى المستقبلية في جميع أنحاء العالم.

إدارة الموارد المائية: حلول المياه بالطاقة الشمسية في كينيا

يتمثل حلول المياه بالطاقة الشمسية في كينيا مثالاً على الإمكانات التحويلية لتقنيات إدارة الموارد المائية المحلية المصممة خصيصًا للتحديات الإقليمية. حيث تعالج هذه الأنظمة المبتكرة ندرة المياه والبنية الأساسية غير الموثوقة وتكاليف الوصول المرتفعة، وتقدم نموذجًا قابلاً للتطوير في إدارة الموارد المستدامة. إذ تدمج هذه الحلول تكنولوجيا الضخ الشمسية المتطورة مع أنظمة الدفع المحلية والمشاركة المجتمعية لضمان إمكانية الوصول والتأثير الطويل الأجل.

يواجه قطاع المياه في كينيا تحديات كبيرة، بما في ذلك الاعتماد المفرط على المياه الجوفية والبنية الأساسية المحدودة في المناطق الريفية وشبه الحضرية. وتعالج أجهزة الصرف الآلي للمياه التي تعمل بالطاقة الشمسية، والتي طورتها الشركة الفنلندية سولير ووتر سولوشن (Solar Water Solutions)، هذه القضايا بشكل فعال. حيث تستغل هذه الأنظمة، التي تم نشرها من خلال مرفق الاستثمار في القطاع العام (PIF)، الطاقة المتجددة لتشغيل استخراج المياه وتوزيعها. إذ يوفر هذا الابتكار حلاً مستدامًا لتحسين الوصول إلى المياه النظيفة في المناطق المحرومة. وتوفر أجهزة الصرف الآلي هذه للمجتمعات إمكانية الوصول الموثوقة إلى المياه النظيفة وبأسعار معقولة، مما يقلل من الاعتماد على المضخات التقليدية التي تعمل بالديزل ويخفف من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري. [49]

وتستفيد حلول المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية من مزيج من التكنولوجيا المتطورة واستراتيجيات التكامل المحلي. حيث توفر الألواح الشمسية الطاقة للمضخات التي تستخرج المياه من المصادر، مثل طبقات المياه الجوفية أو أنظمة تجميع مياه الأمطار. ثم يتم تخزين المياه في خزانات مرتفعة، مما يسمح بتوزيعها بكفاءة باستخدام الجاذبية. ويستطيع أفراد المجتمع الوصول إلى المياه من خلال أكشاك آلية، والدفع بواسطة مبيسا (Mpesa) وهي منصة دفع بواسطة الهاتف المحمول المستخدمة على نطاق واسع في كينيا. حيث يضمن هذا التكامل بين التكنولوجيا الحديثة وطرق الدفع المحلية الاستدامة التشغيلية وإمكانية الوصول والقبول المجتمعي. [50]

تتعدد فوائد هذه الأنظمة لتشمل الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية. فعن طريق استبدال مضخات الديزل، تسهم الأنظمة التي تعمل بالطاقة الشمسية في القضاء على استهلاك الوقود التقليدي وتقليص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. كما أن استخدام الطاقة الشمسية يقلل من التكاليف التشغيلية، مما يساهم في جعل سعر المياه في متناول الأسر ذات الدخل المحدود. وفي عام 2022، أسهمت هذه الأنظمة في توفير نحو 15,000 لتر من وقود الديزل، مما حال دون انبعاث حوالي 40 طنًا متريًا من ثاني أكسيد الكربون خلال عام واحد. [51]

من الناحية الاقتصادية، تساهم أجهزة الصرف الآلي للمياه التي تعمل بالطاقة الشمسية في خلق فرص عمل محلية لفنيي الصيانة والمشغلين، وفي تحسين توفر المياه للزراعة وتربية المواشي والأعمال الصغيرة. كما أن كفاءة الأنظمة قد مكنت الأسر من تقليص نفقاتها على المياه، مما ساعد في توجيه المدخرات نحو التعليم والصحة والاحتياجات الأخرى. ومن الناحية الاجتماعية، ساهمت سهولة الوصول إلى المياه النظيفة بأسعار معقولة في تحسين النتائج الصحية من خلال تقليل الأمراض المنقولة عبر المياه وضمان الوصول المستمر إلى خدمات الصرف الصحي.

لقد كانت جهود بناء القدرات ومشاركة المجتمع أساسًا في نجاح هذه المشاريع. أين تلقى الفنيون المحليون تدريب متخصص لضمان صيانة الأنظمة وإصلاحها بشكل مستمر، مما يضمن استدامتها على المدى البعيد. كما يتم إشراك أصحاب المصلحة في المجتمع في مراحل التخطيط والتنفيذ، مما يعزز لديهم شعورًا بالمسؤولية والملكية، ويضمن لهم التفاعل الفعّال مع هذه المشاريع. [52] تُعد قابلية توسيع وامكانية تكرار مثل هذه الحلول، نموذجًا يُحتذى به في مناطق أخرى تعاني من ندرة المياه في شتى أنحاء العالم. فمن خلال الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة المتوافرة محليًا، وتكييف التقنيات بما يتناسب مع احتياجات المجتمع، إضافة إلى دمج آليات تمويل مبتكرة، تقدم كينيا مثالًا حيًا على كيفية مواجهة التحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية في آن واحد. إذ تركز الدروس التي نستخلصها من هذه الأنظمة على أهمية مواءمة الابتكار التكنولوجي مع الواقع المحلي، لضمان تحقيق الاستدامة والآثار الإيجابية المستدامة على المدى البعيد.

[43] "زيادة التبريد المركزي تساهم في تعزيز جهود قطر نحو الاستدامة"، الجزيرة قطر، 4 أغسطس 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/04/08/2024/increased-district-cooling-aiding-qatars-sustainability-drive
[44] نفس المصدر
[45] حوار قطر الوطني حول تغير المناخ (QNDCC)، نص مناقشة اللجنة، ملاحظات المهندسة بودور.
[46] الفيفا، "زراعة 16,000 شجرة لعام 2022 باستخدام المياه المعاد تدويرها"، أخبار الفيفا، تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://inside.fifa.com/tournaments/mens/worldcup/qatar2022/news/growing-16-000-trees-for-2022-using-recycled-water-2847448
[47] نفس المصدر
[48] نفس المصدر
[49] ماريانا سانتوس، Mariana Santos دمج مبادئ الاقتصاد الدائري في التخطيط الحضري: دراسات حالة واستراتيجيات التنفيذ (أطروحة ماجستير، جامعة آلتو، 2023). https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/8dd32da3-e9c7-438c-9939-125fe9af4c6c/content.
[50] نفس المصدر
[51] نفس المصدر
[52] نفس المصدر

النهج الاستراتيجي لتمويل تكنولوجيات المناخ

تتطلب مواجهة تحديات تغير المناخ بشكل فعال استراتيجيات مالية، تمكّن من تطوير التكنولوجيات المتطورة والعمل على نشرها. ويشكل تمويل التكنولوجيا المتعلقة بالمناخ ركيزة من ركائز الجهود العالمية الرامية إلى الحد من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، وتعزيز القدرة على الصمود في مواجهة التحديات البيئية. ومع تحرك العالم نحو مستقبل منخفض الكربون، تظل الفجوة بين التمويل المتاح والاستثمارات المطلوبة مصدر قلق ملح.
تعتبر تدفقات التمويل المتعلق بالمناخ على مستوى العالم، والتي تقدر بنحو 1.5 إلى 1.6 مليار دولار في عام 2023، أقل من 4.3 تريليون دولار المطلوبة سنويا بحلول عام 2030، لتحقيق أهداف صافي الصفر والحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية. [53] إذ يعد سد هذه الفجوة أمرا ضروريا لضمان إمكانية تنفيذ تكنولوجيات على نطاق واسع، مثل أنظمة الطاقة المتجددة، واحتجاز الكربون، والبنية الأساسية المستدامة. ولتحقيق هذه الغاية، يحتاج الأمر إلى آليات تمويل متنوعة، تجمع بين الموارد العامة، ومشاركة القطاع الخاص، والتعاون الدولي. ويزداد هذا العجز التمويلي وضوحا في المناطق النامية، بما في ذلك الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، حيث تم تأمين 6% فقط من الاستثمار المطلوب في مجال المناخ. [54]

الشراكات بين القطاعين العام والخاص

تمثل الشراكات بين القطاعين العام والخاص نهجًا تعاونيًا، يجمع بين الخبرة والموارد وقدرات تقاسم المخاطر، بين القطاعين العام والخاص لمواجهة التحديات المعقدة. وفي مجال التقدم التكنولوجي، وخاصة في التكنولوجيات المتعلقة بالمناخ، أثبتت الشراكات بين القطاعين العام والخاص أنها آلية مهمة، لتعزيز الابتكار وتسريع نشر الحلول المتطورة. حيث تعمل هذه الشراكات على سد الفجوات في التمويل والخبرة والبنية الأساسية، مما يخلق تآزرًا يدفع بعجلة التقدم نحو مواجهة تغير المناخ.

وعلى الصعيد العالمي، سهلت الشراكات بين القطاعين العام والخاص، تحقيق تقدم كبير في التكنولوجيا المتعلقة بالمناخ. فعلى سبيل المثال، في قطاع الطاقة المتجددة، استفادت البعثة الوطنية للطاقة الشمسية في الهند، التي أطلقت في عام 2010، من نماذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص، لدفع عجلة تنمية المتنزهات الشمسية ونشرها على نطاق واسع. وقد حقق هدف البعثة الطموح المتمثل في تحقيق 100 جيجاوات من الطاقة الشمسية، بحلول عام 2022 تقدمًا كبيرًا، حيث تم تركيب حوالي 63.3 جيجاوات بدايةً من عام 2023. [55] وقد تم تمكين هذا النمو من خلال الاستثمارات الخاصة، التي تكمّل المبادرات الحكومية، مما يظهر فعالية الشراكات بين القطاعين العام والخاص في نقل التكنولوجيا، وبناء القدرات وتطوير الطاقة المتجددة.

وعلى نحو مماثل، لعبت الشراكات بين القطاعين العام والخاص في ألمانيا، دورًا محوريًا في مشاريع طاقة الرياح البحرية. ومن الأمثلة الأخيرة على ذلك، المزاد العلني الناجح لمواقع الرياح البحرية في بحر الشمال في عام 2024، حيث حصلت كل من شركتي توتال اينرجيز وان بي دبليو (EnBW وTotalEnergies) على مشاريع بسعة 1.5 جيجاوات و1.0 جيجاوات على التوالي. [56] وتعمل هذه المساعي واسعة النطاق على مواءمة الرقابة العامة، مع ابتكارات القطاع الخاص والكفاءة التشغيلية، ووضع معايير للتنمية التعاونية للبنية التحتية للطاقة المتجددة.

وعلى المستوى الإقليمي، دفعت الشراكات بين القطاعين العام والخاص إلى تحقيق تقدم كبير في الشرق الأوسط، حيث تستفيد البلدان من هذه الشراكات لتحقيق أهدافها في مجال الطاقة المتجددة. وفي قطر، يجسد مشروع الخرسعة للطاقة الشمسية، وهو محطة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميجاوات، نجاح الشراكات بين القطاعين العام والخاص في تعزيز البنية التحتية للطاقة النظيفة. وتدعم هذه المبادرة طموح قطر لتحقيق 4 جيجاوات من سعة الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. [57]

ومن بين الأمثلة الإقليمية الأخرى، حديقة محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية في دبي، وهي واحدة من أكبر الحدائق الشمسية في العالم، والتي تم تطويرها من خلال تعاون على أساس تدريجي بين الهيئات العامة وشركاء القطاع الخاص. [58] وفي المملكة العربية السعودية، تركز محطة سدير للطاقة الشمسية، بسعة 1.5 جيجاوات، على أهمية الشراكات بين القطاعين العام والخاص في تنويع مزيج الطاقة، والحد من انبعاثات الكربون كجزء من أهداف رؤية البلاد 2030. [59]

[53] مبادرة سياسة المناخ، المشهد العالمي لتمويل المناخ 2024، متاح على: https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2024/.
[54] معهد الشرق الأوسط، الفجوة الكبيرة في التمويل: حالة تمويل المناخ في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، تم الوصول إليها في 25 ديسمبر 2024، https://www.mei.edu/publications/great-financing-gap-state-climate-funding-mena.
[55] "دور الشراكات بين القطاعين العام والخاص في نمو الطاقة الشمسية في الهند"، تايمز تك، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025، https://timestech.in/the-role-of-public-private-partnerships-in-solar-growth-in-india/.
[56] "توتال إرجي وإن بي دبليو TotalEnergies, EnBW تفوزان في مزاد موقع طاقة الرياح البحرية بقيمة 3.2 مليار دولار"، رويترز، 21 يونيو 2024. https://www.reuters.com/business/energy/totalenergies-enbw-win-32-billion-offshore-wind-site-auction-2024-06-21/.
[57] "قطر تستهدف 4 جيجاوات من الطاقة المتجددة بحلول 2030"، رينيوابلز ناو، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025، https://renewablesnow.com/news/qatar-targets-4-gw-of-renewables-by-2030-856603/.
[58] "المصالح الاستراتيجية تحفز إنفاق الخليج على الطاقة المتجددة"، فايناشيال تايمز، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025، https://www.ft.com/content/275ad801-0862-4123-8028-158ec18205f0.
[59] نفس المصدر

تمالمنح والإعانات الحكومية

تعتبر المنح والإعانات الحكومية آليات أساسية لتعزيز تكنولوجيات المناخ وتشجيع الابتكار، حيث تعمل هذه البرامج على تقليل المخاطر المالية، وتحفيز الاستثمار في القطاع الخاص والأكاديمي في البحث والتطوير، وتسريع نشر الحلول المستدامة.

وعلى مستوى العالم، نفذت الحكومات مبادرات مختلفة، لدعم التكنولوجيات المتعلقة بالمناخ. في الولايات المتحدة، قام مكتب كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة (EERE) ووكالة مشاريع البحوث المتقدمة للطاقة (ARPA-E) التابعة لوزارة الطاقة، بتوفير تمويل كبير لتطوير مجال الطاقة المتجددة وتخزينها وتحديث الشبكة. [60] وبالمثل، خصص برنامج أفق أوربا (Horizon Europe) التابع للاتحاد الأوروبي موارد كبيرة للمشاريع التي تقلل من انبعاثات غازات المسببة للاحتباس الحراري، وتعمل على تطوير التكنولوجيات المتعلقة بالمناخ، وتعزز التعاون عبر الحدود وعبر القطاعات. [61]

وعلى المستوى الإقليمي، أعطت الحكومات أيضًا الأولوية للمنح والإعانات لتعزيز تكنولوجيات المناخ. حيث أطلقت الإمارات العربية المتحدة صندوق ألتيرا للتمويل المناخي (ALTÉRRA) في عام 2024، وهي مبادرة بقيمة 30 مليار دولار تهدف إلى حشد 250 مليار دولار من الاستثمارات، بحلول عام 2030 لدعم التحولات العالمية في مجال الطاقة النظيفة. [62] كما استثمرت المملكة العربية السعودية، من خلال مبادرتها لرؤية 2030، بشكل كبير في مشاريع الطاقة المتجددة. إذ وقعت الشركة السعودية لشراء الطاقة مؤخرًا اتفاقيات بقيمة 12.3 مليار ريال (3.28 مليار دولار) لثلاثة مشاريع للطاقة الشمسية الكهروضوئية، بسعة إجمالية تبلغ 5.5 جيجاوات. [63]

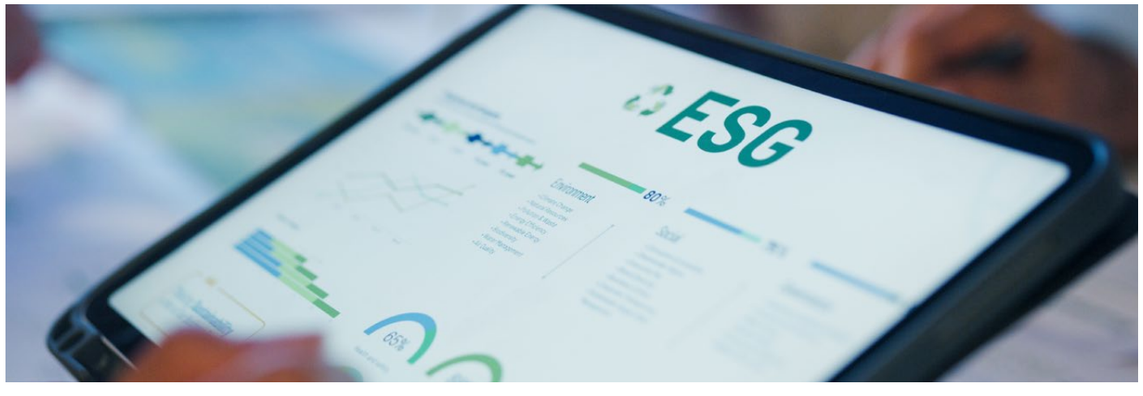
وعلى نحو مماثل، أظهرت قطر التزامها بالتكنولوجيا المتعلقة بالمناخ، من خلال المنح والإعانات الحكومية المختلفة. حيث يتعاون صندوق قطر الوطني لرعاية البحث العلمي، الذي يعمل تحت إشراف مجلس قطر للبحوث والتطوير والابتكار، مع وزارة البيئة والتغير المناخي، لإعطاء الأولوية للبحث والتطوير في عدة مجالات مثل إدارة الموارد المائية والطاقة المتجددة واحتجاز الكربون. وعلاوة على ذلك، تتضمن استراتيجية قطر الوطنية للبيئة والتغير المناخي أكثر من 35 مبادرة لتحقيق هدف الدولة، المتمثل في خفض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري بنسبة 25% بحلول عام 2030. وتشمل هذه المبادرات منحًا لدعم مشاريع الطاقة المتجددة وإعانات لتبني التكنولوجيا النظيفة. [64]

صناديق الثروة السيادية كممولين للابتكار المناخي

تتمتع صناديق الثروة السيادية بوضع مميز يسمح لها بدفع الابتكار المناخي نظرًا لآفاقها الاستثمارية طويلة الأجل ومواردها المالية الكبيرة. وعلى الصعيد العالمي، تدير صناديق الثروة السيادية ما يقرب من 15 تريليون دولار من الأصول، مع زيادة في الحصة الموجهة نحو المشاريع المستدامة. [65]

على الصعيد العالمي، يعتبر صندوق التقاعد الحكومي النرويجي، أحد أكبر صناديق الثروة السيادية في العالم، من الرواد في دمج اعتبارات المناخ في استراتيجيته الاستثمارية. حيث قام الصندوق بالانسحاب من الشركات التي تقوم بممارسات بيئية غير مستدامة، وزياد من استثماراته في مشاريع الطاقة المتجددة، بما يتماشى مع الأهداف العالمية للمناخ [66]. وعلى نحو مماثل، اتخذ صندوق الاستثمار الاستراتيجي الأيرلندي (ISIF) خطوات هامة نحو الاستثمار المستدام. ففي عام 2018، أقر البرلمان الأيرلندي تشريعات تلزم الصندوق بالتخلي عن استثماراته في الوقود الأحفوري، مما جعل أيرلندا أول دولة تلتزم بهذه الاستراتيجية الشاملة للتخلص من استثمارات الوقود الأحفوري. وتعكس هذه الخطوة اعترافاً متزايداً بالمخاطر المالية المرتبطة بالوقود الأحفوري والفرص التي توفرها الاستثمارات المستدام [67].

وعلى المستوى الإقليمي، يمتلك جهاز قطر للاستثمار، وهو واحد من أكبر صناديق الثروة السيادية على مستوى العالم، حيث تقدر قيمة محفظتها بنحو 510 مليار دولار [68]. وفي عام 2021، خصص الجهاز مليار دولار للتكنولوجيا الخضراء في المملكة المتحدة، مما ركز على اتباع نهج فعال في العمل المناخي [69].وبناءً على هذا الزخم، يمكن للهيئة تخصيص جزء من محفظتها لمبادرات المناخ المحلية، مثل تطوير الطاقة المتجددة والزراعة المستدامة ومشاريع الاقتصاد الدائري. ولن تعمل الاستثمارات المستهدفة في هذه المجالات على تعزيز الأهداف البيئية لقطر فحسب، بل ستخلق أيضًا فرصًا اقتصادية وتعزز القدرة على الصمود في مواجهة المخاطر المرتبطة بالمناخ.



[60] آر بي إيه-إي، "حول آر بي إيه-إي"، ARPA-E، About ARPA-E وزارة الطاقة الأمريكية، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025. https://arpa-e.energy.gov/about.

[61] المفوضية الأوروبية. "هورايزن أوروبا: برنامج البحث والابتكار التابع للاتحاد الأوروبي"، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025. https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/horizon-europe_en

[62] "الإمارات تطلق صندوق ALTERRA للمناخ بقيمة 250 مليار دولار لدفع الانتقال العالمي للطاقة النظيفة"، مايانس مدل إيست، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025. https://www.financemidleeast.com/financing/uae-launches-250-billion-alterra-climate-fund-to-drive-global-clean-energy-transition.

[63] "شركة procurement للطاقة السعودية توقع صفقات ثلاثة مشاريع شمسية"، رويترز، 27 يونيو 2024. https://www.reuters.com/business/energy/saudi-power-procurement-company-signs-deals-three-solar-projects-2024-06-27/.

[64] "دعوة لأبحاث تغير المناخ والبيئة (CCEC)"، مجلس قطر للبحث والتطوير والابتكار، تم الوصول إليها في 5 يناير 2025. https://qrdi.org.qa/en-us/Scientific-Research/Climate-Change-and-Environment-Call-(CCEC).

[65] سنيت ستريت جلوبال أدفايزرز، "اتجاهات الاستثمار لعام 2024 بين صناديق الثروة السيادية" (بوسطن: سنيت ستريت جلوبال أدفايزرز، 2024). https://www.ssga.com/library-content/assets/pdf/global/mas/2024/investment-trends-among-sovereign-wealth-funds.pdf

[66] كلية إمبريال كوليدج لندن، إدارة الأعمال، "كيف يمكن لصناديق الثروة السيادية أن تساهم في مكافحة تغير المناخ"، تم الوصول إليها في 27 ديسمبر 2024. https://www.imperial.ac.uk/business-school/ib-knowledge/finance/how-sovereign-wealth-funds-can-help-the-fight-against-climate-change/.

التحديات في ابتكار تكنولوجيا المناخ

إن الطريق إلى الابتكار المناخي الهادف محفوف بالتحديات التي تعيق تطوير التكنولوجيا الحيوية والعمل على توسيعها وتبنيها. وفي حين أن الحاجة الملحة لمواجهة تغير المناخ دفعت نحو استثمارات وأبحاث كبيرة، فإن الحواجز البنيوية والمالية والتنظيمية والمجتمعية لا تزال قائمة. وتخلق هذه العقبات، التي تفاقمت بسبب القدرات المتفاوتة دول الشمال والجنوب، بيئة مجزأة تصعب من الجهود الرامية إلى تحقيق أهداف المناخ العالمية.

التحديات المالية

تعتبر الحواجز المالية إحدى التحديات الأكثر أهمية في الابتكارات المتعلقة بالمناخ. إذ يتطلب تطوير نطاق التكنولوجيا الجديدة وتوسيعها استثمارات أولية كبيرة، والتي غالبًا ما ينظر إليها المستثمرون من القطاعين العام والخاص على أنها عالية المخاطر. حيث تعاني هذه المشاريع المناخية التي تقدم منتجات مادية بدلاً من الحلول الرقمية، مما يُعرف بـ «وادي الموت». [70] وهي مرحلة تمويلية يصعب خلالها تأمين الأموال اللازمة للانتقال من النموذج الأولي إلى الإنتاج القابل للتوسع. وتتمثل صعوبة هذه المرحلة في التكاليف المرتفعة في البداية والربحية غير المضمونة، ما يزيد من تعقيد عملية الحصول على التمويل اللازم.

تتجلى هذه الفجوة بشكل خاص في مناطق مثل أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، حيث لا يزال الوصول إلى رأس المال الاستثماري محدوداً، على الرغم من الفرص الضخمة في مجال تكنولوجيا المناخ [71]. حيث تواجه العديد من الشركات الناشئة في المنطقة صعوبات في توسيع نطاق الأعمال التي تعتمد على الأصول الثقيلة في مجال تكنولوجيا المناخ، وذلك بسبب المتطلبات الرأسمالية الكبيرة والجداول الزمنية الطويلة لتحقيق الربحية، ما يثني المستثمرين الذين اعتادوا على العوائد السريعة من المشاريع الرقمية. وعلى الرغم من وجود بعض التطورات الإيجابية، مثل شركة «إيكواتور» لرأس المال الاستثماري في تكنولوجيا المناخ التي حصلت مؤخراً على 40 مليون دولار لصندوقها المخصص لتكنولوجيا المناخ، وكذلك «بروبروكو»، الذراع التمويلية للقطاع الخاص في الوكالة الفرنسية للتنمية (AFD)، التي استثمرت 5 مليون دولار من خلال «فيسيا» FISEA +،[72] إلا أن هذه المبادرات تمثل خطوات أولية نحو معالجة فجوة التمويل بدلاً من سدها بشكل كامل. وتؤكد هذه الأمثلة على الحاجة الملحة للتدخلات المستهدفة لتمكين هذه المشاريع من الازدهار والمساهمة في جهود الاستدامة العالمية.

بالإضافة إلى ذلك، تزداد صعوبة التحديات المالية في المناطق التي تعاني من محدودية الأصول الشخصية وبرامج الدعم الحكومي المخصصة للمشاريع الناشئة. ففي كثير من الحالات، يكون الوصول إلى التمويل الأولي ورأس المال المغامر والتمويل الميسر محدودًا، مما يزيد من تعقيد عملية الابتكار. إذ تتفاقم هذه القيود المالية بفعل فترات الاسترداد الطويلة التي تتطلبها تكنولوجيا المناخ، مما يثني المستثمرين الذين يفضلون العوائد السريعة. ورغم أن آليات التمويل المختلط، مثل الشراكات بين القطاعين العام والخاص وأدوات تقاسم المخاطر، أظهرت بعض النجاح، إلا أنها لا تزال غير مستخدمة بشكل كافٍ، خاصة في البلدان ذات الدخل المنخفض.[73]

التحديات التنظيمية والسياسية

تخلق البيئات التنظيمية غير المتسقة وغير الواضحة حالة من عدم اليقين بالنسبة للمبتكرين والمستثمرين على حد سواء. فتطور السياسات بشكل سريع، والحوافز المتضاربة، وغياب الأنظمة والمعايير الموحدة، تجعل من الصعب على المبتكرين في مجال المناخ التفاعل بفعالية مع الأطر القانونية. فعلى سبيل المثال، يقوض دعم الوقود الأحفوري في العديد من المناطق، القدرة التنافسية لتقنيات الطاقة المتجددة، في حين أن تسعير الكربون غير الكافي لا يوفر الحوافز اللازمة لتشجيع الحلول منخفضة الكربون. [74]

إن عدم الاستقرار السياسي يعد أمرًا ضارًا بشكل خاص خلال مرحلة نشر الابتكارات المناخية، حيث تتطلب هذه المرحلة استثمارات ضخمة في البنية التحتية وقدرات التصنيع. إذ يواجه رواد الأعمال والممولون مخاطر كبيرة بسبب التغييرات في الرسوم الجمركية، وتأخيرات الترخيص، وعكس السياسات، ما يمكن أن يجعل المشاريع التي كانت قابلة للتنفيذ سابقًا غير مربحة. [75]

التحديات التقنية والتشغيلية

غالبًا ما يفرض توسيع نطاق تكنولوجيا المناخ تحديات تقنية وتشغيلية هائلة. حيث تعتمد العديد من الابتكارات على أنظمة معقدة تتطلب بنية تحتية متطورة وسلاسل توريد قوية وعمالة ماهرة - وهي الموارد التي غالبًا ما تكون نادرة في البلدان النامية. [76] على سبيل المثال، قد يعوق نشر أنظمة الطاقة المتجددة في المناطق النائية البنية التحتية غير الكافية للشبكة أو القيود اللوجستية. وعلى نحو مماثل، يتطلب تبني تكنولوجيا الزراعة الدقيقة مستوى من المعرفة الفنية التي قد لا تكون متاحة بسهولة في المناطق الريفية. [77]

وتتفاقم هذه العقبات بسبب محدودية الوصول إلى البيانات، وضعف حماية الملكية الفكرية، وعدم كفاية التعاون بين القطاعين العام والخاص. إذ يعيق الافتقار إلى نظام بيئي متطور للابتكار التقدم بشكل أكبر - بما في ذلك المسرعات والحاضنات ومؤسسات البحث - وخاصة في المناطق ذات مشاريع أعمال ريادية ناشئة.

[67] مدونات البنك الدولي، "صناديق الثروة السيادية: محفز لتمويل المناخ"، تم الوصول إليها في 27 ديسمبر 2024. https://blogs.worldbank.org/en/psd/sovereign-wealth-funds-catalyst-climate-finance.

[68] "أكبر صناديق الثروة السيادية"، الاستثمار على الويب، تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://investingintheweb.com/blog/largest-sovereign-wealth-funds.

[69] "قطر تستثمر 1.3 مليار دولار في تكنولوجيا المناخ البريطانية"، جلف بيزنس، 4 ديسمبر 2024. https://gulfbusiness.com/qatar-invest-1-3bn-in-britain-climatetech.

[70] "شرح: وادي الموت وتحديات توسيع تكنولوجيا المناخ"، منتدى ييل للطاقة النظيفة، 28 مارس 2022. https://cleanenergyforum.yale.edu/2022/03/28/explainer-the-valley-of-death-and-the-challenges-of-scaling-climate-tech.

[71] "زيادة الاستثمار في الشركات الناشئة في مجال تكنولوجيا المناخ في أفريقيا، ولكن التحديات لا تزال قائمة"، كليامت إنسايدر، 6 مايو 2024. https://climateinsider.com/2024/05/06/investment-for-african-climate-tech-startups-increases-but-challenges-remain.

[72] "إكواتور تحصل على 40 مليون دولار من الالتزامات لصندوق يستهدف الشركات الناشئة في تكنولوجيا المناخ في أفريقيا"، تك كرانش، 5 أبريل 2023. https://techcrunch.com/2023/04/05/equator-secures-40m-in-commitments-for-fund-targeting-climate-tech-startups-in-africa/.

[73] "البنك الدولي. برنامج تكنولوجيا المناخ: تصميم آلية تمويل مبتكرة للشركات الناشئة في تكنولوجيا المناخ (واشنطن العاصمة: البنك الدولي، 2017). https://documents1.worldbank.org/curated/en/381371506073998670/pdf/119909-BRI-climate-technology-program-in-brief-7-designing-an-innovative-financ.pdf

[74] المعهد الدولي للتنمية المستدامة، تأثير دعم الوقود الأحفوري على توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة (وينيبيغ، مانيتوبا: المعهد الدولي للتنمية

تحديات السوق والتبني

حتى في حالة تطوير التكنولوجيات بنجاح، فإن جاهزية السوق وقبول المستهلك يمكن أن يعوق تبنيها. إذ تتنافس التكنولوجيات المناخية في كثير من الأحيان في أسواق السلع الأساسية، مثل الطاقة والمياه، حيث لا يتم تسعير فوائدها البيئية بشكل مناسب. وهذا التسعير المنخفض يقلل من القيمة المتصورة للابتكارات، مما يؤثر على نموها وإمكانات العائد منها. [78]

بالإضافة إلى ذلك، فإن مقاومة المجتمع للتغيير- الناتجة عن القيم والمعايير والمصالح الاقتصادية الراسخة- قد تعوق تبني الحلول الجديدة. فعلى سبيل المثال، يتطلب التحول من الأنظمة المعتمدة على الوقود الأحفوري إلى أنظمة الطاقة المتجددة ضرورة اكتساب ثقة الجمهور وقبوله ثقافيًا، وليس فقط إمكانية التنفيذ من الناحية التقنية فحسب. كما توضح الأمثلة التاريخية، مثل انتشار السيارات على نطاق واسع، أن التغلب على هذه العوائق يتطلب مزيجًا من تخفيض التكاليف، وتطوير البنية التحتية، ووضع رؤية استراتيجية واضحة من قبل صناع القرار وقادة الصناعة. [79]

التفاوتات بين عالم الشمال وعالم الجنوب

تختلف القدرة على الابتكار وتبني تكنولوجيا المناخ بشكل كبير بين عالم الشمال وعالم الجنوب. وفي حين تستفيد الاقتصادات المتقدمة من أنظمة الابتكار الناضجة والأسواق المالية القوية والدعم الحكومي الواسع النطاق، تواجه الدول النامية تحديات أكثر وضوحا [80]. حيث يعيق الوعي المحدود بمخاطر المناخ والبنية الأساسية غير الكافية والقدرات المؤسسية الضعيفة، قدرة هذه المناطق على ابتكار واختبار وتوسيع نطاق الحلول المحلية.

على سبيل المثال، تلقت أفريقيا 2٪ فقط من الاستثمار العالمي في الطاقة المتجددة بين عامي 2019 و 2022، على الرغم من مواردها الضخمة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح [81]. وعلى نحو مماثل، فإن الافتقار إلى مسرعات وحاضنات خاصة بالمناخ في البلدان النامية يحد من قدرة الشركات الناشئة على الوصول إلى الخبرة الفنية والإرشاد والتمويل. [82] وتؤكد هذه التفاوتات على الحاجة إلى الدعم الدولي المستهدف واتفاقيات نقل التكنولوجيا ومبادرات بناء القدرات.

ويفرض تنفيذ حلول تكنولوجيا المناخ تحديات مالية وفنية وتنظيمية كبيرة، وخاصة في الجنوب العالمي، الذي يتحمل العبء الأكبر من تأثيرات تغير المناخ. ويتطلب مواجهة هذه الحواجز استجابة جماعية وعاجلة من أصحاب المصلحة العالميين. إذ تستدعي التداعيات الخطيرة لتغير المناخ، في القرن الحادي والعشرين، اتخاذ إجراءات فورية ومنسقة لتسخير إمكانات تكنولوجيا المناخ. وعلى الرغم من هذه التحديات، فهناك فرص عملية لخلق مستقبل أكثر استدامة.

المستدامة. 2017). https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-fossil-fuel-subsidies-renewable-electricity-generation.pdf

[75] "التحول العالمي إلى الطاقة المتجددة تباطأ في 2023، حسبما تقول مجموعة السياسات"، رويترز، 30 مايو 2024. https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/global-shift-renewables-slowed-2023-policy-group-says-2024-05-30/.

[76] مجموعة بوسطن للاستشارة. "كيف يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد في مكافحة تغير المناخ"، ديسمبر 2022. https://www.bcg.com/publications/2022/how-ai-can-help-climate-change

[77] مركز كوبنهاغن للتغير المناخ التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة. "تجاوز الحواجز أمام نقل وتوزيع تكنولوجيا المناخ: الطبعة الثانية" (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2023). https://tech-action.unepccc.org/publications/overcoming-barriers-to-the-transfer-and-diffusion-of-climate-technologies-second-edition/.

[78] راشيتا ميشرا وبرديب كومار. "التنمية الحضرية المستدامة: تقييم دور المدن الذكية"، في المدن المستقبلية والاستدامة البيئية: التحديات والآفاق، تحرير بي. سينغ وجي. آر. أهوجا ed. P. Singh and J. R. Ahuja (سبرينجر، 2024)، 315-295. https://link.springer.com/

الفرص والتوصيات

[79] وي زانغ ولينغ تشينغ. Wei Zhang and Ling Cheng "الحلول المدفوعة بالذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة المتجددة: في الذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة المتجددة: التقدم والتطبيقات، تحرير ل. تشاو و Q. ليو (سبرينجر، 2023)، 1178-1157. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-46282-5_13.

[80] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. "النهج المبتكرة لتمويل المناخ: دروس من الميدان" (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2023). https://content-ext.undp.org/aplaws_assets/2512314/2512314.pdf.

[81] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. "تحليل سوق الطاقة المتجددة: أفريقيا ومناطقها" (أبوظبي: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، يناير 2022). https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Renewable-Energy-Market-Analysis-Africa

[82] اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. "آلية التكنولوجيا: الحاضنات والمعجلات"، UNFCCC. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/ttclear/incubators

الاستفادة من الذكاء الاصطناعي للدفع بعجلة العمل المناخي

يعمل الذكاء الاصطناعي على إحداث ثورة في العمل المناخي من خلال تعزيز التحليلات التنبؤية في إدارة الطلب على الطاقة، وتحسين شبكات الطاقة المتجددة، وتقليل النفايات. ويمكن للنماذج التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي التنبؤ بأنماط استهلاك الطاقة، مما يمكن المرافق من موازنة العرض والطلب بكفاءة أكبر. إذ يعد هذا التحسين أمرًا بالغ الأهمية لدمج مصادر الطاقة المتجددة، والتي غالبًا ما تكون متغيرة وغير متوقعة. فعلى سبيل المثال، يمكن للذكاء الاصطناعي التنبؤ بالتقلبات في إنتاج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، مما يسمح لمشغلي الشبكة بالتكيف في الوقت الفعلي والحفاظ على الاستقرار. بالإضافة إلى ذلك، يمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحديد التذبذبات في توزيع الطاقة، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في هدر الطاقة وانبعاثات الكربون. [83] في حالة الاستعداد للكوارث، يعزز الذكاء الاصطناعي تقييمات المخاطر في الوقت الفعلي وأنظمة الإنذار المبكر للأحداث الجوية المتطرفة. حيث تحلل نماذج التعلم الآلي مجموعات البيانات الضخمة، بما في ذلك أنماط الطقس ووقوع الكوارث التاريخية، للتنبؤ بأحداث مثل الفيضانات والأعاصير وحرائق الغابات بدقة أكبر. وتوفر أنظمة الإنذار المبكر المدعومة بالذكاء الاصطناعي تنبيهات في الوقت المناسب، مما يمكن المجتمعات والسلطات من تنفيذ تدابير استباقية، وبالتالي التخفيف من الأضرار المحتملة وإنقاذ الأرواح. فعلى سبيل المثال، تم استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين أنظمة الإنذار المبكر بالفيضانات، من خلال الجمع بين نماذج التعلم العميق والمحاكاة القائمة على العمليات، مما يعزز دقة التنبؤ في المناطق المصيبة بالكوارث. [84]

ويلعب الذكاء الاصطناعي أيضًا دورًا محوريًا في الزراعة الدقيقة، حيث يساعد المزارعين في تقليل استخدام المياه والأسمدة مع تحسين غلة المحاصيل والتكيف مع الظروف المناخية المتغيرة. إذ تقدم أنظمة الذكاء الاصطناعي توصيات بشأن جداول الري والتسميد المثالية، من خلال تحليل البيانات المتعلقة بصحة التربة وتوقعات الطقس وأداء المحاصيل. كما تقلل هذه الدقة من استهلاك الموارد والتأثير البيئي. وعلى سبيل المثال، يمكن لأنظمة الري الدقيقة المدعومة بالذكاء الاصطناعي مراقبة مستويات رطوبة التربة في الوقت الفعلي والأحوال الجوية لتحسين توزيع المياه، مما يؤدي إلى توفير كبير في المياه وتعزيز إنتاجية المحاصيل. [85]

بالنسبة لقطر، يمثل تبني تكنولوجيا المناخ التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي، فرصة كبيرة لتعزيز أهداف الاستدامة. حيث يمكن لقطر تعزيز كفاءة شبكة الكهرباء، ودمج مصادر الطاقة المتجددة بشكل فعال، والحد من انبعاثات الكربون، من خلال الاستثمار في الذكاء الاصطناعي لإدارة الطاقة. حيث يمكن أن يعزز تنفيذ أنظمة الإنذار المبكر التي تعمل بالذكاء الاصطناعي من الاستعداد للكوارث ضد الأحداث الجوية الشديدة الناجمة عن تغير المناخ. وعلاوة على ذلك، فإن تبني الذكاء الاصطناعي في الزراعة الدقيقة يمكن أن يحسن استخدام المياه - وهو اعتبار بالغ الأهمية في المناطق القاحلة - ويضمن الأمن الغذائي، ويدعم ممارسات الزراعة المستدامة. وسيؤدي التعاون مع الشركاء الدوليين في تطوير وتطبيق هذه التقنيات المدعومة بالذكاء الاصطناعي إلى تعزيز مكانة قطر، كرائد في مجال الابتكار في العمل المناخي، وتعزيز القدرة على الصمود أمام التغيرات المناخية.

بناء اقتصادات دائرية من خلال تعزيز اللوائح التنظيمية

يتطلب الانتقال إلى اقتصاد دائري وضع لوائح تنظيمية قوية تعزز إدارة الموارد المستدامة، والحد من النفايات، والاستخدام المستمر للمواد. وعلى الصعيد العالمي، نفذت دول مثل اليابان والدول الموجودة في الاتحاد الأوروبي تشريعات شاملة للاقتصاد الدائري، تشمل تفويضات إعادة التدوير، وبروتوكولات إدارة النفايات، ومعايير تصميم المنتجات التي تهدف إلى تعزيز المتانة والقابلية لإعادة التدوير. [86] وقد لعبت مثل هذه اللوائح دورًا فعالاً في تقليل التأثير البيئي وتعزيز النمو الاقتصادي من خلال الكفاءة في استخدام الموارد.

في الاتحاد الأوروبي، تعمل خطة عمل الاقتصاد الدائري كإطار شامل لتعزيز تصميم المنتجات المستدامة وإعادة التدوير واستخدام المواد الخام الثانوية. [87] حيث تؤكد هذه الخطة على أهمية طول حياة المنتج وقابليته للإصلاح وإعادة التدوير، ووضع معايير بيئية صارمة للمنتج للدفع بعجلة التحول نحو الاقتصاد الدائري.

لقد أدى تنفيذ مثل هذه التدابير التنظيمية إلى تقدم كبير في الحد من النفايات واعتماد الكفاءة في استخدام الموارد. فعلى سبيل المثال، يكشف تقرير فجوة النظام الدائري لعام 2023 أن الاقتصاد العالمي دائري بنسبة 7.2٪ فقط. [88] ومن خلال تنفيذ 16 حلًا دائريًا، يمكن للاقتصاد العالمي تقليل استخراج المواد بمقدار ثلث احتياجاته، وبالتالي سيسهم هذا في إعادة التوازن للحدود البيئية الخمسة التي تم تجاوزها، ويسهم في التقليل من الاحتباس الحراري ليبقى ضمن درجتين مئويتين [89]. وتؤكد هذه النتائج على إمكانات الأطر التنظيمية القوية في دفع التحول نحو الاقتصاد الدائري.

بالنسبة لقطر، فإن تبني الاقتصاد الدائري يمثل فرصة كبيرة لتنويع اقتصادها وتحقيق النمو المستدام. ولتحقيق هذه الإمكانات بالكامل، يمكن لوزارة البيئة والتغير المناخي، بالتعاون مع وزارة التجارة والصناعة وأصحاب المصلحة الرئيسيين في القطاع الخاص، أن تقود تطوير اطار الاقتصاد الدائري الوطني. والذي من شأن أن يعطي الأولوية للقطاعات المستهدفة، مثل البناء والبلاستيك والزراعة والمنسوجات - وهي الصناعات ذات النفايات المادية العالية والتأثير البيئي. يجب أن تحدد الاستراتيجية خطوات عملية محددة، بما في ذلك تحفيز التصميم البيئي في تصنيع المنتجات، وتنفيذ برامج المسؤولية الموسعة للمنتجين لإدارة النفايات بعد الاستهلاك، ووضع معايير وطنية لإعادة التدوير وإعادة الاستخدام. وعلاوة على ذلك، يمكن للمبادرة أن تركز على الاستفادة من التكنولوجيا الرقمية مثل سلاسل الكتل لتتبع النفايات والذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة الموارد. وينبغي أن يشمل هذا الجهد أيضًا إنشاء توصيات سياسية قائمة على البيانات لدعم عملية صنع القرار وإنشاء مركز ابتكار الاقتصاد الدائري. ومن شأن مثل هذا المركز أن يعزز البحث والمشاريع التجريبية والشراكات بين القطاعين العام والخاص، مما يحفز الابتكار في الممارسات المستدامة. ومن خلال تنفيذ اللوائح الشاملة وتعزيز التعاون بين القطاعات، يمكن لقطر أن تقلل بشكل كبير من بصمتها البيئية، وتخلق فرص عمل خضراء، وتسرّع تقدمها نحو أهدافها البيئية بموجب استراتيجيتها للبيئة وتغير المناخ.

[83] وزارة الطاقة الأمريكية. "الذكاء الاصطناعي والطاقة: تحويل مستقبل الطاقة بأستخدام الذكاء الاصطناعي". مكتب تجارب الطاقة النظيفة. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www.energy.gov/cet/articles/ai-energy?utm_source.

[84] جابرييل كويزادا، ماريا دي لوس أنجليس روخاس-كيرو، وريكاردو إ. كابريرا-كابريرا. Gabriel Quesada, Maria De Los Angeles Rojas-Cruz, and Ricardo E. Cabrera-Cabrera "تقييم المخاطر الطبيعية والتهشاشة الاجتماعية: نهج شامل لإدارة مخاطر الكوارث". المخاطر الطبيعية 119، العدد 1 (2024): 95-69. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-024-06957-8

[85] "الزراعة الذهيفة، الذكاء الاصطناعي، وكفاءة المياه: مستقبل الزراعة". مركز HPA. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www.hpacenter.org/tr/article/1561/precision_agriculture_ai_and_water_efficiency:_the_future_of_farming.

[86] "تشريعات الاقتصاد الدائري: التجربة الدولية". رابطة التعبئة القابلة لإعادة الاستخدام. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www.reusablepackaging.org/insights/circular-economy-legislation-the-international-experience/examples.

[87] "أمثلة على الاقتصاد الدائري". إنفيروكلوك. EnviroClock تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://enviroclock.com/circular-economy-examples.

[88] "الفجوة الدائرية 2023". تم الوصول إليها في 27 ديسمبر 2024. https://www.circularity-gap.world/2023

تعزيز التعاون الدولي من أجل تبادل المعرفة

يشكل التعاون الدولي أهمية محورية في مواجهة تغير المناخ، لأنه يتيح تجميع الموارد والخبرات والتكنولوجيا لتطوير حلول فعّالة. إذ يوفر إنشاء مراكز ابتكار عالمية، مثل مركز الابتكار العالمي لتغير المناخ التابع للأمم المتحدة، منصات لصناع القرار والممولين والشركات والمجتمع المدني للتعاون في الابتكار ومواجهة المطالب غير الملباة لحلول تغير المناخ [90]. وتسهل هذه المراكز تطوير ونشر الابتكارات التحويلية المصممة خصيصًا للتحديات المناخية المحلية، وتعزيز النهج الشامل للاستدامة.

ويعد تشجيع الشراكات الثنائية والمتعددة الأطراف لمشاريع البحث والتطوير المشتركة أمر ضروريا، لتعزيز الطاقة المتجددة وإدارة الموارد المائية وتقنيات الحد من الانبعاثات. إذ تجسد المبادرات، مثل مهمة الابتكار، الجهود العالمية لتسريع الابتكار في مجال الطاقة النظيفة العامة والخاصة، بهدف جعل الطاقة النظيفة في متناول الجميع وخلق فرص عمل مراعية للبيئة [91]. حيث تعزز مثل هذه التعاونات تبادل المعرفة والموارد، مما يؤدي إلى حلول مناخية أكثر كفاءة وفعالية.

ويضمن دمج آليات الإبلاغ ومراقبة التطور الاستخدام الشفاف والفعال للأموال المشتركة. وتسهل المنصات المفتوحة، مثل ويبو غرين (Wipo Green)، تبادل أفضل الممارسات والبيانات بشأن حلول تغير المناخ عابرة للحدود، وتعزيز الشفافية وتمكين أصحاب المصلحة من التعلم من التطبيقات الناجحة. بالإضافة إلى ذلك، فإن تعزيز التحالفات الإقليمية يسمح للدول بتجميع الموارد والخبرات لمواجهة التحديات البيئية المشتركة، مما يؤدي إلى اتخاذ إجراءات أكثر تنسيقًا وتأثيرًا. [92]

بالنسبة لقطر، تقدم هذه التعاونات الدولية فرصًا كبيرة. ويتجلى التزام الدولة بالاستدامة بشكل أكبر من خلال إطلاق استراتيجية البيئة وتغير المناخ 2024-2030 من قبل وزارة البيئة والتغير المناخي في نوفمبر 2024. حيث تتوافق هذه الاستراتيجية مع رؤية قطر الوطنية 2030 وتتضمن أهدافًا رئيسية مثل خفض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري بنسبة 25٪ بحلول عام 2030، واستعادة 30٪ من الموائل الطبيعية، وحماية 30٪ من الأراضي والمناطق الساحلية، والحفاظ على 17 نوعًا من الكائنات الحية المحلية والمهددة بالانقراض [93]. وتدعم هذه المبادرات أربعة ركائز استراتيجية: الاستدامة البيئية ومواجهة تغير المناخ، والابتكار والتحول الرقمي، والحوكمة، والتنمية المؤسسية المستدامة. حيث تشمل هذه الاستراتيجية أكثر من 50 مبادرة و100 مشروع، مما يعكس التزام قطر بدمج الابتكار والتعاون الدولي في أجندتها البيئية.

ومن خلال المشاركة النشطة في مراكز الابتكار العالمية وتكوين شراكات استراتيجية، يمكن لقطر الاستفادة من الخبرة الدولية لتعزيز قطاع الطاقة المتجددة، وتحسين ممارسات إدارة الموارد المائية، وتحقيق أهداف خفض الانبعاثات. إذ لا تقتصر المشاركة في هذه الجهود التعاونية في المساهمة في العمل المناخي العالمي فحسب، بل ستدعم أيضًا رؤية قطر لمستقبل مستدام ومرن.

تعزيز التعاون الدولي من أجل تبادل المعرفة

يعد تحفيز التمويل المناخي أمرًا بالغ الأهمية، لتمكين الدول النامية من مواجهة تحديات تغير المناخ بفعالية، والانتقال إلى اقتصادات منخفضة الكربون. وفي مؤتمر الأطراف (COP29) الذي عقد في باكو، أذربيجان، حيث تم تحقيق خطوة هامة من خلال الاتفاق على تخصيص مبلغ لا يقل عن 300 مليار دولار سنويًا، بحلول عام 2035، وهو ما يمثل ثلاثة أضعاف الهدف السابق. وسيتم تخصيص هذه الأموال لثلاث مجالات حيوية: التخفيف، الذي يدعم الجهود الرامية إلى تقليل انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري من خلال مشاريع الطاقة المتجددة، وقياسات كفاءة الطاقة، وأنظمة النقل المستدامة؛ والتكيف، الذي يشمل تعزيز مرونة البنية التحتية، والتأهب للكوارث، والمبادرات المجتمعية؛ والخسائر والأضرار، التي تقدم الدعم المالي للتعافي وإعادة البناء بعد التأثيرات المناخية التي لا يمكن تداركها [94]. ويهدف هذا الالتزام إلى توفير الموارد اللازمة للدول النامية، من أجل تقليل الانبعاثات وإدارة آثار تغير المناخ. [95]

وفي حين تستمر التحديات في ضمان التوزيع العادل وإمكانية الوصول إلى أموال المناخ، فإن تمويل المناخ لديه القدرة على تمكين الاقتصادات النامية في الجنوب العالمي، وتمكينها من تنفيذ ابتكارات المناخ والانتقال إلى مسارات منخفضة الكربون. ومن خلال الاستفادة من هذه الأموال، يمكن للدول أن تعمل على تحقيق التكافؤ مع الدول المتقدمة في مجال المرونة المناخية والتنمية المستدامة. ويمكن النظر في آليات التمويل المبتكرة مثل مقايضة الديون مقابل مشاريع تهدف إلى مواجهة تغير المناخ. حيث تتيح هذه الأدوات للدول إعادة توجيه مدفوعات الديون نحو تمويل المشاريع البيئية والمناخية، مما يعزز الآليات الحالية لدعم تمويل جهود التصدي لتغير المناخ. ويتطلب توسيع نطاق هذه الآليات إنشاء إطار دولي وهيئة تنسيق، لضمان الفعالية والتوزيع العادل. [96]

لقد أظهرت قطر نهجا استباقيا للتمويل المستدام، حيث أعلن مركز قطر للمال في يناير/كانون الثاني 2023 عن خطة لتعبئة 75 مليار دولار من الاستثمارات ومبادرات التمويل المستدام. [97] ولتعزيز دورها في تمويل المناخ العالمي، يمكن لقطر أن تفكر في إنشاء إطار تمويل سيادي أخضر، على غرار تلك التي تنفذها دول أخرى، لتسهيل إصدار السندات الخضراء والصكوك. ولن يؤدي هذا إلى تنويع مصادر التمويل للمشاريع المستدامة المحلية فحسب، بل سيضع قطر أيضًا في مكانة إقليمية رائدة في مجال التمويل الأخضر، وجذب المستثمرين الدوليين الباحثين عن فرص استثمارية مسؤولة بيئيًا.

[89] المنتدى الاقتصادي العالمي. "9 أمثلة على تسريع الاقتصاد الدائري للانتقال". المنتدى الاقتصادي العالمي. مارس 2023. https://www.weforum.org/stories/2023/03/9-examples-circular-economy-accelerating-transition/.

[90] اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. "مركز الابتكار العالمي لتغير المناخ التابع للأمم المتحدة". UNFCCC. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/topics/un-climate-change-global-innovation-hub.

[91] اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. "الابتكار في المهمة - الطاقة النظيفة". UNFCCC. 30 نوفمبر 2015. https://unfccc.int/news/mission-innovation-clean-energy.

[92] المنظمة العالمية للملكية الفكرية. "WIPO GREEN – السوق للتكنولوجيا المستدامة". تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www3.wipo.int/wipogreen/en/.

[93] وزارة البيئة وتغير المناخ. قطر. "وزارة البيئة وتغير المناخ تطلق استراتيجيتها 2030-2024". تم الوصول إليها في 27 ديسمبر 2024. https://www.gco.gov.qa/en/media-centre/top-news/ministry-of-environment-and-climate-change-launches-2024-2030-strategy/

[94] اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. "مؤتمر الأطراف 29 يتفق على معالجة التمويل للدول النامية، وحماية الأرواح وسبل العيش". تم الوصول إليها في 27 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/news/cop29-un-climate-conference-agrees-to-triple-finance-to-developing-countries-

تسريع نشر احتجاز الكربون وتخزينه

يعتبر تسريع نشر احتجاز الكربون وتخزينه أمرا ضروريا، للتخفيف من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، وخاصة في القطاعات التي يصعب إزالة الكربون منها مثل الصلب والأسمنت والبتروكيماويات. إذ يمكن لدمج التكنولوجيا المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا النانو أن يعزز كفاءة وفعالية أنظمة احتجاز الكربون وتخزينه من حيث التكلفة. فعلى سبيل المثال، أدى البحث القائم على الذكاء الاصطناعي إلى اكتشاف مواد جديدة لاحتجاز الكربون، وتحسين كفاءة الالتقاط. [98]

يعد إنشاء آليات تمويل دولية، بما في ذلك الإعانات والائتمانات الضريبية، أمرا بالغ الأهمية لتشجيع اعتماد تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى العالم. ففي الولايات المتحدة، يعمل قانون خفض التضخم لعام 2022 على تحديث قانون الائتمان الضريبي، لتشجيع استخدام هذه التكنولوجيا، وتوفير ما يصل إلى 85 دولارًا للطن لاحتجاز الكربون وتخزينه في التكوينات الجيولوجية المالحة. [99] وفي السياق ذاته، حصلت أول منشأة لتخزين الكربون قابلة للتطبيق تجاريًا في المملكة المتحدة، بقيادة شركة بريتيش بتروليوم وإكوينور (British Petroleum and Equinor) ، على الموافقة، مما يمثل خطوة مهمة نحو تحقيق صافي انبعاثات صفرية. [100]

يعد تعزيز برامج البحث والتطوير التعاونية أمرا حيويا، لتطوير تكنولوجيا احتجاز الكربون وتخزينه. ويمكن للشراكات الدولية أن تدفع بعجلة الابتكار وتسرع من تبني حلول لمواجهة تغير المناخ. على سبيل المثال، تؤكد وكالة الطاقة الدولية أن النشر الناجح لاحتجاز الكربون وتخزينه يعتمد بشكل حاسم على الدعم السياسي الشامل والتعاون الدولي. [101]

وتتمتع قطر بفرصة تعزيز مبادرات احتجاز الكربون وتخزينه من خلال الاستثمار في التكنولوجيا المتقدمة وتوسيع التعاون الدولي. ومن خلال دمج الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا النانو في هذه الأنظمة، يمكن لقطر تحسين الكفاءة والفعالية من حيث التكلفة، وترسيخ مكانتها كرائدة في حلول إدارة الكربون المبتكرة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الانضمام إلى منصات عالمية مثل معهد احتجاز الكربون وتخزينه العالمي، من شأنه أن يسهل تبادل المعرفة والوصول إلى أفضل الممارسات، مما يسرع من نشر مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق تجاري واسع داخل البلاد.

[98] وكالة الطاقة الدولية. استراتيجية سياسة لاحتجاز وتخزين الكربون (باريس: وكالة الطاقة الدولية، 2024). https://www.iea.org/reports/a-policy-strategy-for-carbon-capture-and-storage.
[99] مهمة الهواء النظيف، ورقة حقائق احتجاز الكربون في قانون خفض التضخم، 16 فبراير 2023. https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2023/02/16093309/ira-carbon-capture-fact-sheet.pdf.
[100] جوناثان أموس، Jonathan Amos "أول خطة لتخزين الكربون القابلة للتطبيق تجاريًا في المملكة المتحدة تحصل على الضوء الأخضر"، ذا تايمز، 15 أكتوبر 2024. https://www.thetimes.co.uk/article/first-commercially-viable-uk-carbon-storage-scheme-gets-green-light-2dtx2jn6k.
[101] وكالة الطاقة الدولية. استراتيجية سياسة لاحتجاز وتخزين الكربون (باريس: وكالة الطاقة الدولية، 2024). https://www.iea.org/reports/a-policy-strategy-for-carbon-capture-and-storage.

الخلاصة

تتطلب مواجهة تحديات تغير المناخ استراتيجيات مبتكرة ومحلية وتعاونية، لتحفيز الحلول المؤثرة. إذ أن التزام قطر بالمسؤولية البيئية والتنمية المستدامة، كما هو موضح في رؤيتها الوطنية ٢٠٣٠، يُظهر تقدماً كبيراً في الابتكار المناخي، من خلال مبادرات مثل احتجاز الكربون وتخزينه والتبريد المركزي. ومن خلال الاستفادة من التكنولوجيا الناشئة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وطاقة الهيدروجين، إلى جانب تعزيز الشراكات الدولية وتعزيز تمويل المناخ، حيث تمتلك قطر القدرة على تعزيز مساهماتها في العمل المناخي العالمي. توضح الحلول المحلية، مثل التبريد المركزي والزراعة الدقيقة، قدرة قطر على تكييف التطورات العالمية مع السياقات الإقليمية بشكل فعال. ومن خلال تعزيز الأطر التنظيمية، وتوسيع نطاق الممارسات المستدامة، والاستثمار في مراكز الابتكار التعاونية، يمكن لقطر الاستمرار في دفع التغيير النظامي مع تحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي والمسؤولية البيئية. ولا تقتصر هذه الاستراتيجيات على التركيز على الدور المتنامي لقطر في جهود الاستدامة العالمية فحسب، بل توفر أيضًا رؤى قيّمة لمواجهة التحديات الفريدة للمناطق الحارة والجافة، والمساهمة بشكل هادف في حلول المناخ العالمية.

[96] ديفيد واسكو وآخرون، "النتائج الرئيسية من COP29: تحليل الهدف العالمي الجديد للتمويل المناخي وما بعده"، معهد الموارد العالمي، 27 نوفمبر 2024. https://www.wri.org/insights/cop29-outcomes-next-steps.
[97] كاثلين جانتي وآخرون، Cathleen Jeanty "اقتراح سياسة التمويل: استراتيجية تمويل الانتقال العادل، مفاتيح المناخ مقابل الديون، الرسوم الجمركية على الكربون، والتمويل المختلط"، المنتدى الأطلسي، 18 أكتوبر 2023. https://www.atlantic-forum.com/our-views/2970mkzg5096q49ydx6vzdmeldbxnv.
منتى إبراهيم، "البنوك الخضراء: قطر تستهدف استثمار 75 مليار دولار في التمويل المستدام في 2023"، دوا نيوز، 24 يناير 2023. https://dohanews.co/green-banking-qatar-eyes-75bn-investment-in-sustainable-finance-in-2023/.

إشادة

تود وزارة البيئة والتغير المناخي و"إرثنا" أن تشكر السفارة الألمانية في الدوحة، ومكتب الصناعة والتجارة الألماني في الدوحة، والسفارة الألمانية على شراكتهم في المساعدة على تحقيق حوار قطر الوطني حول تغيير المناخ لعام 2024 بنجاح.

شكر خاص لبنك قطر الوطني على شراكتهم الاستراتيجية الممتازة، وشركة "دي اتش إل" على شراكتهم اللوجستية، ومؤسسة العطية لدورها كشريك معرفي. وأخيرًا، تود "إرثنا" أن تشكر منظمي الحدث، والمتطوعين، والمتدربين، والمشرفين الذين ساهموا في نجاح هذا العام.

أخيرًا، نشكر فريق ستراتيجي هب على مساهماتهم الكبيرة في تطوير هذا التقرير، كما نشكر إرثنا وقيادتها على دعمهم.

مراجع

جينيفر وال: «ما هو تغير المناخ؟» ناسا. براين دنبار، 13 مايو 2015. http://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-climate-change-k4.html.

تغير المناخ: واسع الانتشار، سريع، ومتزايد – الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ – IPCC». تم الوصول إليها في 26 أكتوبر 2021، https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/.

غلف تايمز. «إطلاق ‹المدينة الذكية ذات الروح› في مشيرب»، 22 ديسمبر 2020. https://gulf-times.com/story/680894.

هيل، أليس. «عصر الكوارث المناخية هنا: الاستعداد لمستقبل من الطقس المتطرف»، 25 أغسطس 2023. https://www.foreignaffairs.com/world/age-climate-disaster-here-extreme-weather-alice-hill.

صحيفة الجزيرة. «دول الخليج تستثمر بشكل كبير في البنية التحتية لتقنيات احتجاز الكربون»، 15 أبريل 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/15/04/2024/gcc-investing-big-in-infrastructure-for-carbon-capture-technologies.

أرنود، جوليان. «استغلال الذكاء الاصطناعي، التعلم الآلي، والتوائم الرقمية لإدارة الموارد المائية المستدامة.» مدونة شنايدر إلكتريك، 24 سبتمبر 2024. https://blog.se.com/digital-transformation/2024/09/24/leveraging-ai-for-sustainable-water-management/.

بيكر، كلوديا، كونيغشتاين، وإيشبورن. «خفض استخدام مركبات الفلورالهيدروكربون - تنفيذ تعديل كيغالي وما بعده»، غير محدد.

محمود، مو، براغون تشودري، رحبار ياسين، محمودول حسن، تنفير أحمد، وناهيد-أور-رحمن تشودري. «آثار الرقمنة على الشبكات الذكية، والطاقة المتجددة، واستجابة الطلب: مراجعة محدثة للتطبيقات الحالية.» تحويل الطاقة والإدارة: 1) 24 X أكتوبر 2024): 100790. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100790.

مظهر، تحسين، حافظ محمد عرفان، إنياياتول حق، إنام الله، مديحة أشرف، تمارا الشلول، يزيد ياسين غادي، عمران، وداليا إ. الكامشوشي. «تحليل التحديات والحلول لتقنية الإنترنت للأشياء في الشبكات الذكية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي: مراجعة.» الإلكترونيات 12، العدد 1 (يناير 2023): 242. https://doi.org/10.3390/electronics12010242.

تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي تحدث ثورة في التخفيف من تغير المناخ | أبين». تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024، https://www.appen.com/blog/how-ai-technology-is-revolutionizing-climate-change-mitigation/?.

دراسة 100% كهرباء نظيفة بحلول 2035. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024، https://www.nrel.gov/analysis/100-percent-clean-electricity-by-2035-study.html.

اتجاهات تكنولوجيا المناخ: التنقل عبر مستقبل الابتكار البيئي | فايو». تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024، https://www.vaayu.tech/insights/climate-tech-trends.

إعلان نوايا COP28 - الهيدروجين. تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024، https://www.cop28.com/en/cop28-uae-declaration-on-hydrogen-and-derivatives.

كيف يمكن للتكنولوجيا المساعدة في مواجهة تغير المناخ | اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)». تم الوصول إليها في 25 ديسمبر 2024، https://unfccc.int/news/how-technology-can-help-fight-climate-change?.

الوكالة الدولية للطاقة (IEA). «احتجاز واستخدام وتخزين الكربون - نظام الطاقة.» تم الوصول إليه في 25 ديسمبر 2024، https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage.

المساهمات المحددة وطنياً (NDCs) | اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)». تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024، https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs.

نواغو، كولينس ن، شيكا أوليفر أوجا، دارامي في. في. كالون، وفيكتور س. إيجبوديون. «دمج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في شبكة الكهرباء لتحسين وصول الطاقة.» الموارد غير التقليدية 5 (1 يناير 2025): 100129. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2024.100129.

بوياموزي، موكيلا، بالاسوبرايمان موروجيسان، نارايانامورثي راجامانيكام، محمد شرفوزمان، وياسر أبو المجد. «الإنترنت للأشياء—حل واعد لإدارة الطاقة في المباني الذكية: مراجعة منهجية، تطبيقات، عوائق، وآفاق المستقبل.» المباني 14، العدد 11 (نوفمبر 2024): 3446. https://doi.org/10.3390/buildings14113446.

نجاحات قطرية وألمانية في الاستدامة البيئية حوار قطر الوطني حول تغير المناخ 2024.»

تقليل انبعاثات غازات الدفيئة وتكاليف الطاقة لمبناك باستخدام الذكاء الاصطناعي لأنظمة التكييف والتهوية والتدفئة.» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://brainboxai.com/en/solutions/building-decarbonization/reduce.

البحث والابتكار من أجل الصفقة الخضراء الأوروبية»، 10 ديسمبر 2024. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/environment-and-climate/european-green-deal_en.

ريسكوير. «الذكاء الاصطناعي في مرونة المدن: تعزيز الاستعداد للكوارث من خلال الحلول المستندة إلى البيانات.» مركز المعرفة (مدونة)، 25 سبتمبر 2024. https://knowledgehub.resqore.com/technology/artificial-intelligence-in-urban-resilience-enhancing-disaster-preparedness-through-data-driven-solutions/.

رويترز. «الحكومة الألمانية توافق على خطط للسماح بنقل وتخزين الكربون.» 29 مايو 2024، قسم أسواق الكربون. https://www.reuters.com/markets/carbon/german-cabinet-approves-plans-allow-carbon-transport-storage-2024-05-29/.

سون، نغوين تان، تشينغ-رو تشين، وتشين-هوي سيو. «نحو تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الزراعة الدقيقة والمستدامة.» الزراعة 14، العدد 2 (فبراير 2024): 239. https://doi.org/10.3390/agronomy14020239.

استدامة. «الابتكار المستدام والتكنولوجيا - استدامة جوجل.» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://sustainability.google/.

فريق، سيبوك قطر. «قيادة التغيير: حالة إنترنت الأشياء في قطر.» سيبوك قطر، 6 نوفمبر 2024. https://www.syook.qa/post/driving-change-the-state-of-iot-in-qatar.

آلية التكنولوجيا.» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/ttclear/support/technology-mechanism.html?

آلية التنمية النظيفة | اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC).» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism?

تعديل كيغالي | الصندوق المتعدد الأطراف.» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://www.multilateralfund.org/news/kigali-amendment.

اتفاقية باريس | اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC).» تم الوصول إليها في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement.

ثياتوبارامبيل، فيجو فاركي، عثمان عدنان زرزور، نيكولاس كوكوزاس، جورجيتا فيديكان، ياسر الصالح، وإسميني كاتسيمباردي. «التقاط وتخزين الكربون: الوضع الحالي، التحديات والفرص لدول مجلس التعاون الخليجي.» المجلة الدولية لإدارة قطاع الطاقة 7، العدد 2 (2013): 223–42. http://dx.doi.org.proxy.library.georgetown.edu/10.1108/IJESM-04-2013-0010.

الموضوعات | البرلمان الأوروبي. «الاتفاق الأخضر: مفتاح الاتحاد الأوروبي المحايد مناخياً والمستدام.» 22 يونيو 2022. https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20200618STO81513/green-deal-key-to-a-climate-neutral-and-sustainable-eu.

برنامج الأمم المتحدة للبيئة. «التقرير العالمي لحالة المباني والبناء لعام 2023: ما بعد الأسس - دمج الحلول المستدامة لتقليص الانبعاثات من قطاع المباني.» برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2024. https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095.

المنتدى الاقتصادي العالمي. «9 طرق يساعد فيها الذكاء الاصطناعي في مواجهة تغير المناخ،» 12 فبراير 2024. https://www.weforum.org/stories/2024/02/ai-combat-climate-change/.

جانتي، كاثلين، بنيامين جوجنهايم، كريستوفر جاكسون، سينثيا يوي، ديلان ميب، ريتوراج يادافـ، سيدني روفنر، ويجييدي أولوتوسين. «اقتراح سياسة التمويل: استراتيجية تمويل انتقال عادلة: مقايضات المناخ مقابل الديون، الرسوم الجمركية على الكربون، والتمويل المدمج.» المنتدى الأطلسي، 18-10 2023. https://www.atlantic-forum.com/our-views/2970mkzg5096q49ydx6vzdmeldbxnv.

إبراهيم، منى تالا. «البنوك الخضراء: قطر تتطلع إلى استثمار 75 مليار دولار في التمويل المستدام في 2023.» دوحة نيوز، 24 يناير 2023. https://dohanews.co/green-banking-qatar-eyes-75bn-investment-in-sustainable-finance-in-2023/.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. «مهمة الابتكار - الطاقة النظيفة.» UNFCCC، 30 نوفمبر 2015. https://unfccc.int/news/mission-innovation-clean-energy.

منظمة الملكية الفكرية العالمية. «WIPO GREEN – السوق للتكنولوجيا المستدامة.» تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://www3.wipo.int/wipogreen/en/.

مبادرات قطر لزيادة المساحات الخضراء ومواجهة تغير المناخ.» زاوية، 1 أكتوبر 2023. https://www.zawya.com/en/economy/gcc/qatars-initiatives-increase-greenery-battle-climate-change-fg2sd46b.

واسكو، ديفيد، غايا لارسن، ميلاني روبنسون، ناتاليا آلايزا، صوفي بوم، جمال سروجي، سوباراتا تشاكرابارتي، وآخرون. «النتائج الرئيسية من COP29: تحليل الهدف العالمي الجديد للتمويل المناخي وما بعده.» معهد الموارد العالمية، 27 نوفمبر 2024. https://www.wri.org/insights/cop29-outcomes-next-steps.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. «المركز العالمي للابتكار تغير المناخ من الأمم المتحدة.» UNFCCC. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/topics/un-climate-change-global-innovation-hub.

المفوضية الأوروبية. «أفضل الممارسات الدولية في تطوير خرائط الطريق للاقتصاد الدائري: دروس من تسع أمثلة حول العالم.» Capacity4Dev، 21 أبريل 2022. https://capacity4dev.europa.eu/discussions/international-best-practices-developing-circular-economy-roadmaps-lessons-nine-examples-around-world_en.

المنتدى الاقتصادي العالمي. «9 أمثلة للاقتصاد الدائري تسرع الانتقال.» المنتدى الاقتصادي العالمي، مارس 2023. https://www.weforum.org/stories/2023/03/9-examples-circular-economy-accelerating-transition/.

كوييسادا، غابرييل، ماريا دي لوس أنخليس روجاس-كروز، وريكاردو إي. كابريرا-كابريرا. «تقييم المخاطر الطبيعية والضعف الاجتماعي: نهج شامل لإدارة مخاطر الكوارث.» الكوارث الطبيعية 119، العدد 1 (2024): 69-95. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-024-06957-8.

الزراعة الدقيقة، الذكاء الاصطناعي، وكفاءة المياه: مستقبل الزراعة.» مركز HPA. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://www.hpacenter.org/tr/article/1561/precision_agriculture_ai_and_water_efficiency:_the_future_of_farming.

تشريعات الاقتصاد الدائري: التجربة الدولية.» جمعية التعبئة القابلة لإعادة الاستخدام. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://www.reusablepackaging.org/insights/circular-economy-legislation-the-international-experience/.

أمثلة على الاقتصاد الدائري.» إنفايروكلوك. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://enviroclock.com/circular-economy-examples/.

ورقة حقائق حول احتجاز الكربون في قانون خفض التضخم.» مجموعة العمل الخاصة بالهواء النظيف، 16 فبراير 2023. https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2023/02/16093309/ira-carbon-capture-fact-sheet.pdf.

أموس، جوناثان. «أول برنامج لتخزين الكربون التجاري القابل للتطبيق في المملكة المتحدة يحصل على الضوء الأخضر.» ذا تايمز، 15 أكتوبر 2024. https://www.thetimes.co.uk/article/first-commercially-viable-uk-carbon-storage-scheme-gets-green-light-2dtx2jn6k.

وكالة الطاقة الدولية. «استراتيجية سياسة لاحتجاز الكربون وتخزينه.» باريس: وكالة الطاقة الدولية، 2024. https://www.iea.org/reports/a-policy-strategy-for-carbon-capture-and-storage.

وزارة الطاقة الأمريكية. «الذكاء الصناعي والطاقة: تحويل مستقبل الطاقة باستخدام الذكاء الاصطناعي.» مكتب عروض الطاقة النظيفة. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://www.energy.gov/cet/articles/ai-energy?utm_source.

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. «الأساليب المبتكرة لتمويل المناخ: دروس من الميدان.» برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2023. https://content-ext.undp.org/aplaws_assets/2512314/2512314.pdf.

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. «تحليل سوق الطاقة المتجددة: أفريقيا ومناطقها.» أبوظبي: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، يناير 2022. https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Renewable-Energy-Market-Analysis-Africa.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. «آلية التكنولوجيا: الحاضنات والمسرعات.» UNFCCC. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/ttclear/incubators.

الوكالة الدولية للطاقة. «استراتيجية سياسة لاحتجاز الكربون وتخزينه.» باريس: الوكالة الدولية للطاقة، 2024. https://www.iea.org/reports/a-policy-strategy-for-carbon-capture-and-storage.

ويترز. «التحول العالمي إلى الطاقة المتجددة تباطأ في 2023، وفقًا لمجموعة السياسات.» رويترز، 30 مايو 2024. https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/global-shift-renewables-slowed-2023-policy-group-says-2024-05-30/.

مجموعة بوسطن الاستشارية. «كيف يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد في مواجهة تغير المناخ.» ديسمبر 2022. https://www.bcg.com/publications/2022/how-ai-can-help-climate-change.

مركز كوبنهاغن لتغير المناخ التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة. «تجاوز الحواجز أمام نقل وتقنيات المناخ: الطبعة الثانية.» برنامج الأمم المتحدة للبيئة، 2023. https://tech-action.unepccc.org/publications/overcoming-barriers-to-the-transfer-and-diffusion-of-climate-technologies-second-edition/.

ميشرا، راتشيتا، وبراديب كومار. «التنمية الحضرية المستدامة: تقييم دور المدن الذكية.» في «مدن المستقبل والاستدامة البيئية: التحديات والآفاق»، تحرير ب. سينغ وج. آر. أهوجا، 315-295. سبرينجر، 2024. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-46282-5_13.

تشانغ، وي، ولينغ تشنغ. «حلول الذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة المتجددة.» في «الذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة المتجددة: التقدم والتطبيقات»، تحرير ل. تشاو وQ. ليو، 1178-1157. سبرينجر، 2023. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-06825-6_172.

منتدى الطاقة النظيفة في جامعة ييل. «شرح: وادي الموت وتحديات توسيع تقنيات المناخ.» 28 مارس 2022. https://cleanenergyforum.yale.edu/2022/03/28/explainer-the-valley-of-death-and-the-challenges-of-scaling-climate-tech.

فيرتيكال إل إيه. «كسر تقنيات المناخ: كيف تجمع الشركات الناشئة الدولية رأس المال.» تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://thevertical.la/entrepreneurs/cracking-climatetech-how-international-startups-raise-capital/.

البنك الدولي. «برنامج تقنيات المناخ: تصميم آلية تمويل مبتكرة لشركات التكنولوجيا المناخية الناشئة.» واشنطن العاصمة: البنك الدولي، 2017. https://documents1.worldbank.org/curated/en/381371506073998670/pdf/119909-BRI-climate-technology-program-in-brief-7-de-signing-an-innovative-financ.pdf.

المعهد الدولي للتنمية المستدامة. «أثر دعم الوقود الأحفوري على توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة.» وينيبيغ، مانيتوبا: المعهد الدولي للتنمية المستدامة، 2017. https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-fossil-fuel-subsidies-renewable-electricity-generation.pdf.

سانتوس، ماريانا. «دمج مبادئ الاقتصاد الدائري في التخطيط الحضري: دراسات حالة واستراتيجيات التنفيذ.» رسالة ماجستير، جامعة آلتو، 2023. https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/8dd32da3-e9c7-438c-9939-125fe9af4c6c/content.

الجزيرة القطرية. «زيادة تبريد المناطق تدعم جهود قطر في الاستدامة.» الجزيرة القطرية، 4 أغسطس 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/04/08/2024/increased-district-cooling-aiding-qatars-sustainability-drive.

فيفا. «زراعة 16,000 شجرة لعام 2022 باستخدام المياه المعاد تدويرها.» أخبار الفيفا. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://inside.fifa.com/tournaments/mens/worldcup/qatar2022/news/growing-16-000-trees-for-2022-using-recycled-water-2847448.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. «سولار سيستر.» UNFCCC. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/lighthouse-activities/solar-sister.

ناسداك. «الأخبار والرؤى.» تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://www.nasdaq.com/news-and-insights.

تشانغ، وي، ولينغ تشن. «اتجاهات الاستدامة في الأسواق المالية.» في «استراتيجيات مالية مبتكرة: الاتجاهات والتطبيقات»، تحرير ل. تشاو وQ. ليو، 157-135. سنغافورة: سبرينجر، 2024. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-7398-7_7.

ستيت ستريت جلوبال أدفايزرز. «اتجاهات الاستثمار في 2024 بين صناديق الثروة السيادية.» بوسطن: ستيت ستريت جلوبال أدفايزرز، 2024. https://www.ssga.com/library-content/assets/pdf/global/mas/2024/investment-trends-among-sovereign-wealth-funds.pdf.

الاستثمار في الويب. «أكبر صناديق الثروة السيادية.» تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024. https://investingintheweb.com/blog/largest-sovereign-wealth-funds.

بيزنس الخليج. «قطر تستثمر 1.3 مليار دولار في تقنيات المناخ البريطانية.» بيزنس الخليج، 4 ديسمبر 2024. https://gulfbusiness.com/qatar-invest-1-3bn-in-britain-climatetech.

المهمة الوطنية للطاقة الشمسية الهندية. تقارير وزارة الطاقة المتجددة في حكومة الهند، 2023.

مجلة التمويل الأخضر الأوروبية. «مراجعة الشراكات في مجال الطاقة المتجددة في ألمانيا.» 2023.

رؤية 2030: تقرير استراتيجيات الطاقة في المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة. شبكة أخبار الطاقة الخضراء في الشرق الأوسط. تم الوصول إليه في 26 ديسمبر 2024.

سيمنز. «مشروع أنظمة التبريد الذكي في قطر.» آفاق الطاقة في الشرق الأوسط، ديسمبر 2024.

مبادرة السياسة المناخية. «المنظر العالمي للتمويل المناخي 2022.» تم الوصول إليه في 25 ديسمبر 2024. https://www.climatepolicyinitiative.org.

معهد الشرق الأوسط. «الفجوة الكبيرة في التمويل: حالة تمويل المناخ في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.» تم الوصول إليه في 25 ديسمبر 2024. https://www.mei.edu/publications/great-financing-gap-state-climate-funding-mena.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. «مؤتمر COP29 للمناخ التابع للأمم المتحدة يتفق على مضاعفة التمويل للدول النامية، حماية الأرواح وسبل العيش.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://unfccc.int/news/cop29-un-climate-conference-agrees-to-triple-finance-to-develop-ing-countries-protecting-lives-and.

وزارة البيئة والمناخ في قطر. «وزارة البيئة والمناخ تطلق استراتيجيتها للفترة 2024-2030.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://www.gco.gov.qa/en/media-centre/top-news/ministry-of-environment-and-climate-change-launches-2024-2030-strategy.

مناخ إنسايدر. «الاستثمار في شركات تكنولوجيا المناخ الأفريقية يزداد ولكن التحديات لا تزال قائمة.» 6 مايو 2024. https://climateinsider.com/2024/05/06/investment-for-african-climate-tech-startups-increases-but-challenges-remain.

تيك كرانش. «إكواتور تؤمن 40 مليون دولار في التزامات لصندوق يستهدف الشركات الناشئة في تكنولوجيا المناخ في أفريقيا.» 5 أبريل 2023. https://techcrunch.com/2023/04/05/equator-secures-40m-in-commitments-for-fund-targeting-climate-tech-startups-in-africa/.

المفوضية الأوروبية. «تجارة الانبعاثات: تم تقليص انبعاثات الغازات الدفيئة بنسبة 8.7٪ في عام 2019.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/emissions-trading-greenhouse-gas-emissions-reduced-87-2019-2020-05-04_en.

مبادرة الغازات الدفيئة الإقليمية. «استثمار عائدات مبادرة RGGI في عام 2022.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://www.rggi.org/sites/default/files/Uploads/Proceeds/RGGI_Proceeds_Report_2022.pdf.

مدرسة إمبريال كوليدج لندن للأعمال. «كيف يمكن لصناديق الثروة السيادية المساعدة في مواجهة تغير المناخ.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://www.imperial.ac.uk/business-school/ib-knowledge/finance/how-sovereign-wealth-funds-can-help-the-fight-against-climate-change/.

مدونات البنك الدولي. «صناديق الثروة السيادية: محفز للتمويل المناخي.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://blogs.worldbank.org/en/psd/sovereign-wealth-funds-catalyst-climate-finance.

مونيتور الاستثمار. «هل دول مجلس التعاون الخليجي جادة في تجنب كارثة تغير المناخ؟» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://www.investment-monitor.ai/sectors/energy/gcc-serious-averting-climate-change-catastrophe/.

اقتصاد الشرق الأوسط. «البنوك في دول مجلس التعاون الخليجي لا تزال عرضة لمخاطر التحول المناخي: تقرير.» تم الوصول إليه في 27 ديسمبر 2024. https://economymiddleeast.com/news/gcc-banks-still-vulnerable-to-climate-transition-risks-report/.

عن وزارة الطاقة الأمريكية ARPA-E. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://arpa-e.energy.gov/about.

نداء البحث في تغير المناخ والبيئة (CCEC). مجلس قطر للبحوث والتطوير والابتكار. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://qrdi.org.qa/en-us/Scientific-Research/Climate-Change-and-Environment-Call-CCEC.

قطر تستهدف 4 جيجاوات من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. الطاقة المتجددة الآن. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://renewablesnow.com/news/qatar-targets-4-gw-of-renewables-by-2030-856603/.

شركة المشتريات الكهربائية السعودية توقع اتفاقيات لثلاثة مشاريع شمسية. رويترز، 27 يونيو 2024. https://www.reuters.com/business/energy/saudi-power-procurement-company-signs-deals-three-solar-projects-2024-06-27.

الاهتمامات الاستراتيجية تحفز الإنفاق على الطاقة المتجددة في الخليج.» فاينانشال تايمز. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://www.ft.com/content/275ad801-0862-4123-8028-158ec18205f0.

دور الشراكات العامة والخاصة في نمو الطاقة الشمسية في الهند.» تايمز تك. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://timestech.in/the-role-of-public-private-partnerships-in-solar-growth-in-india/.

توتال إنيرجي، إن بي دبليو تفوزان في مزاد موقع طاقة الرياح البحرية بقيمة 3.2 مليار دولار.» رويترز، 21 يونيو 2024. https://www.reuters.com/business/energy/totalenergies-enbw-win-32-billion-offshore-wind-site-auction-2024-06-21/.

الإمارات تطلق صندوق ALTÉRRA للمناخ بقيمة 250 مليار دولار لدفع التحول العالمي للطاقة النظيفة.» فاينانس ميدل إيست. تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://www.financemiddleeast.com/financing/uae-launches-250-billion-alterra-climate-fund-to-drive-global-clean-energy-transition.

المفوضية الأوروبية. «أفق أوروبا: برنامج البحث والابتكار للاتحاد الأوروبي.» تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/horizon-europe_en.

البيئة والاستدامة | مكتب الاتصالات الحكومية.» تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://www.gco.gov.qa/en/media-centre/in-focus/environment-and-sustainability/.

المقال الكامل: أوضاع المشاركة والدبلوماسية لدول مجلس التعاون الخليجي تجاه أجندة الاستدامة العالمية.» تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09614524.2019.1597017.

خطة العمل الوطنية لتغير المناخ في الإمارات 2017-2050 | البوابة الرسمية لحكومة الإمارات.» تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-and-energy/national-climate-change-plan-of-the-uae.

الجزيرة. «مشيرب داون تاون الدوحة: ريادة عصر جديد للعيش الحضري.» 20 أكتوبر 2024. https://thepeninsulaqatar.com/article/20/10/2024/msheireb-downtown-doha-pioneering-a-new-era-of-urban-living.

قائد، أنس آل. "فهم التزامات دول مجلس التعاون الخليجي في مجال تغير المناخ بعد مؤتمر الأطراف 27." منتدى الخليج الدولي (مدونة)، 6 يناير 2023. https://gulfif.org/understanding-the-gccs-post-cop27-national-climate-change-commitments/.

المبادرات الخضراء السعودية والشرق الأوسط.» تم الوصول إليه في 5 يناير 2025. https://www.sgi.gov.sa/saudi-climate-vision/.