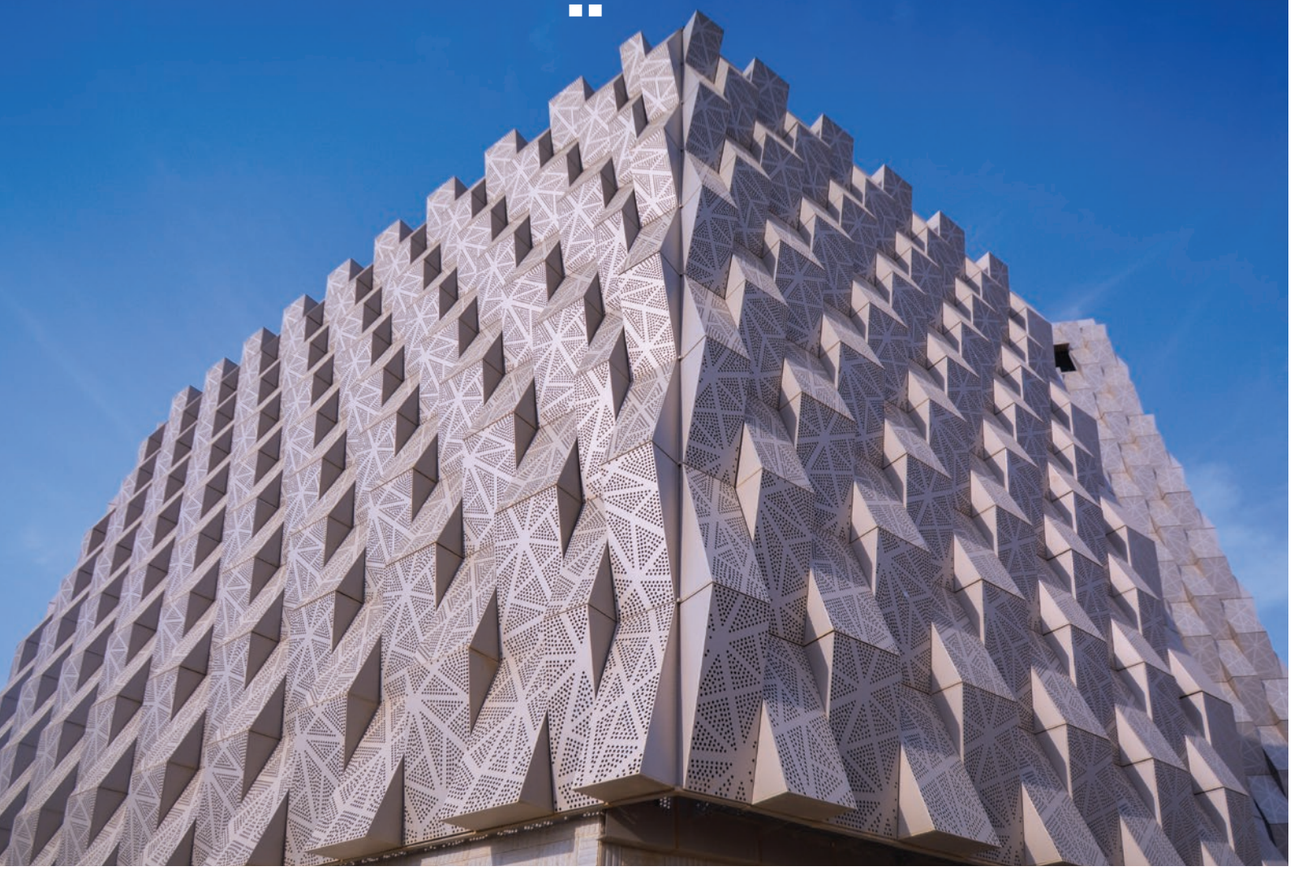
شركة وادي الرياض
Riyadh Valley Co

الطاقة الدائرية

الطريق نحو مستقبل مرن مستدام

نوفمبر، 2025

شركة وادي الرياض



النمو بالابتكار

شركة وادي الرياض.. نقلة نوعية نحو المستقبل

أسست شركة وادي الرياض في عام 2010م بموجب المرسوم الملكي رقم 116 بتاريخ 1431/4/13هـ لتكون الذراع الاستثماري لجامعة الملك سعود في مجالات الاقتصاد المعرفي ومشاريع الجامعة الاستراتيجية.

وبناء على أغراض الشركة المنصوص عليها في النظام الأساس تم تحديد الأنشطة الرئيسية التالية:

1 الاستثمارات الجريئة

2 الاستثمارات الاستراتيجية

3 اثراء بيئة الابتكار

لمزيد من المعلومات: www.rvc.com.sa

مقدمة

إن الحاجة العالمية الملحّة للانتقال نحو أنظمة طاقة أكثر استدامة قد جعلت من مفهوم الطاقة الدائرية محورًا رئيسيًا على أجندات السياسات والصناعة والبحث العلمي. تمثل الطاقة الدائرية دمج مبادئ الاقتصاد الدائري في قطاع الطاقة، من خلال بناء نظام متجدد يهدف إلى تحسين استخدام الموارد، وتقليل الهدر، وخفض التأثيرات البيئية بشكل كبير.

يُعد الاقتصاد الدائري نهجًا منهجيًا للتنمية الاقتصادية مصممًا لتحقيق الفائدة للأعمال والمجتمع والبيئة على حد سواء. وعلى عكس النموذج الخطي التقليدي القائم على الاستخراج – التصنيع – التخلص (take-make-dispose)، فإنه يركّز على تصميم الأنظمة بطريقة تمنع التلوث والهدر، وتحافظ على المنتجات والمواد في دورة الاستخدام لأطول فترة ممكنة، مع تجديد الأنظمة الطبيعية. ويشجّع الاقتصاد الدائري على إعادة الاستخدام، والإصلاح، وإعادة التدوير، والكفاءة في استخدام الموارد عبر مختلف القطاعات.[1]

عند تطبيق هذه المبادئ على قطاع الطاقة، فإنها تشكل أساس مفهوم الطاقة الدائرية الذي يهدف إلى إغلاق حلقات الطاقة من خلال إعادة استخدام المنتجات الثانوية، وتحسين كفاءة الطاقة، ودمج التقنيات المتجددة ومنخفضة الكربون.

يتفوق نموذج الطاقة الدائرية على النماذج التقليدية لإنتاج الطاقة من خلال تعزيز أنظمة ذات حلقة مغلقة تقلل الاعتماد على الموارد المحدودة (غير المتجددة) وتخفض الانبعاثات. ويعكس هذا النهج تحولاً أوسع في التفكير المجتمعي حول إنتاج الطاقة وإدارة الموارد، بما يتماشى مع مبادئ التصميم الهيكلي والأهداف المناخية ومستهدفات الاستدامة.

لقد أسهمت التطورات التكنولوجية — مثل تخزين الطاقة، والشبكات الذكية، وتقنيات التقاط الكربون، والابتكارات في مجال الهيدروجين — في تمكين تطبيق أنظمة الطاقة الدائرية عمليًا. كما تعزّز الأدوات الرقمية كفاءة الأنظمة ودوران الموارد. وفي الوقت نفسه، تتطور الأطر التنظيمية واستراتيجيات الاستثمار لدعم هذا التحول، حيث باتت الحكومات والمؤسسات المالية تدرك أن الطاقة الدائرية تشكل ركيزة أساسية للتنافسية والأمن الطاقي على المدى الطويل. وتؤكد المبادرات الإقليمية في أوروبا وآسيا والشرق الأوسط على تزايد الأهمية العالمية لهذا المفهوم.

بالنسبة للاقتصادات التي تعتمد بشكل كبير على الهيدروكربونات — مثل دول مجلس التعاون الخليجي — تمثل الطاقة الدائرية فرصة فريدة للتنويع الاقتصادي، وإطالة عمر الأصول الحالية، والتحول نحو نماذج تنموية أكثر استدامة.

وقد بدأت المملكة العربية السعودية في تبنّي إطار الاقتصاد الدائري للكربون (CCE) الذي يدمج بين الموارد التقليدية وممارسات الاقتصاد الدائري مثل التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS)، والطاقة الحيوية، والطاقة المتجددة. وتُعد هذه الجهود جزءًا من رؤية السعودية 2030 التي تهدف إلى تقليل الأثر البيئي مع الحفاظ على النمو الاقتصادي.

وباختصار، تقف الطاقة الدائرية عند تقاطع الاستدامة والابتكار والتحوّل الاقتصادي، وتقدم نموذجًا مستقبليًا يربط بين الاعتماد الحالي على الطاقة وبين رؤية مستقبل منخفض الكربون. وهي بذلك تُعد عنصرًا أساسيًا لصنّاع القرار، والشركات، والمستثمرين الساعين لفهم ديناميكيات التحول في مشهد الطاقة العالمي خلال القرن الحادي والعشرين.

[1] مؤسسة Ellen MacArthur

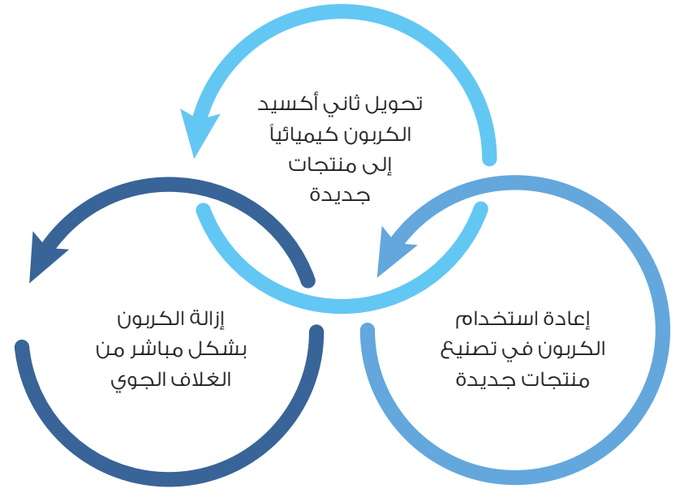
الطاقة الدائرية

تمثّل الطاقة الدائرية أحد التطبيقات المتقدمة لمبادئ الاقتصاد الدائري، إذ تقوم على الاستخدام المستمر للموارد واستردادها وتجديدها في مختلف مراحل إنتاج الطاقة وتوزيعها واستهلاكها. وتهدف منظومات الطاقة الدائرية إلى إبقاء تدفقات الطاقة والمواد المرتبطة بها—مثل البطاريات، والألواح الشمسية، والمنتجات الثانوية الصناعية—ضمن دورة استخدام فعّالة لأطول مدة ممكنة. ويتم ذلك من خلال تحويل المخلفات إلى مدخلات ذات قيمة لعمليات جديدة داخل قطاع الطاقة، مع الحدّ من الأثر البيئي إلى أدنى مستوى ممكن.[2]

يسهم هذا النهج في رفع الكفاءة التشغيلية وترشيد استهلاك الموارد عبر سلسلة القيمة في قطاع الطاقة، مما يعزز مسار الاستدامة ويدعم مرونة المنظومة الاقتصادية على المدى الطويل.

اقتصاد الكربون الخطي/التقليدي :

المبادئ الأساسية لاقتصاد الكربون الدائري :



المصدر: عرب نيوز، Santander

[2] مؤسسة Ellen MacArthur

أ. تاريخ الطاقة الدائرية

1

العصر ما قبل الصناعي (ما قبل القرن التاسع عشر): شهدت المجتمعات حلقة طبيعية في إدارة الموارد (أي إعادة الاستخدام والإصلاح وإعادة التدوير محلياً بصورة مستمرة)، حيث تُظهر الأدلة المستقاة من حطام السفن الرومانية ممارسة إعادة تدوير مواد مثل النحاس والزجاج. وتشمل أمثلة ذلك إعادة توظيف الأخشاب في صناعة السفن، وصناعة الورق من حلقة الأقمشة المستعملة، بما يعكس منظومة مبكرة للحفاظ على الموارد وتقليل الهدر.

2

القرن التاسع عشر (عصر الثورة الصناعية): أدى العصر الصناعي إلى ظهور أنظمة طاقة خطية قائمة على الفحم والبخار، لتحل محل الممارسات الدائرية بنموذج "الاستخراج – التصنيع – التخلص". وقد تنامى الإنتاج الكمي وتعاظم الاعتماد على الوقود الأحفوري، الأمر الذي ترافق مع تجاهلٍ واسع لاستنزاف الموارد وتفاقم التلوث.

3

بدايات منتصف القرن العشرين حتى منتصفه: شهدت هذه المرحلة توسعاً في مصادر الطاقة المتجددة—لا سيما القدرة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية (الجيوترمالية)—مُظهرةً مسارات بديلة لإمدادات الطاقة، غير أنها افتقرت إلى بعض مبادئ الطاقة الدائرية ضمن البنية الكلية للطاقة. وفي الوقت ذاته، أسهمت الحروب العالمية في تعزيز الاعتماد على الوقود الأحفوري، إلا أنها حفزت كذلك ابتكاراتٍ في كفاءة الطاقة وتحسين إدارة الموارد (تقليل الهدر ورفع الإنتاجية عبر التقنيات والتنظيم).

4

ستينيات وسبعينيات القرن العشرين (تصاعد الوعي البيئي): أدت المخاوف من التلوث واستنزاف الموارد إلى بروز الإيكولوجيا الصناعية (Industrial Ecology) بوصفها إطاراً يدعم الأنظمة ذات الحلقة المغلقة وتقليص الهدر، وهي مبادئ أساسية شكلت لاحقاً مقاربات الاقتصاد الدائري في أنظمة الطاقة. كما أعادت أزمة النفط تركيز الاهتمام على الاستدامة، فدفعت إلى تقدم ملحوظ في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحيوية، وإلى تعزيز كفاءة استخدام الطاقة (رفع المردود وتقليل الفاقد) عبر الحلول التقنية والتنظيمية.

5

أواخر القرن العشرين (بروز مفاهيم الاقتصاد الدائري): انطلاقاً من الإيكولوجيا الصناعية، جرى إرساء مبادئ الاقتصاد الدائري بصورةٍ أكثر رسمية بهدف إعادة الاستخدام المتواصل للمواد والطاقة ضمن أنظمة ذات حلقات مغلقة، بما يُحد من الهدر ويرفع الكفاءة. وقد شاع المفهوم في الصين بفعل قيود الموارد، قبل أن يتطور ليشمل الطاقة الدائرية عبر دمج مصادر الطاقة المتجددة وحلول تحويل النفايات إلى طاقة، إلى جانب البدايات المبكرة لاحتجاز الكربون للحد من التأثير البيئي وتعزيز الاستدامة عبر سلسلة القيمة في قطاع الطاقة.

6

العقد الأول من القرن الحادي والعشرين (تقدم تقني وسياساتي): شهد هذا العقد نمواً متسارعاً في مصادر الطاقة المتجددة، وتطوراً لافتاً في تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، إلى جانب التحول الرقمي الذي أتاح تمكين أنظمة الطاقة الدائرية عبر تحسين الكفاءة وإدارة البيانات وسلاسل القيمة. وبالتوازي، قامت الحكومات والقطاعات الصناعية بإعتماد أطرٍ تنظيمية واستراتيجية لدفع إزالة الكربون وتحقيق أهداف الاستدامة، بما في ذلك سياسات الحوافز والمعايير الفنية وآليات تمويل تدعم الابتكار والتوسع التشغيلي.

7

العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين (اعتماد خليجي وعالمي متسارع): اعتمدت دول مجلس التعاون الخليجي نموذج الاقتصاد الدائري للكربون ضمن برامج تنويع الاقتصاد، عبر دمج الموارد الهيدروكربونية مع تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه والطاقة الحيوية ومصادر الطاقة المتجددة، بما يعزز إزالة الكربون ويرفع كفاءة استخدام الموارد ويُسهم في تعزيز أمن الطاقة وتحقيق مستهدفات الاستدامة المتماشية مع الرؤى الوطنية (مثل رؤية المملكة 2030).

المصدر: المتحف السويسري الوطني، مؤسسة إلين مكارثر

ب. أهمية الدائرية لتحقيق تحول مستدام للطاقة

الاقتصاد الدائري وتحول الطاقة مترابطان بشكل وثيق ويعتمدان على بعضهما، وهي علاقة يُشار إليها باسم "ترابط الاقتصاد الدائري والطاقة". ولتحقيق مستقبل مستدام، يلزم التحول إلى الطاقة النظيفة واعتماد مبادئ الاقتصاد الدائري معاً.

الاعتماد المتبادل

تعتمد البنية التحتية للطاقة النظيفة – مثل توربينات الرياح – على موارد محدودة. ومع تزايد الطلب على الطاقة المتجددة، تزداد الحاجة إلى المعادن الأساسية، مما يجعل استخدام هذه الموارد لمرة واحدة أمراً غير مستدام. لذا يجب على قطاع الطاقة تبني مفهوم الاقتصاد الدائري المتمثل في إعادة الاستخدام والتدوير وتعظيم قيمة المواد لتجنب نقص الموارد.

كفاءة الطاقة

كفاءة الطاقة: إن الانتقال إلى الاقتصاد الدائري لا يُلغي الحاجة إلى الطاقة، لكنه يؤكد على استخدام الطاقة بشكل أكثر كفاءة. ويتضمن ذلك خفض استهلاك الطاقة الأولية واستغلال الحرارة المهدرة. كما يشمل منح الأولوية لمصادر الطاقة المتجددة التي تتوافق مع مبادئ الاقتصاد الدائري.[3]

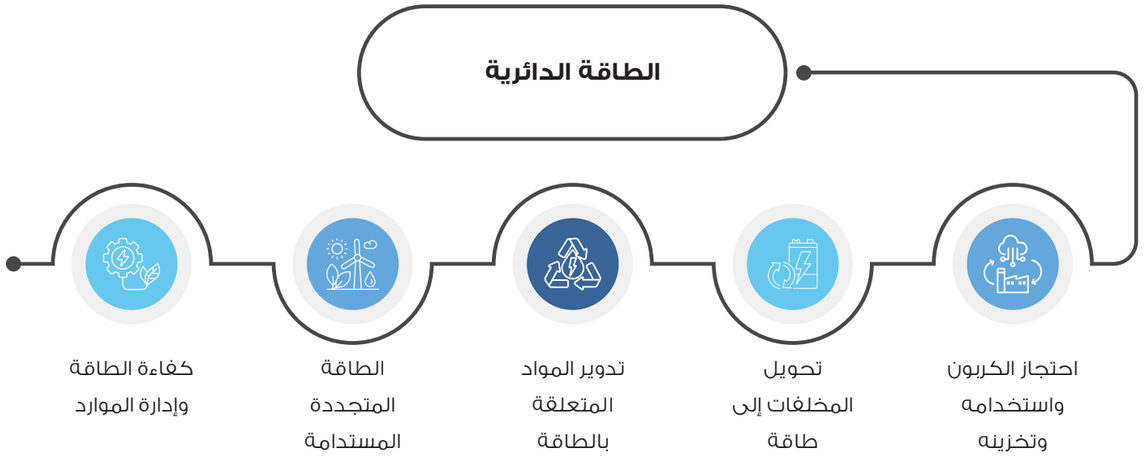
الترابط بين تحول الطاقة والاقتصاد الدائري

المصدر: Ramboll

تُظهر العلاقة بين تحول الطاقة والاقتصاد الدائري الترابط بينهما. ومع توسع البنية التحتية للطاقة المتجددة، يزداد الطلب على المعادن الهامة، مما يجعل الاستراتيجيات الدائرية ضرورية للتخفيف من ندرة الموارد وضمان الاستدامة على المدى الطويل. وفي الوقت نفسه، تدعم مبادئ الاقتصاد الدائري تحول الطاقة من خلال تعزيز كفاءة استخدام الطاقة، والحد من النفايات، وتمكين إعادة استخدام المواد والمنتجات الثانوية. ويجب أن تتقدم هذه التحولات معاً لتحقيق أنظمة طاقة مرنة ومنخفضة الكربون .

[3] Ramboll

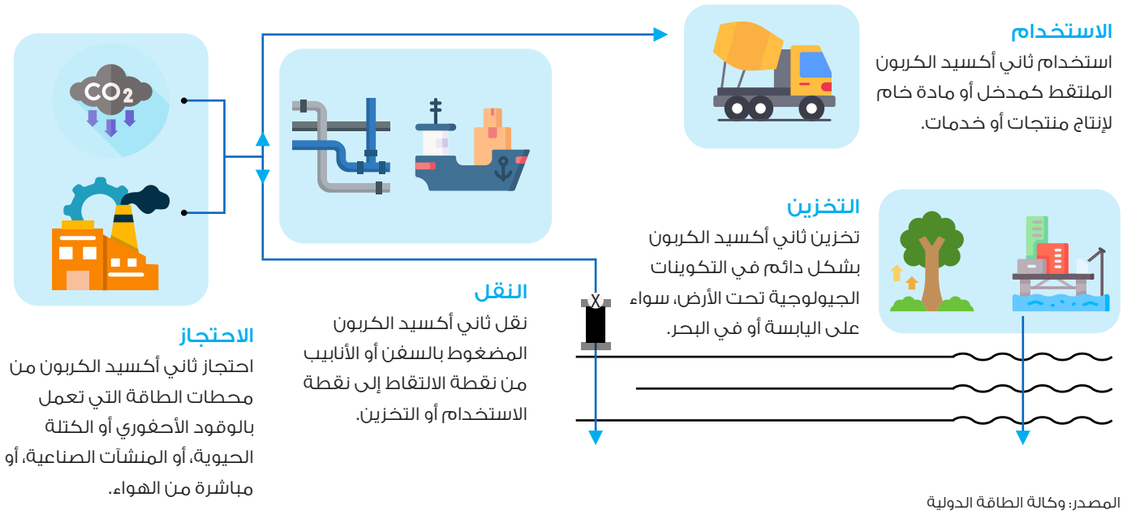
قطاع الطاقة الدائرية العالمي



أ. احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه

احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه هي تقنية مصممة لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مصادر مثل محطات الطاقة والمنشآت الصناعية. وهي تتضمن احتجاز ثاني أكسيد الكربون قبل دخوله إلى الغلاف الجوي، وضغطه، ونقله عبر الأنابيب أو السفن أو الشاحنات، لإعادة استخدامه في العمليات الصناعية أو تخزينه بشكل دائم في تكوينات جوفية عميقة مثل خزانات النفط والغاز المستنفدة أو طبقات المياه الجوفية المالحة.

شرح مصور لعملية احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه



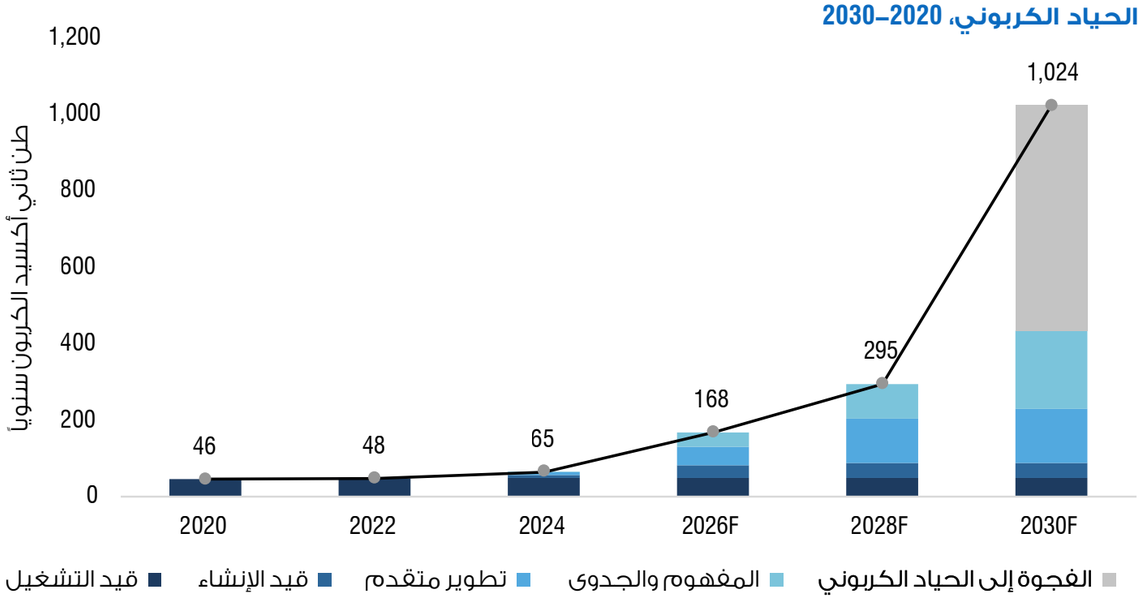
المصدر: وكالة الطاقة الدولية

احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه عنصر حيوي لمستقبل أنظف للطاقة؛ إذ يمكن القطاعات مرتفعة الانبعاثات مثل الإسمنت والحديد والصلب والكيماويات من خفض الانبعاثات مع استمرار عملياتها. كما يتيح إنتاج الهيدروجين منخفض الكربون ويدعم إزالة الكربون عن قطاع النقل. بالإضافة إلى ذلك، يمكنه إزالة ثاني أكسيد الكربون مباشرةً من الغلاف الجوي، بما يعوض الانبعاثات صعبة الخفض.

السيناريو العالمي:

على الصعيد العالمي، شهد عام 2023 تنامياً في زخم احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه عبر استثمارات رئيسية؛ فقد التزمت الولايات المتحدة بمبلغ 2.9 مليار دولار لمشروعات احتجاز الكربون والالتقاط المباشر من الهواء[4]، وأسهم الاتحاد الأوروبي بأكثر من 2 مليار دولار لتمويل نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه[5]، واستثمرت هولندا والدنمارك 7.3 مليار دولار و1.2 مليار دولار على التوالي مع إحراز تقدم في مشاريع محورية مثل "Porthos" الهولندي و"Ravenna" في إيطاليا. كما عادت ألمانيا إلى المشهد عبر استراتيجية وطنية نظمت تخزين ثاني أكسيد الكربون في البحر، في حين أطلقت اليابان سبعة مشاريع واسعة النطاق تستهدف احتجاز 13 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً بحلول 2030، بالتوازي مع تشريعات داعمة للبنية التحتية لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه وخيارات التخزين. وتؤكد هذه الجهود اتساع الالتزام العالمي بتبني احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لمواجهة تغير المناخ[6].

قدرة مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون الحالية والمخطط لها على نطاق واسع مقارنة بسيناريو الحياد الكربوني، 2020–2030



المصدر: وكالة الطاقة الدولية

شهدت تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه تقدماً ملموساً، إذ يجري احتجاز أكثر من 50 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً عبر 45 منشأة تجارية. وفي عام 2023، دخلت قرابة عشرة مشروعات واسعة النطاق حيز التشغيل، من بينها مواقع رئيسة في الولايات المتحدة مثل مصنع الإيثانول Blue Flint، ومنشأة Linde Clear Lake لالتقاط الكربون، وأول وحدات الالتقاط المباشر من الهواء (الالتقاط المباشر من الهواء) لشركتي Heirloom وGlobal Thermostat. كما حققت الصين تقدماً عبر أربعة مشروعات كبيرة، من بينها منشأة Jiling Petrochemical، وحقل النفط CNOOC Enping، ومحطة توليد الكهرباء China Energy Taizhou، ومشروع التكامل التابع لشركة Guanghui Energy. بالإضافة إلى ذلك، استأنفت منشأة Petra Nova في الولايات المتحدة عملياتها.

وعلى الرغم من هذا التقدم، لا يلبي خط المشروعات الحالي سوى نحو 40% من القدرة المطلوبة لتحقيق سيناريو الحياد الصفري بحلول عام 2030. وتوجد أكثر من 700 مشروع قيد التطوير، بما يعكس اهتماماً عالمياً متنامياً. غير أن تسريع وتيرة النشر، وتعزيز السياسات الداعمة، ورفع مستويات الاستثمار تظل عوامل أساسية لسد الفجوة وتمكين احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من أداء دورها الكامل في تحقيق الأهداف المناخية[7].

[4] USA's Infrastructure Investment and Jobs Act
[5] الاستثمار عبر صندوق الابتكار التابع للاتحاد الأوروبي (1.5 مليار دولار) ومرفق ربط أوروبا (0.5 مليار دولار)
[6] وكالة الطاقة الدولية
[7] وكالة الطاقة الدولية

ب. تحويل النفايات إلى طاقة

تحويل النفايات إلى طاقة هو أسلوب مُحكم لإدارة النفايات يُحول النفايات البلدية الصلبة؛ مثل بقايا الطعام ومواد التغليف والمقتنيات المنزلية، إلى كهرباء، عبر الحرق. وعالمياً، تجري معالجة نحو 13% من النفايات البلدية الصلبة في مرافق مخصصة، بما يُسهم في خفض أحجام النفايات المتجهة إلى المدافن وتقليل انبعاثات غازات الدفيئة. وعلى الرغم من أن هذه العملية توفر بديلاً للوقود الأحفوري، فهو لا يُصنف مصدراً للطاقة المتجددة نظراً لاعتماده على مدخلات نفايات محدودة بطبيعتها، فضلاً عن الانبعاثات الكربونية المترتبة على عمليات الحرق والنقل[8].

المصدر: شركة آي بي إم

مزايا تحويل النفايات إلى طاقة

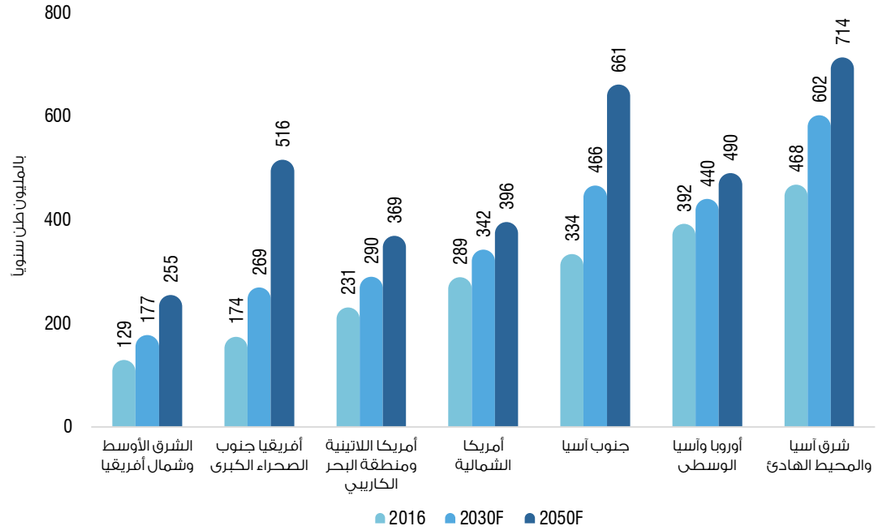
- تقليل حجم النفايات
- مكبات أنظف
- استعادة الموارد

صناعة تحويل النفايات إلى طاقة عالمياً

من المتوقع أن يصل توليد النفايات البلدية الصلبة عالمياً إلى 3.40 مليار طن سنوياً بحلول عام 2050، بزيادة تقارب 70% مقارنة بـ 2.01 مليار طن في عام 2016.

[8] شركة آي بي إم

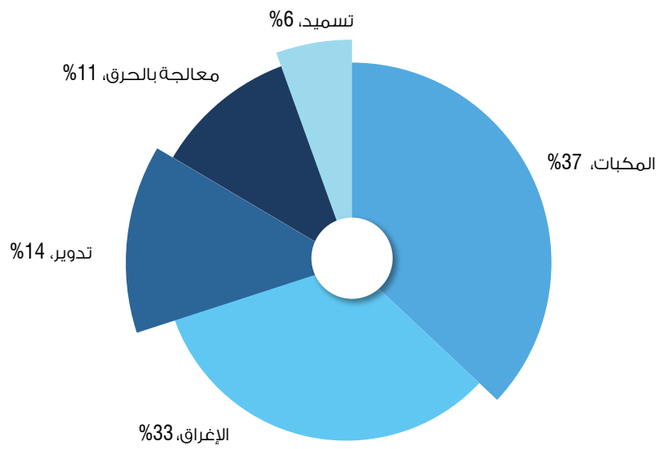
توليد النفايات المتوقع بالنسبة لكل منطقة



المصدر: النسخة الثانية من تقرير "يا له من إهدار" – البنك الدولي (2018)

تظهر الاتجاهات الإقليمية معدلات نمو متفاوتة: من المتوقع أن تنتج أوروبا وآسيا الوسطى 490 مليون طن سنوياً بحلول عام 2050، أي بزيادة حوالي 100 مليون طن عن عام 2016. وفي المقابل، من المتوقع أن تشهد أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى زيادة بمقدار ثلاثة أضعاف، حيث سترتفع كمية النفايات من 174 مليون طن في عام 2016 إلى 516 مليون طن بحلول عام 2050، مما يسلط الضوء على الحاجة الملحة إلى استراتيجيات مستدامة لإدارة النفايات على الصعيد العالمي.

ممارسات إدارة النفايات عالمياً



المصدر: النسخة الثانية من تقرير "يا له من إهدار" – البنك الدولي (2018)

على الرغم من تنامي الوعي بالاستدامة، ما زال نحو 70% من النفايات عالمياً يُدار على نحو غير سليم، إذ تم التخلص منه دون معالجة، بما يطرح مخاطر بيئية وصحية جسيمة. وفي بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، يتجه 39% من النفايات الصلبة إلى المدافن، مع توقعات بارتفاع أحجامها[9]. وتدفن الولايات المتحدة 52% من نفاياتها[10]، فيما يبدو أداء أوروبا أفضل فالنسبة 24%، مع تباين أساليب المعالجة داخل دول الاتحاد الأوروبي[11].

على المستوى العالمي، تختلف طرق إدارة والتخلص من النفايات بشكل واضح تبعًا لمستوى دخل الدول. فالدول ذات الدخل المرتفع تمتلك أنظمة أكثر تطورًا وتنظيمًا، مع معدلات أعلى لإعادة التدوير واعتماد تقنيات تحويل النفايات إلى طاقة، وإن كان الطمر في المدافن ما يزال ممارسة شائعة. أما في الدول ذات الدخل المتوسط والمنخفض، فإن محدودية البنية التحتية تؤدي إلى انتشار التخلص المكشوف من النفايات وانخفاض معدلات تبنّي حلول تحويل النفايات إلى طاقة. وتعكس هذه الفوارق الحاجة الملحّة إلى تعزيز إدارة النفايات عالميًا، مع التركيز على التدوير والتسميد الحيوي واسترداد الطاقة، بهدف الحد من الاعتماد على المدافن ودعم توجهات الاقتصاد الدائري.[12]

ج. تدوير المواد ذات الصلة بالطاقة

مع تسارع التحول العالمي في قطاع الطاقة، يتزايد حجم النفايات الناجمة عن التقنيات المرتبطة بالطاقة، وخاصة البطاريات والألواح الكهروضوئية وتوربينات الرياح، بوتيرة ملحوظة. وتهدف أنظمة الطاقة الدائرية إلى معالجة هذا التحدي عبر دمج عمليات إعادة التدوير واسترداد الموارد ضمن دورة حياة البنية التحتية للطاقة، بما يسهم في خفض الأثر البيئي ورفع كفاءة استخدام المواد (تعظيم الاستفادة من المواد وتقليل الفاقد).

- تتضمن الألواح الشمسية، ولا سيما المصنوعة بتقنية السيليكون البلوري، مواد قابلة لإعادة التدوير مثل الزجاج (نحو 75% من وزن اللوح)، وإطارات الألمنيوم، وأسلاك النحاس، والمكونات البلاستيكية. وتُفكك هذه الألواح وتُسترد المواد المصاحبة لها.
- تستكشف مشاريع ابتكارية حديثة، مثل Icarus، استخدام مخلفات الألواح الشمسية (مثل نشارة السيليكون أو ما يُعرف بـ"الذهب الأسود") لتصنيع ألواح جديدة، بما يعزز عملية التدوير ويرفع كفاءة استخدام الموارد.

- مع ازدياد انتشار المركبات الكهربائية وحلول تخزين الطاقة المتجددة، تُعد إعادة تدوير البطاريات عنصراً محورياً للاستدامة واستعادة الموارد.
  قد يصل فاقد الإنتاج الحالي (مخلفات التصنيع) إلى نحو 30% من مخرجات مصانع البطاريات الجديدة.
  تُعاد مواءمة بطاريات المركبات الكهربائية في البداية كوحدات تخزين طاقة ثابتة، قبل الدخول في مرحلة إعادة التدوير حيث تُفكك وتُسترد عناصرها عبر عمليات كيميائية متخصصة.
- قد تنمو سلسلة قيمة البطاريات إلى نحو 400 مليار دولار بحلول عام 2030، مع تأكيد متزايد على مبادئ الاستدامة والأنظمة ذات الحلقة المغلقة.

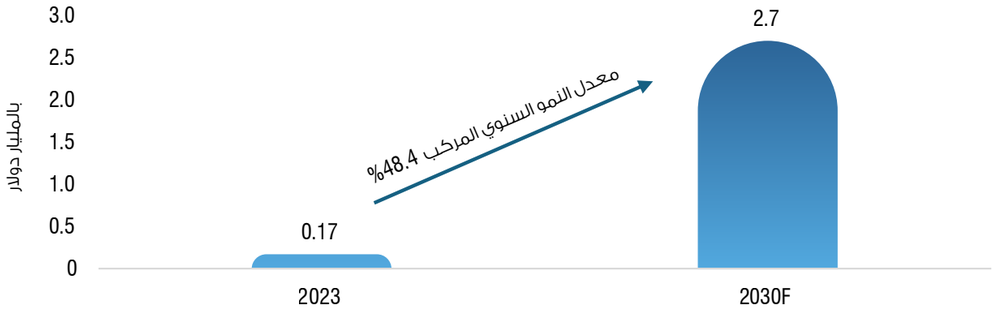
- تُعدّ ما بين 85% و90% من كتلة توربينات الرياح قابلة لإعادة التدوير، إلا أن الشفرات ما تزال تمثل تحديًا بسبب تركيبها المعقّد القائم على المواد المركّبة.
- تركز الجهود التعاونية مثل DecomBlades وZEBRA (Zero wastE Blade ReseArch) التي أطلقتها شركات تصنيع توربينات الرياح على تعزيز كفاءة وفاعلية إعادة تدوير شفرات التوربينات.

المصدر: وكالة حماية البيئة الأمريكية، PVCase، ماكنزي، Owens Corning، Engie، CANOE، Arkema، LM Wind Power، IRT Jules Verne ، و SUEZ.

[9] النسخة الثانية من تقرير "يا له من إهدار" – البنك الدولي (2018)
[10] وكالة حماية البيئة الأمريكية
[11] أوروستات
[12] النسخة الثانية من تقرير "يا له من إهدار" – البنك الدولي (2018)

من المتوقع أن يشهد قطاع إعادة تدوير الألواح الكهروضوئية الشمسية العالمية نمواً كبيراً في السنوات المقبلة. ويرجع هذا الارتفاع إلى الزيادة الهائلة في منشآت الطاقة الشمسية والتراجع الوشيك في إمدادات المعادن الرئيسة.

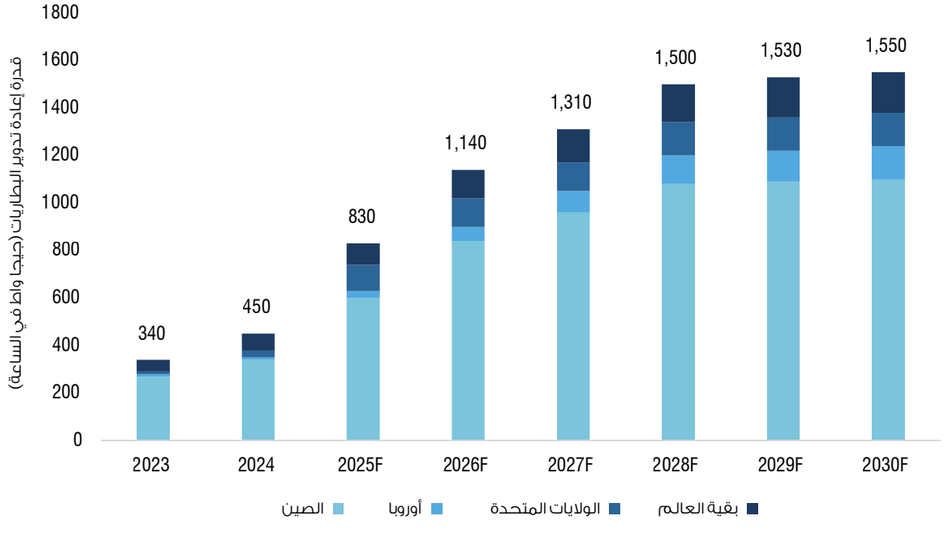
نمو قيمة مواد إعادة تدوير الطاقة الشمسية الكهروضوئية



المصدر: Rystad Energy

من المتوقع أن تصل نفايات الطاقة الشمسية الكهروضوئية إلى 27 مليون طن سنوياً بحلول عام 2040، مما يجعل إعادة التدوير أمراً ضرورياً لتحقيق الطاقة الدائرية. ويمكن استعادة المواد القيمة مثل الفضة والألومنيوم والنحاس والبولي سيليكون، وتساهم الفضة، على الرغم من أنها تشكل 0.05% فقط من وزن الألواح، بنسبة 14% من قيمة المواد. ويمكن أن تلبي إعادة التدوير 21% من حجم الطلب على الفضة و11% من حجم الطلب على الألومنيوم للألواح مستقبلاً، مما يقلل من التعدين والانبعاثات. ومع ذلك، فإن جدواها الاقتصادية تعتمد على التقدم التقني والسياسات الداعمة وارتفاع تكاليف الطاقة.

القدرة المتوقعة لإعادة تدوير البطاريات من 2023 إلى 2030، حسب المناطق، واستناداً إلى الخطط المعلنة حالياً



المصدر: وكالة الطاقة الدولية

تنويه: تشير قدرة إعادة التدوير إلى استعادة المواد. ويفترض استخدام عامل استخدام أقصى بنسبة 85% وكثافة طاقة خلية متوسطة تبلغ 180 واط/كجم.

د. الطاقة المتجددة المستدامة

يقصد بالطاقة المتجددة المستدامة الطاقة المولدة من مصادر طبيعية متجددة (مثل الشمس والرياح والمياه والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية) تستثمر بطرق تراعي على المدى الطويل الاعتبارات البيئية والاجتماعية والاقتصادية. ورغم أن جميع مصادر الطاقة المتجددة قابلة للتجدد، فإن الاستدامة تضمن ألا يؤدي إنتاجها واستخدامها إلى الإخلال باحتياجات الأجيال القادمة أو الإضرار بالنظم البيئية والمجتمعات.

أنواع الطاقة المتجددة المستدامة

الطاقة الشمسية

المزايا:
- متوفرة على نطاق واسع وقابل للتطوير
- تكاليف تشغيلية أقل
- مناسبة للاستخدام السكني والتجاري والصناعي

التحديات:
- عدم الاتساق بسبب تقلبات الطقس وضوء النهار؛ يتطلب حلولاً لتخزين الطاقة.

طاقة الرياح

المزايا:
- نظيفة ومتجددة مثالية لتوليد الطاقة على نطاق واسع

التحديات:
- الجدوى الخاصة بالموقع؛ المخاوف المتعلقة بالمظهر والضوضاء؛ التكامل مع الشبكة.

الطاقة الكهرومائية

المزايا:
- إنتاج طاقة موثوق ومتسق
- يمكن أن يدعم استقرار الشبكة

التحديات:
- التأثير البيئي على النظم البيئية المائية ونزوح المجتمعات المحلية؛ الحاجة إلى استثمارات أولية كبيرة.

الطاقة الحرارية الأرضية

المزايا:
- مصدر طاقة مستقر ومستمر
- أثر بيئي ضئيل على الأرض

التحديات:
- تقتصر على المناطق الجيولوجية النشطة؛ تتطلب استثمارات أولية كبيرة

طاقة الكتلة الحيوية

المزايا:
- تستخدم النفايات يمكن أن تكون
- محايدة الكربون إذا تمت إدارتها بشكل مستدام

التحديات:
- مخاوف تتعلق بتلوث الهواء؛ منافسة مع إنتاج الغذاء

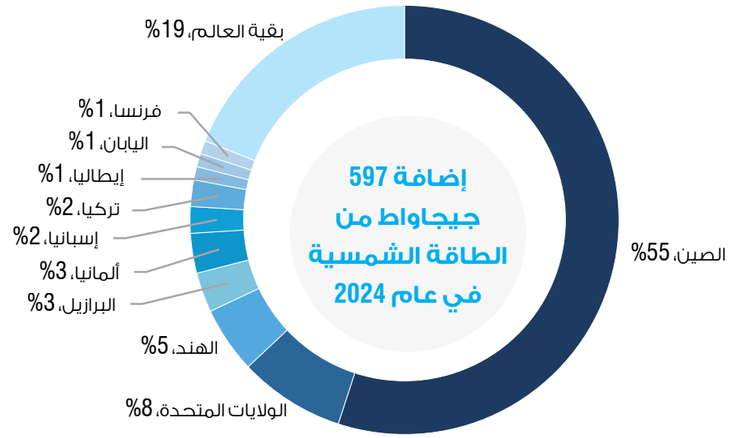
المصدر: Routledge, Bajaj Finserv

تمتد الطاقة المستدامة إلى ما هو أبعد من مجرد استبدال الوقود الأحفوري؛ إذ تدعم نهجاً شاملاً يُعلي كفاءة استخدام الموارد وحماية البيئة والعدالة الاجتماعية. ومن خلال الإسهام في تحسين جودة الهواء وخفض الانبعاثات وتعزيز أمن الطاقة على المدى الطويل، تؤدي دوراً محورياً في دفع الأهداف المناخية العالمية وتحقيق التنمية المستدامة.

السوق العالمي للطاقة المتجددة

من المتوقع أن تنمو قدرة توليد الكهرباء من المصادر المتجددة بوتيرة أسرع من نمو الطلب العالمي على الكهرباء من الآن وحتى عام 2028، بما يؤدي إلى تراجع تدريجي في التوليد القائم على الفحم، مع بقاء الغاز الطبيعي عند مستويات مستقرة. وبحلول عام 2028، ستولد المصادر المتجددة 42% من الكهرباء عالمياً، على أن تسهم الرياح والألواح الكهروضوئية بنحو 25%، مع بقاء الطاقة الكهرومائية المكون الأبرز. ومع ذلك، ينبغي تسريع وتيرة الاعتماد، إذ تُعد المصادر المتجددة حالياً المصدر الرئيس للكهرباء في 57 دولة، معظمها بفضل الطاقة الكهرومائية، وهو ما يمثل 14% فقط من الطلب العالمي على الكهرباء. وبحلول عام 2028، ستعتمد 68 دولة على المصادر المتجددة أساساً، إلا أنها ستظل تمثل 17% فقط من إجمالي الطلب العالمي.

إضافات قدرة الطاقة الشمسية حسب الدول 2024



المصدر: Solar Power Europe

هيمنت الصين في عام 2024 على السوق العالمي للألواح الكهروضوئية الشمسية، مع تركيب قياسي بلغ 329 جيجاواط، بما يعادل 55% من الإضافات العالمية، متجاوزة إجمالي ما حققته بقية الأسواق العشرة الأولى مجتمعة. وجاءت الولايات المتحدة في المرتبة الثانية بقدرة 50 جيجاواط (بارتفاع 54% على أساس سنوي)، فيما حققت الهند 30.7 جيجاواط (بارتفاع 145% على أساس سنوي) لتستعيد المركز الثالث. ودخلت كل من تركيا وفرنسا قائمة الدول العشر الأوائل بدلاً من أستراليا وهولندا. وأضاف العالم 597 جيجاواط من الطاقة الشمسية في عام 2024، لترتفع القدرة الإجمالية إلى 2.2 تيراواط، وذلك بعد عامين فقط من بلوغ التيراواط الأول. ومع ذلك، ما يزال الانتشار غير متوازن؛ إذ تستحوذ الدول العشر الأولى على 81% من التركيبات، وتحتفظ منطقة آسيا والمحيط الهادئ بـ 63% من القدرة العالمية، فيما وصلت الصين منفردةً إلى 1 تيراواط. وعلى أساس نصيب الفرد، تتصدر أستراليا وهولندا وألمانيا بأكثر من كيلوواط/فرد، بينما يبلغ المتوسط العالمي نحو 276 واط/فرد[13].

هـ. كفاءة الطاقة وإدارة الموارد

تشير كفاءة الطاقة إلى القدرة على تحقيق المستوى نفسه من المخرجات؛ سواء من حيث الراحة أو الإنتاجية أو الخدمة، باستخدام قدرٍ أقل من الطاقة. وتنطوي على تحسين استخدام الطاقة عبر مراحل الإنتاج والتوزيع والاستهلاك، بما يقلص الهدر والأثر البيئي. وفي هذا السياق، تُكمل إدارة الموارد كفاءة الطاقة من خلال ضمان استخدام الموارد الطبيعية وموارد الطاقة على نحوٍ مسؤول ومستدام واقتصادي طوال دورة حياتها.

[13] Solar Power Europe

كفاءة الطاقة عالمياً

في استجابة لتصاعد تحديات الطاقة، عززت دول عديدة حول العالم سياساتها الخاصة بكفاءة الطاقة خلال العام الماضي بصورة ملحوظة. وقد قدمت دول تمثل أكثر من 70% من حجم الاستهلاك العالمي للطاقة لوائح جديدة أو حسنت الأطر القائمة بهدف تسريع وتيرة تحسين الكفاءة.

السياسات العالمية لكفاءة الطاقة

المنطقة/الدولة	السياسة/المبادرة	أبرز النقاط
الاتحاد الأوروبي	• توجيه أداء الطاقة في المباني (2024) • توجيه كفاءة الطاقة (2023)	• مبانٍ جديدة عديمة الانبعاثات بحلول 2030، ومعايير الحد الأدنى لأداء الطاقة (MEPS) للمباني غير السكنية[14]، وخطط تجديد طويلة الأجل. • تعزيز المستهدفات الخاصة بتوفير الطاقة عبر القطاعات.
المملكة المتحدة	• برنامج إزالة الكربون للقطاع العام	• 680 مليون دولار أمريكي لترقيات الكفاءة في المدارس والمستشفيات والمباني العامة.
الولايات المتحدة	• تحديث معايير اقتصاد الوقود للشركات (CAFE) لعام 2024 • مستهدف مبيعات المركبات عديمة الانبعاثات (ZEV)	• تحسين سنوي بنسبة 2% في اقتصاد الوقود لسيارات الركاب (2027 – 2032)، وتشديد معايير المركبات الثقيلة حتى 60% بدءاً من 2027. • بلوغ المركبات عديمة الانبعاثات نسبة 60% من إجمالي مبيعات السيارات بحلول 2032.
كندا	• استراتيجية كندا للمباني الخضراء	• 600 مليون دولار أمريكي لأعمال التحديث، والتخلص التدريجي من التدفئة بالوقود النفطي في المباني الجديدة بحلول 2028.
الصين	• خطة عمل ترشيد الطاقة وخفض الكربون (2024 – 2025)	• تحسين سنوي بنسبة 2.5% في كثافة الطاقة على المستوى الوطني، و3.5% للصناعات الكبرى. تستهدف الأهداف القطاعية توفير طاقة تعادل 100 مليون طن من الفحم.
الهند	• خطة PM E–DRIVE (2024)	• حوافز للمركبات الكهربائية وبنية الشحن التحتية، وبرنامج تصنيع جديد لسيارات الركاب الكهربائية.
اليابان	• استراتيجية كفاءة الطاقة والانتقال إلى طاقة غير أحفورية (2024)	• تركيز على استخدامات الحرارة الصناعية، وكفاءة المباني، وأداء المركبات.
كوريا الجنوبية	• برنامج إدارة مستهدفات كثافة الطاقة	• مستهدفات كفاءة للمباني المتوسطة والكبيرة وفقاً لمساحة المبنى.
أستراليا	• معيار كفاءة المركبات الجديد	• مستهدف خفض انبعاثات بنسبة 60% لمركبات الركاب و50% للمركبات التجارية الخفيفة بحلول 2030.
سنغافورة	• قسائم الأجهزة المنزلية	• 225 دولاراً أمريكياً (300 دولار سنغافوري) لشراء أجهزة عالية الكفاءة في الطاقة وتقليل النفايات.

المصدر: وكالة الطاقة الدولية

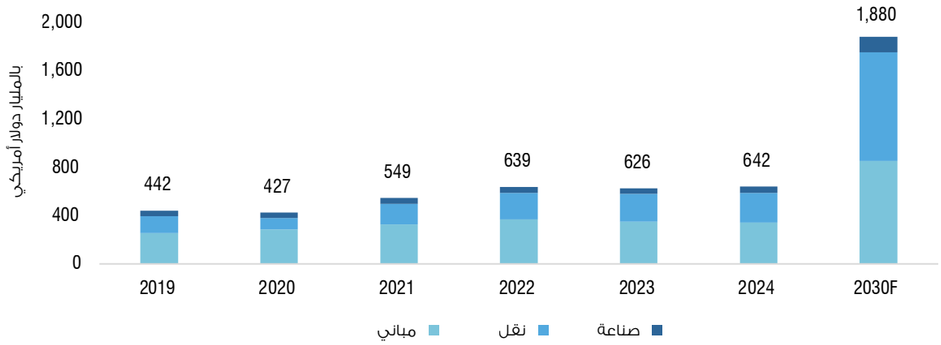
[14] المسمى الرسمي Minimum Energy Performance Standards

تعكس هذه التحديثات في السياسات التزاماً عالمياً متزايداً بكفاءة الطاقة كاستراتيجية رئيسية لخفض الانبعاثات وتعزيز أمن الطاقة ودعم النمو الاقتصادي المستدام[15].

تصنيفات كفاءة الطاقة العالمية

لدعم وعي المستهلكين وتشجيعهم على اتخاذ خيارات أكثر ذكاءً في مجال الطاقة، أدخلت العديد من المنظمات تصنيفات كفاءة الطاقة وأنظمة وضع العلامات. تظهر هذه العلامات الموحدة، مثل ENERGY STAR في الولايات المتحدة، وعلامة الطاقة الأوروبية، وتصنيف BEE Star في الهند، على المنتجات للإشارة إلى أدائها في مجال الطاقة. من خلال جعل بيانات استهلاك الطاقة مرئية وقابلة للمقارنة، تساعد هذه الملصقات المستهلكين على اختيار المنتجات منخفضة الطاقة التي تقلل التكاليف وتحد من الأثر البيئي. كما أنها تؤثر على سلوك الشراء وتزيد الطلب على التقنيات المستدامة.

الاستثمار العالمي في كفاءة الطاقة لقطاعات المستخدمين النهائيين في سيناريو الحياد الكربوني



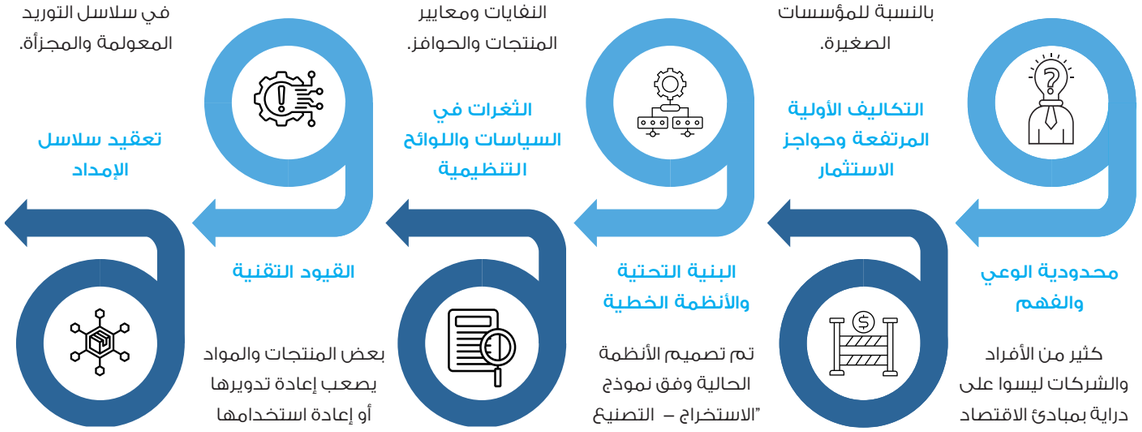
المصدر: وكالة الطاقة الدولية

ارتفع الاستثمار العالمي في كفاءة الطاقة بنسبة 4% في عام 2024 ليصل إلى 660 مليار دولار أمريكي، مما يضاهي الذروة التي بلغها في عام 2022 ويتجاوز الاستثمار في النفط والغاز بنسبة 10%. ومنذ عام 2019، نما الاستثمار بنسبة 45% بقيادة قطاع النقل (77%) والمباني (34%) والصناعة (13%). بينما تتسارع وتيرة الكهربة، لا سيما السيارات الكهربائية في الصين وأوروبا وأمريكا الشمالية، فقد استقر النمو الإجمالي بسبب انخفاض أسعار الطاقة وتراجع التحفيزات والتضخم وارتفاع أسعار الفائدة. لتحقيق أهداف الصفر الصافي، يجب أن يتضاعف الاستثمار السنوي ثلاث مرات ليصل إلى 1.9 تريليون دولار أمريكي بحلول عام 2030، مع تركيز الاقتصادات الناشئة على البنية التحتية الفعالة وتركيز الاقتصادات المتقدمة على الكهربة والتقنيات الذكية[16].

[15] وكالة الطاقة الدولية
[16] وكالة الطاقة الدولية

التحديات أمام الطاقة الدائرية والفرص المتاحة

التحديات



المصدر: دليل استدامة الطاقة

الفرص

استغلال أفضل للموارد	خفض الانبعاثات	حماية الصحة والتنوع الحيوي	النمو الاقتصادي	توفير فرص العمل وتحقيق العدالة الاجتماعية
يمكن أن يؤدي الانتقال إلى استخدام المواد المعاد تدويرها والقابلة لإعادة التدوير، لا سيما في قطاعات مثل المنسوجات، إلى تقليل استخدام الأراضي والمياه والوقود الأحفوري بشكل كبير، مع تعزيز إعادة الاستخدام وأسواق السلع المستعملة.	يمكن للاستراتيجيات الدائرية أن تقلل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية بنسبة تصل إلى 39%، لا سيما من خلال الحد من هدر الطعام والتحول إلى استخدام المواد المعاد تدويرها في التصنيع.	تقلل الإدارة السليمة للنفايات وتصميم المنتجات من التلوث والتعرض للمخاطر، مما يعود بالنفع على صحة الإنسان والنظم البيئية.	يوفر الاقتصاد الدائري فرصة بقيمة 4.5 تريليون دولار من خلال الابتكار وتقليل النفايات ونماذج الأعمال الجديدة مثل الإصلاح وإعادة التصنيع والمشاركة.	يمكن أن يولد 6 ملايين وظيفة جديدة صافية بحلول عام 2030، لا سيما في خدمات إعادة التدوير والإصلاح، مع توفير فرص عمل رسمية أكثر أماناً للعمال غير الرسميين مثل جامعي النفايات.

ز. السياسات الداعمة الرئيسة للطاقة الدائرية

الدولة/ المنطقة	السياسة	تفاصيل
الولايات المتحدة	سياسة القياس الصافي	نظام فوترة يمنح مستخدمي الطاقة الشمسية أرصدة مقابل الفائض الكهربائي الذي يضخ إلى الشبكة، بما يسهم في خفض فواتيرهم ودعم نمو الطاقة النظيفة.
	الائتمان الضريبي للاستثمار في الطاقة الشمسية (ITC)	سياسة اتحادية تمنح ائتماناً ضريبياً بنسبة 30% لتركيبات الطاقة الشمسية السكنية والتجارية.
	الإعفاء من ضريبة الممتلكات	إعفاء من ضريبة الأملاك عند تركيب أنظمة الطاقة المتجددة المؤهلة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وخلايا الوقود.
	التوليد الموزع للمجتمع	برنامج التوليد الموزع المجتمعي يتيح للسكان الاشتراك في مشروعات طاقة متجددة مشتركة والحصول على أرصدة على الفواتير.
	برنامج كهربة المنازل وخصم الأجهزة المنزلية (HEAR)	برنامج HEAR يقدم حسومات للأسر ذات الدخل المنخفض والمتوسط للتحول من الأجهزة العاملة بالغاز إلى الأجهزة الكهربائية وتحسين كفاءة الطاقة المنزلية.
الصين	إعفاءات ضريبة القيمة المضافة بنسبة 100	إعفاء كامل بنسبة 100% من ضريبة القيمة المضافة لمواد البناء المصنوعة من نفايات مُعاد تدويرها، وكذلك لعمليات التخلص من النفايات ومعالجة الحمأة.
	سياسات استرداد ضريبة القيمة المضافة	استرداد كامل بنسبة 100% من ضريبة القيمة المضافة للطاقة والزيوت والمنتجات المصنوعة من النفايات الصناعية والمواد العضوية؛ واسترداد بنسبة 80% للألواح الخشبية المشتقة ومنتجات مستخلصة من المخلفات الزراعية. واسترداد بنسبة 50% للورق المُعاد تدويره والوقود والمعادن والمنسوجات ومنتجات الجرافيت المصنوعة من مصادر مختلفة من النفايات الصناعية والمنزلية.
أوروبا	المنح العامة	تقدم المجر دعماً يصل إلى ثلثي التكلفة للألواح الشمسية المقترنة بتخزين الطاقة، فيما توفر السويد حسماً بنسبة 20% عبر برنامجها المبسط "Grön Teknik".
	تخفيض ضريبة القيمة المضافة لتنفيذ الطاقة الشمسية	خفضت تسع دول أوروبية—بما فيها ألمانيا—ضريبة القيمة المضافة على الألواح الشمسية وتركيبها أو أعفتها بالكامل، بما يخفض تكلفة المستهلك مباشرةً دون الحاجة إلى إجراءات استرداد معقدة.
	قرض تكاليف التركيب	تقدم الحكومات والمصارف قروضاً منخفضة الفائدة أو معدومة الفائدة لتركيبات الطاقة الشمسية، بينما توفر دول مثل إسبانيا وإيطاليا وألمانيا والسويد خصومات ضريبية على دخل الطاقة الشمسية.
	نظام (Pfandsystem) ألمانيا	يُعد نظام استرداد الودائع في ألمانيا الأكثر فاعلية عالمياً، إذ يحقق معدل استرجاع يبلغ 98% لعبوات المشروبات أحادية الاستخدام بفضل قيم ودائع مرتفعة وشبكة واسعة من نقاط الإرجاع.

المصدر: وكالات SEIA, DSIRE, WTO, DW

تبني الطاقة الدائرية في دول مجلس التعاون الخليجي

تحمل الطاقة الدائرية أهمية استراتيجية لدول مجلس التعاون الخليجي، حيث يُعد قطاع الطاقة ركيزة للنمو الاقتصادي والتنمية. ويخلق الاعتماد الكبير على صادرات الهيدروكربونات في دول المجلس فرصة وضرورة معاً للتحول نحو أنظمة طاقة أكثر استدامة وتنوعاً. وتمكن استراتيجيات الطاقة الدائرية، بما في ذلك الاقتصاد الدائري للكربون، دول المجلس من تعظيم القيمة المتولدة من الموارد الأحفورية عبر احتجاز الكربون واستخدامه وإعادة تدويره، بالتوازي مع الاستثمار في الطاقة المتجددة ومشروعات تحويل النفايات إلى طاقة. وبالنظر إلى الإسهام الكبير لقطاع الطاقة في الناتج المحلي الإجمالي وإيرادات الحكومات وفرص التوظيف في دول المجلس، يُعد إدماج الطاقة الدائرية عاملًا حاسماً للحفاظ على مرونة الاقتصاد، وتحفيز الابتكار، وصون الميزة التنافسية للمنطقة في مشهد طاقة عالمي يتطور بوتيرة متسارعة.[17,18]

أ. مزيج الطاقة المتجددة الوطنية في دول مجلس التعاون الخليجي، والالتزامات، وأهداف الحياد الكربوني

الدولة	مستهدفات مزيج الطاقة المتجددة	مستهدفات الحياد الكربوني	التزامات تغير المناخ
البحرين	• 20% من توليد الكهرباء بحلول عام	• خفض الانبعاثات بنسبة 30% بحلول عام 2035 • الوصول إلى صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2060	• هدف تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060 • هدف الوصول إلى ذروة قدرات الطاقة المتجددة بنسبة 5% بحلول عام 2025 و10% بحلول عام 2030 • تخفيض استهلاك الطاقة بنسبة 6% في عام 2025
الكويت	• 30% من الحمل الأقصى بحلول عام 2030 • 40% بحلول عام 2040 • 50% بحلول عام 2050	• الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية لقطاع النفط بحلول عام 2050 • الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2060	• الالتزام بخفض انبعاثاتهم بنسبة 7.4% بحلول عام 2035 مقارنة بسيناريو "الأعمال كالمعتاد" (2015)
عمان	• 16% بحلول عام 2025 • 30% من توليد الكهرباء بحلول عام 2030 • 60-70% بحلول عام 2040 • 100% بحلول عام 2050	• الحياد الكربوني بحلول 2050	• التزامات بخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 4% (غير مشروطة) و7% (مشروطة) بحلول عام 2030 مقارنة بسيناريو "الأعمال كالمعتاد" (المقدر بنحو 125.3 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون)
قطر	• 20% من إجمالي السعة بحلول عام 2030	• خفض الانبعاثات بنسبة 25% بحلول 2030	• التزامات بخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 25% بحلول عام 2030 مقارنة بسيناريو "الأعمال كالمعتاد" • أدخلت نظام نقل جماعي سريع وقامت بتحديث مطارها إلى المستوى 3 • أدخلت بنية تحتية لشحن السيارات الكهربائية وتقوم تدريجياً بتطبيق معايير الانبعاثات Euro 6 على المركبات العادية
السعودية	• 50% من توليد الكهرباء بحلول عام 2030	• الحياد الكربوني بحلول 2060	• الالتزام بخفض وتجنب وإزالة انبعاثات غازات الدفيئة بمقدار 278 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون سنوياً بحلول عام 2030 • هدف الحياد الكربوني بحلول عام 2060 • الالتزام بتعزيز تطوير الهيدروجين منخفض الكربون (الأخضر والأزرق)
الإمارات	• الدولة: 44% من مزيج الطاقة الوطني بحلول عام 2050 • دبي: 7% بحلول عام 2020، 25% بحلول عام 2030، 75% بحلول عام 2050	• الحياد الكربوني بحلول 2050	• التزامات بخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 23.5% بحلول عام 2030 مقارنة بسيناريو "الأعمال كالمعتاد". • هدف تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060 • وضع استراتيجية للنمو الأخضر • تشكيل تحالفات الهيدروجين • استضافة قمة كوب 28 في عام 2023

المصدر: مركز أبحاث الخليج، كلية لندن للاقتصاد، استراتيجية كل دولة على حدة

17 ARAMCO
18 KAPSARC

ب. مؤشر اقتصاد الكربون الدائري لدول مجلس التعاون الخليجي

Country	تصنيف مؤشر اقتصاد الكربون الدائري (2021)	تصنيف مؤشر اقتصاد الكربون الدائري (2024)
الإمارات	26	▲ 22
قطر	39	▲ 32
السعودية	54	▲ 41
البحرين	62	= 62
عمان	56	▼ 64
الكويت	76	▼ 84

تنويه: يشتمل التصنيف على 125 دولة
المصدر: مؤشر اقتصاد الكربون الدائري – مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية

استناداً إلى مؤشر اقتصاد الكربون الدائري لعام 2024، تظهر دول مجلس التعاون الخليجي مزيجاً من التقدم والتحديات في اعتماد مبادئ الكربون الدائري. وتتصدر دولة الإمارات دول المنطقة، حيث ارتفعت إلى المرتبة 22 بفضل الدعم القوي للسياسات والاستثمارات. وتحسن تصنيف قطر والسعودية إلى المرتبة 32 و41 على التوالي، مما يعكس الجهود المتزايدة في مجال كفاءة الطاقة وإدارة الكربون.

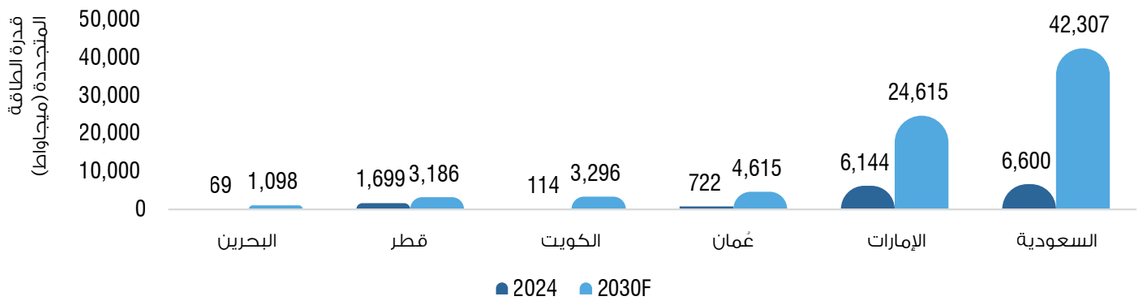
ج. احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في دول مجلس التعاون الخليجي

احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ركيزة استراتيجية في جهود دول مجلس التعاون الخليجي لإزالة الكربون من اقتصاداتها، وتنويع أنشطتها الصناعية، والحفاظ على مكانتها في مشهد الطاقة العالمي[19]. وهناك بالفعل مشاريع كبرى في السعودية والإمارات وقطر، ما يرسخ مكانة المنطقة كأحد أوائل المتحركين في تطبيق تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه على نطاق واسع[20].

تبلغ الطاقة الإجمالية الحالية لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون في دول مجلس التعاون الخليجي نحو 3.7 مليون طن سنوياً، وتشمل المشاريع الرائدة رأس لفان في قطر (2.1 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً)، والعثمانية في السعودية (0.8 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً) ومشروع CSS في أبوظبي بدولة الإمارات (0.8 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً)[21].

د. الطاقة المتجددة في مجلس التعاون الخليجي

قدرات الطاقة المتجددة في دول مجلس التعاون الخليجي



المصدر: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، ديلويت

من المتوقع أن تنمو الطاقة الكهروضوئية الشمسية في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى 84 جيجاواط بحلول عام 2030، مع أكثر من نصفها قادم من المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة. بشكل عام، من المتوقع أن تزيد الطاقة الكهروضوئية الشمسية المركبة في المنطقة بأكثر من أربعة أضعاف بين عامي 2024 و2030، مما يوسع حصتها في مزيج الطاقة من 2% إلى أكثر من 8%[22].

[19] مبادرة شركات النفط والغاز بشأن المناخ
[20] مؤسسة رولاند برغر
[21] مؤسسة رولاند برغر
[22] تقرير وكالة الطاقة الدولية عن الطاقة المتجددة (2024).

هـ. مشاريع واستثمارات الطاقة الدائرية الرئيسة في دول مجلس التعاون الخليجي

الدولة	مشاريع واستثمارات الطاقة الدائرية الرئيسة
عُمان	• مشروعات الطاقة الشمسية على نطاق المرافق والتخزين بالبطاريات في عُمان: مشروعات تدعم دمجاً أنظف للشبكة الكهربائية. • محطة تحويل النفايات إلى طاقة في عُمان: أول محطة واسعة النطاق لتحويل النفايات إلى طاقة مخطط لها لخفض الاعتماد على المدافن وتقليل الانبعاثات. • منشأة إعادة تدوير النفايات الإلكترونية في صلالة: مشروع واسع النطاق لإطالة دورة حياة المواد وتقليل البصمة البيئية. • مشروعات تجريبية لتمعدن الكربون: مشروعات ابتكارية لإزالة غازات الدفيئة بالاستفادة من الجيولوجيا الطبيعية لعُمان.
قطر	• احتجاز ثاني أكسيد الكربون في رأس لفان للغاز الطبيعي المُسال: التقاط واسع النطاق لثاني أكسيد الكربون من عمليات الغاز الطبيعي المُسال بما يدعم إزالة الكربون. • منشآت إعادة تدوير النفايات الصناعية: مشروعات ناشئة تستهدف الاستخدام الدائري للنواتج الثانوية الصناعية • برامج تحويل النفايات العضوية البلدية إلى أسمدة: مبادرات لتحويل النفايات العضوية إلى مدخلات زراعية
السعودية	• مركز الجبيل لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه: متعدد القطاعات يخدم إزالة الكربون الصناعي وإنتاج الهيدروجين/الأمونيا منخفض الكربون. • محطتا سكاكا وسدير الكهروضوئيتان: مشروعات شمسية واسعة النطاق تسهم في التوسع في المصادر المتجددة ودمجها في الشبكة. • الشركة السعودية للاستثمار لإعادة التدوير: برنامج وطني لإعادة تدوير النفايات على نطاق واسع وإنشاء مرافق تحويل النفايات إلى طاقة. • مرافق تحويل النفايات إلى طاقة في الدمام والرياض: محطات مخطط لها لخفض انبعاثات المدافن وتوليد الكهرباء من النفايات.
الإمارات	• مجمع محمد بن راشد آل مكتوم (MBR) للطاقة الشمسية: أكبر مشروع كهروضوئي أحادي الموقع في العالم مزود بتخزين بالبطاريات. عند اكتماله، سيخفض الانبعاثات الكربونية بمقدار 6.5 مليون طن سنوياً. • مشروع "الريادة" لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (أبوظبي): أول منشأة CCUS على نطاق تجاري لقطاع الحديد والصلب؛ مع التوسع ليشمل قطاعات صناعية أخرى. • مشروعات "مصدر" للطاقة الشمسية والتخزين بالبطاريات: مشاريع متكاملة للطاقة الشمسية المقترنة بالتخزين لدعم انتقال الشبكة الكهربائية النظيفة. • مبادرات بلدية دبي لإعادة التدوير وتحويل النفايات إلى طاقة: مشاريع للاقتصاد الدائري الحضري تركز على إدارة النفايات البلدية الصلبة.

المصدر: برايس ووترهاوس كوبرز: صعود الاقتصاد الدائري

و. أمثلة على تطبيق الطاقة الدائرية في الشركات الخليجية

الشركة/المشاريع	حجم/إيرادات السوق الراهنة
سابك (السعودية)	يروج برنامج Trucircle التابع لـ سابك للدائرية عبر منتجات مثل البولي إيثيلين والبولي بروبيلين الدائريين المعتمدَين والمصنعين من لُقيم بلاستيكي مُعاد تدويره. وبالشراكة مع Plastic Energy، تبني سابك أول وحدة تجارية في العالم لإنتاج هذه البوليمرات، مع استهداف تحقيق قابلية إعادة التدوير الكاملة في قطاع التغليف.
أدنوك بروج (الإمارات)	تستثمر شركة بروج، المشروع المشترك بين أدنوك وبوريالِيس، في "مركز تميز للتغليف" في أبوظبي لتعزيز حلول التغليف الدائري. وضمن استراتيجيتها 2030، تستهدف خفض الحرق بنسبة 60%، وتقليل النفايات الخطرة بنسبة 40%، وخفض استهلاك الطاقة بنسبة 14% واستهلاك المياه بنسبة 6% لكل طن من الإنتاج.
هيئة كهرباء ومياه دبي (الإمارات)	في عام 2019، خفضت هيئة كهرباء ومياه دبي فاقد شبكات المياه إلى 6.63% بالاعتماد على أنظمة الإشراف والتحكم وجمع البيانات وتقنيات كشف التسرب. كما أطلقت أدوات ذكية مثل البنية التحتية للعدادات المتقدمة والتنبيهات عند ارتفاع الاستهلاك لدعم العملاء في كشف التسربات وإدارة استهلاك المياه بكفاءة.
شركة الإمارات لتحويل النفايات إلى طاقة (الإمارات)	تُشيد شركة "الإمارات لتحويل النفايات إلى طاقة"، المشروع المشترك بين "بيئة" و"مصدر"، محطة تحويل نفايات إلى طاقة بقيمة 220 مليون دولار في الشارقة لتغذية 28 ألف منزل بالكهرباء وتحويل 300 ألف طن سنوياً بعيداً عن المدافن. ويُخطط لإنشاء محطتين إضافيتين لتوسيع نطاق الطاقة المستدامة في دولة الإمارات.
شركة الإمارات العالمية للألمنيوم (الإمارات)	تعيد شركة الإمارات العالمية للألمنيوم تدوير "بطانة قدور الصهر المستهلكة"، وهي ناتج ثانوي خطِر لعمليات صهر الألمنيوم، من خلال توريدها إلى مصانع الإسمنت في دولة الإمارات. وقد أسهم ذلك في تحويل أكثر من 46,696 طناً عن المدافن، وخفض استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في صناعة الإسمنت.
شركة حديد الإمارات أركان (تُعرف الآن باسم "امستيل") (الإمارات)	تحتجز "امستيل"، بالشراكة مع مشروع "الريادة" التابع لأدنوك، ما يصل إلى 800 ألف طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً من عمليات الاختزال الحديدي. ويُضغط ثاني أكسيد الكربون الملتقط ويُنقل عبر خط أنابيب بطول 43 كيلومتراً لاستخدامه في الاستخلاص المعزز للنفط في الحقول البرية التابعة لأدنوك.

المصدر: برايس ووترهاوس كوبرز: صعود الاقتصاد الدائري – شركات سابك، Plastic Energy، أدنوك، هيئة كهرباء ومياه دبي، NS Energy، الإمارات العالمية للألمنيوم، امستيل.

ز. السياسات الداعمة لتبني الطاقة الدائرية في دول مجلس التعاون الخليجي

الدولة/المنطقة	السياسة	التفاصيل
البحرين	خطة العمل الوطنية للطاقة المتجددة	تستهدف خطة العمل الوطنية للطاقة المتجددة (NREAP) تحقيق قدرة قدرها 710 ميغاواط من الطاقة المتجددة بحلول عام 2035، بدعم استثماري يبلغ 1.8 مليار دولار وحزمة حوافز تشمل إعفاء ضريبي، وملكية أجنبية كاملة، ودعماً مالياً لتصنيع المكونات الشمسية.
الكويت	حوافز تصنيع الوحدات الشمسية المحلية	تعزيز التصنيع المحلي للوحدات الشمسية عبر تفضيلات "المحتوى المحلي" في المناقصات الحكومية، وتقديم حوافز مثل الإعفاءات الضريبية المؤقتة، وتخفيف الرسوم الجمركية، والملكية الأجنبية الكاملة عبر هيئة تشجيع الاستثمار المباشر.
عُمان	حوافز لتعزيز مشاريع الهيدروجين الأخضر	قدم الجولة الثالثة من مزادات الهيدروجين الأخضر في عُمان حوافز تشمل تخصيص الأراضي، ودعم البنية التحتية، وتبسيط الإجراءات التنظيمية لاستقطاب مطوري المشاريع واسعة النطاق.
قطر	BeSolar	تعمل هذه الخدمة على تعزيز الطاقة الشمسية الموزعة عبر تمكين السكان والأعمال من تركيب أنظمة الأسطح، دعماً لهدف توليد 200 ميجاواط من المصادر المتجددة بحلول عام 2030.
الإمارات	دعم تمويلي من بنك الإمارات للتنمية	دعم بنك الإمارات للتنمية مشروعات الطاقة المتجددة في دولة الإمارات عبر تمويل بنسبة 100%للمشروعات، وقروض دون فائدة، وآجال سداد طويلة تصل إلى 15 سنة، وتخفيف الرسوم الجمركية، وإتاحة الملكية الأجنبية الكاملة لمبادرات الطاقة الشمسية والطاقة النظيفة.
	مبادرة "اصنع في الإمارات"	مبادرة اتحادية تدعم الاستثمار الصناعي بما يتوافق مع مستهدفات الانتقال الوطني إلى الطاقة المتجددة.
	برنامج المحتوى المحلي	معاملة تفضيلية في العقود الحكومية للمنتجات الشمسية المصنعة محلياً.
	مزايا المناطق الحرة	ملكية أجنبية بنسبة 100%؛ وإعفاءات ضريبية وإتاحة إعادة تحويل الأرباح؛ وسلاسة في الخدمات اللوجستية وتخليص جمركي مبسط.
	حوافز ضريبية لتصنيع الوحدات الشمسية	إعفاء من ضريبة الشركات في المناطق الحرة؛ و9% ضريبة اتحادية خارج المناطق الحرة.
	إعفاءات ضريبة القيمة المضافة وحسومات ضريبية للبحث والتطوير	إعفاء من ضريبة القيمة المضافة أو إعفاء كامل على منتجات وخدمات الطاقة المتجددة، وحسومات ضريبية إضافية للشركات المبتكرة في تقنيات الطاقة النظيفة.

المصدر: PVKnowHow، زاوية، بنك الإمارات للتنمية

تبني الطاقة الدائرية في المملكة العربية السعودية

طُرح إطار الاقتصاد الدائري للكربون (CCE) خلال رئاسة المملكة العربية السعودية لمجموعة العشرين، وقد اكتسب زخماً دولياً من خلال تعزيز خفض الانبعاثات، وتشجيع الاستثمار في الطاقة المتجددة، وتبني تقنيات احتجاز الكربون. وبعد أن أقره قادة مجموعة العشرين في عام 2020، بات يمثل نهجاً فعال التكلفة ومستداماً للعمل المناخي، مع ضمان إتاحة الوصول إلى طاقة نظيفة. وبناءً على ذلك، أطلقت المملكة في عام 2021 "البرنامج الوطني للاقتصاد الدائري للكربون"، مع التركيز على خفض الانبعاثات وتعويضها عبر استراتيجيات التقليل وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير والإزالة.

المصدر: عرب نيوز، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية

يتمثل الهدف الرئيس للبرنامج الوطني للاقتصاد الدائري للكربون في تحويل اقتصاد المملكة من اقتصاد كربوني خطي إلى اقتصاد كربوني دائري.

وقد دمجت المملكة إطار الاقتصاد الدائري للكربون ضمن السياسات الوطنية عبر "مبادرة السعودية الخضراء"، التي تستهدف الوصول إلى الحياد الصفري بحلول عام 2060 من خلال خفض الانبعاثات والتشجير وحماية النظم البيئية.

المستهدفات الرئيسة لمبادرة السعودية الخضراء

المستهدف	التفاصيل	المبادرات
خفض انبعاثات الكربون بمقدار 278 مليون طن سنوياً بحلول 2030	التزمت المملكة العربية السعودية بأن يأتي 50% من طاقتها من مصادر متجددة بحلول عام 2050، وأن تحقق الحياد الصفري للانبعاثات بحلول عام 2060.	» سيُحول الكربون المحتجز إلى مواد كيميائية و12 طناً/اليوم من الميثانول الأخضر. » تهدف المملكة إلى تحويل 50% من الكهرباء إلى المصادر المتجددة، بما يزيح مليون برميل/اليوم من الوقود السائل ويخفض 175 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً. » توجد 6.2 جيجاواط من الطاقة المتجددة قيد التشغيل، مع 44.2 جيجاواط قيد التطوير، وهي طاقة تكفي لتغذية 7 ملايين منزل. » يُخطط لطرح من 100 حتى 130 جيجاواط من القدرة المتجددة للمناقصات بحلول عام 2030.
حماية 30% من المساحات البرية والبحرية في المملكة	تتعهد المملكة بحماية 30% من أراضيها وبحارها بحلول عام 2030، بالشراكة مع جهات دولية معنية بالتنوع الحيوي مثل الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN) لصون الحياة الفطرية والنظم البيئية.	» 400,000 كم مربع من اليابسة والبحر تحت الحماية. » التزام بقيمة 25 مليون دولار أمريكي لحماية النمر العربي. » إعادة إطلاق أكثر من 7,000 من الأنواع المهددة بالانقراض في البرية منذ عام 2021. » منطقة بحرية محمية "ممنوعة الصيد" بمساحة 6,693 كم مربع مزمع إنشاؤها على امتداد البحر الأحمر.
زراعة 10 مليارات شجرة في مختلف أنحاء المملكة	تخطط المملكة لبرامج تشجير واسعة النطاق، تستهدف زراعة 10 مليارات شجرة واستعادة أكثر من 74 مليون هكتار لمكافحة التصحر.	» زراعة أكثر من 100 مليون شجرة وشجيرة منذ عام 2021. » استعادة 118 ألف هكتار من الأراضي المتدهورة. » يتوقع أن يساهم الغطاء الشجري في خفض درجات الحرارة الحضرية بمقدار 2.2 درجة مئوية » إجراء أكثر من 1,150 مسحاً ميدانياً لمبادرة زراعة 10 مليارات شجرة.

المصدر: مبادرة السعودية الخضراء ومبادرة الشرق الأوسط الأخضر

أ. احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في المملكة العربية السعودية

أصبحت المملكة العربية السعودية رائدة إقليمياً في مجال احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، مستخدمة هذه التقنية بوصفها حجر زاوية في استراتيجيتها لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060 ودفع التحول الأوسع في قطاع الطاقة[23، 24]. وتستند هذه المنظومة في المملكة إلى جهات صناعية كبرى مثل أرامكو السعودية وسابك، وتحظى بدعم مستهدفات حكومية طموحة وتعاون دولي متين.

المشاريع الرئيسة والقدرة

المشروع/الشراكة	تفاصيل المشروع
مركز الجبيل لاحتجاز الكربون وتخزينه (CCS) بالتعاون مع Larsen & Toubro (L&T)	منحت أرامكو السعودية شركة Larsen & Toubro (L&T) عقد مقاولة هندسة وتوريد وإنشاءات (EPC) بقيمة 1.5 مليار دولار للمرحلة الأولى من مركز رئيس لاحتجاز الكربون وتخزينه (CCS) في الجبيل، والذي سيستقبل 6 ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً من أرامكو، ويستهدف تخزين ما يصل إلى 9 ملايين طن سنوياً بحلول عامي 2027–2028، مع مساهمات من مصادر صناعية أخرى.
شركة الغازات الصناعية للهيدروجين الأزرق	استحوذت أرامكو السعودية على حصة 50% في شركة الغازات الصناعية للهيدروجين الأزرق لإنتاج الهيدروجين منخفض الكربون في الجبيل باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. ويهدف هذا المشروع المشترك مع شركة أير برودكتس قدرة إلى بناء شبكة للهيدروجين في المنطقة الشرقية بالمملكة، دعماً لإزالة الكربون الصناعي وتنويع مصادر الطاقة.
مركز الجبيل لاحتجاز الكربون وتخزينه، SLB and Linde	ستقوم أرامكو بالتعاون مع Linde وSLB بتطوير مركز رئيس لاحتجاز الكربون وتخزينه في الجبيل، حيث تمتلك أرامكو نسبة 60% وتمتلك الشركتان الأخريان 20% لكل منهما. ومن المخطط أن تلتقط المرحلة الأولى، بحلول عام 2027، ما يصل إلى 9 ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً وتخزنه، دعماً لأهداف المملكة المناخية.
Siemens Energy (وحدة تجريبية للالتقاط المباشر من الهواء)	أطلقت أرامكو السعودية، بالشراكة مع شركة Siemens Energy، مشروعاً تجريبياً للاحتجاز المباشر من الهواء في المملكة لاستخلاص ثاني أكسيد الكربون مباشرةً من الغلاف الجوي، في خطوة مهمة ضمن استراتيجيتها لإزالة الكربون. وتدعم هذه المبادرة الهدف الأشمل لأرامكو المتمثل في تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050.
منشأة سابك في الجبيل	شيدت شركة سابك أكبر منشأة في العالم لاحتجاز الكربون واستخدامه في شركتها التابعة "يونايتد"، حيث تلتقط 500 ألف طن متري من ثاني أكسيد الكربون سنوياً من إنتاج الإيثيلين جلايكول. ويُعاد استخدام ثاني أكسيد الكربون الملتقط لإنتاج اليوريا والميثانول وثاني أكسيد الكربون المسال، دعماً لأهداف الاستدامة لدى سابك وخفضاً للانبعاثات.
مشروع العثمانية	منذ عام 2015، يلتقط مشروع العثمانية للاستخلاص المعزز للنفط في مصنع حوية التابع لأرامكو 800 ألف طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً ويستخدمه في عمليات الاستخلاص المعزز.

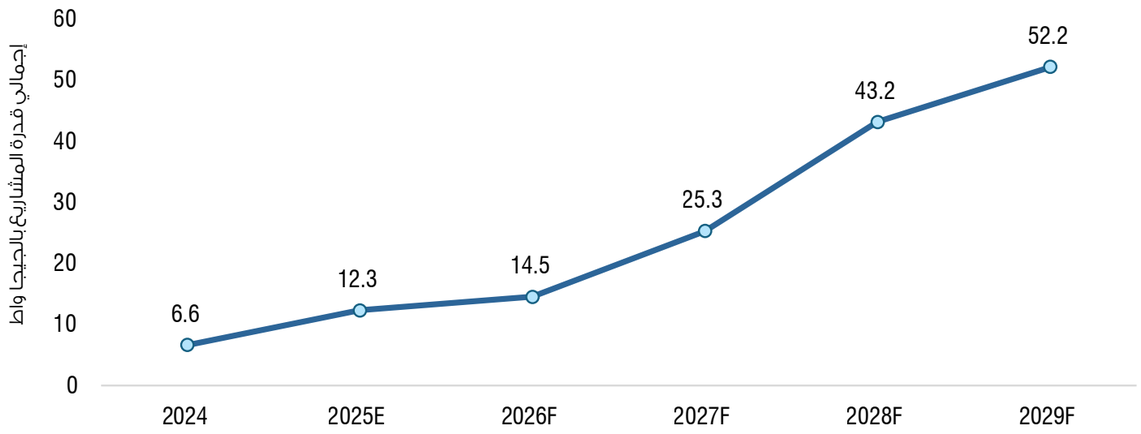
المصدر: وكالة الأنباء السعودية، أرامكو، SLB، Enterprise News، منتدى CCUS

ب. الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية

ترتكز قطاع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية على مشروعات شمسية كهروضوئية ورياح واسعة النطاق على مستوى المرافق، مع إبرازات حديثة شملت ربط محطتّي ليلى ووادي الدواسر الشمسيتين بالشبكة، وتوسيع حلول التخزين بالبطاريات لمعالجة تذبذب الإمداد في الشبكة[25].

[23] مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية
[24] مبادرة السعودية الخضراء ومبادرة الشرق الأوسط الأخضر
[25] ReportLinker

قدرة الطاقة المتجددة في المملكة



المصدر: مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية

أبرمت في عام 2025 اتفاقية محورية ستضيف 15 جيجاواط (12 جيجاواط شمسية و3 جيجاواط رياح) بحلول عام 2028، بما يعكس استثماراً قدره 8.3 مليارات دولار ويُرسخ الشراكات الاستراتيجية بين أكوا باور وبديل وسابكو ومؤسسات دولية[26].

مبادرات الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية	
المبادرة	التفاصيل
البرنامج الوطني للطاقة المتجددة (NREP)	ستهدف تطوير مشروعات للطاقة المتجددة في أنحاء المملكة، بقدرات تبلغ 58.7 جيجاواط من الطاقة الشمسية و40 جيجاواط من طاقة الرياح بحلول عام 2030.
مبادرة السعودية الخضراء	يركز على مكافحة تغير المناخ عبر زراعة 10 مليارات شجرة وتوليد 50% من الطاقة من المصادر المتجددة بحلول عام 2030.
مشروع مدينة نيوم	مدينة مستقبلية بقيمة 500 مليار دولار أمريكي تعمل كلياً بالطاقة المتجددة، بما في ذلك الشمس والرياح، وتضم أكبر مصنع للهيدروجين الأخضر في العالم.
مشروع البحر الأحمر	وجهة سياحية فاخرة تعمل بالطاقة المتجددة بالكامل اعتماداً على الطاقة الشمسية والرياح والتخزين بالبطاريات.
محطة سكاكا للطاقة الشمسية	أول مشروع شمسي على مستوى المرافق في المملكة بقدرة 300 ميغاواط، ويُعد نموذجاً للتوسع المستقبلي في الطاقة الشمسية.
مزرعة دومة الجندل لطاقة الرياح	أول مزرعة رياح على مستوى المرافق في المملكة بقدرة 400 ميغاواط، تسهم في مزيج الطاقة الوطني.
برنامج كفاءة الطاقة	حزمة مبادرات لخفض استهلاك الطاقة وتحسين الكفاءة عبر القطاعات دعماً لأهداف الطاقة المتجددة.

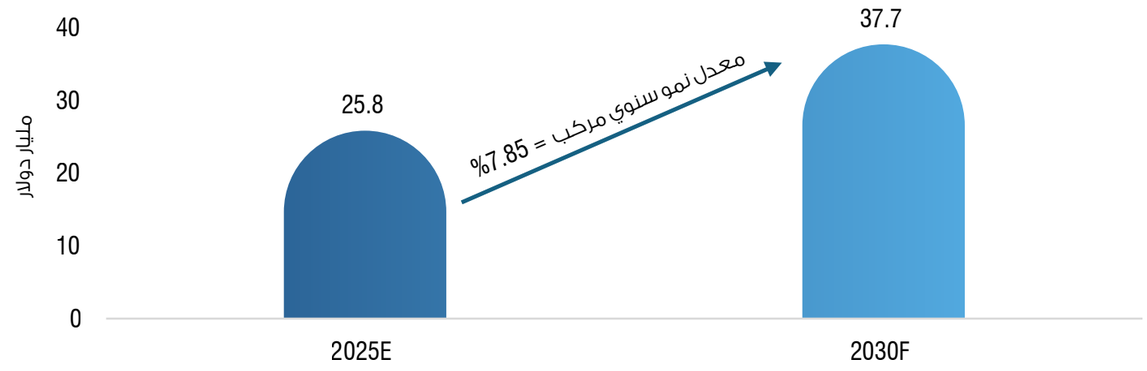
المصدر: مركز سياسات الطاقة العالمية بجامعة كولومبيا

[26] صندوق الاستثمارات العامة السعودي

ج. سوق إدارة النفايات السعودي

من المتوقع أن ينمو سوق إدارة النفايات بمعدل نمو سنوي مركب قدره 7.85% خلال الفترة 2025–2030، ليصل إلى قيمة سوقية تبلغ 37.7 مليار دولار بنهاية الفترة موضوع التوقع.

نمو سوق إدارة النفايات السعودي



المصدر: Mordor Intelligence

تولد المملكة العربية السعودية نحو 15 مليون طن من النفايات البلدية الصلبة سنوياً، بمعدل فردي يبلغ 1.4 كغ يومياً، مع توقعات بتضاعفه بحلول عام 2033 نتيجة التسارع الحضري والنمو السكاني. وتشكل مخلفات الطعام الحصة الأكبر (40–51%) تليها الورق والكرتون والبلاستيك ومواد أخرى[27]، فيما لا تتجاوز نسبة إعادة التدوير 10–15% وغالبها يجري بطرق غير رسمية. وتذهب معظم النفايات إلى المدافن، ما يسبب تحديات بيئية مثل انبعاثات الميثان وتسرب العصارة. ويمكن لتقنيات تحويل النفايات إلى طاقة؛ مثل الانحلال الحراري (Pyrolysis) والهضم اللاهوائي والحرق، توليد ما يصل إلى 5.6 تيراواط ساعة سنوياً، بما يدعم هدف المملكة في تلبية نصف الطلب على الطاقة (72 جيجاواط) من المصادر المتجددة، بما فيها تحويل النفايات إلى طاقة، بحلول عام 2032.

وتنفذ المملكة استراتيجية شاملة لإدارة النفايات متوافقة مع رؤية المملكة 2030 وهدف الحياد الكربوني 2060. ويقود المركز الوطني لإدارة النفايات هذه الخطة الهادفة إلى تحويل 90% من النفايات بعيداً عن المدافن بحلول عام 2040 عبر إعادة التدوير (40%) والتسميد الحيوي (31%) وتحويل النفايات إلى طاقة (16%). وبتمويل قدره 55 مليار ريال سعودي و65 مبادرة، تستهدف الخطة بلوغ معدل إعادة تدوير 95%، بما يسهم بنحو 120 مليار ريال في الناتج المحلي الإجمالي ويخلق أكثر من 100,000 وظيفة. وقد أطلقت الشركة السعودية الاستثمارية لإعادة التدوير في يوليو 2024 مصنعاً لتحويل النفايات إلى وقود[28]، سيعالج 3 ملايين طن سنوياً، محولاً 35% منها إلى وقود مشتق من النفايات، ومعيداً تدوير 14%، مع خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمقدار 1.8 مليون طن سنوياً[29].

27 EcoMENA
28 موقع زاوية
29 عرب نيوز

د. السياسات الداعمة لتبني الطاقة الدائرية في المملكة العربية السعودية

السياسة	الوصف
الإعفاء من الرسوم الجمركية ورد الرسوم الجمركية	إعفاءات على المواد الخام الأساسية ومعدات التصنيع وقطع الغيار للشركات الأجنبية، مع رد رسوم للمستوردين/المصدرين عند تصنيع المواد الخام داخل المملكة وإعادة تصديرها كمنتجات نهائية.
قروض صندوق التنمية الصناعية السعودي	تمويل يصل إلى 75% من تكلفة المشروع عبر قروض ميسرة من صندوق التنمية الصناعية السعودي.
حوافز الأراضي	تأجير أراضٍ ابتداءً من سعر 0.26 دولار للمتر المربع.
حوافز التوطين	يدعم صندوق تنمية الموارد البشرية (HRDF) ما يصل إلى 15% من رواتب الموظفين السعوديين و20% للموظفات السعوديات شهرياً.
حوافز الملكية وإعادة رأس المال	ملكية أجنبية مباشرة بنسبة 100% مسموح بها، ولا قيود على إعادة تحويل رأس المال.

المصدر: وزارة الاستثمار السعودية

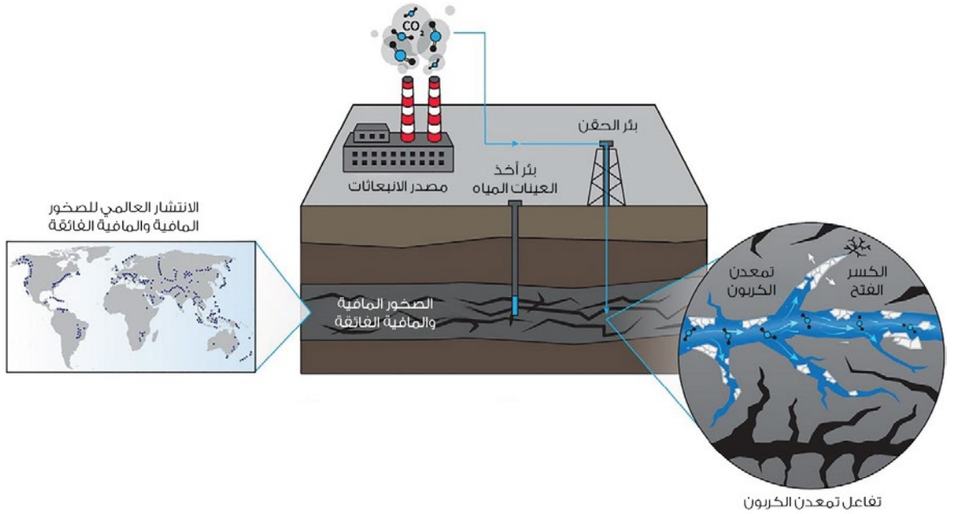
نموذج في دائرة الضوء – 44.01

إ. نبذة عن الشركة

شركة (Protostar Group Limited) ، المعروفة باسمها التجاري 44.01، هي إحدى استثمارات شركة وادي الرياض من خلال صندوق أوريكس. وهي متخصصة في تسريع عملية التمعدن الطبيعية لإزالة كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي بصورة دائمة. والتمعدن هو عملية جيولوجية طبيعية يتفاعل فيها ثاني أكسيد الكربون مع معادن معينة في الصخور، مثل البريدوتيت، لتكوين معادن كربونات مستقرة، وبذلك يتحول ثاني أكسيد الكربون فعلياً إلى صخر صلب. وتعمل 44.01 على تعزيز هذه العملية وتسريعها عبر تقنيات مبتكرة تتيح إزالة كربون فعالة ودائمة.

تأسست شركة 44.01 في عام 2020 ، بغرض إزالة ثاني أكيد الكربون الملتقط بصورة دائمة من خلال تسريع عملية التمعدن الطبيعي في تشكيلات صخور البريدوتيت في عُمان. ويشير اسم الشركة إلى الوزن الجزيئي لثاني أكسيد الكربون (44.01)، لتؤكد رسالتها الهادفة إلى التعامل مع انبعاثات الكربون على نطاق واسع.

ب. التقنية والإجراءات



تفاعل تمعدن الكربون

مصدر الصورة: تعدين الكربون في الصخور المافية والمافية الفائقة المتصدعة: مرجع[30]

[30] Nisbet, H., Buscarnera, G., Carey, J. W., Chen, M. A., Detournay, E., Huang, H., et al. (2024). Carbon mineralization in fractured mafic and ultramafic rocks: A review. Reviews of Geophysics, 62, e2023RG000815. https://doi.org/10.1029/2023RG000815

احتجاز الكربون وسائل الحقن المُكربن: تأخذ الشركة ثاني أكسيد الكربون المُلتقط من مصادر صناعية أو مباشرةً من الغلاف الجوي وتذيبه في الماء لتكوين سائل حقن مُكربن (مماثل للمياه الفوارة). ويُستخدم لهذه الخطوة ماء غير صالح للشرب مثل مياه البحر أو المياه المعالجة.

الحقن في الصخور تحت السطح: يُحقن هذا السائل المُكربن عميقاً تحت الأرض داخل صخور خازنة بعيدة عن طبقات مياه الشرب. ولأن السائل أعلى كثافة من الماء، فإنه يبقى محجوزاً في العمق من دون أن يرتفع.

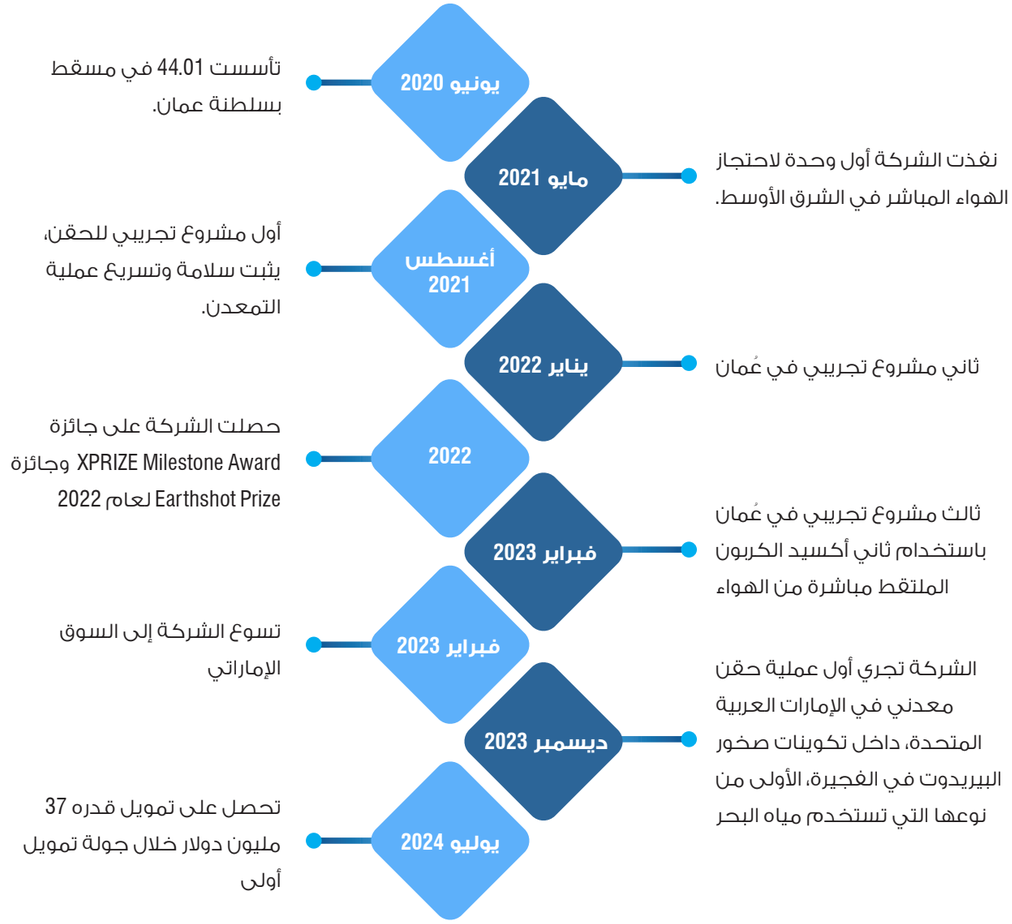
تفاعل التمعدن: يذيب السائل المحقون معادن مثل المغنيسيوم والسيليكون من الصخر الخازن، مُنتجاً محلولاً غنياً بالأيونات يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين معادن كربوناتية جديدة (صخر جديد فعلياً). وتُثبت بذلك جزيئات ثاني أكسيد الكربون بصورة دائمة تحت الأرض خلال أقل من عام.

المراقبة والتحقق: توظف شركة 44.01 تقنيات جيوكيميائية وجيوفيزيائية متعددة لمراقبة سلوك السوائل المحقونة، بما يضمن سير عملية التمعدن وفق المتوقع ويؤكد تمعدن الكربون بأمان.

الاعتماد على الطاقة المتجددة: تُشغل العمليات بالطاقة المتجددة لتعظيم صافي الكربون المُزال وضمان الاستدامة.

قابلة للتوسع ومنخفضة المخاطر: تتميز مشاريع التمعدن بتكاليف تأسيس محدودة وطبيعة معيارية، ما يتيح تطويراً سريعاً وتوسعاً تدريجياً بعد التحقق من جدوى الموقع. وتستفيد الشركة من تقنيات مثبتة في قطاعي النفط والغاز ولكن بصورة معكوسة (حقن ثاني أكسيد الكربون بدلاً من استخراج الهيدروكربونات). وتركز شركة 44.01 على إحكام حبس الكربون في تراكيب صخرية مستقرة لضمان عدم تسربه إلى الغلاف الجوي أو تأثيره في البيئات المحلية، مقدمةً حلًا قابلًا للتوسع والتطوير لإزالة الكربون يتماشى مع تحول الطاقة والأهداف المناخية.

ج. مسيرة الشركة



المصدر: Earth.4401

خاتمة

بينما يقف العالم على أعتاب تحوّل جوهري في قطاع الطاقة، يقدّم نموذج الطاقة الدائرية نهجًا يتجاوز كونه حلًا مرحليًا، ليطرح مسارًا تحويليًا نحو ازدهار اقتصادي وبيئي مستدام. فعلى المستوى العالمي، تعاد هيكلة منظومات الطاقة لتصبح أكثر مرونة وكفاءة ومواءمة للبيئة، من خلال دمج مصادر الطاقة المتجددة وتقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS)، وحلول تحويل النفايات إلى طاقة، وأنظمة إعادة التدوير المتقدمة. ولم تعد الطاقة المتجددة خيارًا بديلًا، بل تحولت إلى قوة دافعة للتغيير، مع التوسع الهائل في مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، مدعومة بتطور تقنيات CCUS التي تحول عبء الانبعاثات إلى قيمة مضافة، وبأنظمة مبتكرة لإدارة النفايات، وإعادة استخدام المواد، وتقليل الانبعاثات[31, 32]. ويجسد هذا التحول الهيكلي رؤية لمستقبل تنتج فيه الطاقة وتستهلك وتجدد ضمن حلقة مغلقة تقلل الهدر، وتعظم كفاءة الموارد، وتفتح آفاقا اقتصادية جديدة.

ويظهر هذا الزخم بشكل أوضح وأسرع في دول مجلس التعاون الخليجي، حيث تتقدم دول المنطقة باستثمارات ضخمة وسياسات محفزة تدعم التحول نحو الطاقة الدائرية. فمشروعات الطاقة المتجددة واسعة النطاق—من المزارع الشمسية الكبرى إلى مبادرات طاقة الرياح—تتكامل مع مراكز عالمية لالتقاط الكربون وتخزينه، وحلول ناشئة لتحويل النفايات إلى طاقة، لتشكّل منظومة مترابطة تعكس نهجًا متكاملًا للتحول الطاقي.[33] وتجسد مبادرات إعادة التدوير والتخطيط الحضري والتكامل الصناعي (Industrial Symbiosis) روح الاقتصاد الدائري، في تأكيد لالتزام دول المجلس بإزالة الكربون عن النفط والغاز وتنويع الاقتصاد وقيادة التقنيات النظيفة الناشئة. كما تؤكد دول المجلس موقعها الاستراتيجي كمورد عالمي للهيدروجين الأخضر ومنتجات الطاقة الدائرية، لتحول التحديات إلى مزايا تنافسية.

وتتقدم المملكة العربية السعودية طليعة هذا التحوّل بصفتها محورًا رئيسيًا لانتقال الطاقة في المنطقة. فالرؤية الطموحة للمملكة—ضمن إطار رؤية 2030 ومبادرة السعودية الخضراء—تجسّد مفهوم الطاقة الدائرية في أبهى صوره. ومع خطط لإضافة أكثر من 130 جيجاواط من قدرات الطاقة المتجددة، والتوسع في قدرات CCUS إلى 44 مليون طن سنويًا، تقود المملكة مشاريع رائدة تربط بين توليد الطاقة النظيفة وإدارة الكربون وتعظيم قيمة الموارد وتحسين إدارة النفايات[34]. ولا يمثل هذا التوجه سياسة أو استراتيجية تقنية فحسب، بل هو إعادة تصور شاملة لمنظومة الطاقة والاقتصاد والبيئة، تعزز الابتكار وأمن الإمدادات ومرونة الاقتصاد على المدى الطويل. ومع اقتراب عام 2030، تمضي المملكة لترسيخ مكانتها قوة عالمية في الطاقة النظيفة ونموذجًا ملهمًا في تطبيقات الطاقة الدائرية.

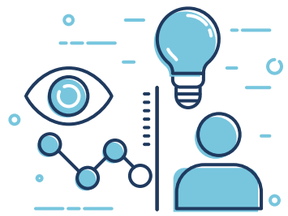
وخلاصة القول، فإن مستقبل الطاقة الدائرية هو مسار واعد يتطلب ابتكارًا جريئًا، وتنسيقًا مؤسسيًا فعّالًا، ورؤية مشتركة. فمن الأنظمة العالمية إلى رواد المنطقة—وفي مقدمتهم دول مجلس التعاون الخليجي والمملكة العربية السعودية—تتجاوز تجربة الطاقة الدائرية النماذج التقليدية لتشكّل عالمًا أكثر استدامة وقدرة على مواجهة تحديات تغيّر المناخ وندرة الموارد، ودفع النمو المستدام لأجيال المستقبل.[35, 36]

[31] المنتدى الاقتصادي العالمي – "الدائرية في الطاقة المتجددة" 2025
[32] Future Earth
[33] مبادرة شركات النفط والغاز بشأن المناخ "OGCI"
[34] المنتدى الاقتصادي العالمي
[35] وكالة الطاقة الدولية – تقرير الطاقة المتجددة 2024
[36] IEA – Renewables 2024

شـركـة وادي الـريـاض
Riyadh Valley Co

شركة وادي الرياض

أسست شركة وادي الرياض في عام 2010م بموجب المرسوم الملكي رقم 116 بتاريخ 13/4/1431هـ لتكون الذراع الاستثماري لجامعة الملك سعود.



الرؤية

أن نصبح رائدًا إقليميًا في الاستثمار القائم على المعرفة ونقل التقنية.

الرسالة

شركة وادي الرياض مستثمر استراتيجي يركز على استغلال القدرات المحلية ويستثمر محليًا ودوليًا في الشركات في مراحل النمو لخلق عوائد مالية وعوائد استراتيجية تخدم النمو الاقتصادي في المملكة.

المجالات الأساسية للشركة

استثمارات رأس المال الاستثماري

- التقنية الحيوية والرعاية الصحية
- الموارد المستدامة
- تقنية المعلومات والاتصالات
- التقنية المالية
- التعليم
- الخدمات اللوجيستية والنقل

الاستثمارات الاستراتيجية

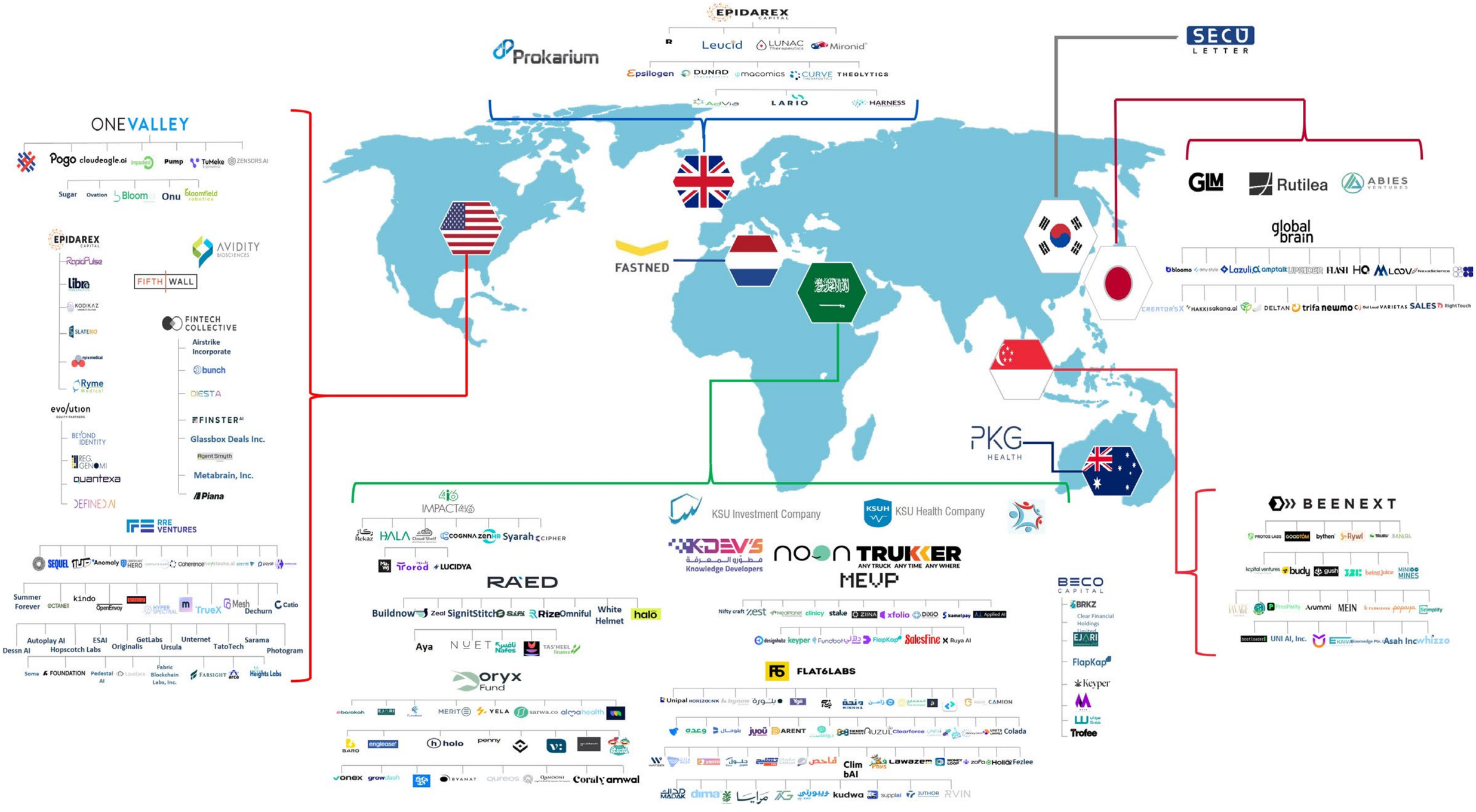
- مراكز بحث وابتكار
- مشاريع تعليمية
- مشاريع طبية
- مشاريع تجارية
- مشاريع سكنية
- مشاريع متعددة الاستخدامات

اثراء بيئة الابتكار

- تهيئة طلبة الجامعة لسوق العمل
- استقطاب الكفاءات المتميزة من العلماء والمستشارين
- توفير البيئة المناسبة لخدمة اقتصاد المعرفة
- دعم التطوير والبحث العلمي وقطاع التقنية

شركة وادي الرياض
Riyadh Valley Co

محفظة الاستثمارات الجريئة



محفظة الاستثمارات الاستراتيجية

مشروع شركة أدوية سدير للأدوية
مركز أبحاث ومكاتب

مشروع شركة علم لأمن المعلومات
مركز أبحاث وابتكار

مشروع شركة الجهات الأربعة
مشروع مكتبي

مشروع شركة مجد العقارية
مشروع مكتبي

مشروع شركة عيادات ديرما
مشروع سكني

مشروع شركة أضواء المدينة العقارية
مشروع متعدد الاستخدامات

مشروع شركة قصر العارض
مبنى

مشروع شركة ساحة الأرض للتطوير العقاري
مشروع متعدد الاستخدامات

مشروع شركة نمر العقارية
مشروع متعدد الاستخدامات

مشروع شركة تكوين التنمية
مشروع مكتبي

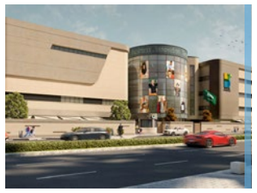
مبنى العُلا
مشروع مبنى

مدارس واحة الإبداع
مشروع تعليمي

مشروع شركة الصروح المباركة
مشروع مكتبي

مشروع شركة العبيكان للتطوير والاستثمار العقاري
مشروع تجاري

مشروع شركة عيادات ديرما
مشروع طبي



مشروع شركة دور الكُتّاب
مشروع تعليمي

مشروع شركة الجهات الاربعة
مشروع تجاري

مشروع جادة الجامعة
مشروع تجاري

مشروع إسبلاناد الجامعة
مشروع تجاري

جامعة المعرفة ومركز أبحاث السكري
مشروع مبنى

مشروع شركة الرواد للتعليم الجامعي
مشروع تعليمي

مشروع برج الابتكار
مشروع مبنى مكتبي

شـركـة وادي الـريـاض
Riyadh Valley Co

المملكة العربية السعودية، الرياض - جامعة الملك سعود، برج الإبتكار

info@rvc.com.sa | www.rvc.com.sa | +966 11 469 3219

@riyadhvalley Riyadh Valley Company (RVC)