المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
إدارة العلوم والبحث العلمي

الدليل العربي لحقول الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

أعده نخبة من المتخصصين في مجالات الطاقة المتجددة

2025

المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
إدارة العلوم والبحث العلمي

الدليل العربي لحقول الطاقة الشمسية وطاقة الرياح

أعده نخبة من المتخصصين في مجالات الطاقة المتجددة

المراجعة العلمية
الأستاذ الدكتور المهندس
محمد علي سلامة

2025

السادة الخبراء القائمون على إعداد الدليل

- **الأستاذ الدكتور أحمد السلايمة** : أستاذ متخصص في الطاقة المتجددة في الجامعة الأردنية، المملكة الأردنية الهاشمية
- **الأستاذ الدكتور أمان الله القيزاني** : مدير مخبر العمليات الحرارية في مركز البحث والتقنيات للطاقة، برج السدرية- الجمهورية التونسية
- **الأستاذ الدكتور المصطفى الجامع** : خبير في معهد مينا للطاقة المتجددة والاستدامة- الرباط- المملكة المغربية
- **الأستاذ الدكتور أحمد صخريّة :** متخصص في الهندسة الميكانيكية، أستاذ في الجامعة الأمريكية برأس الخيمة - دولة الإمارات العربية المتحدة
- **الدكتور محمد بو ربيّع :** قسم الهندسة الكهربائية -الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب - كلية الدراسات التكنولوجية- دولة الكويت
- **الأستاذة الدكتورة بسمة الزين :** باحثة في علوم الطاقة والنانوتكنولويجيا- مدير عام techno Valley - جامعة الأعمال والتكنولوجيا، جدة- المملكة العربية السعودية
- **الأستاذ الدكتور أسامة عيادي :** أستاذ متخصص في الطاقة المتجددة في الجامعة الأردنية، المملكة الأردنية الهاشمية
- **الدكتورة ولاء الصمادي :** متخصصة في الهندسة الكهربائية، دكتورة في جامعة عمان الأهلية، المملكة الأردنية الهاشمية
- **المهندس محمد عبد اللّه :** ماجستير في الطاقة المتجددة، جمهورية السودان
- **المهندس بلال منذر السلايمة :** ماجستير في الهندسة الكهربائية، قسم الهندسة في الكلية الجامعية الوطنية للتكنولوجيا، المملكة الأردنية الهاشمية

أشرف على ترجمة الدليل من اللغة الانجليزية إلى اللغة العربية

المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر

التابع للمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم

دمشق- الجمهورية العربية السورية

المحتويات

التصدير / معالي الأستاذ الدكتور محمد ولد أعمر المدير العام للمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم	8
التقديم / سعادة الأستاذ الدكتور محمد سند أبو درويش مدير إدارة العلوم والبحث العلمي / المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم	9
الملخص	11
المملكة الأردنية الهاشمية	12
دولة الإمارات العربية المتحدة	17
مملكة البحرين	25
الجمهورية التونسية	35
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية	43
جمهورية جيبوتي	50
المملكة العربية السعودية	55
جمهورية السودان	67
الجمهورية العربية السورية	74
جمهورية الصومال	79
جمهورية العراق	85
سلطنة عُمان	91
دولة فلسطين	103
دولة قطر	110
جمهورية القمر المتحدة	120
دولة الكويت	127
الجمهورية اللبنانية	136
دولة ليبيا	141
جمهورية مصر العربية	149
المملكة المغربية	157
الجمهورية الإسلامية الموريتانية	174
الجمهورية اليمنية	183
المصطلحات العلمية	208

قائمة الأشكال

الشكل1: خريطة موارد الطاقة الشمسية في الأردن (تم الحصول على البيانات من:(GlobalSolarAtlas.info) 13

الشكل 2 : خريطة موارد الرياح في الأردن حسب معامل السعة (تمت تصفيتها حسب سرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 14

الشكل3: خريطة موارد الطاقة الشمسية في الإمارات العربية المتحدة © 2021 Solargis 18

الشكل 4: خريطة موارد الطاقة الشمسية في البحرين © Solargis 2021 26

الشكل 5: خريطة موارد الرياح في البحرين 27

الشكل 6 : خريطة موارد الطاقة الشمسية في تونس (تم الحصول على البيانات من: GlobalSolarAtlas.info) 36

الشكل 7: خريطة إمكانات طاقة الرياح في تونس 37

الشكل 8: وصلات خطوط الطاقة بين تونس والجزائر وتونس وليبيا 41

الشكل 9: توزيع الإشعاع الشمسي عبر الأراضي الجزائرية 44

الشكل 10: توزيع سرعة الرياح عبر الأراضي الجزائرية 45

الشكل 11: توزيع مصادر الطاقة المتجددة المزمع تركيبها 46

الشكل 12: التوزيع الجغرافي لبعض محطات الطاقة المتجددة الجديدة 48

الشكل 13: التوصيل مع الشبكة الجزائرية 49

الشكل 14: خريطة الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي في جمهورية جيبوتي 51

الشكل 15: خريطة إمكانات طاقة الرياح في جمهورية جيبوتي 52

الشكل 16: الخريطة الجيولوجية لجيبوتي تظهر مواقع المظاهر الحرارية الأرضية 53

الشكل 17: نظرة عامة على قطاع الطاقة في المملكة 56

الشكل 18: خريطة الإشعاع الشمسي الأفقي في المملكة 57

الشكل 19: خريطة إمكانات طاقة الرياح في المملكة 58

الشكل 20: خريطة الموارد الشمسية في السودان (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 68

الشكل 21: خريطة موارد الرياح في السودان حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 69

الشكل 22: خريطة الموارد الشمسية في سوريا (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 75
الشكل 23: خريطة موارد الرياح في سوريا حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 76
الشكل 24: خريطة الموارد الشمسية في الصومال (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 80
الشكل 25: خريطة موارد الرياح في الصومال حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 81
الشكل 26: خريطة الموارد الشمسية للعراق (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 86
الشكل 27: خريطة موارد الرياح في العراق حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 87
الشكل 28: خريطة الموارد الشمسية في عُمان 92
الشكل 29: خريطة موارد الرياح في عُمان 93
الشكل 30: خريطة الموارد الشمسية في فلسطين (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 30
الشكل 31: خريطة موارد الرياح في فلسطين. 105
الشكل 32: صافي الطاقة في قطر وسعة التوليد. 111
الشكل 33: إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في قطر، 2021. 112
الشكل 34: خريطة شمسية لقطر 113
الشكل 35 : خريطة المصدر الشمسي 2021 جزر القمر 121
الشكل 36: توليد الطاقة الكهربائية 128
الشكل 37: مزيج توليد الطاقة الكهربائية 128
الشكل 38: خريطة الصورة الشمسية للكويت 129
الشكل 39: توزع كثافة طاقة الرياح فوق الكويت على ارتفاع 30 متراً 130
الشكل 40: تقانة التوليد كنسبة مئوية االواجب تثبيتها للعام 2035 مقارنةً بالعام 2015 131
الشكل 41: خريطة الموارد الشمسية في لبنان (مصدر البيانات GlobalSolarAtlas.info) 137

الشكل 42: خريطة موارد الرياح في لبنان حسب عامل السعة (مفلترة لسرعة الرياح القصوى وأحمال التعب) 138
الشكل 43: خريطة موارد الطاقة الشمسية في ليبيا (المصدر: GlobalSolarAtlas.info) 142
الشكل 44: خريطة موارد الرياح في ليبيا حسب عامل القدرة (مُرشَّحة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب) 143
الشكل 45: خريطة الموارد الشمسية في مصر (المصدر: GlobalSolarAtlas. info) 150
الشكل 46: خريطة موارد الرياح في مصر حسب عامل السعة (تمت تصفيتها للسرعات القصوى وأحمال التعب). 151
الشكل 47: إمكانات طاقة الرياح في المغرب 159
الشكل 48: إمكانات الطاقة الشمسية في المغرب 161
الشكل 49: الإشعاع الأفقي العالمي في موريتانيا 175
الشكل 50: سرعة الرياح على ارتفاع 100 متر 176
الشكل 51: خريطة الموارد الشمسية باليمن © Solargis 2021 154

قائمة الجداول

الجدول 1: معلومات عن المشهد الطاقي في البحرين 25

الجدول 2: أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة) في البحرين 28

الجدول 3: التحديات والعوائق التي تواجه البحرين 32

الجدول 4: مصدر بيانات الطاقة: وزارة الصناعة والمناجم والطاقة عام 2021 35

الجدول 5 : مولدات الطاقة المتجددة في عام 2018 في تونس 39

الجدول 6: مولدات الطاقة المتجددة في عام 2022 في تونس 40

الجدول 7: إحصاءات الطاقة الأولية لعام 2022 43

الجدول 8 : برنامج الطاقة المتجددة خلال الفترة 2015 - 2030 46

الجدول 9: قائمة بمحطات الطاقة الشمسية 51

الجدول 10: قائمة بمشاريع مزارع الرياح 52

الجدول 11: مشهد الطاقة في المملكة العربية السعودية 55

الجدول 12: المشهد الطاقي في عُمان 91

الجدول 13: أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة) في عُمان 95

الجدول 14: قائمة بالهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة في عُمان 96

الجدول 15: إحصاءات مشهد الطاقة (غير مسمى في الوثيقة، يحتوي على إجمالي استهلاك الطاقة وإجمالي توليد الكهرباء واستيراد/تصدير الطاقة ونسبة مزيج الطاقة والطلب على الكهرباء 158

الجدول 16: قائمة بمشاريع طاقة الرياح 164

الجدول 17: قائمة مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق 165

الجدول 18: بيانات الطاقة في موريتانيا 174

تصدير معالي الأستاذ
الدكتور محمد ولد أعمر
المدير العام للمنظمة العربية
للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو)

يتميّز الوطن العربي بموارد طبيعية هائلة في مجالي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، حيث يجمع بين أعلى معدلات السطوع الشمسي في العالم، ومناطق واسعة تتميز بسرعات رياح ملائمة لإنشاء محطات إنتاج كبرى. وقد خطت بعض الدول العربية خطوات متقدمة في هذا المجال من خلال مشاريع رائدة، غير أنّ الجهود ما تزال بحاجة إلى التكامل، وإلى مرجعية موحدة تُتيح توثيق التجارب، وتبادل المعارف، وتوجيه الاستثمارات نحو الفرص الواعدة.

وانطلاقًا من رسالتها في دعم البحث العلمي وتعزيز الابتكار في المجالات ذات الأولوية التنموية، تولي المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) اهتمامًا متزايدًا بموضوع الطاقة المتجددة، باعتبارها رافعة أساسية لتحقيق التنمية المستدامة في الوطن العربي، حيث أن التحول الطاقي لم يعد خيارًا بل ضرورة يفرضها الواقع المناخي والاقتصادي العالمي، مما يدعو إلى مضاعفة الجهود، وتوحيد الرؤى، وتعزيز التعاون العربي في سبيل استغلال أمثل لموارد الطاقة المتجددة، خدمةً لمستقبل مستدام للأجيال القادمة

ويأتي إعداد هذا الدليل في إطار الجهود الرامية إلى التعريف بواقع وآفاق الطاقة المتجددة في الوطن العربي، ولا سيما في مجالي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لما لهما من أهمية متزايدة في ظل التوجه العالمي نحو الطاقات النظيفة والبديلة.

تقديم الأستاذ الدكتور
محمد سند أبودرويش
مدير إدارة العلوم والبحث العلمي

في إطار التزام المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) بدعم البحث العلمي وتعزيز الابتكار في مجالات التنمية المستدامة، يأتي إصدار الدليل العربي للطاقة المتجددة وطاقة الرياح ليسلط الضوء على أحدث التوجهات العالمية والتجارب الرائدة في هذا القطاع الحيوي.. ويهدف الدليل إلى توفير مرجع شامل يبرز الإمكانات الطبيعية التي تزخر بها الدول العربية، ويسلط الضوء على المشاريع القائمة، إلى جانب استكشاف المناطق غير المستغلة بعد، بما يمكّن صُنّاع القرار والباحثين والمستثمرين من التعرف على الفرص المتاحة واتخاذ القرارات المستنيرة. ويستعرض التجارب الرائدة عالميًا وعربيًا في استغلال طاقة الرياح وتوظيفها لخدمة التنمية.

كما يسعى الدليل إلى الإسهام في تعزيز الوعي بأهمية التحول الطاقي لمواجهة التغيرات المناخية، والحد من الانبعاثات، ودعم مسارات التنمية المستدامة، وذلك من خلال توفير معلومات موثوقة تساعد على تقييم الموارد ورسم السياسات وتنفيذ المشاريع المستقبلية.

وبذلك يشكّل هذا الدليل أداة معرفية عملية تُسهم في توحيد الرؤى، ودعم التعاون العربي في مجال الطاقة النظيفة، خدمةً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في المنطقة.

الملخص

يقدم هذا الدليل تقييما شاملا لمشهد الطاقة المتجددة في مختلف أنحاء العالم العربي، مع التركيز بشكل خاص على إمكانات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. ولا يتناول الدليل بالتفصيل مبادرات ومشاريع الطاقة المتجددة القائمة حاليًا في هذه الدول فحسب، بل يستكشف أيضا المشاريع المستقبلية الواعدة التي تستعد لتحويل مزيج الطاقة في المنطقة. وعلاوة على ذلك، يقدم الدليل صورة واضحة للوضع الحالي للطاقة داخل البلدان العربية، ويحدد التحديات الرئيسة ويسلط الضوء على الفرص المتاحة لتبني هذه الموارد المستدامة على نطاق أوسع في السنوات المقبلة. ويتمثل الهدف في توفير رؤى قابلة للتنفيذ للتعجيل بالانتقال نحو مستقبل طاقة أكثر استدامة في العالم العربي.

المملكة الأردنية الهاشمية

معلومات عامة

تتمتع الأردن، المعروفة رسمياً باسم المملكة الأردنية الهاشمية، بموقع استراتيجي في الشرق الأوسط بمساحة تبلغ حوالي 89,300 كيلومتراً مربعاً، وتتميز بمناخها الجاف وشبه الجاف. وفرة الأيام المشمسة في البلاد تجعلها مناسبة بشكل كبير لتوليد الطاقة المتجددة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية. ويعد هدف الأردن في تحقيق الاستقلال الطاقي أمرًا بالغ الأهمية نظرًا لاعتمادها الكبير على واردات الطاقة، مما يؤثر بشكل كبير في اقتصادها. وتُبذل الجهود الحديثة في السياسات والبنية التحتية لتعزيز أمن الطاقة من خلال تعزيز اعتماد مصادر الطاقة المتجددة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

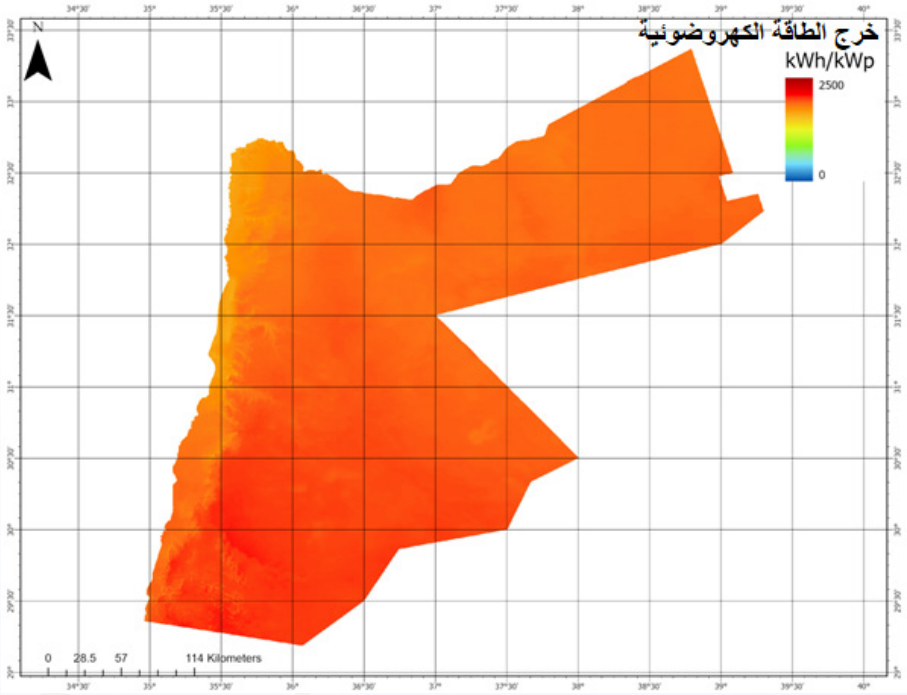
المشهد الطاقي

في عام 2023، أنتجت الأردن حوالي 24,182 غيغاواط ساعة من الكهرباء، حيث تألف مزيج هذه الطاقة من 61.1 % غاز طبيعي، و26.28 % طاقة متجددة، و12.62 % صخر زيتي. وتعكس هذه الجهود المستمرة في اعتماد الطاقة المتجددة مقارنةً بالعام السابق، حيث شكلت الطاقة المتجددة حوالي 27 %، مع ظهور طموحات لزيادة أهداف الطاقة بحلول عام 2030. بلغت القدرة المركبة للطاقة المتجددة 2,681 ميغاواط، مع تركيز كبير على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، مما يظهر استثمارات كبيرة تهدف إلى تقليل الاعتماد على الوقود المستورد وتعزيز أمن الطاقة.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

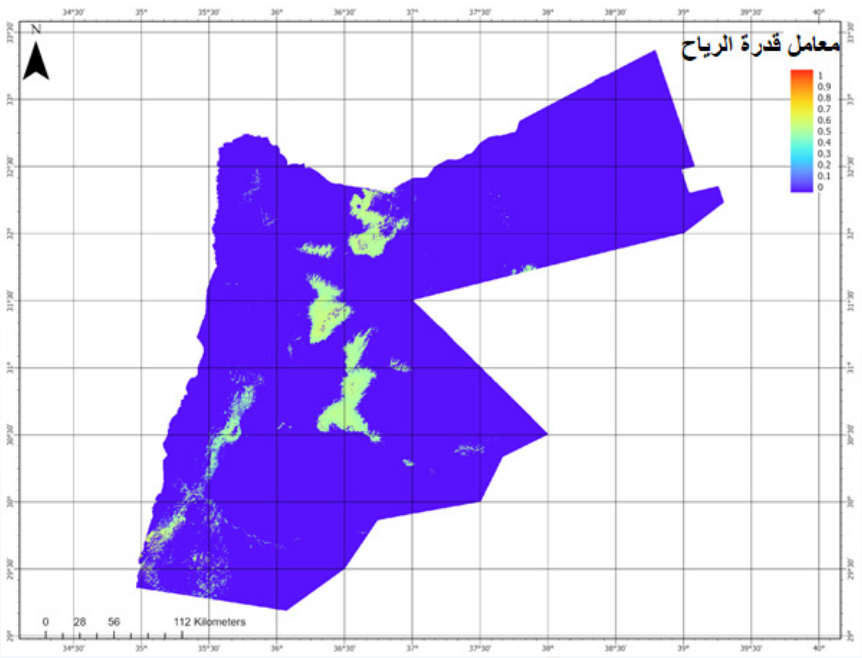
تتمتع الأردن بإشعاع شمسي وفير، يتراوح بين 5 إلى 7 كيلوواط ساعة لكل متر مربع يوميًا، مع حوالي 300 يوماً مشمساً سنويًا. وتعد المواقع الرئيسة مثل معان والعقبة مناسبةً بشكلٍ خاص لمنشآت الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) والطاقة الشمسية المركزة (CSP) . وتستضيف البلاد حاليًا العديد من مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق، بما في ذلك مشروع بينونا للطاقة الشمسية بقدرة 200 ميغاواط ومحطة قويرة للطاقة الشمسية التي تنتج 103 ميغاواط. بالإضافة إلى ذلك، تساهم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الصغيرة على الأسطح، المدعومة ببرامج مثل صندوق الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (JREEEF)، بشكل كبير في الشبكة الوطنية.



الشكل1: خريطة موارد الطاقة الشمسية في الأردن (تم الحصول على البيانات من: (GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

تتمتع الأردن بموارد رياح وفيرة في المناطق المرتفعة والصحراوية، وبخاصةٍ في الطفيلة والشوبك وعجلون ومعان، حيث تتجاوز سرعة الرياح 7 أمتار في الثانية على ارتفاعات مناسبة لتوربينات الرياح التجارية. وتشمل المشاريع الرئيسة كلاً من مزرعة الطفيلة لطاقة الرياح بقدرة 117 ميغاواط، ومزرعة الراجف لطاقة الرياح بقدرة 86 ميغاواط، وعدة تركيبات صغيرة، مما رفع القدرة الإجمالية لطاقة الرياح إلى 614 ميغاواط بحلول عام 2022 .



الشكل 2 : خريطة موارد الرياح في الأردن حسب معامل السعة
(تمت تصفيتها حسب سرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

السياسات والأهداف للطاقة المتجددة

تولي استراتيجية الطاقة في الأردن أولوية للطاقة المتجددة، حيث تهدف إلى تحقيق 31% من قدرة الطاقة المتجددة و14% من إجمالي الطاقة من مصادر متجددة بحلول عام 2030. وتشمل الالتزامات الحديثة هدفًا بتحقيق 50% من توليد الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2030. نفذت البلاد سياسات متنوعة مثل أطر المقترحات، وقياس صافي الطاقة، وآليات النقل، ودعم مراجعة الطاقة، إلى جانب تقديم حوافز ضريبية كبيرة وإعفاءات على تقنيات الطاقة المتجددة، بدعم من صندوق الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (JREEEF) .

الهيئات والمنظمات الرئيسة

- وزارة الطاقة والثروة المعدنية(MEMR)
- هيئة تنظيم قطاع الطاقة والمعادن(EMRC)

- الشركة الوطنية لخدمات الكهرباء(NEPCO)
- صندوق الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة(JREEEF)
- شركات التوزيع (JEPCO, IDECO, EDCO)
- المركز الوطني لبحوث الطاقة - الجمعية العلمية الملكية(NERC)

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة

بحلول عام 2023، بلغت قدرة الطاقة المتجددة في الأردن 2,681 ميغاواط، مع مشاريع بارزة مثل بينونا (200 ميغاواط شمسي)، وقويرة (103 ميغاواط شمسي)، والطفيلة (117 ميغاواط رياح)، والراجف (86 ميغاواط رياح)، وأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الموزعة التي تتجاوز 1 غيغاواط. ولقد لعب صندوق JREEEF دورًا كبيرًا في نشر أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية، وسخانات المياه الشمسية، وحلول كفاءة الطاقة في قطاعات مختلفة مثل الأعمال الصغيرة والفنادق والزراعة والمؤسسات العامة والمباني الدينية، مما يعزز اعتماد الطاقة المتجددة على نطاق واسع.

بنية الشبكة والتخزين

حسنت الأردن بنيتها التحتية للشبكة من خلال مبادرات مثل مشروع الممر الأخضر لتعزيز قدرات النقل، بالإضافة إلى ذلك، وفرت الاتصالات الدولية مع مصر وفلسطين، والروابط المخطط لها مع العراق والمملكة العربية السعودية ولبنان، مزيدًا من استقرار الشبكة. وتستثمر البلاد أيضًا في مشاريع تخزين الطاقة، بما في ذلك نشر أنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات(BESS) على نطاق واسع، لدعم تكامل الطاقة المتجددة وإدارة الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

التحديات والعقبات

تواجه الأردن عدة تحديات مثل قيود الشبكة التي تؤدي إلى تقليص الطاقة المتجددة، والضغوط المالية على الشركة الوطنية لخدمات الكهرباء (NEPCO) بسبب الالتزامات التعاقدية، وقدرات التصنيع المحلية المحدودة، والعقبات التنظيمية. يتطلب التخفيف من هذه القضايا تحسينات مستمرة في بنية الشبكة وسعة التخزين، وتبسيط الإجراءات التنظيمية، وزيادة مشاركة الصناعات المحلية.

البحث والابتكار والإنتاج المحلي

تقود مؤسسات مثل المركز الوطني لبحوث الطاقة (NERC)، والجامعات وصندوقJREEEF جهود البحث والتطوير في تقنيات الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر. وتركز أنشطة التصنيع المحلي بشكلٍ رئيس على سخانات المياه الشمسية، مع إنتاج محدود لمكونات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح. تم تحقيق تقدم كبير في عام 2023 نحو مبادرات الهيدروجين الأخضر، مع توقيع اتفاقيات متعددة، notably مع ACWA Power وMasdar، مما يضع الأردن في موقع استراتيجي لتنويع الطاقة وفرص التصدير المستقبلية.

التوصيات

- تسريع توسيع الشبكة ونشر أنظمة تخزين الطاقة.
- تعزيز تجارة الكهرباء الإقليمية .
- تعزيز اعتماد الطاقة المتجددة في قطاعات مختلفة بما في ذلك النقل والصناعة .
- تشجيع التصنيع المحلي والخبرة الفنية.
- تطوير مبادرات متعلقة بإنتاج الهيدروجين الأخضر.
- تحديث استراتيجيات الطاقة طويلة الأجل والحفاظ على اتساق السياسات.

دولة الإمارات العربية المتحدة

معلومات عامة (نظرة عامة)

الإمارات العربية المتحدة هي اتحاد من سبع إمارات تقع في الخليج العربي. يُقدّر عدد سكان الإمارات بين 9.5 و10 ملايين نسمة، ويتمتعون بدخل فردي مرتفع مدفوع بشكلٍ رئيس باحتياطياتها الهائلة من النفط والغاز. يعتمد النموذج الاقتصادي للإمارات بشكل كبير على الهيدروكربونات، حيث تمتلك سابع أكبر احتياطي نفطي في العالم، بالإضافة إلى احتياطات كبيرة من الغاز الطبيعي. تعد مدن مثل أبوظبي (العاصمة) ودبي مراكز أعمال عالمية. الطقس صحراوي جاف مع إشعاع شمسي عالٍ جدًا، مما يجعل الإمارات موقعًا مثاليًا لاستغلال الطاقة الشمسية. شهد النمو الاقتصادي والزيادة السكانية في الإمارات معدلات مرتفعة، مع استهلاك طاقة مرتفع (حوالي 10 طن مكافئ نفط للفرد في عام 2023، رابع أعلى معدل عالميًا)، مما دفع الدولة إلى تنويع مزيج الطاقة وضمان الاستدامة على المدى الطويل.

المشهد الطاقي

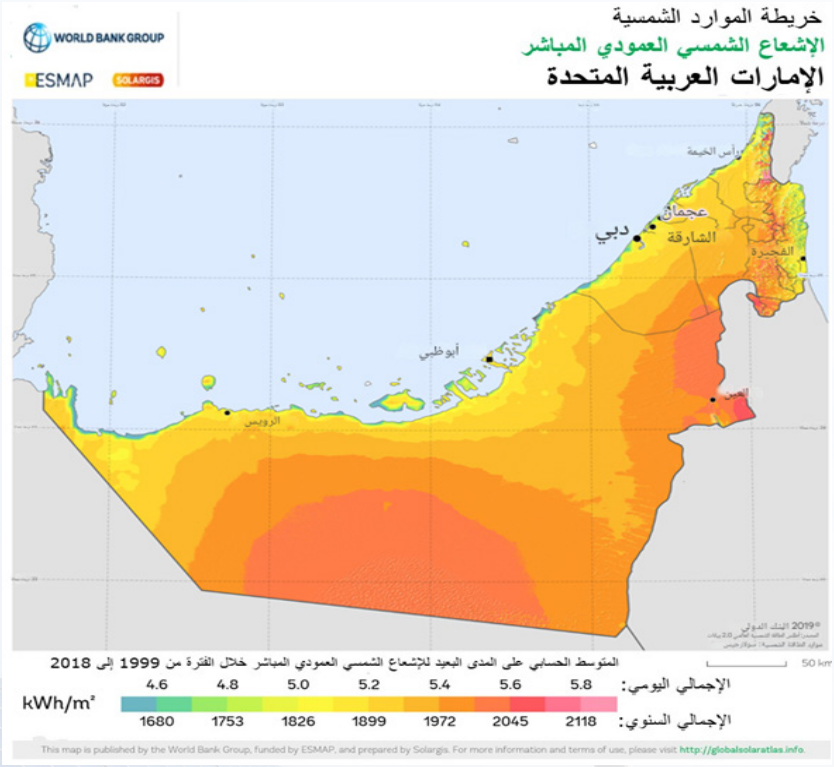
في عام 2023، بلغ إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في الإمارات 97 مليون طن مكافئ نفط، مع معدل استهلاك فردي من بين الأعلى عالميًا بسبب الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة وطلب التبريد. ارتفع توليد الكهرباء إلى 166 تيراواط ساعة، مع وصول القدرة المركبة إلى حوالي 44.5 غيغاواط، مدفوعًا بالتوسع في الغاز والطاقة الشمسية والنووية. بينما تظل الإمارات مصدرًا رئيسًا للنفط، فإنها تستورد الغاز الطبيعي عبر خط أنابيب دولفين، على الرغم من أن مشاريع الغاز المحلية تهدف إلى تحقيق الاكتفاء الذاتي. يوفر الوقود الأحفوري حوالي 98% من الطاقة الأولية، وفي عام 2023، كان توليد الكهرباء حوالي 90%-85 غاز، و10% نووي (براكة)، و5% طاقة متجددة. يستمر الطلب على الكهرباء في النمو مع التوسع الاقتصادي والزيادة السكانية، حيث يصل إلى ذروته في الصيف. يبلغ الاستهلاك الفردي للكهرباء حوالي 15 ميغاواط ساعة سنويًا، من بين الأعلى عالميًا، مما يدفع للاهتمام بتخزين الطاقة وإدارة الطلب.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

تمتلك الإمارات العربية المتحدة إمكانات هائلة للطاقة الشمسية، حيث تتمتع بواحدٍ من أعلى مستويات الإشعاع الشمسي في العالم، كما هو موضح في الشكل 3. يتراوح الإشعاع

الشمسي العمودي المباشر (DNI) في الإمارات بين حوالي 4.6 كيلوواط ساعة/م²/يوم في الساحل الشمالي وحوالي 5.8 كيلوواط ساعة/م²/يوم في الصحراء الجنوبية، مما يتوافق مع إجمالي إشعاع شمسي سنوي بين 1,680 و2,118 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا، مما يجعلها موردًا وفيرًا. توفر التضاريس المسطحة في أبوظبي ودبي والصحراء الشاسعة مواقع مثالية للمزارع الشمسية الكبيرة. تحسن السماء الصافية الإنتاج، لكن العواصف الترابية قد تقلل من الإشعاع. يمكن أن يقلل الغبار من الإنتاج بنحو 25% على الرغم من التنظيف الشهري. تتجاوز إمكانات الطاقة الشمسية الكهروضوئية الطلب الوطني عدة مرات، كما أن الإمارات مناسبة أيضًا للطاقة الشمسية المركزة (CSP) بسبب ارتفاع الإشعاع الشمسي العمودي المباشر. تعد الطاقة الشمسية المصدر الأكثر وعدًا للطاقة المتجددة في الإمارات، مع أسعار قياسية منخفضة (تصل إلى 0.0135 دولار/كيلوواط ساعة في الاتفاقيات الحديثة).



الشكل3: خريطة موارد الطاقة الشمسية في الإمارات العربية المتحدة © Solargis 2021

إمكانات طاقة الرياح

تعد موارد الرياح في الإمارات معتدلة وأكثر تخصصًا حسب الموقع مقارنةً بالطاقة الشمسية. يبلغ متوسط سرعة الرياح السنوية حوالي 7.7 م/ث على ارتفاع 150 مترًا، وأفضل المواقع البرية في المناطق الصحراوية الغربية والجنوبية الغربية (9-7.5 م/ث). تتمتع المواقع الساحلية والجزرية مثل جزيرة صير بني ياس وجزيرة دلما أيضًا بسرعات عالية بسبب نسيم البحر. عادةً ما تكون المناطق الساحلية والجبلية في الشمال ذات سرعات منخفضة (5-4 م/ث على ارتفاع 50 مترًا). بينما لا تكون الرياح عالية بشكل موحد في جميع أنحاء البلاد، هناك إمكانات تقنية لعشرات الغيغاواط على اليابسة. يجري النظر في طاقة الرياح البحرية في الخليج العربي، لكنها تعاني من سرعات رياح متوسطة (7-5 م/ث) واستخدامات متنافسة. يمكن أن تلعب طاقة الرياح دورًا مكملاً للطاقة الشمسية من خلال توفير الطاقة في ساعات المساء أو الشتاء، لكنها خيار ثانوي من حيث التوافر.

موارد الطاقة الكهرومائية

لا تمتلك الإمارات موارد كبيرة للطاقة الكهرومائية بسبب مناخها الصحراوي وندرة الأنهار. ومع ذلك، تقوم دبي ببناء منشأة كهرومائية تخزينية بقدرة 250 ميغاواط في حتا بفرق ارتفاع 300 متر بين سدين. من المقرر الانتهاء منها بحلول عام 2025، وسيتم تخزين فائض الطاقة الشمسية وإنتاج الكهرباء عند الحاجة. بخلاف ذلك، لا تساهم الطاقة الكهرومائية بشكل يذكر في مزيج الطاقة الحالي.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

موارد الطاقة الحرارية الأرضية محدودة. على الرغم من وجود ينابيع ذات درجة حرارة منخفضة في رأس الخيمة والفجيرة، إلا أنها غير قابلة للتطبيق لإنتاج الكهرباء. ومع ذلك، في عام 2023، أطلقت الإمارات مشروع تبريد مناطقي يعتمد على الطاقة الحرارية الأرضية في مدينة مصدر باستخدام مياه بحوالي 90 درجة مئوية في مبردات الامتصاص. بدأت شركة بترول أبوظبي الوطنية (أدنوك) أيضًا في حفر اختباري للطاقة الحرارية الأرضية. بينما لن تُستخدم الطاقة الحرارية الأرضية لإنتاج الكهرباء، يمكن استخدامها في تطبيقات حرارية صغيرة مثل التبريد أو تحلية المياه.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

تستند سياسة الإمارات في مجال الطاقة المتجددة إلى «استراتيجية الإمارات للطاقة 2050»،

التي أُطلقت لأول مرة في عام 2017 وجرى تحديثها في عام 2023، وتهدف إلى تعزيز الطاقة المتجددة والطاقة النووية وكفاءة الطاقة والبحث والتطوير في التقنيات النظيفة. تشمل أهدافها الرئيسة إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة ثلاث مرات بحلول عام 2030 مقارنةً بمستوى عام 2019. كما قادت الإمارات المنطقة في الالتزام بالوصول إلى صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050 (تم الإعلان عنه في عام 2021).

أهداف الطاقة المتجددة

2030 : حوالي 32 % من الطاقة النظيفة في المزيج (نووي + متجددة)، وزيادة الطاقة المتجددة ثلاث مرات وتحقيق 30 % من القدرة المركبة النظيفة.

2040 : لم يتم تحديد هدف بعد، لكن هناك إشارة إلى زيادة النسبة.

2050 : 44 % من الطاقة الأولية من مصادر متجددة، و6 % نووي. لم يتم تضمين الفحم النظيف.

في عام 2023، قامت الإمارات بمراجعة مساهمتها المحددة وطنياً الثالثة (NDC) لتحقيق تخفيض بنسبة 40 % في انبعاثات الغازات الدفيئة بحلول عام 2030. يحتاج قطاعا الطاقة والمياه إلى تحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050. تشمل الخطط تعزيز كفاءة الطاقة (40 - 45 %)، وتنفيذ المركبات الكهربائية (42,000 مركبة كهربائية بحلول عام 2030)، والوقود النظيف مثل الهيدروجين.

توجه وزارة الطاقة والبنية التحتية في الإمارات (MOEI) سياسة الطاقة، بينما تتعامل وزارة التغير المناخي والبيئة(MOCCAE) مع سياسة المناخ. يتم إدارة المشاريع من قبل كيانات على مستوى الإمارات مثل هيئة كهرباء ومياه دبي (DEWA)في دبي (وشركة مياه وكهرباء الإمارات -EWEC) في أبوظبي . وتقود «مصدر» الاستثمارات. يوجه مجلس الإمارات للتغير المناخي جهود الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية. استضافة الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)في أبوظبي تدل على ريادة الإمارات الدولية.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

حققت الإمارات تقدمًا كبيرًا في مجال الطاقة المتجددة، حيث ارتفعت القدرة المركبة من حوالي 100 ميغاواط في عام 2015 إلى 6,035 ميغاواط (6.0 غيغاواط) في عام 2023، معظمها من الطاقة الشمسية الكهروضوئية، مع بعض مشاريع طاقة الرياح وتحويل النفايات إلى

طاقة. ولدت الطاقة المتجددة حوالي 8 تيراواط ساعة في عام 2023، أو حوالي 4.8% من الكهرباء.

المشاريع الشمسية الكبيرة :

- مشروع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية في دبي (MBR) ، بقدرة 3,460 ميغاواط (كهروضوئية ومركزة) قيد التشغيل و1,200 ميغاواط قيد التطوير. تهدف المراحل المستقبلية إلى تحقيق 7,260 ميغاواط بحلول عام 2030، بما في ذلك منشأة كبيرة للطاقة الشمسية مع التخزين (1,600 ميغاواط كهروضوئية و6,000 ميغاواط ساعة من البطاريات).

- مشروع نور أبوظبي (1,177 ميغاواط) ومشروع الظفرة للطاقة الشمسية (2,000 ميغاواط) في أبوظبي يكملان المشاريع الكهروضوئية العملاقة.

- مشروع شمس 1 (100 ميغاواط مركزة) ومحطة مصدر البالغة 10 ميغاواط كانا من المشاريع الرائدة.

- حقق نموذج المنتج المستقل للطاقة (IPP) أسعارًا قياسية منخفضة للطاقة الشمسية (حوالي 1.35 سنت/كيلوواط ساعة).

مشاريع طاقة الرياح:

أطلقت الإمارات أول مزارع رياح عملاقة لها (إجمالي 103.5 ميغاواط) في أربعة مواقع: جزيرة صير بني ياس، والصلاء، وجزيرة دلما، في عام 2023. تتناسب التوربينات عالية الكفاءة مع سرعات الرياح المنخفضة، وتزود حوالي 23,000 منزل وتوفر 120,000 طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا.

مشاريع متجددة أخرى:

- بدأت محطة تحويل النفايات إلى طاقة في الشارقة (30 ميغاواط) العمل في عام 2022؛ تقوم دبي ببناء منشأة بقدرة 200 ميغاواط.

- تشير المشاريع التجريبية في الغاز الحيوي (عجمان) والهيدروجين بالطاقة الشمسية (دبي) إلى مزيد من التنويع.

بشكل عام، يجعل النمو المتجدد بقيادة الطاقة الشمسية الإمارات قوة إقليمية في مجال الطاقة النظيفة.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

دمج الطاقة المتجددة في الشبكة

تقوم الإمارات أيضًا ببناء شبكتها الوطنية الموحدة (ENG) لاستيعاب المزيد من الطاقة الشمسية، بما في ذلك إضافة خطوط نقل 400 كيلوفولط و132 كيلوفولط وتقنيات الشبكة الذكية. يجب أن تلتزم محطات الطاقة المتجددة الجديدة بشروط الشبكة الجديدة للتحكم في الجهد والقدرة على الاستمرارية. تهدف مبادرات استجابة الطلب والشبكة الذكية في دبي إلى موازنة الأحمال مع الطاقة الشمسية المتاحة. تجري الأبحاث لاستيعاب اختراق أكبر للطاقة المتجددة.

التوصيل البيني مع الجيران

ترتبط شبكة الإمارات بعمان والمملكة العربية السعودية عبر هيئة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي(GCCIA) ، مما يسمح بالتوازن الإقليمي وتجارة الطاقة في المستقبل. يمكن أن تتيح الزيادة في التبادلات عبر الحدود تصدير فائض الطاقة الشمسية أو استيراد الطاقة في المساء.

حلول تخزين الطاقة

يتم استخدام تخزين البطاريات (محطة أبوظبي 108 ميغاواط/648 ميغاواط ساعة، محطة دبي 6,000 ميغاواط ساعة في حديقة MBR الشمسية)، والطاقة الكهرومائية التخزينية (حاتا، 250 ميغاواط)، والتخزين الحراري بالملح المصهور (15 ساعة) في محطات الطاقة الشمسية المركزة. كما يتم استخدام مشاريع تجريبية للهيدروجين الأخضر والتبريد المناطقي كحلول تخزين ناشئة.

التحديات والعقبات

على الرغم من التقدم القوي، تواجه الإمارات تحديات رئيسة في توسيع نطاق الطاقة المتجددة

- تؤدي الظروف الصحراوية إلى التلوث (فقدان 20-30% من الإنتاج) وفقدان الكفاءة بسبب الحرارة في الألواح الشمسية والبطاريات. تشمل الحلول التنظيف الآلي والتقنيات المقاومة للحرارة.

- يتطلب التقطع الشمسي تخزينًا، وتوليدًا مرنًا (مثل الغاز سريع الاستجابة)، واتصالات شبكية. هناك حاجة إلى وصلات إقليمية وتعزيز الشبكة لتجنب الازدحام مع زيادة الطاقة الشمسية.

• جعلت إعانات الغاز الطاقة المتجددة غير قادرة على المنافسة، لكن الإصلاح والتعريفة الشمسية القياسية المنخفضة يقودان التعادل. يجب الحفاظ على إصلاح الدعم وهياكل المنتج المستقل للطاقة القوية.

• توفر مواقع الرياح محدود. حالياً، يسهل أطلس الرياح الوطني التخطيط المعزز.

• يتطلب النمو السريع محترفين مؤهلين. التدريب جارٍ، لكن التنسيق بين الإمارات لا يزال معقدًا.

• تحتاج الطاقة الشمسية المركزة والهيدروجين إلى الماء، وهو شحيح. التبريد الجاف والمياه المعاد تدويرها خيارات.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

ترى الإمارات أن البحث والتطوير والقدرة الصناعية المحلية أمران حيويان لنجاح أهداف الطاقة النظيفة.

تشمل المبادرات الرئيسة:

- البحث والتطوير في الطاقة المتجددة: تختبر منصة معهد مصدر للطاقة الشمسية (جامعة خليفة) الطاقة الشمسية المركزة والتخزين الحراري في الصحراء. يختبر مركز البحث والتطوير التابع لـ DEWA في حديقة MBR الشمسية أداء الألواح الشمسية والتنظيف بالطائرات بدون طيار. تبحث الجامعات الإماراتية (جامعة خليفة وجامعة الإمارات والجامعة الأمريكية في الشارقة) في الألواح الشمسية والوقود الحيوي والتخزين. تشمل التطورات الحديثة التنبؤ بالطاقة الشمسية بالذكاء الاصطناعي ومشاريع الهيدروجين والطلاءات المتقدمة.

- التعاون الأكاديمي والدولي: تتعاون جامعات مثل جامعة الإمارات وجامعة الشارقة دوليًا، مع وجود قاعدة أبوظبي المقدمة من IRENA. تستضيف الإمارات جائزة زايد للاستدامة ومنتديات كبيرة، (مثل WFES)، لربط الصناعة والبحث.

- الإنتاج المحلي: تزيد الإمارات من إنتاج الألواح الشمسية. هناك إعلان عن مصنع ألواح شمسية بقدرة 2 غيغاواط من قبل G8 Star في 2024 و GCL مع مبادلة لأول منشأة بوليسيليكون في المنطقة. توفر الشركات المحلية الآن الألواح والزجاج وأنظمة التثبيت، خاصة لمشاريع DEWA .

- الابتكار والمشاريع العالمية: تمتلك مصدر عمليات دولية، مع دروس مستفادة من طاقة

الرياح البحرية والتخزين في أوروبا. تعد مشاريع الهيدروجين الشمسي(DEWA- سيمنز)وتقانة V2G من المشاريع المحلية التجريبية. تستثمر الإمارات في شركات التقنيات النظيفة الناشئة وتجرب حلولًا مثل استخدام الكربون.

باختصار، تقوم الإمارات العربية المتحدة بتطوير بنية تحتية قوية للبحث والابتكار والصناعة لدعم طموحاتها في الطاقة المتجددة والظهور كمصدر إقليمي للتقانات النظيفة.

التوصيات

لتسريع نشر الطاقة المتجددة، ينبغي للإمارات:

- إعطاء الأولوية للشبكات الذكية وتسريع مشاريع التخزين مثل بطارية دبي 1 غيغاواط. توسيع سعة التخزين الحراري والكهرومائي.
- الاستفادة من الربط البيني لمجلس التعاون الخليجي لبيع فائض الطاقة الشمسية وشراء الطاقة خارج أوقات الذروة. النظر في وصلات التيار المباشر عالي الجهد (مثل الإمارات-الهند) في المستقبل.
- تفعيل تسعير الوقت الاستخدامي، وإلغاء إعانات الوقود الأحفوري تدريجيًا، وتشجيع تحويل الطلب.
- تحديد أهداف لطاقة الرياح (مثل 500 ميغاواط بحلول 2030)، وتوسيع تحويل النفايات إلى طاقة، وتكرار التبريد الحراري الأرضي حيثما أمكن.
- إنشاء مراكز تدريب لفنيي الألواح الشمسية وطاقة الرياح والبطاريات؛ تعزيز الواجهة بين الأكاديمية والصناعة.
- مواءمة الطاقة المتجددة مع نشر المركبات الكهربائية، والتبريد الكهربائي، وأهداف الهيدروجين الأخضر لتعزيز إزالة الكربون المتكاملة.

ستعزز هذه المبادرات ريادة الإمارات في مجال الطاقة النظيفة وتدفع طموحها لتحقيق صافي انبعاثات صفرية إلى الأمام.

مملكة البحرين

معلومات عامة

مملكة البحرين هي دولة جزيرة صغيرة تقع في الخليج العربي، بمساحة تبلغ حوالي 780 كيلومترًا مربعًا ويبلغ عدد سكانها أكثر من 1.5 مليون نسمة. كواحدة من دول مجلس التعاون الخليجي، اعتمدت البحرين تاريخيًا على النفط والغاز الطبيعي كمصادر أساسية للطاقة. ومع ذلك، تماشيًا مع الاتجاهات الإقليمية والعالمية نحو الاستدامة، تتحول البحرين نحو مزيج طاقة أكثر تنوعًا ونظافة. بموجب «الخطة الوطنية للطاقة المتجددة» (NREAP)، حددت البلاد أهدافًا طموحة لتوليد 5 % من كهربائها من مصادر متجددة بحلول عام 2025 و20 % بحلول عام 2035. مع مستويات عالية من الإشعاع الشمسي واهتمام متزايد بتقنيات طاقة الرياح وتحويل النفايات إلى طاقة، تستفيد البحرين من مزاياها الجغرافية والمناخية لتطوير حلول طاقة مستدامة. الدعم المؤسسي، والشراكات بين القطاعين العام والخاص، والتعاون الدولي يقودون هذا التحول بينما تسعى البحرين إلى تعزيز أمن الطاقة، وخفض الانبعاثات، ودعم أهداف رؤيتها الاقتصادية 2030 للتنويع.

المشهد الطاقي

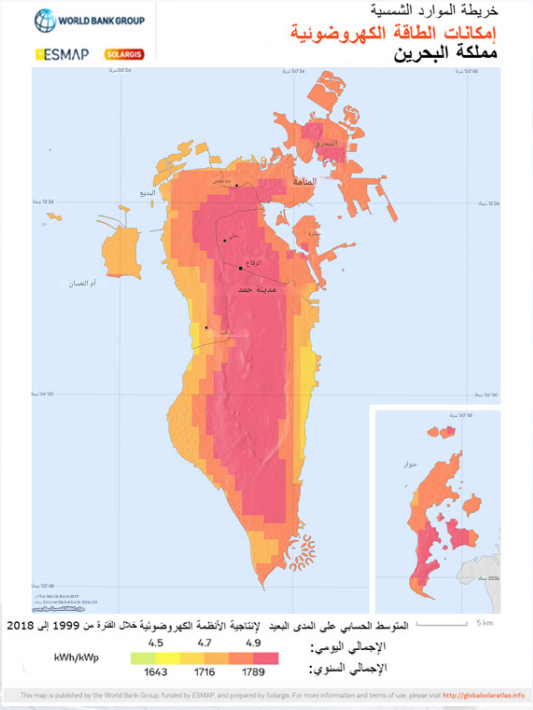
الجدول 1: معلومات عن المشهد الطاقي في البحرين

إجمالي استهلاك الطاقة	• **بلغ استهلاك الطاقة الأولية حوالي 0.883 كوادريليون وحدة حرارية بريطانية** في عام 2023، مسجلاً ارتفاعًا عن المقدار 0.847 كوادريليون وحدة حرارية بريطانية في عام 2022. • وبالمثل، **حوالي 16 مليون طن من المكافئ النفطي** ، حيث ظل مستقراً منذ عام 2022 بعد زيادة سنوية بنسبة 2٪ خلال الفترة 2019-2021 .
إجمالي توليد الكهرباء	• **تبلغ قدرة توليد الكهرباء المركبة في البحرين ما يقرب من 4 غيغاواط** ، مما يخدم الطلب المتزايد لها. • بلغ استهلاك الكهرباء للفرد حوالي 23,049 كيلوواط ساعي في عام 2023، بانخفاض طفيف عن 23,287 كيلوواط ساعي في عام 2022
استيراد/ تصدير الطاقة	• البحرين هي **مصدر صافٍ للطاقة** ، وخاصة النفط والغاز. • في نوفمبر 2024، بلغ متوسط صادرات النفط الخام حوالي 149 ألف برميل يوميًا، مع واردات بلغت حوالي 220 ألف برميل يوميًا (بما يعكس نشاط التكرير).
مزيج الطاقة %	• **الوقود الأحفوري** (النفط والغاز) على السوق، حيث تمثل ما يقرب من 99.9% من العرض؛ وتساهم مصادر الطاقة المتجددة بشكل ضئيل (~0.1 %). • في عام 2023، سيكون حوالي 7% من توليد الكهرباء في المنطقة منخفض الكربون، لكن حصة البحرين تظل ضئيلة.
الطلب على الكهرباء	• يبلغ إجمالي الطلب على الكهرباء حوالي **35 تيراواط ساعي سنويًا** (بحسب تصنيف وكالة الطاقة الدولية رقم 63 بحوالي 35 مليار كيلوواط ساعي).

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

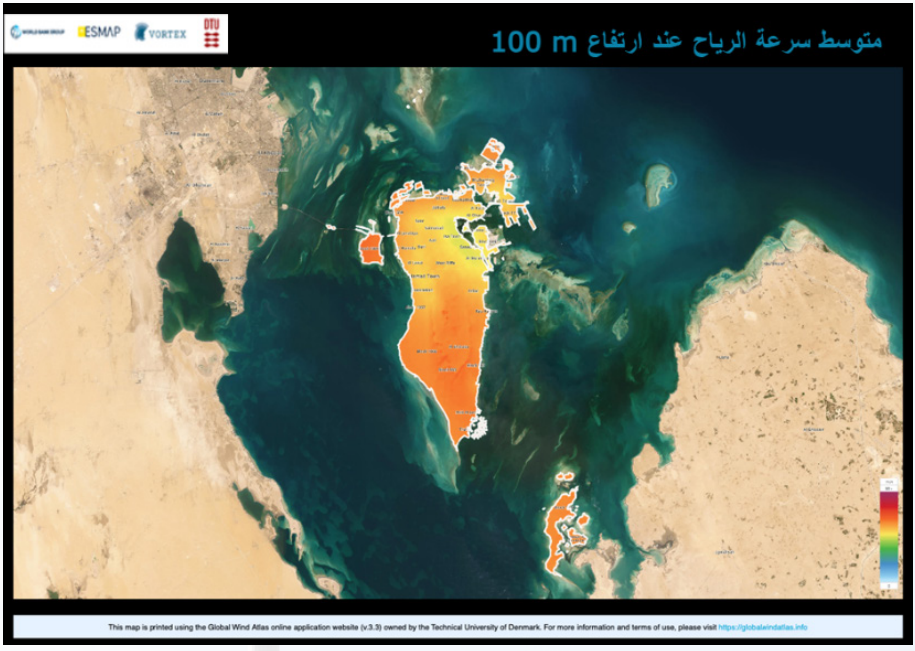
تتمتع البحرين بإشعاع شمسي قوي جدًا، حيث يبلغ الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي (GHI) حوالي 2100 - 2200 كيلوواط ساعة/م²/سنة والإشعاع الشمسي العمودي المباشر (DNI) حوالي 2050 كيلوواط ساعة/م²/سنة. تُظهر خريطة «أطلس الطاقة الشمسية العالمي» أدناه أن معظم الجزيرة تقع في النطاق الأعلى للإمكانات (المميز باللون الأحمر الداكن)، مما يشير إلى ظروف مثالية لكل من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركزة والمشتتة. تشير دراسات الألواح المائلة إلى إنتاج سنوي قابل للتحقيق يبلغ حوالي 2780 كيلوواط ساعة/م² للأنظمة ذات الزوايا المثلى مقارنة بحوالي 2088 كيلوواط ساعة/م² للتركيبات الثابتة - بزيادة في الإنتاج تزيد عن 30 %. إذا طُبق هذا على مستوى الدولة، يمكن للبحرين تركيب مئات الميغاواط إلى غيغاواط من القدرة الشمسية، مما يجعل الطاقة الشمسية المسار الأكثر فورية وفعالية من حيث التكلفة للمضي قدمًا في الطاقة المتجددة.



الشكل 4 : خريطة موارد الطاقة الشمسية في البحرين © Solargis 2021

إمكانات طاقة الرياح

بينما تعد طاقة الرياح البرية في البحرين متواضعة (غالبًا أقل من 200 واط/م^2)، فإن المناطق البحرية في الخليج العربي - خاصة حول البحرين - توفر إمكانات أفضل بكثير: 200 - 300 واط/م^2 على ارتفاع 30 مترًا، وترتفع إلى أكثر من 300 واط/م^2 على ارتفاع 50 مترًا. حددت دراسة جدوى لطاقة الرياح البحرية حوالي 4 % من المياه البحرية البحرينية (حوالي 407 كم^2) كمناطق قابلة للتطوير، قادرة على دعم حوالي 1.5 غيغاواط من مزارع الرياح. يبلغ متوسط سرعة الرياح الموسمية 7 - 8 م/ث على ارتفاع 30 مترًا، مما يخلق عوامل قدرة وجدوى اقتصادية مماثلة للعديد من مشاريع الرياح البرية عالميًا.



الشكل 5 : خريطة موارد الرياح في البحرين

إمكانات النفايات والكتلة الحيوية

على الرغم من عدم توافر خرائط دقيقة، تتضمن استراتيجية البحرين تركيب وحدات متواضعة للغاز الحيوي وتحويل النفايات إلى طاقة - تشمل الخطط حوالي 5 ميغاواط بحلول 2025 وحتى 10 ميغاواط بحلول 2035. نظرًا لوجود كتلة حيوية زراعية/متبقية محدودة

في البحرين، يعد تحويل النفايات البلدية والصناعية إلى طاقة المسار الأكثر واقعية للكتلة الحيوية، حيث يوفر قيمة أساسية موثوقة مع بصمة أرضية أصغر.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

يرتكز طريق البحرين للطاقة المتجددة على الخطة الوطنية للطاقة المتجددة (NREAP)، التي نُشرت لأول مرة في 2017 وتم تحديثها في 2023 بواسطة الهيئة الوطنية للنفط والغاز (NOGA). تحدد الخطة أهدافًا واضحة وآليات تنفيذ لتنويع مزيج الطاقة في المملكة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة)

الجدول 2 : أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة) في البحرين

السنة	تفاصيل التقنيات المستخدمة	النسبة المستهدفة	القدرة التقريبية (ميغاواط)
2025	200 ميغاواط من الطاقة الشمسية، 50 ميغاواط من الرياح، 5 ميغاواط من الغاز الحيوي	% 5	~255 ميغاواط
2035	400 ميغاواط من الطاقة الشمسية، 300 ميغاواط من الرياح، 10 ميغاواط من الغاز الحيوي	% 20	~710 ميغاواط

- بحلول عام 2030: % 10
- بحلول عام 2040: % 15
- بحلول عام 2050: % 20

التزامات صافي الانبعاثات الصفرية/إزالة الكربون

التزمت البحرين بتحقيق صافي انبعاثات كربونية صفرية بحلول 2060، تماشيًا مع مساهماتها المحددة وطنيًا (NDCs) بموجب اتفاقية باريس. أُعلن هذا الهدف رسميًا في أكتوبر 2021 قبل مؤتمر COP26. تهدف المملكة إلى خفض الانبعاثات من خلال مجموعة من الإجراءات:

- زيادة الطاقة المتجددة وبرامج كفاءة الطاقة.
- التقاط الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) في قطاع النفط والغاز.
- النقل المستدام وكودات البناء الأخضر.
- التحول إلى الاقتصاد الدائري للكربون ، بدعم من إطار عمل مجلس التعاون الخليجي.

تهدف مساهمات البحرين المحددة وطنيًا المحدثة (NDCs) إلى خفض الانبعاثات الكربونية بنسبة 30 % بحلول 2035، باستخدام عام 2017 كسنة أساس. سيتم تحقيق ذلك من خلال الجهود المحلية، بما في ذلك تنويع الطاقة وتحديث الصناعات وتحسين إدارة النفايات.

الهيئات التنظيمية والمؤسسات الرئيسة

- هيئة الطاقة المستدامة (SEA): الجهة المركزية المسؤولة عن صياغة وتنفيذ استراتيجيات الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في البحرين. وتتولى الهيئة وضع خطط العمل ودعم تنفيذ المشاريع وإعداد تقارير عن التقدم المحرز نحو تحقيق الأهداف الوطنية.
- هيئة الكهرباء والماء (EWA): تشرف هذه الهيئة على إنتاج وتوزيع الكهرباء والماء. تتعاون مع NOGA لدمج الطاقة المتجددة في الشبكة وتنفيذ لوائح القياس الصافي.
- المجلس الأعلى للبيئة (SCE): يقود هذا المجلس سياسات البيئة ومفاوضات تغير المناخ وتخطيط خفض الانبعاثات. يلعب دورًا رئيسًا في تنفيذ مساهمات البحرين المحددة وطنيًا وتقريرها.
- وزارة شؤون الكهرباء والماء: توفر التوجيه السياسي والحوكمة الشاملة لقطاعي الطاقة والماء.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

اعتبارًا من 2023، تظل القدرة المركبة الإجمالية للطاقة المتجددة في البحرين متواضعة عند حوالي 18 - 20 ميغاواط، وهي أقل بكثير من الهدف المؤقت لعام 2025 البالغ 255 ميغاواط. ومع ذلك، تشير عدة مشاريع استراتيجية إلى تقدم نحو زيادة توليد الطاقة النظيفة.

المشاريع الرئيسة المركبة والتشغيلية

- الطاقة الشمسية على أسطح المباني الحكومية:

تم تركيب أنظمة شمسية كهروضوئية متصلة بالشبكة في أكثر من 50 منشأة حكومية، بما في ذلك 8 مدارس عامة، من خلال شراكات مع هيئة الطاقة المستدامة (SEA) وهيئة الكهرباء والماء (EWA).

القدرة المقدرة: 5 - 10 ميغاواط.

- الطاقة الشمسية في مطار البحرين الدولي:

تم تركيب نظام شمسي كهروضوئي بقدرة 3.6 ميغاواط على مبنى الركاب الجديد كجزء من مشروع تحديث المطار.

- جامعة البحرين الطبية:

تغطي ما يصل إلى 65 % من احتياجاتها من الكهرباء عبر الطاقة الشمسية على الأسطح، مما يوضح تطبيقًا مؤسسيًا ناجحًا.

المشاريع المخطط لها والقيد التنفيذ

- مشروع الطاقة الشمسية في مكب عسكر:

يتم تطوير مزرعة شمسية بقدرة 100 ميغاواط في موقع مكب عسكر، بدعم من مناقصات دولية.

- تجربة الألواح الشمسية العائمة:

تستكشف البحرين أنظمة الألواح الشمسية العائمة لمعالجة ندرة الأراضي وتحسين استخدام المسطحات المائية للتبريد والكفاءة.

- طاقة الرياح :

حددت دراسات الجدوى لمزارع الرياح البحرية إمكانات تبلغ حوالي 1.5 غيغاواط؛ ومع ذلك، لا توجد مشاريع رياح قيد التشغيل بعد.

بينما لا تزال القدرة المركبة محدودة، بدأت البحرين مشاريع تجريبية مؤثرة. تعد المشاريع واسعة النطاق مثل عسكر ودراسات الرياح البحرية حاسمة لتحقيق أهداف 2025 و2035 للطاقة المتجددة.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

تخضع شبكة الكهرباء في البحرين، التي تديرها هيئة الكهرباء والماء (EWA)، لتكيف تدريجي لاستيعاب الطاقة المتجددة. بينما تتمتع الشبكة بموثوقية عالية، فإن تصميمها التقليدي للتوليد المركزي القائم على الوقود الأحفوري يشكل تحديات لدمج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المتقطعة.

لدعم مرونة الشبكة، تشارك البحرين في شبكة ربط دول مجلس التعاون الخليجي، التي تربطها بجيرانها مثل السعودية والكويت والإمارات. يعزز هذا الربط الإقليمي أمن الطاقة ويوفر توازنًا لعرض الطاقة المتجددة المتغير من خلال التبادل الكهربائي عبر الحدود.

لا يزال تخزين الطاقة في مراحله المبكرة. لا توجد أنظمة تخزين واسعة النطاق قيد التشغيل

حاليًا، على الرغم من أن أنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات (BESS) ومشاريع الطاقة الشمسية مع التخزين التجريبية قيد التقييم من قبل هيئة الطاقة المستدامة. من المتوقع أن تلعب هذه التقنيات دورًا حاسمًا في استقرار الشبكة، تخفيف الذروة، وتعظيم استخدام الطاقة الشمسية.

يعد الاستثمار الاستراتيجي في ترقيات الشبكة الذكية، آليات التجارة الإقليمية، ونشر التخزين ضروريًا لتحقيق أهداف البحرين للطاقة المتجددة لعام 2035.

دمج الطاقة المتجددة في الشبكة

تم تطوير الشبكة الوطنية في البحرين، التي تشغلها هيئة الكهرباء والماء (EWA)، في الأصل لتوليد الطاقة المركزي القائم على الوقود الأحفوري. مع زيادة قدرة الطاقة المتجددة - خاصة الطاقة الشمسية الكهروضوئية - يتم تكييف الشبكة للتعامل مع الطبيعة المتغيرة لمصادر الطاقة المتجددة. تقود هيئة الطاقة المستدامة (SEA) جهودًا لإدخال تقنيات الشبكة الذكية، القياس المتقدم، وأنظمة التوليد الموزعة المتصلة بالشبكة. تساهم المشاريع التجريبية مثل الألواح الشمسية على أسطح المباني الحكومية بالفعل في تقليل حمل الذروة النهاري. ومع ذلك، لا يزال التكامل واسع النطاق يتطلب تحديث لوائح الشبكة وأنظمة إدارة الطاقة في الوقت الحقيقي.

الربط مع الدول المجاورة

تشارك البحرين بالكامل في شبكة ربط دول مجلس التعاون الخليجي (GCCIA)، التي تربط جميع دول مجلس التعاون الخليجي الست. يعزز هذا الربط أمن الطاقة في البحرين ويمكنها من التجارة الكهربائية عبر الحدود، خاصة لموازنة التقلبات من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. يسمح للبحرين باستيراد أو تصدير الكهرباء خلال أحمال الذروة أو فائض التوليد، مما يدعم تكامل الطاقة المتجددة دون تخزين محلي فوري.

حلول تخزين الطاقة والمشاريع

اعتبارًا من 2024، ليس لدى البحرين أي مشاريع تخزين طاقة واسعة النطاق قيد التشغيل، لكن الحكومة تستكشف بنشاط الخيارات. حددت هيئة الطاقة المستدامة (SEA) خططًا لاختبار أنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات (BESS) المدمجة مع الطاقة الشمسية الكهروضوئية للتطبيقات السكنية والواسعة النطاق. يعد التخزين حاسمًا لإدارة طلب الذروة، تحسين استقرار الشبكة، وتعظيم توليد الطاقة الشمسية خلال ساعات خارج الذروة. من المتوقع أن

يتم إطلاق مبادرات الطاقة الشمسية مع التخزين التجريبية في إطار شراكات بين القطاعين العام والخاص في السنوات المقبلة.

التحديات والعقبات

تواجه البحرين عدة تحديات هيكلية وتشغيلية في توسيع نطاق الطاقة المتجددة. أحد العوائق الرئيسية هو ندرة الأراضي المتاحة، مما يقيد نشر مزارع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واسعة النطاق. لمعالجة هذا، تستكشف البحرين الألواح الشمسية العائمة والطاقة الشمسية على الأسطح، لكن هذه الحلول تتطلب مزيدًا من الاستثمار والدعم التنظيمي.

تحدي آخر هو تكامل الشبكة، حيث أن البنية التحتية الحالية بُنيت لتوليد الوقود الأحفوري المركزي وتفتقر إلى المرونة اللازمة للمدخلات المتجددة المتغيرة. لا تزال أنظمة تخزين الطاقة في مرحلة التخطيط، مما يحد من إمكانية التوزيع.

بالإضافة إلى ذلك، يؤدي التنفيذ البطيء للسياسات، خاصة في التصاريح، تخصيص الأراضي، وحوافز القطاع الخاص، إلى تأخير تطوير المشاريع. يؤدي نقص التصنيع المحلي أيضًا إلى زيادة الاعتماد على التقنيات المستوردة، مما يؤثر على التكاليف والجداول الزمنية.

للتغلب على هذه العقبات، سيتطلب الأمر تسريع الاستثمار، الإصلاح التنظيمي، وتعزيز التعاون الإقليمي لتحقيق هدف البحرين لعام 2035 البالغ 20 % من الكهرباء المتجددة.

الجدول 3: التحديات والعوائق التي تواجه البحرين

التحدي	التفاصيل
تأخير المشروع	حوالي 18 ميغاواط قائمة مقابل حوالي 255 ميغاواط مستهدفة بحلول عام 2025
قيود الأراضي	تشغيل الطاقة الشمسية العائمة وخيارات الربط تحت سطح البحر
ربط الشبكة	الحاجة إلى تحديث الشبكة لإدارة مصادر الطاقة المتجددة المتغيرة
تكلفة طاقة الرياح البحرية	أغلى من البرية بحوالي 1.5 إلى 3.3 مرة

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

يدعم مشهد الطاقة المتجددة في البحرين جهود متزايدة في البحث والابتكار وبناء القدرات. بينما لا تزال في مرحلة مبكرة مقارنة بالدول الرائدة في المنطقة، فإن عدة مبادرات تُرسي الأساس لنظام بيئي محلي أكثر قوة.

البحث والتطوير في تقنيات الطاقة المتجددة

تقود جامعة البحرين (UoB) وجامعة العلوم التطبيقية البحث الأكاديمي في أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية وكفاءة الطاقة وتقنيات البناء المستدام. يجري مركز البحرين للدراسات الاستراتيجية والدولية والطاقة (دراسات) أيضًا أبحاثًا ذات صلة بالسياسات تتعلق بتنويع الطاقة والتخفيف من الكربون.

الجامعات ومؤسسات البحث

- جامعة البحرين: تستضيف مركز أبحاث الطاقة المتجددة، الذي يعمل على تحسين الألواح الشمسية الكهروضوئية ونمذجة الشبكة الذكية وإدارة جانب الطلب.
- الجامعة البحرينية للعلوم التطبيقية: تقدم أبحاثًا وتدريبًا تطبيقيًا في تقنيات البناء الأخضر وتركيب الطاقة الشمسية.

التصنيع المحلي وسلسلة التوريد

حاليًا، تستورد البحرين معظم مكونات الطاقة الشمسية، دون وجود تصنيع محلي للألواح الكهروضوئية. ومع ذلك، تدعم الأنشطة الصناعية الخفيفة أنظمة التثبيت والمحولات والمكونات الكهربائية. توجد فرص لتوطين أجزاء من سلسلة توريد الطاقة الشمسية، خاصة من خلال شراكات القطاعين العام والخاص والتكامل الصناعي الخليجي.

نقل التقانة والتعاون الدولي

تشارك البحرين في التعاون التقني مع كيانات دولية مثل الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) ومدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة (KACARE) في السعودية، وتستكشف مشاريع مشتركة مع اليابان وألمانيا والصين حول نشر تقنيات الطاقة الشمسية وأنظمة الشبكة ودراسات جدوى الهيدروجين.

التوصيات

1 تسريع المشاريع واسعة النطاق: الإسراع في تطوير مشاريع مثل مزرعة عسكر الشمسية بقدرة 100 ميغاواط ومناطق جدوى الرياح البحرية لتحقيق أهداف 2025 و2035.

2 توسيع برامج الطاقة الشمسية على الأسطح: زيادة القياس الصافي ودعم تركيب الألواح الشمسية على الأسطح في القطاعات السكنية والتجارية والعامة.

3 الاستثمار في تخزين الطاقة: نشر أنظمة تخزين البطاريات التجريبية لتعزيز استقرار الشبكة وتمكين اختراق أكبر للطاقة الشمسية.

4 تحديث بنية الشبكة: ترقية لوائح الشبكة وإدخال أنظمة الشبكة الذكية للتكامل الفوري للطاقة المتجددة.

5 تعزيز البحث والتطوير والابتكار: تقوية التعاون بين الجامعات والصناعة والاستثمار في حاضنات التقنيات النظيفة.

6 توطين سلاسل التوريد: تشجيع تصنيع مكونات الطاقة الشمسية والمحولات وأنظمة التثبيت لتقليل الاعتماد على الاستيراد.

7 الاستفادة من ربط مجلس التعاون الخليجي: استخدام وصلات الشبكة الإقليمية لموازنة التقطع في الطاقة المتجددة.

8 جذب الاستثمار الخاص: توسيع المناقصات الشفافة وآليات التمويل الأخضر لإشراك المطورين المحليين والدوليين.

الجمهورية التونسية

معلومات عامة

تحتل تونس موقعًا استراتيجيًا في شمال إفريقيا، حيث تحد الجزائر وليبيا بينما تتمتع بساحل بحري بطول 1,300 كم يربط بين الحوضين الشرقي والغربي للبحر المتوسط. بمساحتها البالغة 165,000 كم^2، تمتد تونس من الصحراء الكبرى إلى جبال الأطلس الشرقية، مما يخلق تنوعًا مناخيًا وإيكولوجيًا ملحوظًا. يبلغ عدد سكانها حوالي 12 مليون نسمة.

رغم حجمها المتواضع، تمتلك تونس إمكانات استثنائية للطاقة المتجددة، حيث تقدر قدرة توليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بـ 320 غيغاواط، وهو ما يفوق بكثير ذروة الطلب الوطني الحالي البالغة حوالي 5 غيغاواط. لكن البلاد تواجه تحديات طاقية متزايدة: منذ 2010، انخفضت موارد الطاقة الأولية المحلية بنحو 7 % سنويًا، بينما زاد الطلب على الطاقة الأولية بأكثر من 2 % سنويًا.

تسلط هذه الفجوة المتسعة بين تناقص الموارد التقليدية وزيادة الاحتياجات الطاقية الضوء على الأهمية البالغة للإمكانات المتجددة غير المستغلة في تونس لأمنها الطاقي المستقبلي.

لتواجه تونس وضعًا طاقيًا حرجًا مع ارتفاع عجزها من 0.6 مليون طن مكافئ نفط في 2010 إلى 5.7 مليون طن في 2019. يعتمد الآن نصف احتياجات الطاقة الأولية تقريبًا على الواردات، مما يهدد أمن الإمداد ويؤثر سلبًا على الدعم الحكومي واحتياطيات العملة الأجنبية. يعتمد توليد الكهرباء بالكامل تقريبًا (97 %) على الغاز المستورد. لمواجهة هذه التحديات، أطلقت تونس استراتيجية للانتقال الطاقي في 2013 تهدف إلى تقليل العجز والاعتماد من خلال تطوير الطاقة المتجددة وتعزيز كفاءة الطاقة.

البيانات الرئيسية لقطاع الطاقة في تونس

الجدول 4: مصدر بيانات الطاقة: وزارة الصناعة والمناجم والطاقة عام 2021

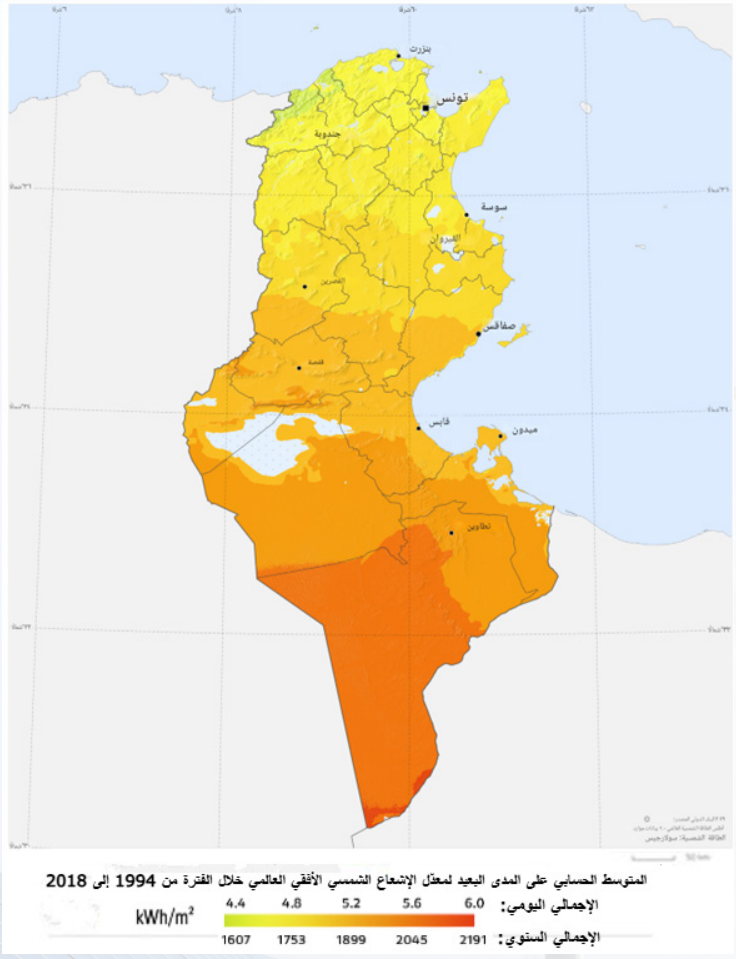
إجمالي استهلاك الطاقة	9.7 مليون طن نفط مكافئ
إجمالي توليد الكهرباء	5300 ميغا واط
استيراد/تصدير الطاقة	عجز بمقدار 5.6 مليون طن نفط مكافئ
مصادر الطاقة المستخدمة (كنسب مئوية)	52 % غاز طبيعي, 46 % نفط و 2 % طاقات متجددة
الطلب على الكهرباء	21000 غيغا واط ساعي

إمكانات الطاقة المتجددة

يتمتع البلد بأكمله تقريبًا بإمكانية الوصول إلى الكهرباء والوقود غير الصلب للطهي والتدفئة.

إمكانات الطاقة الشمسية

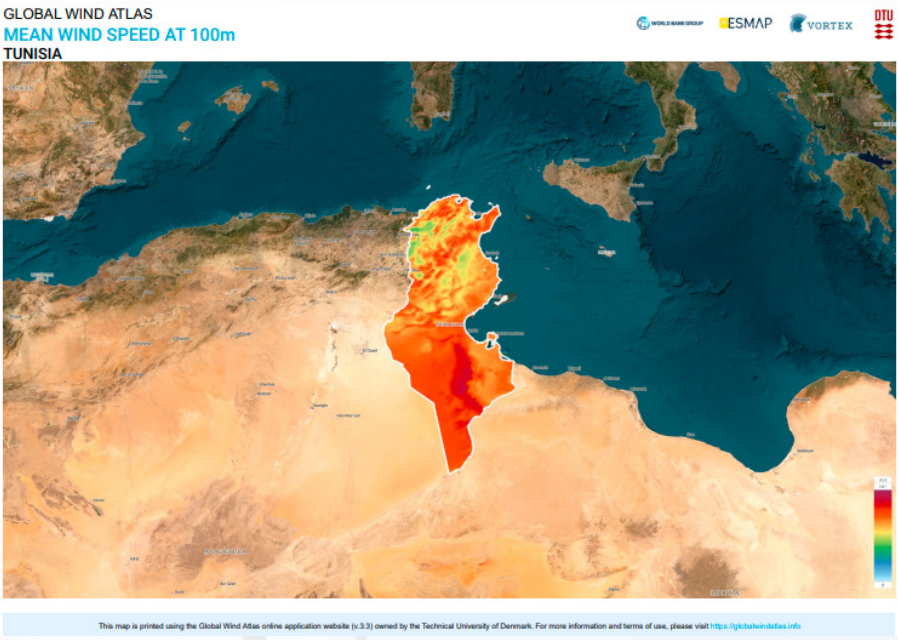
تتمتع تونس بإمكانيات هائلة في مجال الطاقة الشمسية، وهي حاليًا لا تستغل هذه الإمكانات بالشكل الأمثل. قُدِّر متوسط الإشعاع اليومي بما يتراوح بين 5.0 و5.5 كيلوواط/ساعة/متر مربع. لكن الأمور تتغير مع إعطاء الحكومة الأولوية لهذا المورد من الطاقة.



الشكل 6 : خريطة موارد الطاقة الشمسية في تونس (تم الحصول على البيانات من: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

حددت تونس عدة مواقع واعدة لتطوير طاقة الرياح بظروف رياح ملائمة، تظهر سرعات رياح متوسطة تتراوح بين 5.9 إلى 6.7 م/ث على ارتفاع 100 متر. تُعد المناطق الساحلية من بين هذه المواقع المحتملة ويمكنها توليد ما يصل إلى 1000 ميغاواط من الكهرباء عند تطويرها. ومع ذلك، حتى أواخر عام 2022، بلغت القدرة المركبة لطاقة الرياح 230 ميغاواط فقط، مما يشير إلى إمكانات كبيرة غير مستغلة في هذا المورد المتجدد.



الشكل 7: خريطة إمكانات طاقة الرياح في تونس

الطاقة الكهرومائية

لم يُنتج سوى 9 غيغاواط/ساعة من الكهرباء من مصادر مائية في عام 2023. بلغت القدرة المركبة للطاقة الكهرومائية نهاية عام 2022 نحو 70 ميغاواط. لا تشكل الكهرباء المائية جزءًا مهمًا من مزيج الطاقة؛ إلا أن الحكومة تُطور المزيد من الطاقة الكهرومائية عبر بناء سدود صغيرة ومتناهية الصغر حيثما أمكن.

الطاقة الحرارية الأرضية

يتميز جنوب تونس بوفرة الينابيع الساخنة التي تشير إلى نشاط حراري أرضي كبير في المنطقة. توجد هذه الموارد الحرارية الأرضية في طبقة المياه الجوفية القارية المتداخلة، التي تمتد إلى ليبيا والجزائر المجاورتين. تصل الطبقة إلى أعماق تبلغ نحو 2.8 كم بدرجات حرارة مائية تتراوح بين 30 و80°م. حاليًا، تُستخدم هذه الطاقة الحرارية الأرضية أساسًا لأغراض زراعية (76 %)، تشمل تدفئة البيوت المحمية والري، بينما تمثل مياه الشرب 19 % من الاستخدام، والأنشطة السياحية مثل الحمامات الحرارية الترفيهية 5 %.

السياسات والأهداف المتعلقة بالطاقة المتجددة

يشكل الاعتماد على الطاقة تحديات كبرى لتونس تتعلق بأمن إمداداتها الطاقية وقدرة اقتصادها على التنافس. يؤثر تزايد واردات الطاقة بشكل متصاعد على الميزان التجاري الوطني وعائدات البلاد من العملات الأجنبية.

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

تتماشى الخطة التونسية للطاقة الشمسية (PST)، التي أُعدت عام 2012 وتحديثت عام 2015، مع التوجهات الطاقية الاستراتيجية للبلاد عبر تحديد هدفين رئيسين لعام 2030:

- زيادة حصة الطاقة المتجددة إلى 30 % من مزيج الكهرباء الوطني.
- خفض استهلاك الطاقة الأولية بنسبة 30 % مقارنة بمستويات عام 2010 عبر مبادرات كفاءة الطاقة.

لتنفيذ هذه الأهداف الطموحة، صدر القانون رقم 12-2015 (11 مايو 2015) لتنظيم إنتاج الكهرباء من مصادر متجددة. يتيح هذا القانون مشاركة أكبر للقطاع الخاص عبر ثلاث أنظمة إنتاج متميزة:

- نظام الامتياز: للمشاريع ذات قدرة تفوق 10 ميغاواط للطاقة الشمسية، 30 ميغاواط لطاقة الرياح، 15 ميغاواط للكتلة الحيوية، و5 ميغاواط لأنواع الطاقة الأخرى.
- نظام التصريح: للمشاريع ذات قدرة تقل عن الحدود المذكورة أعلاه.
- نظام الإنتاج الذاتي: لجميع أنواع العملاء.

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة)

كتتمة للخطة الشمسية الصادرة عام 2015، انطلقت الحكومة في مسار طموح لزيادة إنتاجها من الطاقة المتجددة. تخطط السلطات للوصول إلى 35% من الطاقة المتجددة في قدرة نظام الكهرباء بحلول 2030. ومن المتوقع بعدها أن تغطي الطاقة المتجددة 50% من احتياجات الكهرباء بحلول 2035، و100 % من جميع احتياجات الكهرباء بحلول 2050.

التزامات صافي الانبعاثات الصفرية/إزالة الكربون

يمثل إنتاج الطاقة المتجددة هذا 75 % من التزامات تونس في مجال خفض انبعاثات الغازات الدفيئة، مما سيسمح للبلاد بتحسين استدامتها البيئية.

السلطات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

تتولى وزارة الصناعة والمناجم والطاقة (MIME) مسؤولية تنفيذ سياسة الحكومة في مجال الطاقة. الجهات الفاعلة الرئيسة هي:

- المؤسسات: لجان وزارة الصناعة والمناجم والطاقة (التقنية، والتنظيم، والمناقصات...)، والوكالة الوطنية للتحكم في الطاقة (ANME)، والشركة الوطنية للكهرباء والغاز (STEG: إنتاج الطاقة، والنقل، والتوزيع).
- القطاع الخاص والمؤسسات المالية
- هيئات تشجيع الاستثمار

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

تحت المسؤولية المباشرة للشركة التونسية للكهرباء والغاز (STEG) في 2023، تبلغ قدرة مولدات الرياح 230 ميغاواط، والخلايا الكهروضوئية 20 ميغاواط. كما توجد منشآت كهروضوئية للإنتاج الذاتي بقدرة 60 ميغاواط.

بعد اعتماد الإطار التنظيمي، أطلقت الوزارة مناقصات لبناء مولدات طاقة متجددة عام 2018 على النحو التالي:

الجدول 5 : مولدات الطاقة المتجددة في عام 2018 في تونس

النظام	القدرة (ميغا واط)	
	الطاقة الشمسية	الطاقة الريحية
امتياز	500	500
تفويض	140	130
إنتاج ذاتي	130	80
توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية الحرارية	300	80
المجموع الجزئي	1070	790
المجموع الكلي	1860	

واجهت العديد من هذه المشاريع صعوبات في تنفيذها، وأطلقت MIME عطاءات لبناء مولدات الطاقة المتجددة في عام 2022 على النحو التالي للفترة 2022 - 2025:

الجدول 6: مولدات الطاقة المتجددة في عام 2022 في تونس

النظام	القدرة (ميغا واط)	
	الطاقة الشمسية	الطاقة الريحية
امتياز	1400	600
تفويض	150	-
الإنتاج الذاتي	350	
توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية الحرارية	150	
المجموع الكلي	2650	

لذلك، تم توقيع أربع اتفاقيات لتنفيذ مشاريع إنتاج الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة إجمالية 500 ميجاوات في نهاية مارس 2025. وتعد هذه العقود جزءًا من الاستراتيجية التي تهدف إلى تحقيق 35٪ من الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء بحلول عام 2030 لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

دمج الطاقات المتجددة في الشبكة

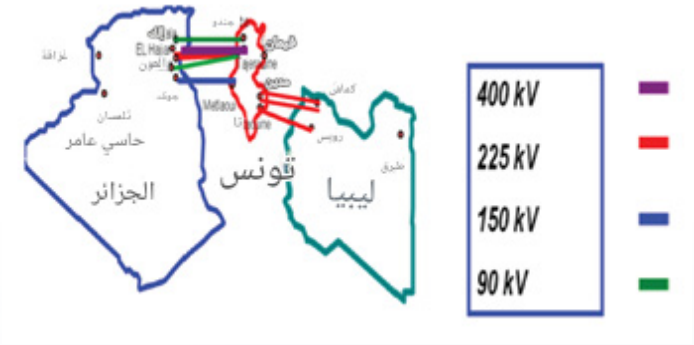
يُقدَّم دعم فني ومالي لمبادرات الحكومة للتحول نحو الطاقة المتجددة عبر تهيئة الشبكة الكهربائية الوطنية لنشر واسع النطاق للطاقة المتجددة.

الربط البيني مع الدول المجاورة

- تونس-الجزائر / تونس-ليبيا:

يسمح الربط بين تونس والجزائر وليبيا بتبادل الكهرباء، بخاصةٍ خلال فترات الذروة، مما أتاح تجنب استثمارات معينة لتلبية الطلب الأقصى. في 2023، تبادلت الشركة التونسية للكهرباء 2500 غيغاواط/ساعة مع شركائها في الجزائر وليبيا.

يوضح الشكل التالي الخطوط والفولطية المقابلة.



الشكل 8 : وصلات خطوط الطاقة بين تونس والجزائر وتونس وليبيا

- تونس-إيطاليا (ELMED):

جسر طاقي بين إيطاليا وتونس وسيكون أول ربط ثنائي الاتجاه بالتيار المستمر بين أوروبا وشمال إفريقيا. يبلغ طوله الإجمالي 220 كم (200 كم منها كابل بحري). ستكون سعته 600 ميغاواط بأقصى عمق نحو 800 متر عبر مضيق صقلية. يهدف ELMED إلى توفير إمدادات طاقة أكثر أمانًا واستدامة ومرونة مع زيادة تبادل الكهرباء المولدة من مصادر متجددة، مما يدفع الاستثمار في أنظمة توليد أنظف.

التحديات والعقبات

تشمل القيود والتحديات الرئيسة لتطوير وتشغيل الطاقة المتجددة ما يلي:

- صعوبات في تعبئة الاستثمارات لمشاريع الكهرباء.
- انخفاض التمويل العام ووصول محدود للتمويل الخاص.
- ضعف المعلومات حول فوائد تركيب الطاقة المتجددة لعامة الناس.
- نقص الموارد البشرية المتوسطة والطويلة الأجل للتخطيط والتطوير.
- فترات طويلة لإعداد مواقع التنفيذ الكهروضوئي (ملكية الأراضي، استقرار الشبكة...).

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

الجامعات والمؤسسات البحثية المشاركة

- أكثر من 200 مساق جامعي مرتبط بالطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة تقدمها جامعات عامة وخاصة.

- 30 مختبرًا جامعيًا عامًا مشاركًا في أنشطة بحثية مرتبطة بالطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة.
- برامج وطنية ودولية متعددة لتمويل المشاريع البحثية.

التصنيع المحلي وسلسلة التوريد

يشارك عدة موردين في تنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة وهم راسخون، أبرزهم:

- شركات تركيب الألواح الكهروضوئية.
- شركات استشارية.
- بائعي المعدات والملحقات والمواد الاستهلاكية.
- شركات التركيب (أكثر من 450 شركة لديها اتفاق لأنظمة الكهروضوئية).

نقل التقانة والتعاون الدولي

تلقى برنامج التحول الطاقي دعمًا من مؤسسات دولية منذ بدايته، مثل:

- البنك الدولي: مساعدة تقنية في مشاريع تطوير السياسات، وضمان بيئة داعمة للاستثمار الخاص.
- برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP): دعم الإجراءات الوطنية للتخفيف (NAMA) للخطة التونسية للطاقة الشمسية.
- الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ): مشروع تطوير السوق الشمسية وتدريب المحترفين.
- الوكالة الفرنسية للتنمية (AFD): مشروع الاستخدام المستدام للموارد الطبيعية وتمويل الطاقة.

التوصيات

يجب معالجة النقاط التالية لضمان التنفيذ الناجح للخطط الطموحة لزيادة إمكانات الطاقة المتجددة:

- تحسين التواصل لجذب اهتمام العامة والمستثمرين.
- تعزيز البرامج التعليمية المرتبطة.
- تشجيع الابتكار وريادة الأعمال.
- تحفيز البحث والبنية التحتية للتجارب.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

معلومات عامة

تقع الجزائر في منطقة المغرب العربي بشمال إفريقيا، وتشترك في حدودها مع تونس وليبيا والنيجر ومالي وموريتانيا والمغرب، بينما يمتد ساحلها الشمالي لمسافة 1300 كيلومتر على طول البحر الأبيض المتوسط. بمساحة تبلغ 2.38 مليون كم^2 وعدد سكان 46 مليون نسمة، تلعب الجزائر دورًا رئيسًا في إنتاج الهيدروكربونات وتصديرها.

يحظى قطاع الطاقة الجزائري بمكانة مهمة على الساحة العالمية. في عام 2014، احتلت الجزائر المرتبة السابعة عالميًا في تصدير المنتجات البترولية والسابعة عشر في الإنتاج اليومي الذي بلغ 1.721 مليون برميل. وتعد أوروبا الغربية وأمريكا الشمالية الوجهات الرئيسة لصادراتها من النفط الخام.

فيما يتعلق بالغاز الطبيعي، تمتلك الجزائر عاشر أكبر احتياطي في العالم وثاني أكبر احتياطي في إفريقيا بعد نيجيريا، حيث يقدر احتياطيها المؤكد بنحو 2.405 تريليون متر مكعب.

استجابةً للتحديات الطاقية المعاصرة، قامت الجزائر بمراجعة خطة تطوير الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في 2015، مددت الإطار الزمني حتى 2030 وركزت على نشر الطاقة المتجددة على نطاق واسع من خلال آليات تحفيزية مختلفة.

المشهد الطاقي

تبدأ الجزائر انتقالًا طاقيًا شاملاً نحو الطاقة الخضراء من خلال إطلاق برنامج طموح لتطوير الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. تتمحور الرؤية الاستراتيجية للحكومة الجزائرية حول استغلال الموارد غير المحدودة، بخاصةٍ الطاقة الشمسية، لتنويع المحفظة الطاقية الوطنية وبناء أساس مستدام لمستقبل الجزائر.

تهدف مبادرة الطاقة المتجددة المعدلة إلى تركيب حوالي 22000 ميغاواط من القدرة المتجددة بحلول 2030 لتلبية الطلب المحلي، مع الحفاظ على فرص التصدير كهدف استراتيجي رئيس.

يقدم الجدول التالي إحصاءات الطاقة الأولية لعام 2022 كما نشرتها وزارة الطاقة والمناجم.

الجدول 7 : إحصاءات الطاقة الأولية لعام 2022

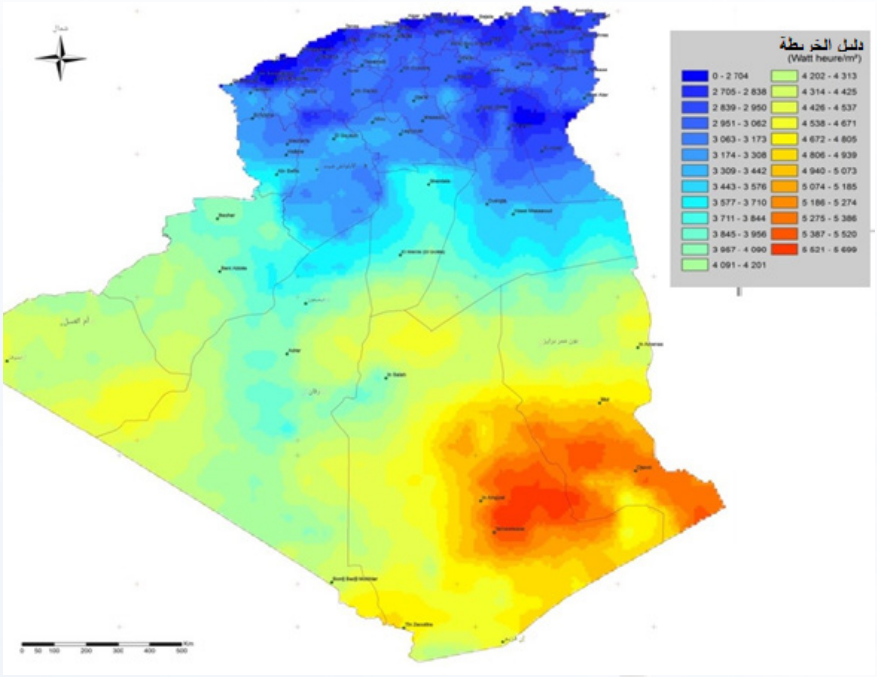
إجمالي استهلاك الطاقة	72.2 مليون طن نفط مكافئ
إجمالي توليد الكهرباء	25.5 غيغا واط
استيراد/تصدير الطاقة	عجز بمقدار 5.6 مليون طن نفط مكافئ
مصادر الطاقة المستخدمة (كنسبة مئوية)	52% غاز طبيعي, 46% نفط و 2% طاقات متجددة
الطلب على الكهرباء	21,000 غيغا واط ساعي

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

تمتلك الجزائر أحد أعلى مستويات الإشعاع الشمسي في العالم. تزيد ساعات سطوع الشمس في معظم أنحاء البلاد عن 2000 ساعة سنويًا ويمكن أن تصل إلى 3900 ساعة (الهضاب العليا والصحراء). تتراوح الطاقة المستلمة سنويًا على سطح أفقي مساحته 1 م^2 بين 3 كيلوواط ساعة/م^2 في الشمال وأكثر من 5.6 كيلوواط ساعة/م^2 في أقصى الجنوب.

وتبين الخريطة التالية توزع الإشعاع الشمسي عبر الأرض الجزائرية.

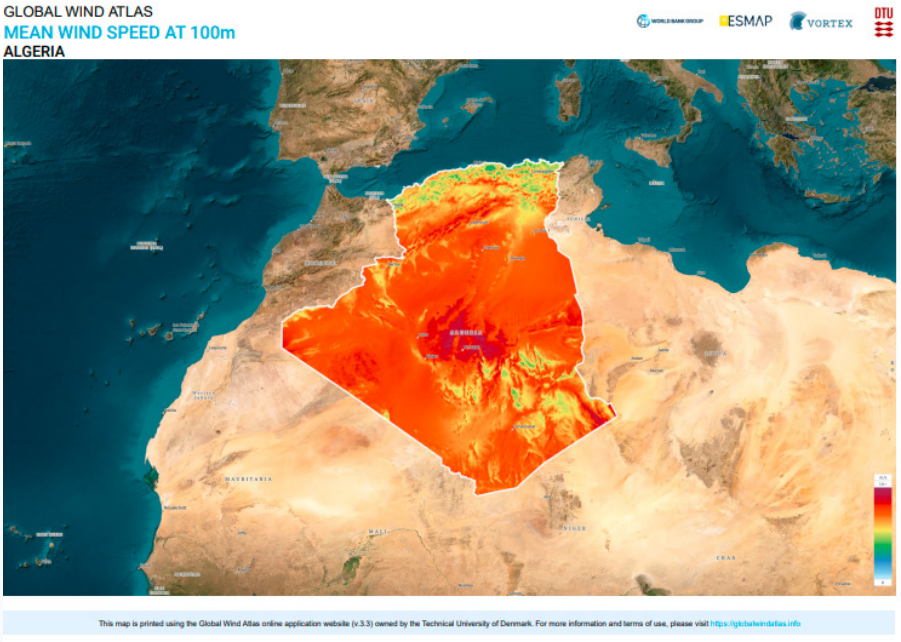


الشكل 9: توزيع الإشعاع الشمسي عبر الأراضي الجزائرية

إمكانات طاقة الرياح

تختلف موارد الرياح في الجزائر بشكل كبير من موقع لآخر. يظهر أن الجنوب يتميز بسرعات رياح أعلى من الشمال، خاصة في الجنوب الشرقي، حيث تتجاوز السرعات 7 م/ث و8 م/ث في منطقة تمنراست.

وتبين الخريطة التالية توزع سرعة الرياح عبر الأراضي الجزائرية



الشكل 10: توزيع سرعة الرياح عبر الأراضي الجزائرية

موارد الطاقة الكهرومائية

يعمل حالياً حوالي 50 سدًا، وتصل القدرة المجمعة لأكبر 13 سدًا إلى نحو 269 ميغاواط. تشمل العوامل البيئية التي تحد من استخدام الطاقة الكهرومائية قلة الأمطار ومعدلات تبخر عالية وتصريف سريع نحو البحر.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

ظل قطاع الطاقة الحرارية الأرضية غير متطور رغم وجود العديد من الينابيع الساخنة ذات الإمكانات الحرارية الأرضية. تستخدم هذه الينابيع بشكلٍ رئيس للأغراض العلاجية ولتدفئة البيوت المحمية على نطاق محدود. مؤخرًا، شملت الاستخدامات البديلة لهذه الطاقة مشاريع الاستزراع المائي الحراري الأرضي.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

انطلقت الجزائر في مسار الطاقات المتجددة لتقديم حلول شاملة ومستدامة للتحديات البيئية ومشاكل الحفاظ على موارد الطاقة الأحفورية من خلال إطلاق برنامج طموح لتطوير الطاقات المتجددة تم اعتماده من قبل الحكومة في شباط 2011، ومراجعته في أيار 2015، ووضعه كأولوية وطنية في شباط 2016.

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية «%» حسب السنة)

تتمثل خطة برنامج الطاقة المتجددة المزمع تنفيذها للسوق الوطنية خلال الفترة 2015-2030 في 22000 ميغاواط، موزعة حسب القطاعات وفقًا لتوقعات وزارة الطاقة والمناجم:

الجدول 8 : برنامج الطاقة المتجددة خلال الفترة 2015 - 2030

الواحدة (ميغا واط)	المرحلة الأولى (2015-2020)	المرحلة الثانية (2021-2030)	المجموع الكلي
الطاقة الشمسية	3,000	10,575	13,575
الطاقة الريحية	1,010	4000	5,010
الطاقة الشمسية المركزة	-	2000	2,000
التوليد المشترك	150	250	400
الكتل الحيوية (المواد العضوية)	360	640	1,000
الطاقة الحرارية العضوية	05	10	15
المجموع الكلي	4525	17,475	22,000

الشكل 11: توزيع مصادر الطاقة المتجددة المزمع تركيبها

التزامات صافي الانبعاثات الصفرية

تساهم الجزائر بنشاط في التخفيف من تغير المناخ وتقليل مخاطر المناخ المستقبلية. كجزء من مساهماتها المحددة وطنيًا (NDCs) المرتكزة على الطاقة، حددت البلاد أهدافًا لسياسة الطاقة المتجددة تشمل توليد 27 % من استهلاك الكهرباء المحلي من مصادر متجددة بحلول 2030. تهدف هذه الالتزامات إلى تقليل الاعتماد على موارد الهيدروكربونات من خلال التوسع في استخدام الطاقة المتجددة، مع التركيز بشكل خاص على الطاقة الشمسية، مع تعزيز اعتماد أنظمة الإضاءة الموفرة للطاقة على نطاق واسع.

الهيئات التنظيمية والمؤسسات الرئيسية

يوفر القانون رقم 01-02 الخاص بالكهرباء وتوزيع الغاز الإطار القانوني الذي يسلط الضوء على القوانين والسياسات الطاقية الرئيسة في البلاد.

تتولى وزارة الطاقة والمناجم مسؤولية قطاع الطاقة. الجهة المنظمة للطاقة هي اللجنة الجزائرية لتنظيم الكهرباء والغاز (CREG). تشرف الشركة الوطنية للكهرباء والغاز (سونلغاز) على توزيع الكهرباء والغاز الطبيعي في البلاد.

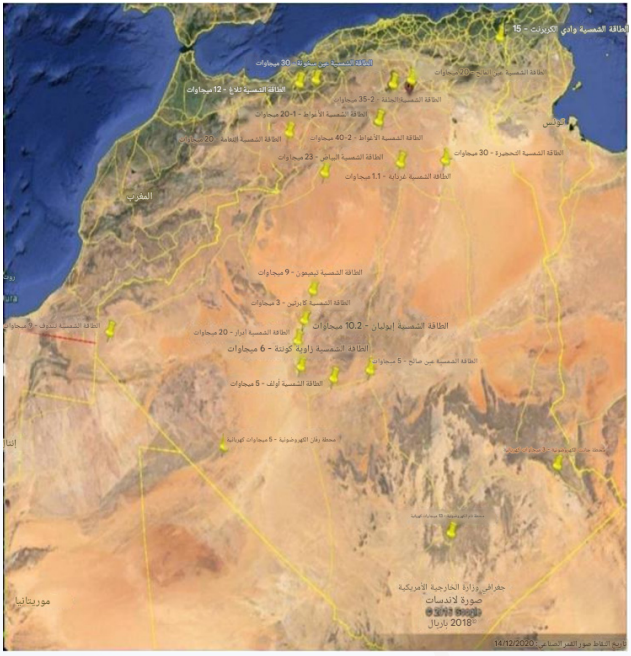
من الكيانات المهمة الأخرى التابعة لوزارة الطاقة والمناجم: مركز تطوير الطاقات المتجددة (CDER)، شركة نيو إنرجي الجزائر (NEAL)، والوكالة الوطنية لترقية وترشيد استهلاك الطاقة (APRUE).

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

لتسريع تنفيذ برنامج الطاقة المتجددة، صدر مرسوم بإجراء مناقصات جديد. تم اعتماد طريقتين للمناقصات:

- طريقة مناقصات المستثمرين: لبناء وتشغيل منشآت كبيرة القدرة
- طريقة مناقصات المزاد: لبناء وتشغيل منشآت صغيرة القدرة

يوضح الشكل التالي التوزيع الجغرافي لبعض محطات الطاقة المتجددة الجديدة.



الشكل 12: التوزيع الجغرافي لبعض محطات الطاقة المتجددة الجديدة

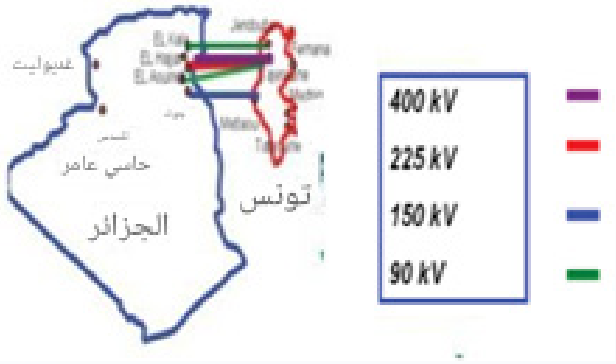
اتخذت وزارة الطاقة سلسلة من إجراءات الدعم تهدف إلى تطوير الطاقة المتجددة المتصلة بالشبكة، واعتمدت في عام 2013 آلية تعريفة التغذية. كما تم اعتماد إجراءات تحفيزية أخرى مثل:

- الدعم خلال عملية الحصول على الأراضي والتصاريح اللازمة.
- إنشاء منظمات ومختبرات لاعتماد ومراقبة جودة وأداء المكونات والمعدات.
- خطة لتوظيف وتدريب الفنيين.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

التوصيل مع الدول المجاورة

على المستوى الإقليمي، تعد الجزائر عضوًا في لجنة الكهرباء المغاربية (COMELEC). يظهر التوصيل مع الشبكة التونسية في الشكل 13. في إطار مشروع ELMED، يمكن للبلاد تبادل الطاقة مع أوروبا.



الشكل 13: التوصيل مع الشبكة الجزائرية

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

شركاء الحكومة الجزائرية الرئيسيون في البحث والتثمين في مجال الطاقة المتجددة هم:

- مركز تطوير الطاقات المتجددة (CDER): مركز بحثي مسؤول عن تطوير برامج البحث العلمي والتطوير التقاني لأنظمة الطاقة المتجددة. وتنفيذها.
- المديرية العامة للبحث العلمي والتطوير التقاني (DGRSDT): التي تنفذ سياسة البحث العلمي الوطني والتطوير التقاني، وتمول البحث الجامعي في الطاقة المتجددة من خلال المشاريع الوطنية للبحث (PNR)
- شركة نيو إنرجي الجزائر (NEAL-Spa): أنشئت في إطار الإصلاحات التي قامت بها وزارة الطاقة والمناجم في آب 2002 لترقية الطاقات الجديدة والمتجددة وتطويرها. تمتلك شركات النفط سونطراك وسونلغاز حصصًا كبيرة في رأسمالها.

جمهورية جيبوتي

معلومات عامة

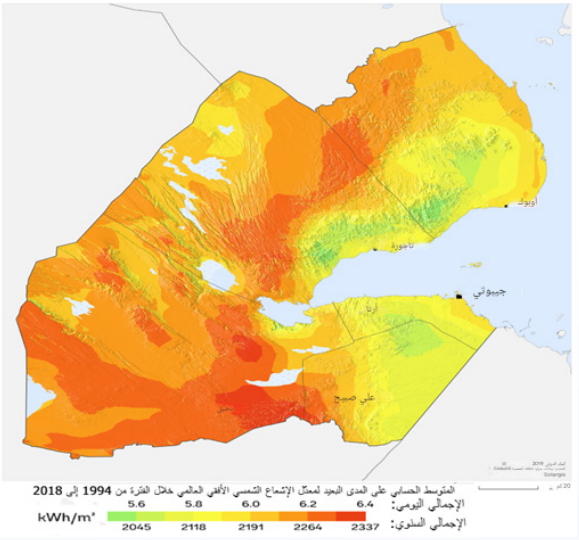
تقع جمهورية جيبوتي التي تبلغ مساحتها 23,669 كم² ويبلغ عدد سكانها 1,139,607 نسمة (2021) في موقع استراتيجي عند ملتقى أفريقيا وآسيا عند الطرف الجنوبي للبحر الأحمر، وتحدها الصومال وإريتريا وإثيوبيا. نتميز تضاريسها البركانية بنشاط تكتوني كبير وظروف جفاف، مع مناخ شبه صحراوي، وتتراوح درجات الحرارة فيه بين 30°م في كانون الثاني و45°م في تموز خلال موسمين متميزين. يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي أقل من 180 مم باستثناء المناطق المرتفعة، وتقتصر المياه السطحية على بحيرة آبي وبحيرة عسال المالحة.

يعاني قطاع الطاقة في البلاد من الاعتماد على الواردات الكهرومائية الإثيوبية، حيث تنتج محطاتها الحرارية القديمة 30% فقط من احتياجات الكهرباء (125.6 غيغاواط ساعة في 2022 بقدرة 120 ميغاواط). لمواجهة الطلب المتزايد وتقليل الاعتماد على الواردات، تهدف جيبوتي إلى زيادة القدرة الإنتاجية والتحول إلى مصادر الطاقة المتجددة بحلول 2035، مستفيدةً من إمكاناتها الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية.

الطاقة المتجددة في جمهورية جيبوتي

إمكانات الطاقة الشمسية

يكشف رسم الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي لجمهورية جيبوتي عن إمكانات شمسية تتراوح بين 5.61 و6.33 كيلوواط ساعة/م² يوميًا (الشكل 14)، مما يبرز الظروف المواتية لإنتاج الطاقة الكهروضوئية. بالإضافة إلى ذلك، يقدر العائد النوعي للتركيبات الكهروضوئية بين 4.42 و5.10 كيلوواط ساعة/كيلوواط ذروة يوميًا، مما يؤكد الإمكانات الممتازة للتحويل الشمسي. كما يتراوح الإشعاع الشمسي المباشر الطبيعي بين 4.20 و5.73 كيلوواط ساعة/م² يوميًا.



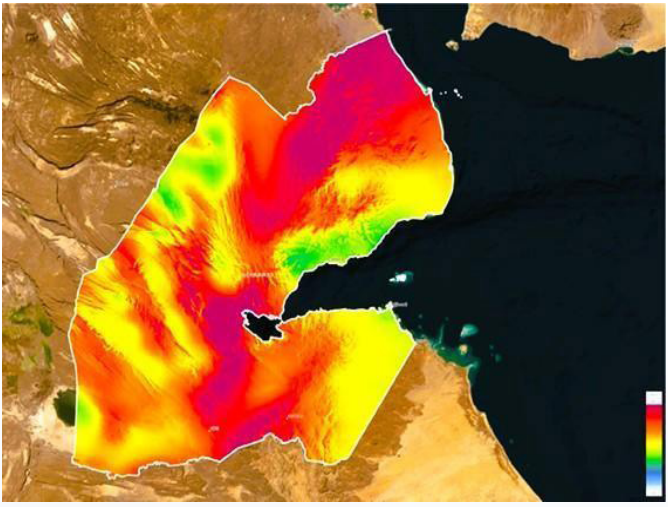
الشكل 14: خريطة الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي في جمهورية جيبوتي

الجدول 9 : قائمة بمحطات الطاقة الشمسية

اسم المشروع	القدرة (ميغاواط)	الموقع	القانون الأساسي
مزرعة جراند بارا الشمسية	25 + 5 ميغاواط ساعي من بطاريات التخزين	جراند بارا، جنوب جيبوتي	جاري
الطاقة الشمسية الهجينة - محطة أوبوك للطاقة الحرارية	1 + بطاريات التخزين	أوبوك	جاري
الطاقة الشمسية الهجينة - محطة تاجورة الحرارية	1.8 + بطاريات التخزين	تاجورة	جاري
محطة الطاقة الشمسية مصر-جيبوتي	0.2765	-	تم الإعلان عنه

إمكانات طاقة الرياح

تشير خريطة الرياح إلى نطاق واسع من سرعات الرياح تتجاوز 6 م/ث تمتد من الشمال إلى الجنوب. توجد أعلى سرعات الرياح في شمال شرق جيبوتي والهضاب الوسطى (تصل إلى 8 م/ث)، حيث تُلاحظ أقوى الرياح في منطقة غوبيت. من ناحية أخرى، تبين أن إمكانات الرياح منخفضة نسبيًا في الجزء الجنوبي الشرقي من البلاد. تتمتع المنطقة الجنوبية الغربية بإمكانات كبيرة بسرعة رياح تزيد عن 5 م/ث في موقع جوباد وأكثر من 6 م/ث في منطقة علي صبيح.



الشكل 15: خريطة إمكانات طاقة الرياح في جمهورية جيبوتي

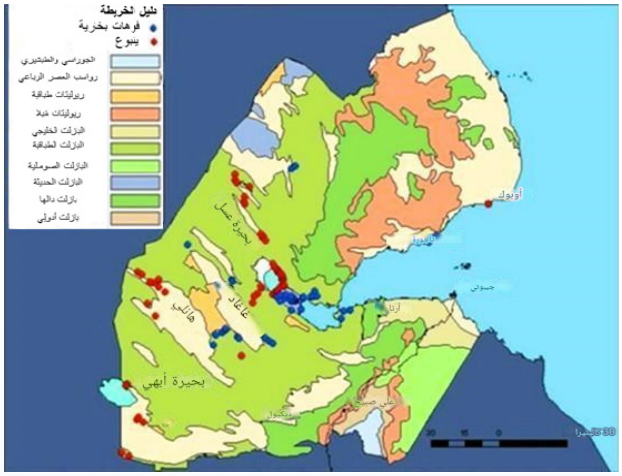
الجدول 10: قائمة بمشاريع مزارع الرياح

اسم المشروع	السعة (ميغاواط)	الموقع	سنة البدء/ النظام الأساسي
طاقة البحر الأحمر 1 (الرئاسة ، 2023)	60	غوبيت ، بالقرب من بحيرة غوبيت	2023
محطة طاقة البحر الأحمر 2	45	غوبيت ، بالقرب من بحيرة غوبيت	تم الإعلان عنه

إمكانات جيبوتي الحرارية الأرضية

تشكل جيولوجيا جيبوتي بواسطة التكتونيات البركانية عند تقاطع خليج عدن وحافة البحر الأحمر المحيطية ونظام شرق أفريقيا المتصدع (EARS)، مشكّلةً تقاطع عفار الثلاثي. تتميز المنطقة بطبقات بازلتية واسعة مع ثلاثة اتجاهات صدعية متميزة يتحكم فيها اتجاه خليج عدن الشمالي الشرقي، والاتجاه الشمالي الغربي للبحر الأحمر، والاتجاه الجنوبي الغربي لنظام شرق أفريقيا المتصدع EARS.

تمتلك جيبوتي إمكانات عالية لموارد حرارية أرضية عالية المحتوى الحراري بسبب موقعها ضمن مركز انتشار نشط. وفقًا لمكتب تنمية الطاقة الحرارية الأرضية في جيبوتي (ODDEG)، تقدر إمكانات البلاد الحرارية الأرضية بـ 1000 ميغاواط، وهو ما يكفي لتلبية احتياجات الكهرباء المتوقعة (247 - 644 ميغاواط بحلول 2030 اعتمادًا على سيناريوهات النمو الاقتصادي).



الشكل 16: الخريطة الجيولوجية لجيبوتي تظهر مواقع المظاهر الحرارية الأرضية

الحقول والآفاق الحرارية الأرضية

حقل أسال الحراري الأرضي

يقع حقل أسال الحراري الأرضي في صدع أسال-غوبيت الذي يمتد شمال بحيرة أسال. هذه المنطقة هي أكثر حقول الطاقة الحرارية الأرضية استكشافًا في البلاد. بدأ أول تحقيق حراري أرضي في 1970، وأدى إلى اكتشاف خزان حراري أرضي عالي المحتوى الحراري. تم حفر 3 آبار إضافية بإجمالي 6 آبار عميقة، سجلت درجات حرارة تتراوح بين 345-261°م لكنها عانت جميعها من ارتفاع الملوحة وضعف النفاذية. تم تقسيم حقل بحيرة أسال لاحقًا إلى ثلاثة قطاعات: أسال شمال غرب، جيل لا كوما، وأسال-فياليه، مع نتائج مختلطة.

حقل أسال-فياليه الحراري الأرضي

تم تقييمه في 2008 مع دراسات جيولوجية متكاملة تشير إلى موارد حرارية أرضية محتملة بسعة قصوى متوقعة تبلغ 300 ميغاواط كهربائي. تم حفر 4 آبار استكشافية في 2011 لكنها كانت ذات إنتاجية منخفضة بسبب تسرب المياه الباردة عبر صدوع صدع أسال-غوبيت.

حقل أسال-جيل لا كوما الحراري الأرضي

أجرى مكتب تنمية الطاقة الحرارية الأرضية في جيبوتي ODDEG أنشطة مكثفة لتحديد حجم الخزان الضحل المكتشف في 1975. سجل الحفر الحديث حتى عمق 1300 متر درجات حرارة تتجاوز 260°م رغم ضعف النفاذية الظاهر.

آفاق شمال غوبيت الحرارية الأرضية

تقع بالقرب من حقل أسال، وتظهر فومارولات وأراضي ساخنة كمظاهر حرارية أرضية. تشير الجيوثيرموميترية إلى درجات حرارة 220-170°م مع ملوحة أقل للسوائل مقارنة بنظام أسال. يقترح النموذج المفاهيمي مصدرًا حراريًا مغناطيسيًا في الجانب البحري.

آفاق بحيرة آبي الحرارية الأرضية

تمتلك ثاني أعلى إمكانات حرارية أرضية، وتقع على حدود جيبوتي-إثيوبيا. تتميز ببركان داما ألي كمصدر حراري مغناطيسي محتمل، وتظهر مظاهر هيدروحرارية سطحية وفيرة تشمل فومارولات وينابيع ساخنة تتجاوز 90°م.

آفاق هانلي-غرابايس الحرارية الأرضية

كشفت دراسات 1981 - 1987 عن نظام حراري أرضي محتمل بدرجات حرارة تتجاوز 230°م وفقًا للجيوثيرموميترية الغازية، رغم أن بعض التقديرات تشير إلى درجات حرارة أقل.

آفاق ساكالول الحرارية الأرضية

تقع في الشمال الغربي من امتداد نظام صدع أسال، وتتميز بفومارولات وينابيع ساخنة رغم عدم وجود نشاط بركاني حديث.

آفاق حرارية أرضية أخرى

تشمل آفاق أرتا (40 كم من مدينة جيبوتي) وأوبوك (الجزء الشمالي)، وكلاهما يفتقر إلى البراكين النشطة، مع أنظمة حرارية أرضية محتملة بسبب الدوران العميق على طول مستويات الصدع.

مشاريع إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية

يهدف مشروع فياليه-كالديرا في منطقة بحيرة عسال إلى تحسين الوصول إلى الكهرباء عبر شراكة بين القطاعين العام والخاص جرى تنظيمها في ثلاث مراحل:

- المرحلة 1: استكشاف حقل بحيرة عسال الحراري الأرضي.
- المرحلة 2: تطوير الحقل وبناء محطة طاقة 20 ميغاواط.
- المرحلة 3: التوسع إلى سعة 50 ميغاواط (يتطلب حوالي 15 بئر إنتاج).

يسعى «مشروع القرية الحرارية الأرضية في بحيرة آبي» إلى تنفيذ برنامج كهرباء حراري أرضي منخفض ومتوسط المحتوى الحراري عبر حفر ضحل في المناطق غير المتصلة بالشبكة الكهربائية.

المملكة العربية السعودية

معلومات عامة

تعد المملكة العربية السعودية أكبر دولة في الشرق الأوسط بمساحة تبلغ حوالي 2.15 مليون كيلومتر مربع ويقطنها أكثر من 36 مليون نسمة حتى عام 2025. تقع في موقع استراتيجي عند ملتقى آسيا وأفريقيا وأوروبا، وتحتل المرتبة الثانية عالميًا في احتياطيات النفط المؤكدة وهي من أكبر مصدري النفط الخام عالميًا. لعقود، ارتبط نموها الاقتصادي وأنظمتها الطاقية ارتباطًا وثيقًا بإنتاج واستهلاك الوقود الأحفوري. لكن استجابةً لأهداف المناخ العالمية وأولويات الاستدامة المحلية، تخضع المملكة لتحول اقتصادي وطاقي عميق ضمن رؤية 2030، تستثمر بكثافة في تنويع محفظتها الطاقية لتقليل البصمة الكربونية والاعتماد على الهيدروكربونات. أصبحت الطاقة المتجددة - خاصة الشمسية والرياح - أولوية وطنية مدعومة بأهداف طموحة واستثمارات ضخمة وإصلاحات تنظيمية وتعاون دولي لترسيخ مكانة المملكة كرائدة في ابتكارات الطاقة النظيفة.

المشهد الطاقي

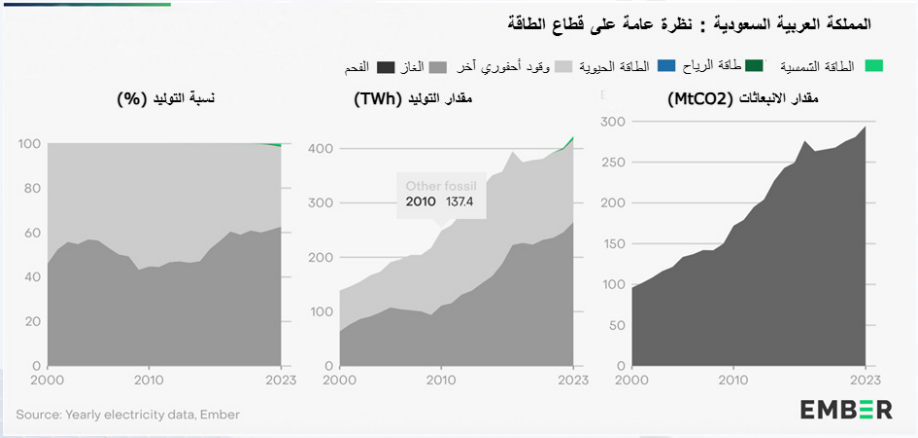
الجدول 11: مشهد الطاقة في المملكة العربية السعودية

إجمالي استهلاك الطاقة	في عام 2023، ظل إجمالي استهلاك الطاقة في المملكة العربية السعودية مستقراً عند حوالي **280 مليون طن مكافئ نفطي**، بعد زيادة كبيرة بلغت 9 % في عام 2022. وكان استهلاك الطاقة للفرد **7.5 طن من المكافئ النفطي (toe)** ، بما في ذلك حوالي **9.2 ميغاواط ساعة (MWh)** من الكهرباء.
إجمالي توليد الكهرباء	من المتوقع أن تنتج المملكة العربية السعودية ما يقرب **من 453 تيراواط ساعي** من الكهرباء في عام 2023 . **التوليد حسب المصدر:** **الغاز الطبيعي :** 62 % **النفط :** 38 % **الطاقة المتجددة :** أقل من 1 %
استيراد/تصدير الطاقة	**واردات الكهرباء :** في عام 2023، استوردت المملكة العربية السعودية كمية ضئيلة من الطاقة الكهربائية، بلغت قيمتها الإجمالية **0.77 ألف دولار أمريكي لما يعادل 71 ألف كيلوواط في الساعة (كيلوواط ساعي)** ، معظمها من الصين. **صادرات النفط الخام :** ظلت آسيا السوق الرئيسة لصادرات المملكة العربية السعودية من النفط الخام، حيث استقبلت **75 %** من إجمالي صادرات المملكة السنوية من النفط الخام في عام 2023.

مزيج الطاقة %	**مزيج توليد الكهرباء :** **الغاز الطبيعي :** 62 % **النفط :** 38 % **الطاقة المتجددة :** أقل من 1 % **الكهرباء منخفضة الكربون :** تم توليد **1.4 %** فقط من الكهرباء في المملكة العربية السعودية من مصادر منخفضة الكربون في عام 2023، وهو أقل بكثير من المتوسط العالمي البالغ 41 %.
الطلب على الكهرباء	**إجمالي الاستهلاك :** ارتفع استهلاك الكهرباء بنسبة **5.7%** على أساس سنوي، ليصل إلى 327 ألف غيغاواط ساعي في عام 2023، مقارنة بـ **309,500 غيغاواط ساعي** في عام 2022. **القطاع السكني:** استهلك القطاع السكني **152,782 غيغاواط ساعي** من الكهرباء في عام 2023. **استهلاك الفرد:** بلغ استهلاك الفرد من الكهرباء حوالي **12,712 كيلوواط ساعي** في عام 2023.

إمكانات الطاقة المتجددة

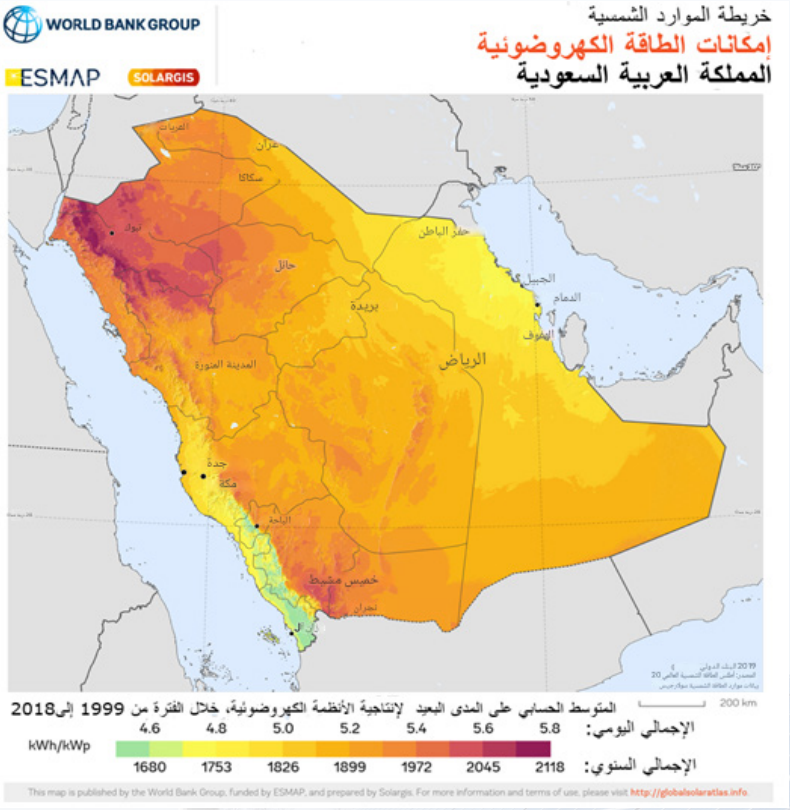
تمتلك المملكة إمكانات هائلة في الطاقة المتجددة، خاصة الشمسية والرياح، بسبب ظروفها الجغرافية والمناخية. تهدف خططها الاستراتيجية طويلة المدى في رؤية 2030 إلى تسخير هذه الموارد لتنويع مزيج الطاقة وخفض الانبعاثات وضمان الأمن الطاقي.



الشكل 17: نظرة عامة على قطاع الطاقة في المملكة

إمكانات الطاقة الشمسية

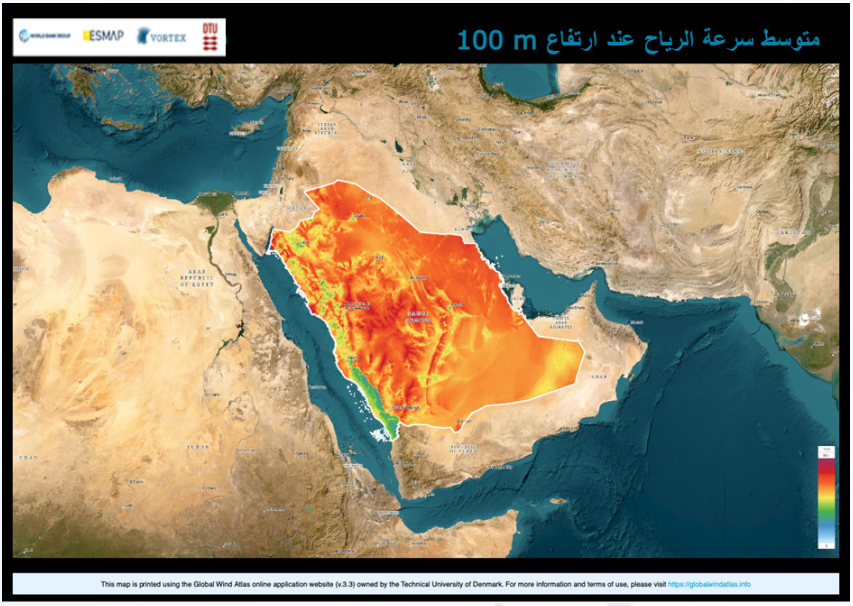
تُصنّف المملكة العربية السعودية من بين أفضل الدول عالميًا من حيث الإشعاع الشمسي. تتلقى معظم المناطق متوسط إشعاع عمودي مباشر (DNI) يتجاوز 2200-2400 كيلوواط ساعة/متر مربع/سنة، وخاصةً في المناطق الوسطى والغربية مثل الرياض والقصيم ومكة المكرمة. كما تتميز الصحاري الشرقية بمستويات عالية ومتسقة من الإشعاع الشمسي على مدار العام. هذه الخصائص تجعل المملكة العربية السعودية مثالية لكل من تقنيات الطاقة الكهروضوئية (PV) والطاقة الشمسية المركزة (CSP). تؤكد بيانات Solargis ذلك من خلال خرائط شمسية عالية الدقة تُظهر بعضًا من أفضل موارد الطاقة الشمسية في العالم في المملكة. تدعم هذه الإمكانات الشمسية مشاريع وطنية مثل مشروع سدير للطاقة الكهروضوئية بقدرة 1.5 غيغاواط، والذي من المتوقع أن يكون أحد أكبر محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في موقع واحد عالميًا.



الشكل 18: خريطة الإشعاع الشمسي الأفقي في المملكة

إمكانات طاقة الرياح

طاقة الرياح في المملكة العربية السعودية متفاوتة إقليميًا، لكنها واعدة في المناطق الشمالية والغربية. تتميز منطقتا الجوف وتبوك بسرعات رياح تتجاوز 7.5 متر/ثانية على ارتفاع 100 متر، مما يؤهلهما لتوليد طاقة الرياح على نطاق تجاري. يُحدد أطلس الرياح العالمي، الذي أعدته جامعة دومة الجندل التقنية والبنك الدولي، هذه المناطق كمناطق ذات إمكانات عالية ذات أنماط رياح سنوية ثابتة نسبيًا. يُظهر نجاح مزرعة دومة الجندل لطاقة الرياح (400 ميغاواط)، ويعد هذا المشروع الأول من نوعه في المملكة لطاقة الرياح، حيث يثبت جدوى طاقة الرياح ومهد الطريق لمزيد من التطوير في مناطق مماثلة.



الشكل 19: خريطة إمكانات طاقة الرياح في المملكة

موارد الطاقة الكهرومائية

نظرًا لمناخها الجاف وقلة الأنهار الكبيرة أو اختلاف الارتفاعات، فإن إمكانات المملكة العربية السعودية في مجال الطاقة الكهرومائية ضئيلة. يحول تضاريس البلاد وندرة المياه دون إنشاء محطات كهرومائية واسعة النطاق. ومن الناحية النظرية، لا يمكن تطبيق سوى تطبيقات محدودة للطاقة الكهرومائية الصغيرة في المناطق المعزولة، إلا أنها ليست جزءًا من الخطط الوطنية حاليًا.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

لا تزال الطاقة الحرارية الأرضية في المملكة العربية السعودية في مرحلة الاستكشاف. وقد حددت الدراسات تدرجات حرارية أرضية محتملة في مناطق مثل حقل حرة رهط البركاني، ولكن لم يتم استغلالها على نطاق واسع حتى الآن. وقد بدأت هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (SGS) دراسات أولية، وتقوم المؤسسات الأكاديمية بتقييم خزانات الحرارة الجوفية. ومع ذلك، لا تزال هذه الإمكانات قيد البحث، ولا يُتوقع أن تُسهم بشكل كبير في مزيج الطاقة على المدى القصير.

في الختام، يعتمد مستقبل الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية بشكل كبير على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وبفضل الإشعاع الشمسي الاستثنائي وممرات الرياح الواعدة، تمتلك المملكة الموارد الطبيعية اللازمة لتحقيق هدفها الطموح المتمثل في تركيب 58.7 غيغاواط من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. ويُعد التخطيط الاستراتيجي والاستثمارات في البنية التحتية أساسيين لإطلاق العنان لهذه الإمكانات.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

ترتكز استراتيجية المملكة العربية السعودية للطاقة المتجددة على رؤية 2030، وتهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. ويهدف البرنامج الوطني للطاقة المتجددة، التابع لوزارة الطاقة، إلى تطوير 58.7 غيغاواط من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، منها 40 غيغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية و16 غيغاواط من طاقة الرياح. وتُعد هذه المبادرة جزءًا من خطة أوسع نطاقًا لتحقيق 130 غيغاواط من الطاقة النظيفة بحلول عام 2030، بما في ذلك مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والهيدروجين الأخضر.

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية % حسب السنة):

- بحلول عام 2030: تهدف المملكة إلى أن تُشكّل الطاقة المتجددة 50٪ من مزيج توليد الكهرباء.
- بحلول عام 2040: لم يُعلن رسميًا عن أي هدف محدد.
- بحلول عام 2050: لم يُعلن رسميًا عن أي هدف محدد.

التزامات صافي الانبعاثات الصفري/إزالة الكربون

في تشرين أول 2021، تعهدت المملكة العربية السعودية بتحقيق صافي انبعاثات صفري من غازات الاحتباس الحراري بحلول عام 2060، باتباع نهج الاقتصاد الدائري للكربون الذي يشمل تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS). إضافةً إلى ذلك، وفي إطار المبادرة السعودية الخضراء، تهدف المملكة إلى خفض انبعاثات الكربون بمقدار 278 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030.

السلطات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

- وزارة الطاقة: تُشرف على صياغة سياسات الطاقة وتنفيذها، بما في ذلك مبادرات الطاقة المتجددة.
- البرنامج الوطني للطاقة المتجددة (NREP): يعمل تحت إشراف وزارة الطاقة لدفع عجلة تطوير مشاريع الطاقة المتجددة.
- مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة (K.A.CARE): مسؤولة عن البحث والتطوير في قطاعي الطاقة الذرية والمتجددة.
- هيئة تنظيم المياه والكهرباء (WERA): تُنظّم قطاعي الكهرباء والمياه، وتضمن الامتثال للسياسات الوطنية.
- الشركة السعودية للكهرباء (SEC): الجهة الرئيسة المسؤولة عن توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها في المملكة.
- المركز السعودي لكفاءة الطاقة (SEEC): يقود مبادرات لتعزيز كفاءة الطاقة في مختلف القطاعات.

تُساهم هذه المؤسسات مجتمعةً في تحوّل المملكة العربية السعودية نحو مشهد طاقة أكثر استدامة وتنوعًا.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

لقد قطعت المملكة العربية السعودية خطوات كبيرة في توسيع قدرتها على إنتاج الطاقة المتجددة، بما يتماشى مع أهداف رؤيتها 2030 لتنويع مزيج الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

القدرة المركبة

بحلول أواخر عام 2023، بلغت سعة الطاقة المتجددة المُركّبة في المملكة العربية السعودية حوالي 2.8 غيغاواط، بزيادة قدرها 300٪ عن عام 2022. تكفي هذه السعة لتزويد أكثر من 520 ألف منزل بالطاقة. ويشمل التوسع إضافة 2.1 غيغاواط إلى الشبكة الكهربائية منذ عام 2022.

المشاريع الرئيسة

- مشروع سدير للطاقة الشمسية الكهروضوئية: يقع هذا المشروع في مدينة سدير الصناعية، وتبلغ قدرته 1.5 غيغاواط، وهو من أكبر مشاريع الطاقة الشمسية في المنطقة. بدأ تشغيله عام 2023، ومن المتوقع أن يوفر الطاقة لحوالي 185,000 منزل.

- مزرعة دومة الجندل لطاقة الرياح: تقع في منطقة الجوف، وقد بدأ تشغيل هذا المشروع لطاقة الرياح بقدرة 400 ميغاواط في عام 2022، ليمثل بذلك أول مزرعة رياح واسعة النطاق في المملكة.

- محطة سكاكا للطاقة الشمسية الكهروضوئية: بدأ تشغيل هذه المحطة في منطقة الجوف عام 2019، وتبلغ قدرتها 300 ميغاواط، وهي أول مشروع للطاقة الشمسية على مستوى المرافق في المملكة العربية السعودية.

خط الأنابيب والتطورات المستقبلية

بالنظر إلى المستقبل، تمتلك المملكة العربية السعودية مجموعة طموحة من مشاريع الطاقة المتجددة:

- قيد الإنشاء: يجري حاليًا إنشاء حوالي 11.4 غيغاواط من الطاقة المتجددة، ومن المتوقع ربطها بالشبكة الوطنية قريبًا.

- المشاريع المخطط لها: هناك 13 غيغاواط إضافية من الطاقة المتجددة في مراحل مختلفة من التطوير عبر مشاريع متعددة.

- الأهداف السنوية: تهدف الحكومة إلى طرح مشاريع جديدة للطاقة المتجددة بسعة إجمالية تبلغ 20 غيغاواط سنويًا، مستهدفةً قدرة إجمالية تتراوح بين 100 و130 غيغاواط بحلول عام 2030.

الخلاصة

يتجلى التزام المملكة العربية السعودية بتوسيع قدرتها على إنتاج الطاقة المتجددة من خلال نموها السريع في الطاقة الإنتاجية المُركّبة وأهدافها المستقبلية الطموحة. تُعدّ هذه التطورات جزءًا لا يتجزأ من استراتيجية المملكة الأوسع نطاقًا لتحقيق مزيج طاقة متوازن ومستدام بحلول عام 2030.

البنية التحتية للشبكة وتخزين الطاقة

دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة

تعمل المملكة العربية السعودية بنشاط على تحديث شبكة الكهرباء لاستيعاب الحصة المتزايدة من الطاقة المتجددة، مستهدفةً الوصول إلى 50 % من توليد الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2030. يتطلب هذا التحول استثمارات كبيرة في البنية التحتية للشبكة لإدارة انقطاعات مصادر الطاقة المتجددة وضمان استقرارها. وتشمل الجهود تحديث أنظمة النقل وتطبيق تقنيات الشبكات الذكية لتعزيز الكفاءة والموثوقية.

الربط مع الدول المجاورة

تعمل المملكة على تعزيز التعاون الإقليمي في مجال الطاقة من خلال العديد من مشاريع الربط الكهربائي:

- الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي: منذ عام 2012، انضمت المملكة العربية السعودية إلى شبكة الكهرباء الخليجية، مما يُسهّل تبادل الكهرباء مع البحرين والكويت وعُمان وقطر والإمارات العربية المتحدة.
- الربط الكهربائي بين مصر والمملكة العربية السعودية: يجري حاليًا تطوير خط تيار مستمر عالي الجهد بقدرة 3000 ميغاواط، بهدف تمكين تبادل الطاقة بين البلدين بحلول عام 2025.
- الربط الكهربائي بين المملكة العربية السعودية والعراق: افتُتح خط نقل بقدرة 1000 ميغاواط يربط بين عرعر في المملكة العربية السعودية واليوسفية في العراق في عام 2023، مما يُعزز استقرار الشبكة الكهربائية الإقليمية.

حلول ومشاريع تخزين الطاقة

لدعم تكامل مصادر الطاقة المتجددة، تستثمر المملكة العربية السعودية في تخزين الطاقة على نطاق واسع:

• شركة بي واي دي والشركة السعودية للكهرباء: تم توقيع عقد لمشروع تخزين طاقة بالبطاريات بسعة 12.5 غيغاواط/ساعة، مما يُعدّ إحدى أكبر المبادرات من هذا النوع في العالم.

• مشروع تخزين الطاقة في بيشة: يُعزز هذا المرفق، بسعة 2 غيغاواط /ساعة، موثوقية الشبكة ويدعم نشر الطاقة المتجددة.

• مشروع البحر الأحمر: يجري تنفيذ نظام تخزين طاقة بالبطاريات بسعة 1 غيغاواط / ساعة لضمان توفير إمدادات الطاقة المتجددة على مدار الساعة طوال أيام الأسبوع للمشروع.

تُعدّ هذه المبادرات جزءًا لا يتجزأ من استراتيجية المملكة العربية السعودية لتحقيق مستقبل مستدام ومرن للطاقة.

التحديات والعقبات

تواجه أهداف المملكة العربية السعودية الطموحة في مجال الطاقة المتجددة العديد من التحديات والعوائق التي تعيق التقدم السريع:

1. الاعتماد على الوقود الأحفوري والدعم

يعتمد اقتصاد المملكة بشكل كبير على صادرات النفط، ويعتمد استهلاك الطاقة المحلي بشكل أساسي على الوقود الأحفوري. لطالما أعاقت أسعار الطاقة المدعومة الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة. ورغم الإصلاحات الجارية، لا يزال إطار الدعم الراسخ يشكل عائقًا كبيرًا.

2. العقبات التنظيمية والبيروقراطية

يواجه قطاع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية تحديات ناجمة عن الأطر التنظيمية المعقدة والإجراءات البيروقراطية. وقد تم تحديد قضايا مثل ضعف الشفافية وإنفاذ العقود وغياب سياسات واضحة كعوائق أمام تطوير مشاريع الطاقة المتجددة.

3. القيود التقنية والبنية التحتية

يُمثل دمج الطاقة المتجددة في الشبكة الحالية تحديات تقنية، بما في ذلك استقرار الشبكة وقدرات التخزين. وتتطلب البنية التحتية الحالية تحديثات كبيرة لاستيعاب تنوع مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

4. القيود المالية ومخاطر الاستثمار

تُعيق تكاليف رأس المال الأولية المرتفعة ومخاطر الاستثمار المُتصوَّرة مشاركة القطاع الخاص.

كما تُفاقم محدودية الوصول إلى خيارات التمويل وضعف أسواق رأس المال هذه المشكلة.

5. رأس المال البشري والخبرة الفنية

يُعاني قطاع الطاقة المتجددة من نقص في الكفاءات الماهرة. وقد وُجِّهت انتقادات للنظام التعليمي لعدم إعداده الخريجين بالمهارات الفنية اللازمة بشكل كافٍ، مما يؤثر على تطوير مشاريع الطاقة المتجددة وصيانتها.

6. الوعي العام والقبول

يؤدي نقص الوعي العام وفهمه لفوائد الطاقة المتجددة إلى محدودية الدعم المجتمعي. كما تُعيق التفضيلات الثقافية ومقاومة التغيير تبني تقنيات الطاقة المتجددة.

يتطلب التصدي لهذه التحديات إصلاحات سياسية شاملة، واستثمارًا في البنية التحتية ورأس المال البشري، ومبادرات لرفع مستوى الوعي العام بفوائد الطاقة المتجددة.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

البحث والتطوير في تقنيات الطاقة المتجددة

تُكثّف المملكة العربية السعودية جهودها في البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة تماشياً مع رؤية 2030. يُركّز مركز التميز للطاقة المتجددة وتقنيات التخزين بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (كاوست) على الخلايا الكهروضوئية المتقدمة، وكيمياء البطاريات المبتكرة، واستخلاص الليثيوم، وحلول تخزين الطاقة المُصمّمة خصيصاً لمناخ المملكة. إضافةً إلى ذلك، وضعت جامعة الملك فهد للبترول والمعادن (KFUPM) خطةً استراتيجيةً تُركّز على الريادة في مجال الطاقة والصناعة والبيئة المستدامة والاحتياجات الأساسية، بهدف تعزيز مكانة المملكة في مجال أبحاث الطاقة المتجددة. تُعدّ جامعة الأعمال والتقانة (UBT) مساهماً رائداً في هذا المجال، حيث تُجري أبحاثاً عالية التأثير في الطاقة الشمسية، وتقنية النانو، وتخزين الطاقة. وقد حازت جامعة الأعمال والتقانة (UBT) على العديد من الجوائز الوطنية والدولية لتميّزها في الابتكار والبحث، وهي تُشارك بنشاط في تسويق حلول الطاقة المتجددة الحاصلة على براءات اختراع.

الجامعات ومؤسسات البحث المعنية

من أبرز المؤسسات المساهمة في البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة جامعة الملك

عبدالله للعلوم والتقنية (KAUST)، وجامعة الملك فهد للبترول والمعادن (KFUPM)، وجامعة الملك سعود. وقد أنشأت جامعة الفيصل المركز المشترك لأبحاث وتطوير الشبكات الذكية والمركبات الكهربائية (JSEC) بالتعاون مع جامعة AGH للعلوم والتقانة في بولندا، مع التركيز على الشبكات الذكية والشبكات الصغيرة وتقنيات المركبات الكهربائية.

التصنيع المحلي وسلسلة التوريد

لتحقيق هدفها المتمثل في توطين 75% من مكونات الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، تستثمر المملكة العربية السعودية في التصنيع المحلي. وقد أقامت شركة توطين الطاقة المتجددة التابعة لصندوق الاستثمارات العامة مشاريع مشتركة مع شركات عالمية مثل إنفيجن إنرجي وجينكو سولار لإنتاج توربينات الرياح والشفرات ووحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية داخل المملكة. كما تعمل شركة غيم تشينج سولار على توسيع طاقتها التصنيعية في المملكة العربية السعودية إلى 6 غيغاواط لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة الشمسية.

نقل التقانة والتعاون الدولي

تشارك المملكة العربية السعودية بنشاط في التعاون الدولي لتعزيز قدراتها في مجال الطاقة المتجددة. وقد أقامت أكوا باور شراكات مع جهات عالمية مثل معاهد فراونهوفر وهيساتا لتطوير تقنيات الهيدروجين الأخضر. إضافةً إلى ذلك، وقّعت المملكة مذكرة تفاهم مع إيطاليا لتزويد أوروبا بالهيدروجين المنتج في السعودية، مع التركيز على مبادرات الطاقة المتجددة واحتجاز الكربون.

التوصيات

1 تسريع تحديث الشبكة: تحديث البنية التحتية للنقل لاستيعاب مصادر الطاقة المتجددة المتنوعة وتعزيز استقرارها.

2 تعزيز الأطر التنظيمية: تبسيط إجراءات الترخيص، وتحسين شفافية العقود، وتوفير استقرار سياسي طويل الأجل لجذب الاستثمارات الخاصة.

3 توسيع دعم البحث والتطوير: زيادة تمويل الأبحاث في مجال التقنيات المقاومة لتغير المناخ، وتخزين البطاريات والهيدروجين، مع إعطاء الأولوية لمؤسسات مثل جامعة تقانة المعلومات والاتصالات (UBT).

4 تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص: تشجيع التعاون بين الأوساط الأكاديمية والحكومة والصناعة لتوسيع نطاق الحلول المبتكرة.

5 توطين التصنيع: تحفيز الإنتاج المحلي للألواح الكهروضوئية، ومكونات طاقة الرياح، وأنظمة البطاريات لتقليل الاعتماد على الواردات.

6. تعزيز رأس المال البشري: تطوير برامج تعليمية وتدريبية متخصصة لبناء قوى عاملة ماهرة في مجال الطاقة المتجددة.

7. تعزيز التسويق التجاري: دعم مبادرات مثل مبادرة «تكنوفالي» التابعة لجامعة تقانة المعلومات والاتصالات (UBT) لترجمة الأبحاث إلى منتجات جاهزة للسوق.

8. تطبيق الشبكات الذكية: نشر حلول رقمية لإدارة الطاقة في الوقت الفعلي وتحسين الكفاءة.

9. توسيع نطاق مشاريع تخزين الطاقة: إعطاء الأولوية لتخزين البطاريات على نطاق واسع لتحقيق التوازن بين العرض والطلب.

10.تعزيز الربط الإقليمي: تعزيز روابط الشبكات عبر الحدود لتحسين موثوقية الطاقة وتجارة الطاقة.

جمهورية السودان

معلومات عامة

السودان دولة كبيرة تقع في شمال شرق أفريقيا بمساحة تبلغ حوالي 1.86 مليون كيلومتر مربع ويقدر عدد سكانها بحوالي 45 مليون نسمة. يتميز السودان بتنوع جغرافي يتراوح من الأراضي الصحراوية في الشمال إلى السافانا الممتدة في الجنوب، حيث يمر نهر النيل عبر البلاد. تأثر اقتصاد السودان وبنيته التحتية بشكل كبير بعقود من النزاعات والعقوبات. بسبب حجم البلاد جزئيًا، يظل الوصول إلى الطاقة غير متكافئ، حيث تبلغ نسبة الوصول 84 % في المناطق الحضرية مقابل 49 % في المناطق الريفية. أدى الوضع ما بعد النزاع وعدم الاستقرار السياسي الحديث إلى مزيد من الضغط على بنية الطاقة التحتية ومناخ الاستثمار، ومع ذلك، ومع عمل الجيش على تأمين البلاد، تشهد مشاريع تركز على أنظمة الطاقة المتجددة اللامركزية تبنيًا سريعًا.

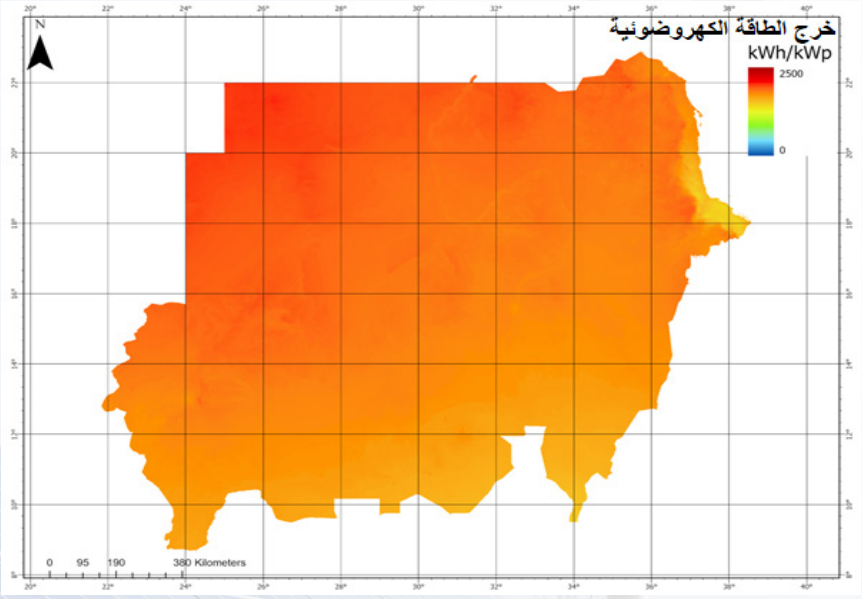
المشهد الطاقي

يهيمن على مزيج الطاقة في السودان الكتلة الحيوية والنفط، حيث تمثل الأولى الحصة الأكبر من إجمالي استخدام الطاقة، خاصة للطهي. في قطاع الكهرباء، بلغت السعة المركبة الإجمالية لتوليد الكهرباء حوالي 4.5 غيغاواط في عام 2021. توفر الطاقة الكهرومائية من سدود النيل الحصة الأكبر من كهرباء السودان، بين 55 و60 % من الإنتاج، مكملة بالتوليد الحراري الذي غالبًا ما يكون محدودًا بسبب نقص الوقود. تخدم الشبكة الوطنية بشكل رئيس منطقة الخرطوم التي تستهلك ما يقرب من 70 % والمناطق الشرقية، وهي عرضة لانقطاعات التيار الكهربائي بسبب عدم كفاية التوليد وشبكة النقل القديمة. تعتمد العديد من المناطق الريفية والغربية على أنظمة خارج الشبكة أو مولدات الديزل، مما يجعل إمدادات الكهرباء غير موثوقة بشكل عام. الهدف من السودان هو مواصلة تطوير موارد الطاقة المتجددة المحلية لتحسين أمن الطاقة. يتمتع السودان بموارد وفيرة من الطاقة المتجددة في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية، بالإضافة إلى إمكانات إضافية في الكتلة الحيوية وربما الطاقة الحرارية الأرضية. تظل هذه الموارد غير مستغلة نسبيًا مقارنة باحتياجات البلاد.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

يتمتع السودان بإمكانات ممتازة للطاقة الشمسية بفضل ارتفاع الإشعاع الشمسي في معظم أنحاء البلاد. يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي (GHI) على المدى الطويل من حوالي 5.8 إلى 6.8 كيلوواط ساعة/م^2/يوم على مستوى البلاد، مع إجمالي سنوي يتجاوز 2100-2400 كيلوواط ساعة/م^2/سنويًا في العديد من المناطق. يعد هذا المورد الشمسي من بين الأعلى عالميًا، خاصة في المناطق الشمالية والغربية من البلاد، التي تتلقى أشعة شمس شديدة. يمكن أن يتراوح إنتاج الطاقة الكهروضوئية في السودان لكل 1 كيلوواط من الألواح من حوالي 1600 إلى أكثر من 2000 كيلوواط ساعة سنويًا في المواقع المثلى. تجعل مستويات الإشعاع هذه تقنيات الطاقة الكهروضوئية والحرارية الشمسية واعدة للغاية لكل من التوليد المتصل بالشبكة والتطبيقات خارج الشبكة مثل أنظمة المنازل الشمسية وضخ المياه. تدعم الأراضي القاحلة الشاسعة المتاحة أيضًا مزارع الطاقة الشمسية على نطاق المرافق. يمكن أن ينتج إمكانات السودان الشمسية نظريًا عدة أضعاف الطلب الحالي على الكهرباء في البلاد إذا تم استغلالها بالكامل. يظل الاستخدام الحالي لهذا المورد ضئيلًا عند حوالي 190 ميغاواط فقط من الطاقة الكهروضوئية المركبة بحلول عام 2022، مما يشير إلى مجال هائل للنمو. يمنح الإشعاع الشمسي المرتفع وتوافر الأراضي الكبيرة السودان ميزة نسبية قوية في تطوير الطاقة الشمسية.

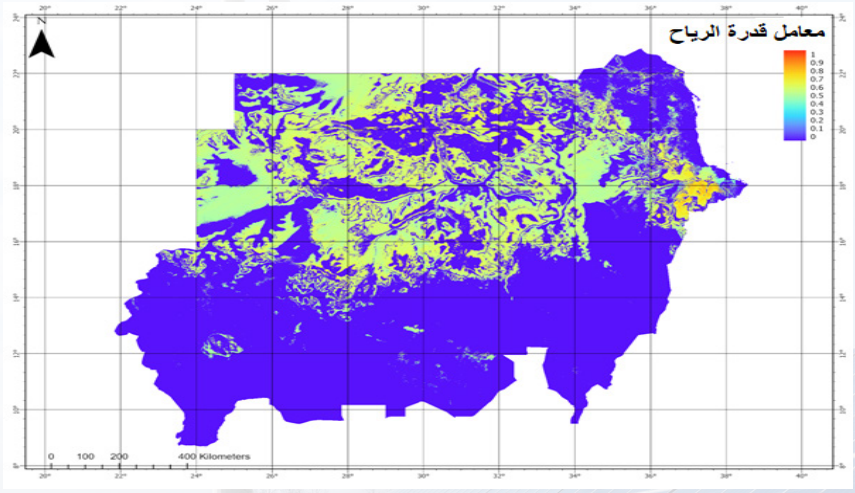


الشكل 20: خريطة الموارد الشمسية في السودان (المصدر: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

يتمتع السودان أيضًا بإمكانات كبيرة لطاقة الرياح، حيث تشير قياسات الرياح والدراسات إلى سرعات رياح معتدلة إلى عالية في العديد من أجزاء البلاد. الأكثر ملاحظة هو على طول ساحل البحر الأحمر في شرق السودان وفي أقصى الشمال حيث تتراوح متوسطات سرعات الرياح السنوية على ارتفاع 50 مترًا بين 6 إلى 7.5 م/ث. تم تسليط الضوء على تلال البحر الأحمر بالقرب من بورتسودان والمناطق حول دنقلا في الشمال من قبل دراسة للبنك الدولي على أنها تتمتع بموارد رياح واعدة. هذه السرعات كافية لتوليد طاقة الرياح على نطاق المرافق، وتقع أجزاء كبيرة من شمال السودان ضمن فئات كثافة طاقة الرياح التي تعتبر «جيدة» حسب المعايير العالمية. يقدر إجمالي إمكانات طاقة الرياح بعدة غيغاوات إذا تم تطوير المواقع ذات الإمكانات العالية. كما أن التضاريس المسطحة والمساحات المفتوحة الواسعة في السودان تفضل بناء مزارع الرياح.

حتى الآن، لم تتحقق سوى مشاريع تجريبية، notably، تم تركيب أول توربين رياح تجاري في السودان في دنقلا في عام 2021 كتجربة. يهدف هذا المشروع التجريبي إلى إظهار الجدوى وتمهيد الطريق لمزارع رياح أكبر. بالفعل، توجد خطط لمشروع مزرعة رياح دنقلا بقدرة 100 ميغاواط في الولاية الشمالية، والذي يجري تطويره بدعم حكومي ودولي، كما تمت مناقشة مقترحات أخرى لمزارع رياح على طول ساحل البحر الأحمر. تعتبر موارد الرياح في السودان كبيرة ولكنها غير مستغلة إلى حد كبير، والاستفادة منها سوف تنوع مزيج الطاقة، خاصة كمكمل للتغيرات الموسمية في الطاقة الكهرومائية.



الشكل 21: خريطة موارد الرياح في السودان حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

موارد الطاقة الكهرومائية

يمنح نهر النيل وروافده السودان إمكانات كبيرة للطاقة الكهرومائية، وقد تم تطوير جزء منها بالفعل. أكبر محطات توليد الكهرباء الحالية في السودان هي سدود كهرومائية على نظام النيل. تشمل السدود الرئيسة الحالية سد مروي على النيل في الشمال بقدرة حوالي 1250 ميغاواط، وسد الروصيرص على النيل الأزرق في الجنوب والذي تم توسيعه إلى حوالي 280 ميغاوات، مع زيادة حديثة في الارتفاع لزيادة السعة، وسد سنار على النيل الأزرق بقدرة 15 ميغاواط، ومجمع سدود أعلى عطبرة وسيتيت، روميلا وبردانة الجديد في الشرق والذي بدأ العمل في عام 2018 مضيفًا حوالي 320 ميغاواط. في المجموع، يمتلك السودان حوالي 1.5 غيغاواط من السعة الكهرومائية المركبة، مما يجعل الطاقة الكهرومائية العمود الفقري لإمدادات الكهرباء فيه. لم يتم استنفاد إمكانات الطاقة الكهرومائية بالكامل بعد، ولكن معظم مواقع السدود الكبيرة إما مستغلة أو تواجه تحديات. تشمل المشاريع الإضافية المقترحة سد كجبار (حوالي 360 ميغاواط) وسد شريك (حوالي 350 ميغاواط) على مجرى النيل الشمالي، والتي تم التخطيط لها منذ فترة طويلة لاستغلال شلالات النيل بشكل أكبر.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

أقرت حكومة السودان بأهمية تنويع مزيج الطاقة وزيادة حصة الطاقة المتجددة، وتم طرح عدة سياسات وأهداف. يهدف السودان إلى تركيب ما لا يقل عن 2000 ميغاواط من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بحلول عام 2030 كجزء من استراتيجيته للتنمية منخفضة الكربون. تشير بعض التقارير إلى طموح أعلى يتمثل في الوصول إلى 5 غيغاواط من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، والتي ستشمل مزارع الطاقة الشمسية وطواحين الهواء الجديدة بالإضافة إلى السعة الكهرومائية الحالية، ناهيك عن مفاعلين نوويين مخطط لهما بقدرة 600 ميغاواط مما سينوع مزيج الطاقة بشكل أكبر.

لتمكين هذه الأهداف، عمل السودان على إنشاء إطار سياسات داعم مثل خطة الطاقة المتجددة الرئيسة، التي تم وضعها لتحديد المشاريع ذات الأولوية وإمكانات الموارد. قدمت الحكومة حوافز مثل الإعفاءات الجمركية والضريبية لمعدات الطاقة المتجددة، ومع رفع النزاع الحالي، تم رفع القيود الأخرى المتبقية على المشاريع المدنية. بين عامي 2020 و2021، قامت وزارة الطاقة بصياغة سياسة تعريفة التغذية (FiT) للطاقة المتجددة لتشجيع منتجي الطاقة المستقلين، وهذه السياسة، بمجرد تنفيذها، ستضمن أسعار شراء للطاقة الشمسية وطاقة الرياح المقدمة إلى الشبكة.

من الناحية المؤسسية، تم إنشاء مديرية للطاقة المتجددة تحت وزارة الطاقة للتركيز على

سياسات وتعزيز الطاقة النظيفة. السودان عضو في مبادرات إقليمية مثل المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE) ومبادرة «من الصحراء إلى الطاقة» التابعة للاتحاد الأفريقي. تم توقيع العديد من مذكرات التفاهم مع شركاء دوليين مثل الصين والإمارات والمانحين الأوروبيين لتطوير مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في السودان، خاصة بعد رفع العقوبات في عام 2020، لاستكشاف مزارع الطاقة الشمسية المتصلة بالشبكة بقدرة 100 إلى 500 ميغاوات مع أطراف أجنبية، على الرغم من تأخرها حاليًا.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

- وزارة الطاقة والبترول (MoEP).
- الهيئة السودانية لتنظيم الكهرباء (ERA).
- الشركة القابضة لكهرباء السودان (SEHC).
- الشركة السودانية لتوليد الطاقة الحرارية المحدودة.
- الشركة السودانية لتوليد الطاقة الكهرومائية المحدودة.
- الشركة السودانية لنقل الكهرباء (SETCO).
- الشركة السودانية لتوزيع الكهرباء (SEDC).
- شركة سد مروي للكهرباء المحدودة.
- مركز أبحاث الطاقة (ERC)
- المجلس الأعلى للبيئة والموارد الطبيعية (HCENR)
- المؤسسات التعليمية والتدريبية

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

يبلغ إجمالي السعة الكهرومائية المركبة في السودان حوالي 1482 ميغاواط. ساهمت الطاقة الشمسية في السودان بحوالي 0.2% فقط من الكهرباء اعتبارًا من عام 2022، وعلى الرغم من النمو الهائل خارج الشبكة، فإن الأرقام غير متاحة حاليًا. كما توسع ضخ المياه بالطاقة الشمسية للزراعة، حيث قام مشروع «من الصحراء إلى الطاقة» المدعوم من بنك التنمية الأفريقي بتجهيز المزارع بمضخات تعمل بالطاقة الشمسية. تتوفر مجموعات الطاقة الشمسية الريفية بنظام الدفع حسب الاستخدام، والتي غالبًا ما تدعمها المنظمات غير الحكومية. لا توجد مزرعة رياح تجارية تعمل بعد، ولكن تم تركيب أول توربين رياح تجريبي، وسيشكل المشروع القادم بقدرة 100 ميغاواط معلما رئيسا. تعد طاقة الكتلة الحيوية تقليدية في السودان، ولكن طاقة الكتلة

الحيوية الحديثة تتركز بشكل رئيس في صناعة السكر. توفر هذه المحطات الطاقة primarily لعمليات مصانع السكر وبعض الفائض إلى الشبكة. تبلغ السعة الإجمالية المساهمة لطاقة الكتلة الحيوية حوالي 199 ميغاواط. لا يمتلك السودان بعد أي محطات للطاقة الشمسية الحرارية (CSP) أو تخزين الطاقة الكهرومائية بالضخ أو محطات الطاقة الحرارية الأرضية.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

تغطية الشبكة الكهربائية في السودان محدودة نسبيًا وتحتاج إلى تحديث. تمتد الشبكة الوطنية الرئيسة («شبكة النيل الأزرق») عبر وادي النيل من الشمال إلى الخرطوم وإلى المناطق الوسطى والشرقية. تربط هذه الشبكة محطات توليد الكهرباء الرئيسة وتخدم مراكز الطلب العالي بما في ذلك الخرطوم وبورتسودان والجزيرة. خارج الممر المركزي، تكون بنية النقل الكهربائي قليلة. تعتمد المناطق الأخرى على شبكات محلية صغيرة أو تظل خارج الشبكة. تتكون شبكة النقل الحالية في الغالب من خطوط 220 كيلو فولط و110 كيلو فولط، مع بعض خطوط 500 كيلو فولط من مروي إلى الخرطوم. تسبب الأعطال المتكررة وقضايا الصيانة انقطاعات متكررة للتيار الكهربائي. لدى الحكومة خطط لتوسيع وتعزيز الشبكة والتي تشمل خطًا طويلًا بجهد 400 كيلو فولط لربط دارفور بالشبكة الوطنية، وترقيات لتقليل الفاقد العالي. يتصل السودان أيضًا على نطاق محدود إقليميًا بخط 220 كيلو فولط يربط السودان بمصر (يسمح باستيراد/تصدير يصل إلى حوالي 70 إلى 80 ميغاواط، مع خطط لترقيته إلى 300 ميغاواط)، وخط آخر يربط بإثيوبيا. هذه الروابط جزء من مشاركة السودان في تجمع الطاقة في شرق أفريقيا (EAPP)، وتجري دراسة اتصالات مستقبلية مع جنوب السودان وأوغندا. سيتطلب دمج الطاقة المتجددة في الشبكة بنية تحتية محسنة.

التحديات والعقبات

- عدم الاستقرار السياسي والاقتصادي.
- القيود الفنية والبنية التحتية.
- العوائق المالية.
- الفجوات التنظيمية والسياسية.
- نقص القدرات والوعي.
- القضايا البيئية والاجتماعية.
- إعادة الإعمار ما بعد النزاع.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

شارك مركز أبحاث الطاقة (ERC) في الخرطوم في أبحاث الطاقة المتجددة لعقود، مع التركيز على حلول مكيفة لسياق السودان. شملت الأبحاث التطبيقات الحرارية الشمسية (أفران شمسية، سخانات مياه)، مواقد الكتلة الحيوية المحسنة، نماذج توربينات الرياح الصغيرة، ومخمرات الغاز الحيوي. يتعاون مركز أبحاث الطاقة وأقسام الهندسة في الجامعات في دراسات، ورسم خرائط الإشعاع الشمسي وسرعات الرياح، وتصميم مجففات شمسية منخفضة التكلفة للمحاصيل، واختبار أداء الألواح الكهروضوئية في مناخ السودان. ساعد المشاركة في برامج البحث الإقليمية، من خلال RCREEE والجامعات في الخارج، في بناء الخبرة المحلية. نشر الباحثون السودانيون دراسات حول إمكانات الطاقة الشمسية والطرق المثلى لدمج الطاقة المتجددة في شبكة السودان. تتعاون وزارة الطاقة مع جهات خارجية مثل برنامج الأمم المتحدة الإنمائي لبرامج مثل برنامج «الطاقة الشمسية من أجل التنمية»، الذي قدم حلول الطاقة الشمسية في العيادات الصحية النائية والزراعة، مما يظهر نماذج أعمال جديدة. في دارفور، حسنت آبار المياه والتبريد بالطاقة الشمسية سبل العيش، مما يظهر حالات استخدام مبتكرة. لا يعد أول توربين رياح في دنقلا مشروعًا للطاقة فحسب، بل أيضًا فرصة للتعلم العملي.

اتخذ السودان الخطوات الأولى نحو التصنيع المحلي لمكونات الطاقة المتجددة، primarily لخلق فرص عمل وتقليل الاعتماد على الاستيراد. يشمل ذلك تجميع وتصنيع مكونات أبسط في ورش محلية مثل وحدات الطاقة الكهروضوئية باستخدام خلايا مستوردة وإنتاج هياكل تركيب للألواح الشمسية. كانت هناك برامج لتصنيع توربينات رياح صغيرة باستخدام مواد متاحة محليًا لشحن البطاريات في القرى. على جانب رأس المال البشري، تقدم جامعات السودان بالفعل دورات متخصصة في تصميم أنظمة الطاقة الكهروضوئية، وتدرب المعاهد الفنية فنيي الطاقة الشمسية.

التوصيات

- تعزيز تنفيذ السياسات
- تحسين الشبكة والبنية التحتية
- تعبئة التمويل والشراكات
- التركيز على الحلول اللامركزية للوصول إلى الطاقة
- بناء القدرات والصناعة المحلية
- تعزيز المرونة والتكيف
- مشاركة المجتمع والتوعية
- إعادة الإعمار ما بعد النزاع من خلال الطاقة الخضرا.

الجمهورية العربية السورية

معلومات عامة

تتمتع الجمهورية العربية السورية، الواقعة في الشرق الأوسط، بإمكانات كبيرة للطاقة المتجددة، خاصة في موارد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية. واجهت سوريا تحديات كبيرة خلال العقد الماضي بسبب النزاع المستمر والعقوبات الاقتصادية. يقدم الموقع الجغرافي للبلاد إشعاعًا شمسيًا مرتفعًا، وظروفًا ملائمة لطاقة الرياح، وبنية تحتية كبيرة للطاقة الكهرومائية، مما يوفر فرصًا لتطوير الطاقة المستدامة كجزء من جهود إعادة الإعمار والانتعاش الاقتصادي.

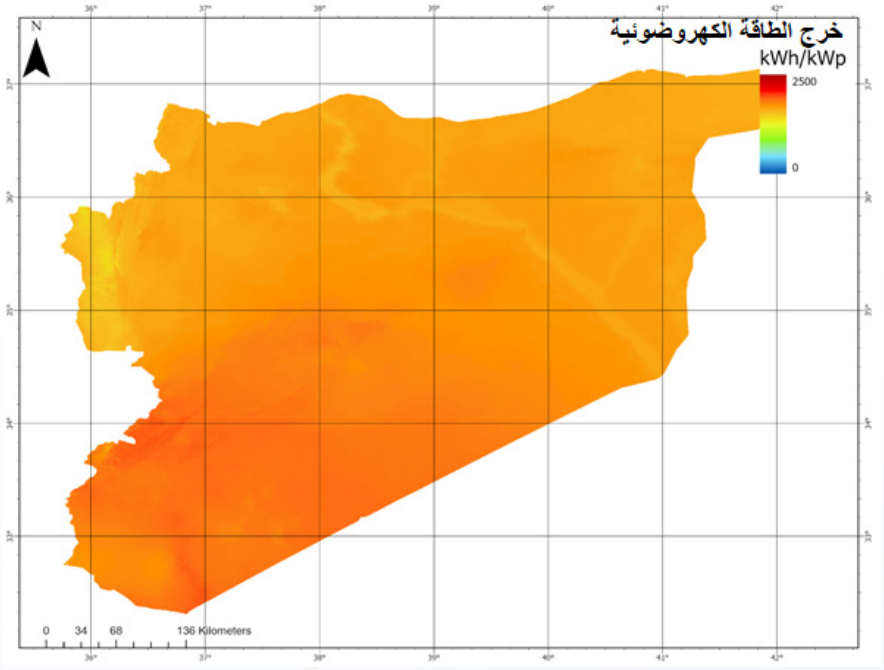
المشهد الطاقي

اعتبارًا من عام 2023، بلغت السعة المركبة الإجمالية لتوليد الكهرباء في سوريا حوالي 9,636 ميغاواط، مع توليد سنوي يبلغ حوالي 20,095 غيغاواط ساعة. لا يزال مزيج الطاقة يعتمد بشكل كبير على الوقود الأحفوري، حيث يمثل النفط 57% والغاز الطبيعي 38% من توليد الكهرباء. ساهمت مصادر الطاقة المتجددة بحوالي 4.43% من إجمالي توليد الكهرباء، مما يشير إلى قطاع متواضع ولكنه في نمو.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

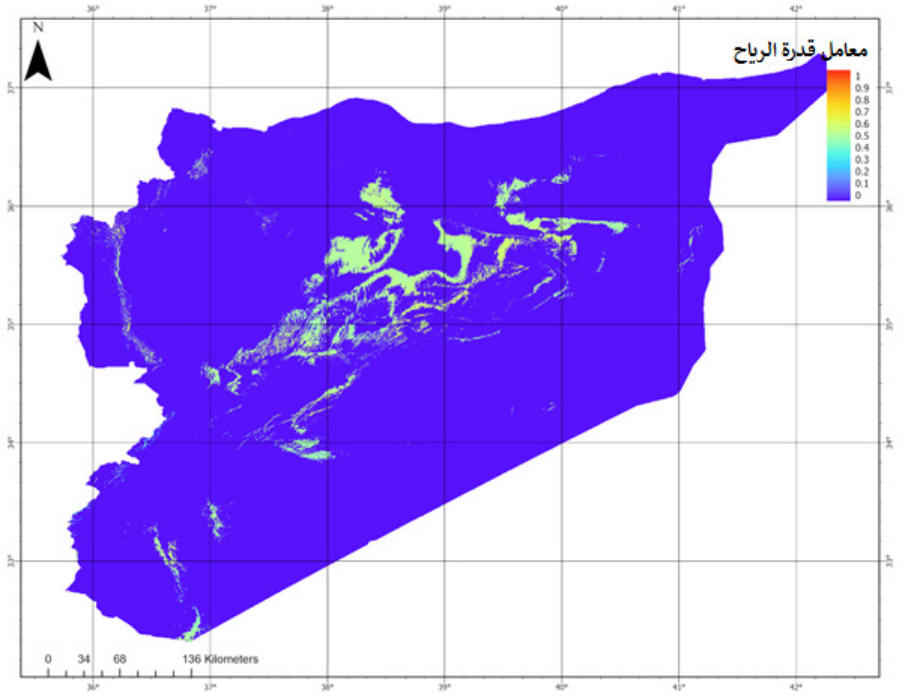
تتمتع سوريا بإمكانات كبيرة للطاقة الشمسية، حيث يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي (GHI) حوالي 1,972 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا. هذا الإشعاع الشمسي المرتفع يجعل البلاد موقعًا مناسبًا لتركيب الأنظمة الكهروضوئية (PV). تعد المناطق الوسطى والشرقية من سوريا مناسبة بشكل خاص لمشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق. تشمل المبادرات الحديثة تدشين محطة للطاقة الشمسية بقدرة 10 ميغاواط، مما يمثل خطوة إلى الأمام في استغلال الطاقة الشمسية للشبكة الوطنية.



الشكل 22: خريطة الموارد الشمسية في سوريا (المصدر: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

تشير تقييمات طاقة الرياح إلى أن سوريا لديها مناطق بسرعات رياح مناسبة لتوليد الطاقة، خاصة في المناطق الغربية والشمالية. حددت الدراسات مستويات كثافة طاقة الرياح التي يمكن أن تدعم تطوير مزارع الرياح. اعتبارًا من عام 2023، لا تزال طاقة الرياح غير مستغلة بالكامل، مع تنفيذ مشاريع محدودة.



الشكل 23: خريطة موارد الرياح في سوريا حسب عامل السعة
(مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

موارد الطاقة الكهرومائية

كانت الطاقة الكهرومائية تاريخيًا مكونًا مهمًا في محفظة الطاقة المتجددة في سوريا. تستضيف البلاد عدة سدود كهرومائية رئيسة على طول نهر الفرات، بما في ذلك: سد الطبقة: يقع بالقرب من الرقة، بسعة مركبة تبلغ حوالي 800 ميغاواط، سد تشرين: يقع في محافظة حلب، ويضم ستة توربينات بسعة إجمالية تبلغ 630 ميغاواط، وسد الحرية: المعروف أيضًا باسم سد البعث، بسعة 81 ميجغوات. اعتبارًا من عام 2023، ساهمت الطاقة الكهرومائية بحوالي 754 غيغاواط ساعة في توليد الكهرباء في سوريا، مما يمثل حوالي 3.8 % من الإجمالي.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

لا تزال إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية في سوريا غير مستغلة إلى حد كبير. استكشفت الدراسات جدوى استخدام موارد الطاقة الحرارية الأرضية متوسطة الحرارة، خاصة في المناطق

الشمالية الشرقية. على سبيل المثال، تشير الأبحاث إلى أنه يمكن إعادة استخدام آبار النفط المغلقة والخارجة عن الخدمة لإنتاج الطاقة الحرارية الأرضية باستخدام أنظمة دورة رانكين العضوية (ORC). اعتبارًا من عام 2023، لا يوجد تسجيل لتوليد الكهرباء من الطاقة الحرارية الأرضية في البلاد.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

حددت الحكومة السورية استراتيجيات لتوسيع سعة الطاقة المتجددة، بهدف تركيب ما يصل إلى 2,500 ميغاواط من الطاقة الشمسية و1,500 ميغاواط من طاقة الرياح بحلول عام 2030. تم إدخال سياسات لتشجيع الاستثمار في الطاقة المتجددة، بما في ذلك إجراءات الترخيص للمشاريع الجديدة. على الرغم من هذه الخطط، كان التنفيذ بطيئًا بسبب التحديات المستمرة مثل تلف البنية التحتية وموارد التمويل المحدودة. مؤخرًا في عام 2025، يجري العمل على اتفاقية لتجهيز قطاع الطاقة مع حكومة تركيا.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

- وزارة الكهرباء
- المؤسسة العامة لتوليد ونقل الكهرباء
- المركز الوطني لبحوث الطاقة
- الوكالة السورية للاستثمار

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

اعتبارًا من عام 2023، بلغت السعة المركبة للطاقة المتجددة في سوريا حوالي 1,557 ميغاواط، حيث ولدت مصادر الطاقة المتجددة حوالي 890 غيغاواط ساعة سنويًا. تشمل المشاريع البارزة محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية التي تم تدشينها مؤخرًا بقدرة 10 ميغاواط وتركيبات صغيرة النطاق تهدف إلى تشغيل الخدمات الأساسية مثل المرافق الصحية. تظهر هذه المشاريع اهتمامًا متزايدًا بدمج الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة في سوريا، على الرغم من التحديات السائدة.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

تعرضت شبكة الكهرباء في سوريا لأضرار كبيرة بسبب النزاع الممتد، مما أدى إلى انقطاعات متكررة وإمدادات طاقة غير موثوقة. تجري جهود لإعادة تأهيل بنية الشبكة التحتية، بدعم من المنظمات الدولية ووكالات التنمية. تظل حلول تخزين الطاقة محدودة حاليًا، مما يعيق تكامل مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

التحديات والعقبات

- النزاع المستمر وعدم الاستقرار السياسي.
- تلف البنية التحتية ووصول محدود إلى التمويل.
- نقص القوى العاملة الماهرة في تقنيات الطاقة المتجددة.
- العقبات التنظيمية والبيروقراطية.
- الاعتماد على موارد الطاقة المستوردة.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

يتم إجراء البحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة بشكل أساس من قبل المركز الوطني لبحوث الطاقة والجامعات المحلية. هناك اهتمام متزايد بتطوير قدرات التصنيع المحلي للألواح الشمسية والمكونات ذات الصلة لتقليل الاعتماد على الواردات وتحفيز النمو الاقتصادي. تركز المبادرات أيضًا على برامج التدريب لبناء قوة عاملة ماهرة في قطاعات الطاقة المتجددة.

التوصيات

- تعزيز الأطر السياسية لجذب الاستثمار في الطاقة المتجددة.
- إعطاء الأولوية لإعادة تأهيل بنية الشبكة التحتية لدعم تكامل الطاقة المتجددة.
- تطوير آليات مالية لدعم مشاريع الطاقة المتجددة.
- الاستثمار في بناء القدرات وتنمية القوى العاملة.
- تعزيز التعاون الإقليمي لتجارة الطاقة وتبادل المعرفة.

جمهورية الصومال

معلومات عامة

يقع الصومال في القرن الأفريقي، ويحد خليج عدن والمحيط الهندي، ويتمتع بأطول ساحل في القارة (حوالي 3300 كم). يتميز مناخه بأنه جاف إلى شبه جاف مع ارتفاع درجات الحرارة وهطول أمطار منخفض وموسمي (موسمان قصيران ممطران). يبلغ عدد السكان حوالي 16 مليون نسمة، حوالي 60 % منهم من الرعاة الرحل أو شبه الرحل الذين يعيشون في المناطق الريفية. في السنوات الأخيرة، دخل الصومال مرحلة إعادة الإعمار بعد الصراع، حيث يعيد تأسيس هياكل الحكم ويركز على استعادة الخدمات الأساسية مثل الكهرباء والمياه النظيفة. يمنح الموقع الجغرافي والمناخ للبلاد إشعاعًا شمسيًا وفيرًا وإمكانات كبيرة لطاقة الرياح، مما يوفر أساسًا لتطوير الطاقة المتجددة.

المشهد الطاقي

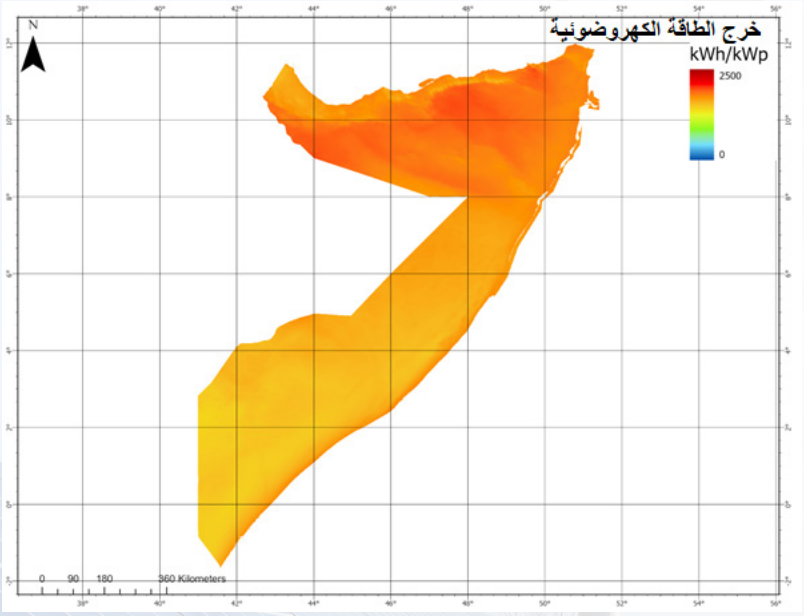
ظل قطاع الطاقة في الصومال متخلفًا ومجزأً. بعد انهيار الدولة في التسعينيات، دُمرت معظم البنية التحتية للطاقة الوطنية. لا توجد حاليًا شبكة كهرباء وطنية، بل تعمل العشرات من مزودي خدمات الكهرباء الخاصين (ESPs) بشبكات صغيرة معزولة في المدن والبلدات، تعمل في الغالب بمولدات الديزل. يظل الوصول إلى الكهرباء محدودًا رغم التحسن، ففي عام 2023، حصل حوالي 62 % من السكان على بعض أشكال الوصول (80 % في المناطق الحضرية مقابل 39 % فقط في المناطق الريفية، وأقل من 10 % بين المجموعات الرحل). غالبًا ما يكون إمداد الطاقة مكلفًا وغير موثوق. يعد الصومال من بين أعلى الدول في تعريفة الكهرباء بسبب الاعتماد على وقود الديزل المستورد، وفقدان الطاقة أثناء التوزيع، وانعدام الأمن على طرق الإمداد. حاليًا، يأتي حوالي 88 % من سعة التوليد (حوالي 300 ميغاواط) من الديزل، بينما تأتي حوالي 42 ميجاوات (≈12 %) من مصادر متجددة. في المناطق الريفية، لا تزال الكتلة الحيوية التقليدية (الحطب والفحم النباتي) تمثل الغالبية العظمى من استهلاك الطاقة المنزلي (أكثر من 80 % من إجمالي استهلاك الطاقة)، مما يساهم في إزالة الغابات. يتميز مشهد الطاقة في الصومال بانخفاض الوصول، وارتفاع التكلفة، والاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري، لكن الجهود جارية لتوسيع حلول الطاقة النظيفة.

إمكانات الطاقة المتجددة

يتمتع الصومال بإمكانات هائلة للطاقة المتجددة بفضل مناخه وجغرافيته المواتية.

إمكانات الطاقة الشمسية

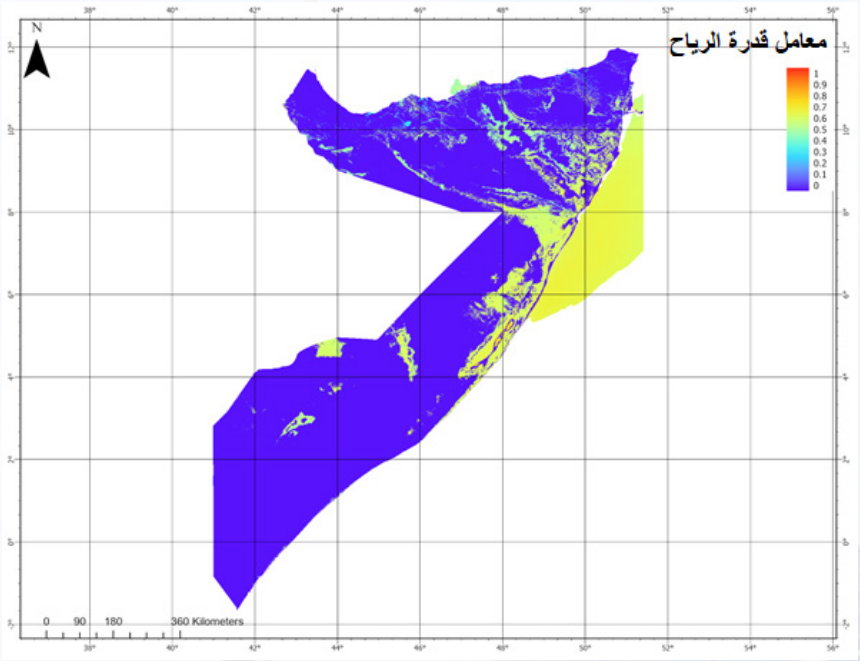
لدى الصومال أحد أعلى مستويات الإشعاع الشمسي في العالم. يتمتع البلاد بأكثر من 3000 ساعة من أشعة الشمس سنويًا، بمتوسط إشعاع شمسي يومي يتراوح بين 7-5 كيلوواط ساعة لكل متر مربع. هذا يعني أن كل كيلوواط من الألواح الشمسية يمكن أن يولد حوالي 2000 كيلوواط ساعة سنويًا، وهو عائد ممتاز. تنتشر أشعة الشمس بقوة وثبات في معظم أنحاء الصومال، من السهول الوسطى الجافة إلى المرتفعات الشمالية والمناطق الساحلية. على سبيل المثال، تتلقى هرجيسا (في الشمال الغربي) متوسط إشعاع شمسي يومي يبلغ حوالي 6.4 كيلوواط ساعة/م^2. يشير هذا المستوى العالي من الإشعاع إلى إمكانات هائلة لتوليد الطاقة الشمسية (الكهروضوئية والحرارية). تتوافر الطاقة الشمسية على مدار العام، بما في ذلك إنتاجية عالية جدًا خلال مواسم الجفاف الطويلة. يمكن أن تكون الطاقة الكهروضوئية الشمسية عامل تغيير جذري لاحتياجات الطاقة في الصومال، حيث يمكن حتى للتركيبات الصغيرة أن تحسن بشكل كبير الوصول إلى الطاقة في المجتمعات النائية خارج الشبكة.



الشكل 24: خريطة الموارد الشمسية في الصومال (المصدر: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

يتمتع الصومال أيضًا بموارد رياح استثنائية. تتراوح سرعات الرياح في العديد من المناطق بين 7 - 11 م/ث على ارتفاع 50 مترًا، خاصة على طول ساحل المحيط الهندي والهضاب الداخلية المرتفعة. وجد تقييم سابق أن موارد الرياح مناسبة لتوليد الطاقة في حوالي 85 % من مساحة الصومال، مما يجعلها arguably أعلى إمكانات لطاقة الرياح البرية في أفريقيا. يتميز الساحل الطويل (خاصة في أرض البونت وصوماليلاند) برياح موسمية ثابتة ومناطق واسعة من الجرف القاري الضحل، مما يشير إلى إمكانات جيدة لمزارع الرياح البحرية بالقرب من مراكز الأحمال مثل مقديشو وبربرة وكيسمايو. تقدر إمكانات الرياح البرية الإجمالية بحوالي 30 إلى 45 غيغاواط إذا تم استغلالها بالكامل. بالمقارنة، يبلغ الطلب الحالي في الصومال بضع مئات من الميغاوات فقط، لذا يمكن أن توفر طاقة الرياح في المستقبل أكثر بكثير من الاحتياجات المحلية، مما يفتح آفاقًا لتصدير الطاقة أو الهيدروجين الأخضر. يتطلب تطوير طاقة الرياح اختيار مواقع بعناية بسبب ندرة الشبكة والحاجة إلى التخزين أو استقرار الشبكة.



الشكل 25: خريطة موارد الرياح في الصومال حسب عامل السعة
(مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

موارد الطاقة الكهرومائية

على عكس الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فإن إمكانات الطاقة الكهرومائية في الصومال متواضعة وغير مستغلة إلى حد كبير. البلاد في الغالب جافة ولا توجد أنهار دائمة الجريان في الشمال؛ توجد أنهار دائمة فقط في الجنوب (نهرا جوبا وشبيلي). قبل الحرب الأهلية، كانت هناك خطط لبناء سدود كبيرة على نهر جوبا. تم بناء سد فانولي (وسط جوبا) بين عامي 1977 - 1982 للري وشكل مكوناً صغيراً للطاقة الكهرومائية (حوالي 4.6 ميغاواط). بسبب الصراعات والأضرار الناجمة عن الفيضانات، لم يعمل هذا السد بكامل طاقته ويتطلب الآن إعادة تأهيله. مشروع آخر مقترح يسمى سد باريري يقع أعلى نهر جوبا، صمم لسعة أكبر بكثير تتراوح بين 150-100 ميغاواط (تقول بعض التقارير 493 ميغاواط)، ولكن توقف البناء بسبب الحرب الأهلية في 1991. حتى الآن، لا توجد محطة كهرومائية كبرى تعمل في الصومال. كما أن المشاريع الكهرومائية الصغيرة أو السدود المصغرة مقيدة بتدفق الأنهار الموسمي الشديد والجفاف المتكرر. يحتوي نهر شبيلي على بعض سدود الري ولكن لا توجد سدود لتوليد الطاقة.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

بدأت حكومة الصومال في صياغة سياسات لاستغلال هذه الموارد المتجددة كجزء من جهود إعادة الإعمار والالتزامات المناخية. تسلط المساهمة المحددة وطنيًا (NDC) للصومال بموجب اتفاقية باريس الضوء على الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية) كأولوية للتنمية منخفضة الكربون وتحسين الوصول إلى الطاقة. حددت الخطة التنموية الوطنية التاسعة (2020 - 2024) البنية التحتية للطاقة كعامل رئيس للنمو الاقتصادي ودعت إلى زيادة استخدام المصادر المتجددة، ولكن دون أهداف كمية. كانت الخطوة الكبرى هي إقرار قانون الكهرباء في 2023، والذي وفر لأول مرة إطارًا قانونيًا لقطاع الطاقة. أنشأ هذا القانون الهيئة الوطنية للكهرباء (NEA) لتنظيم مزودي الكهرباء وتعزيز الاستثمار في التوليد والنقل والوصول. لدى وزارة الطاقة والموارد المائية الاتحادية (MoEWR) رؤية لتحقيق وصول شامل إلى كهرباء ميسورة التكلفة بحلول 2030، وتشجيع مزودي الخدمة على «التحول للأخضر»، رغم أنها لم تحدد بعد معايير حصص متجددة ملزمة. توجّه عدة وثائق سياسية وتخطيطية عملية التحول مثل خطة الطاقة الرئيسة للصومال (2019 - 2040)، التي تضع استراتيجية لمدة 20 عامًا تركز على دمج الطاقة المتجددة وتطوير الشبكات الصغيرة. يعمل الصومال أيضًا مع شركاء دوليين (البنك الدولي وبنك التنمية الأفريقي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، إلخ) لوضع اللوائح والمعايير.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

- وزارة الطاقة والموارد المائية (MoEWR).

- الهيئة الوطنية للكهرباء (NEA).
- وكالات الطاقة في الولايات الأعضاء الاتحادية.
- شركات الطاقة الصومالية/مزودو الخدمة (ESPs).
- المكتب الصومالي للمعايير.
- مديرية البيئة وتغير المناخ.

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

اعتبارًا من عام 2024، تتوسع سعة الطاقة المتجددة في الصومال البالغة 42 ميغاواط باطراد من خلال مبادرات القطاع الخاص والمشاريع الممولة من المانحين. تقود الطاقة الشمسية الطريق، مع تركيب بارز مثل مزرعة بيكو الشمسية بقدرة 10 ميغاواط قرب مقديشو ومحطة سومباور بقدرة 4 ميغاواط في هرجيسا، مكملة بمجموعات شمسية أصغر في بلدات مختلفة وزيادة تبني أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية. لا تزال طاقة الرياح في مرحلة التجريب، بأقل من 5 ميغاواط مركبة، خاصة في غاروي وهرجيسا، لكنها تظهر إمكانات للتوسع. حسنت الحلول خرج الشبكة، المدعومة بشدة من المانحين الدوليين مثل الاتحاد الأوروبي والبنك الدولي ووكالات الأمم المتحدة، الوصول إلى الطاقة في المناطق الريفية والإنسانية بشكل كبير. يشهد الصومال زخمًا متزايدًا في مجال الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، مما يساعد على تقليل الاعتماد على الديزل وتعزيز مرونة الطاقة.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

شبكة الكهرباء في الصومال مجزأة للغاية، حيث لا توجد شبكة وطنية، وتعتمد كل مدينة أو بلدة على شبكات صغيرة معزولة تديرها جهات خاصة تعمل بالديزل أو الأنظمة الهجينة. لا تتصل هذه الشبكات المحلية ببعضها، مما يحد من تبادل الطاقة ويتطلب تحقيق التوازن بين العرض والطلب محليًا. البنية التحتية لنقل الطاقة ضئيلة، وتتكون في الغالب من خطوط متوسطة الجهد داخل المدن، وشبكات التوزيع قديمة وغير فعالة في كثير من الأحيان، مع فقدان فني يصل إلى 40 %. تجري خطط للربط البيني عبر الحدود، مثل استيراد الطاقة الكهرومائية من إثيوبيا، لكنها لا تزال في مراحل مبكرة. بينما يتم تجريب تقنيات تخزين الطاقة مثل أنظمة البطاريات لتحقيق استقرار الإمداد ودعم تكامل الطاقة الشمسية، فإن التبني الواسع النطاق مقيد بالتكلفة. لدى الصومال القدرة على القفز إلى أنظمة شبكات موزعة حديثة، لكن هناك حاجة إلى استثمارات كبيرة لترقية البنية التحتية وتقليل الفاقد ودعم نشر أوسع للطاقة المتجددة.

التحديات والعقبات

- عدم الاستقرار السياسي والأمني.
- الإطار المؤسسي الضعيف.
- القيود المالية.
- التحديات التقنية والبنية التحتية.
- مخاطر السوق واللوائح.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

مع تطور قطاع الطاقة المتجددة في الصومال، تزداد الجهود في البحث والابتكار وبناء القدرات الصناعية المحلية، غالبًا بدعم من الشركاء الدوليين. نظرًا لندرة البيانات التاريخية، ركزت المبادرات الحديثة على البحث في موارد الصومال المتجددة وظروف السوق. أجرى برنامج «إضاءة أفريقيا» التابع للبنك الدولي تقييمًا متعمقًا لسوق الطاقة الشمسية خارج الشبكة في الصومال، وجمع بيانات عن احتياجات الطاقة المنزلية، وسلاسل توريد المنتجات والفجوات التنظيمية. تقوم الحكومة الصومالية بدعم من المانحين برسم خرائط لموارد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح باستخدام بيانات الأقمار الصناعية والقياسات الأرضية لتحديد المواقع المثلى للمشاريع. توفر هذه الدراسات معلومات حاسمة للمستثمرين والمخططين.

في غياب شبكة وطنية، يبتكر رواد الأعمال والمنظمات غير الحكومية الصومالية حلول الطاقة المتجددة خارج الشبكة. أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية بنظام الدفع حسب الاستخدام (PAYG) هي أحد الابتكارات التي يجري اختبارها من قبل الشركات. مع إدراك نقص الفنيين المهرة، تم تشكيل شراكات لتدريب الشباب الصومالي في مجال الطاقة المتجددة.

التوصيات

- تعزيز الحوكمة والمؤسسات.
- تحسين الأمن وتخفيف المخاطر.
- توسيع خيارات التمويل.
- الاستثمار في البنية التحتية والتكامل.
- بناء القدرات والتصنيع/التجميع المحلي.
- تعزيز البيانات والتخطيط.
- الاستفادة من الدعم الدولي.

جمهورية العراق

معلومات عامة

العراق دولة في الشرق الأوسط يبلغ عدد سكانها حوالي 45 مليون نسمة، وتتمتع باحتياطيات نفطية غنية وهي الآن تركز على إعادة بناء بنيتها التحتية بعد عقود من الصراع. يتراوح مناخ البلاد من الصحاري القاحلة في الغرب والجنوب إلى المناطق الجبلية في الشمال الشرقي، مما يوفر وفرة من أشعة الشمس وبعض الموارد المائية. لا يزال قطاع الطاقة في العراق تهيمن عليه الهيدروكربونات بشكل كبير، حيث يتم توليد الكهرباء تاريخيًا من النفط والغاز الطبيعي. أدى هذا الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري، جنبًا إلى جنب مع سنوات من نقص الاستثمار وأضرار الحرب، إلى انقطاعات متكررة في التيار الكهربائي ونقص في الكهرباء. ردًا على ذلك، بدأ العراق في إعطاء أولوية لتطوير الطاقة المتجددة كجزء من جهود التعافي بعد الصراع وتنويع الاقتصاد، معترفًا بإمكاناتها الشمسية الكبيرة والحاجة إلى إمدادات طاقة أكثر استدامة وأمانًا.

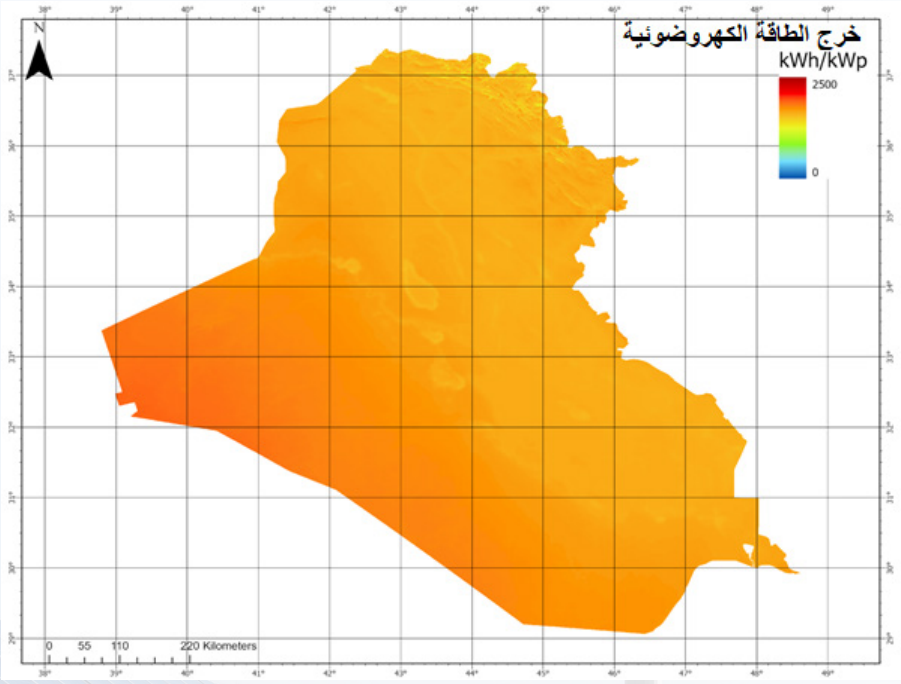
المشهد الطاقي

يتميز نظام الطاقة في العراق حاليًا بنقص في الإمداد وشبكة كهرباء قديمة. بلغت السعة المركبة الإجمالية لتوليد الكهرباء حوالي 32 غيغاواط في عام 2023، منها حوالي ثلثيها يعمل بالغاز ومعظم الباقي يعمل بالنفط. تمثل مصادر الطاقة المتجددة حصة صغيرة فقط حيث تساهم الطاقة الكهرومائية بحوالي 1.5 غيغاواط (حوالي 5% من السعة)، بينما تكون الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ضئيلة جدًا (<1%) مع سعة الطاقة الشمسية المركبة التي بلغت 40 ميغاواط بنهاية عام 2023. لا تلبي هذه السعة ذروة الطلب التي تبلغ حوالي 30 غيغاواط، مما يؤدي إلى استمرار انقطاع التيار الكهربائي. يعتمد العراق على استيراد ما يصل إلى 10 غيغاواط من الكهرباء وحجم كبير من الغاز الطبيعي من إيران لتخفيف العجز الشديد في الطاقة. تعاني الشبكة الوطنية من فقدان كبير وعدم موثوقية حيث يتم فقدان أكثر من نصف الكهرباء المولدة قبل أن تصل إلى المستهلكين بسبب المشاكل الفنية وعدم الكفاءة. يعتمد العديد من المستخدمين النهائيين على مولدات الديزل الخاصة للتعامل مع انقطاع التيار الكهربائي. يؤكد هذا المشهد الصعب للطاقة على الحاجة الملحة للعراق لتوسيع بنيته التحتية للطاقة وتحديثها ودمج مصادر جديدة للطاقة المتجددة.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

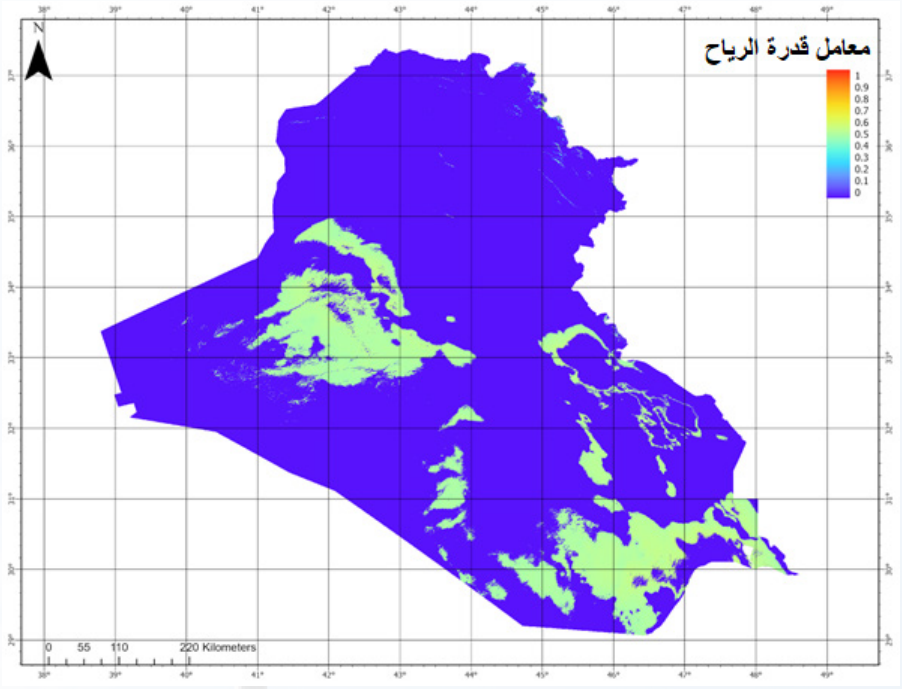
يتمتع العراق بمورد شمسي مرتفع خاصة في المناطق الجنوبية والغربية. يتمتع العراق بواحدة من أعلى إمكانات الطاقة الشمسية في المنطقة، مع مساحات شاسعة من الصحاري المشمسة. تتلقى معظم أجزاء البلاد متوسط إشعاع شمسي يتراوح بين 5 إلى 6 كيلوواط ساعة لكل متر مربع يوميًا وتتمتع بأكثر من 3000 ساعة من أشعة الشمس سنويًا. تم تأكيد هذا المورد الشمسي المتميز من خلال دراسات رسم الخرائط، حيث يكون الإشعاع الأعلى في المحافظات الجنوبية والغربية. بشكل عام، يمكن أن تدعم إمكانات العراق الشمسية بسهولة عشرات الغيغاواط من السعة الكهروضوئية، مما يتجاوز بكثير الطلب الحالي على الكهرباء، إذا تم استخدام المورد بشكل فعال. حتى الآن، منحت البلاد مشاريع بإجمالي سعة 7.5 غيغاواط لشركات أجنبية ومحلية.



الشكل 26: خريطة الموارد الشمسية للعراق (المصدر: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

إمكانات طاقة الرياح في العراق أكثر اعتدالًا وتحديدًا للموقع. تشير التقييمات إلى أن مناطق معينة فقط لديها سرعات رياح مجدية اقتصاديًا وقليل من المواقع لديها رياح قوية بما يكفي لمشاريع المرافق الكبيرة. تقع مواقع الرياح الأكثر واعدة بشكل عام في غرب ووسط العراق، وأجزاء من الشمال الشرقي والجنوب الشرقي. يتم الآن التخطيط لأول مشروع تجاري لطاقة الرياح، وهو مزرعة رياح بقدرة 500 ميغاوات، كمشروع تجريبي للمساعدة في استقرار الشبكة، ومع ذلك، من المحتمل أن يكون التطوير واسع النطاق لطاقة الرياح محدودًا في مناطق قليلة في البلاد.



الشكل 27: خريطة موارد الرياح في العراق حسب عامل السعة (مفلترة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

موارد الطاقة الكهرومائية

لدى العراق عدة سدود كهرومائية على نهري دجلة والفرات. تبلغ السعة التصميمية المجمعة للتركيبات الرئيسة في البلاد (مثل سد الموصل وسد حديثة) حوالي 2.5 غيغاوات،

ولكن بسبب السدود في المنبع والجفاف المتكرر، غالبًا ما يكون الناتج الفعلي لا يزيد عن 1.3 غيغاوات. توفر الطاقة الكهرومائية اليوم جزءًا صغيرًا فقط من كهرباء العراق. يحد ندرة المياه المزمنة والاحتياجات المائية المتنافسة من المزيد من التوسع في الطاقة الكهرومائية، لذا سيعتمد النمو المستقبلي للطاقة المتجددة في العراق أكثر على مصادر أخرى.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

حددت حكومة العراق أهدافًا طموحة للطاقة المتجددة كجزء من استراتيجيتها الوطنية. الهدف الرئيس للعراق هو أن تشكل مصادر الطاقة المتجددة، خاصة الشمسية والرياح، حوالي 20% من مزيج الكهرباء بحلول عام 2030. يترجم هذا الهدف البالغ 20% إلى ما بين 10 و12 غيغاواط من سعة الطاقة المتجددة الجديدة بحلول عام 2030، وأعلنت الحكومة عن خطط لحوالي 12 غيغاوات من الطاقة الكهروضوئية الشمسية بحلول ذلك التاريخ إلى جانب مزرعة رياح بقدرة 500 ميغاواط.

لتمكين هذه الأهداف، وافق مجلس الوزراء في عام 2023 على مشروع قانون للطاقة المتجددة لتنظيم القطاع وتحفيز الاستثمار (بدلاً من موافقة البرلمان). تتعاون الحكومة أيضًا مع المنظمات الدولية بشأن التوجيهات السياسية مثل مساعدة الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) في إجراء تقييم الجاهزية للطاقة المتجددة للعراق، وقد قدم الاتحاد الأوروبي المشورة بشأن إصلاحات السوق. بشكل عام، يتطور المشهد السياسي، ولكن سيكون التنفيذ الفعال والحوكمة المستقرة أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق أهداف عام 2030.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

- وزارة الكهرباء (MoE).
- وزارة العلوم والتكنولوجيا (MoST).
- الهيئة الوطنية للاستثمار (NIC).
- لجنة الكهرباء والطاقة البرلمانية.
- المؤسسات الأكاديمية والبحثية.

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

التركيبات المتجددة في العراق محدودة جدًا حاليًا، ولكن العديد من المشاريع قيد الموافقة والتقدم. بدأت الطاقة الشمسية الآن في التوسع: في عام 2023، بدأ بناء محطة للطاقة

الكهروضوئية الشمسية بقدرة 1000 ميغاواط في منطقة البصرة التي طورتها TotalEnergies، وتم توقيع عقود بقدرة 7.5 غيغاواط إضافية من المزارع الشمسية مع شركات دولية، كما تم الإعلان عن مشاريع أخرى بقدرات 15 غيغاواط و9 غيغاواط تتخذ خطوات أكبر في التحول. كما أن أول مزرعة رياح قيد الإعداد كمشروع تجريبي. أطلق العراق أيضًا محطة لتحويل النفايات إلى طاقة بقدرة 100 ميغاواط بالقرب من بغداد في أوائل عام 2025 لتوليد الطاقة من النفايات البلدية. هناك أيضًا تبني متزايد للطاقة المتجددة الصغيرة النطاق - على سبيل المثال، تقوم الأسر والمباني الحكومية والمدارس والشركات بتركيب الألواح الشمسية على الأسطح ومضخات المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية للمساعدة في تلبية احتياجاتها وسط نقص الشبكة. على الرغم من أن إجمالي سعة الطاقة المتجددة تبلغ حوالي 1.6 غيغاواط فقط اعتبارًا من عام 2023، إلا أن هذه المشاريع، بمجرد تشغيلها، ستعزز بشكل كبير سعة الطاقة النظيفة في العراق.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

شبكة الكهرباء في العراق ضعيفة بعد سنوات من نقص الاستثمار، حيث تسبب البنية التحتية القديمة في خسائر كبيرة وانقطاعات متكررة. لدمج سعة جديدة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، تتطلب الشبكة تعزيزًا كبيرًا. تجري جهود لتوسيع سعة النقل والمحطات الفرعية وتعزيز الروابط الإقليمية. من المتوقع أن يوفر اتصال جديد مع دول الخليج ما يصل إلى 3.94 تيراواط من الطاقة المستوردة بحلول عام 2025، مما سيعزز الاستقرار.

حاليًا، لا يمتلك النظام أي تخزين للطاقة على نطاق واسع تقريبًا. لا تزال الحكومة تخطط لدمج تخزين البطاريات في مشاريع الطاقة الشمسية القادمة لموازنة الناتج المتغير. سيكون تنفيذ مثل هذا التخزين وترقيات الشبكة الذكية ضروريًا لامتصاص المزيد من الطاقة المتجددة بشكل موثوق في المستقبل.

التحديات والعقبات

- عقبات الحوكمة واللوائح.
- القيود المالية (استيراد أرخص).
- قيود البنية التحتية.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

أصبحت الأوساط الأكاديمية ومؤسسات البحث العامة العراقية متورطة بشكل متزايد في مجال الطاقة المتجددة. تعمل الجامعات، مثل جامعة الأنبار ومراكز الأبحاث مع الوزارات الحكومية على دراسات الطاقة المتجددة والتخطيط. بدعم دولي، اختبرت عدة مشاريع تجريبية حلول الطاقة النظيفة: على سبيل المثال، قام برنامج الأمم المتحدة الإنمائي بتركيب أنظمة شمسية تجريبية (مثل الألواح الكهروضوئية على الأسطح في النجف) لإثبات فعاليتها في ظروف العراق المشمسة. ساعدت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة أيضًا من خلال تطوير خرائط مفصلة للموارد الشمسية وإجراء تقييم الجاهزية للطاقة المتجددة للعراق، مما ساعد في تحديد احتياجات السياسات والبنية التحتية. تبني هذه المبادرات تدريجياً الخبرة الفنية المحلية بعد سنوات من تأخر العراق في هذا المجال.

يظل التصنيع المحلي لمعدات الطاقة المتجددة في العراق ضئيلًا في الوقت الحالي. يتم استيراد معظم الألواح الشمسية وتوربينات الرياح والتقنيات ذات الصلة، بينما تركز الشركات المحلية على التركيب والتشغيل والصيانة. بدأت الحكومة في تشجيع نقل المعرفة ونمو الصناعة المحلية من خلال معارض الطاقة المتجددة وبرامج التدريب. بمرور الوقت، من المتوقع أن يعزز خط المشاريع المتنامي قوة عاملة محلية في مجال الطاقة المتجددة. هناك طموحات لإنشاء مرافق تجميع (على سبيل المثال، للألواح الشمسية أو البطاريات) في المستقبل، ولكن تحقيق الإنتاج المحلي سيتطلب استثمارًا مستدامًا وشراكات. في الوقت الحالي، يأتي الابتكار في قطاع الطاقة المتجددة في العراق إلى حد كبير عبر التعاون مع الخبراء الدوليين والاستخدام التكيفي للتقانات المستوردة.

التوصيات

- إنشاء إطار سياسات داعم.
- ترقية الشبكة وتضمين التخزين.
- الاستفادة من الشراكات الدولية.
- بناء القدرات المحلية.

سلطنة عُمان

معلومات عامة

تقع سلطنة عُمان على الساحل الجنوبي الشرقي لشبه الجزيرة العربية، وتغطي مساحة تقارب 309,500 كيلومتر مربع. يبلغ عدد سكانها حوالي 4.5 مليون نسمة (حتى عام 2023)، وتتمتع بموقع استراتيجي مع سواحل طويلة على بحر العرب وخليج عُمان. اعتمدت البلاد تاريخيًا على النفط والغاز الطبيعي للنمو الاقتصادي وإنتاج الطاقة. ومع ذلك، تماشيًا مع رؤية 2040 والتزامها بتحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول 2050، تتجه عُمان نحو نموذج طاقة أكثر استدامة. وفرة الإشعاع الشمسي وظروف الرياح المواتية تجعل البلاد مناسبة جدًا لنشر الطاقة المتجددة. التزمت عُمان بتحقيق 30% من توليد الكهرباء من مصادر متجددة بحلول 2030، مع زيادة هذه النسبة بعد 2040. تقود الحكومة، من خلال جهات مثل **شركة عُمان لشراء الطاقة والمياه (OPWP) وهيئة تنظيم الخدمات العامة (APSR)، جهود الاستثمار في الطاقة النظيفة وإصلاح السياسات.

المشهد الطاقي

الجدول 12: المشهد الطاقي في عُمان

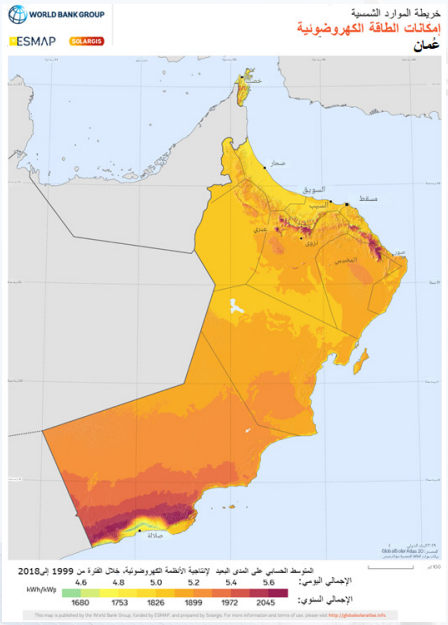
إجمالي استهلاك الطاقة	إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في عُمان حوالي 0.92 كوادريليون وحدة حرارية بريطانية في عام 2023، تم توليدها بشكل أساسي باستخدام النفط والغاز الطبيعي المحليين.
إجمالي توليد الكهرباء	ولّدت الدولة حوالي 40 تيرا واط ساعي من الكهرباء في عام 2023، مع طلب ذروة يتجاوز 7.5 غيغا واط. ويعد استهلاك الكهرباء للفرد من الأعلى في المنطقة ، حيث يبلغ حوالي 9000 كيلوواط ساعي سنويا.
استيراد/تصدير الطاقة	تُعدُّ سلطنة عمان مُصدّراً صافيًا للطاقة ، وبخاصة الغاز الطبيعي المسال والنفط الخام، في حين تستورد كميات ضئيلة من الكهرباء من خلال شبكات الربط بين دول مجلس التعاون الخليجي.
مزيج الطاقة %	يظل مزيج الطاقة يهيمن عليه بشكل كبير الغاز الطبيعي (95~٪) ، يليه النفط (4~٪) ، مع مساهمة الطاقة المتجددة بأقل من 1٪ ، على الرغم من أن هذه الحصة ترتفع بسرعة.
الطلب على الكهرباء	تستمر في النمو بقوة لتصل إلى ما يقرب من 40 تيرا واط ساعي في عام 2023 مع زيادة ملحوظة بنسبة 8٪ عن العام السابق

للتقليل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، تستهدف عُمان حصة متجددة بنسبة 30% في توليد الكهرباء بحلول 2030. من المتوقع أن تقوم مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واسعة النطاق الجارية بتحويل قطاع الطاقة بشكل كبير خلال العقد المقبل.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

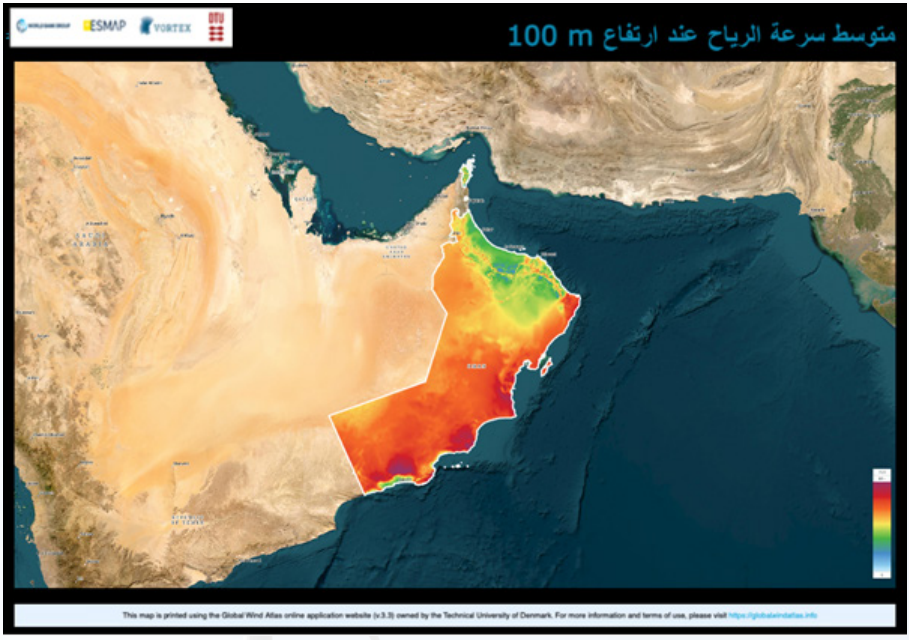
تتمتع عُمان بإشعاع شمسي مرتفع بشكل استثنائي، حيث يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي (GHI) بين 1,640 إلى 2,200 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا ومتوسط إشعاع يومي يتراوح بين 4.5-6.1 كيلوواط ساعة/م²/يوم. تبرز الخريطة أدناه المناطق الأكثر كثافة شمسية في المناطق الجنوبية والوسطى. يمكن أن تختلف إنتاجية أنظمة الطاقة الكهروضوئية الثابتة بنسبة ~12% بين الولايات، بينما يمكن لمتعقبات الشمس زيادة إنتاجية التركيبات بنحو 34% في المتوسط. تؤكد هذه المقاييس القوية قدرة عُمان على تطبيقات الطاقة الشمسية واسعة النطاق وعلى الأسطح، وكذلك التطبيقات الحرارية الشمسية مثل محطة ميرة البالغة 1 غيغاوات حرارية لتوليد البخار.



الشكل 28: خريطة الموارد الشمسية في عُمان

إمكانات طاقة الرياح

تكون موارد الرياح في عُمان أكثر وعدًا على ساحل ظفار وفي المناطق البحرية، حيث تصل متوسط السرعات إلى 7.4-19.9 م/ث على ارتفاع 100 متر. تبلغ عوامل السعة البحرية المتوقعة باستخدام توربينات جنرال إلكتريك وسيمنز 43%-53%، مما يجعلها تنافس بعض أفضل مزارع الرياح عالميًا. تكون القيم البرية أقل ولكنها لا تزال قابلة للتطبيق، مع مشاريع مخطط لها مثل مزرعة ظفار لطاقة الرياح (50 ميغاواط)، والتي تضم توربينات مصممة خصيصًا لمواقع بسرعة رياح ~6 م/ث.



الشكل 29: خريطة موارد الرياح في عُمان

إمكانات النفايات والكتلة الحيوية

تتقدم عُمان في تحويل النفايات إلى طاقة من خلال مشاريع مثل:

- محطة بركا لتحويل النفايات إلى طاقة: (150 ميغاواط) المقرر تشغيلها بحلول 2028.
- تحويل غاز المطامر في بيآه إلى طاقة: جارٍ طرح مناقصة لنظام يستخدم غاز المطامر.
- الهيدروجين من النفايات (منح): تجري دراسة لإنتاج هيدروجين خالٍ من الكربون من النفايات البلدية بقدرة 1 طن/يوم.

مع محتوى طاقة يبلغ ~10 ميغا جول/كغم في النفايات البلدية، يمكن لهذه التقنيات تحويل الأعباء البيئية إلى نواقل طاقة متعددة ودعم طموحات عُمان في الطاقة النظيفة.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

يتم توجيه إطار سياسات الطاقة المتجددة في عُمان من خلال خطتها التنموية طويلة الأجل، رؤية 2040، والتزامها بتحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول 2050. حددت الحكومة أهدافًا طموحة للطاقة النظيفة، تهدف إلى توليد 30 % من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول 2030، مع توقعات تصل إلى 35 - 39 % بحلول 2040.

الهيئة المركزية المنفذة هي شركة عُمان لشراء الطاقة والمياه (OPWP)، التي تدير مناقصات منتجي الطاقة المستقلين (IPP) لمشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واسعة النطاق. تشمل المؤسسات الداعمة هيئة تنظيم الخدمات العامة (APSR) ووزارة الطاقة والثروة المعدنية، التي تشرف على توافق السياسات وترخيص المشاريع.

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

تعد الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة في عُمان حجر الزاوية في انتقالها الأوسع نحو اقتصاد متنوع منخفض الكربون بموجب رؤية عُمان 2040 والتزام صافي الصفر بحلول 2050. تقود وزارة الطاقة والثروة المعدنية هذه الاستراتيجية، مع التنفيذ بقيادة شركة عُمان لشراء الطاقة والمياه (OPWP) والإشراف التنظيمي من هيئة تنظيم الخدمات العامة (APSR).

الأهداف الاستراتيجية:

- تحقيق 30 % من توليد الكهرباء من مصادر متجددة بحلول 2030.
- زيادة قدرة الطاقة المتجددة إلى 39 % من مزيج الطاقة الإجمالي بحلول 2040.
- وضع عُمان كمركز عالمي لإنتاج الهيدروجين الأخضر، بتصدير 1 - 3 ملايين طن/سنويًا بحلول 2040.
- تقليل الاعتماد على الغاز الطبيعي لإنتاج الطاقة والمياه.

الركائز الرئيسة:

1 - مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واسعة النطاق: تسريعها من خلال مناقصات منتجي الطاقة المستقلين (مثل مشروعي منح 1 و2، إبراء 2، مزرعة ظفار لطاقة الرياح).

2 - تكامل الشبكة والبنية التحتية الذكية: تحديث الشبكة لدعم مصادر الطاقة المتقطعة والاتصال الإقليمي.

3 - تخزين الطاقة والمرونة: تعزيز تخزين البطاريات والهيدروجين الأخضر والأنظمة الهجينة.

4 - تنمية المحتوى المحلي: تعزيز التصنيع ونقل المعرفة في الألواح الشمسية وتوربينات الرياح وأجهزة التحليل الكهربائي.

5 - شراكات القطاع العام والخاص (PPP): جذب المستثمرين من خلال اتفاقيات شراء الطاقة (PPAs) وتخصيص الأراضي.

وتتماشى هذه الاستراتيجية مع أهداف الطاقة في سلطنة عمان مع التنمية المستدامة والتنويع الاقتصادي، وتحويل نموذج تصدير الطاقة مع الحد من الانبعاثات.

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية % حسب السنة):

الجدول 13: أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة) في عُمان

السنة المستهدفة	حصة الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء
بحلول عام 2030	30 % من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة
بحلول عام 2040	35 - 39 % ، بما في ذلك الهيدروجين واسع النطاق
بحلول عام 2050	الانتقال إلى انبعاثات كربونية صافية صفرية

تندرج أهداف عُمان ضمن إطار رؤية 2040 وتدعم أهداف اتفاقية باريس العالمية. لا تركز هذه الأهداف فقط على توليد الكهرباء المتجددة، ولكن أيضًا على تحويل القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة من خلال التقنيات النظيفة والهيدروجين الأخضر. تهدف السلطنة أيضًا إلى أن تصبح مصدرًا رئيسيًا للهيدروجين الأخضر، بأهداف إنتاج تتجاوز 1 مليون طن/سنويًا بحلول 2030 وما يصل إلى 3.75 مليون طن/سنويًا بحلول 2040.

التزامات صافي الصفر/إزالة الكربون

صافي الصفر بحلول 2050: التزام رسمي تم الإعلان عنه في تشرين أول 2022 خلال مؤتمر COP27، مما يجعل عُمان أول دولة في مجلس التعاون الخليجي بعد الإمارات تعلن جدولًا زمنيًا لصافي الصفر.

الركائز الرئيسة: توسيع نطاق الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة والهيدروجين الأخضر واحتجاز الكربون والصناعة المستدامة.

هيدروجين عُمان (HYDROM): تم إنشاؤه للإشراف على اقتصاد الهيدروجين الأخضر في عُمان.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

الجدول 14: قائمة بالهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة في عُمان

المؤسسة	الدور المساهم
وزارة الطاقة والمعادن	وضع السياسة الوطنية والإشراف على استراتيجية التحول في مجال الطاقة
شركة عمان لشراء الطاقة والمياه (OPWP)	تخطيط وشراء وإدارة مشاريع الطاقة المتجددة
هيئة تنظيم الخدمات العامة (APSR)	تنظيم قطاعات الطاقة والمياه والطاقة المتجددة
هيدروجين عُمان (HYDROM)	إدارة مشاريع الهيدروجين الأخضر والترخيص وتخصيص الأراضي
هيئة البيئة	تشرف على الانبعاثات والامتثال البيئي وتقييم الأثر البيئي للمشاريع

يُدار قطاع الطاقة المتجددة في عُمان بإطار مؤسسي مُحدد بدقة، بقيادة وزارة الطاقة والمعادن، التي تضع السياسة الوطنية للطاقة وتُشرف على تنفيذ استراتيجيات الطاقة النظيفة بما يتماشى مع رؤية 2040. وتُعد الشركة العُمانية لشراء الطاقة والمياه (OPWP) المشتري الوحيد والمشتري الرئيس للكهرباء والمياه، وهي مسؤولة عن تخطيط وإدارة جميع مشاريع الطاقة المتجددة من خلال مناقصات تنافسية بموجب نموذج مُنتج الطاقة المستقل (IPP).

وتتولى هيئة تنظيم الخدمات العامة (APSR) الإشراف التنظيمي، مما يضمن الامتثال للمعايير الفنية والبيئية والخدمية في قطاعي الطاقة والمياه. ولتسريع تطوير الهيدروجين الأخضر، أنشأت عُمان هيئة هيدروجين عُمان (HYDROM) - وهي هيئة مُتخصصة تابعة لوزارة الطاقة - لتنظيم استخدام الأراضي، وتراخيص المستثمرين، وتنسيق المشاريع في اقتصاد

الهيدروجين. ويُدار الامتثال البيئي والإشراف على الاستدامة من قِبل هيئة البيئة (EA)، وهي المسؤولة عن إصدار التصاريح وتنفيذ تقييمات الأثر البيئي (EIA) لجميع مشاريع البنية التحتية للطاقة.

وتشكل هذه المؤسسات معًا نموذج حوكمة منسقًا لدفع أجندة الطاقة المتجددة وإزالة الكربون في عُمان.

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

السعة المركبة

حتى عام 2023، حققت عُمان إجمالي سعة طاقة متجددة مركبة تبلغ حوالي 550 ميغاواط، تشمل الطاقة الشمسية (~500 ميغاوات) وطاقة الرياح (~50 ميغاواط). تمثل هذه خطوة مهمة نحو الهدف الوطني البالغ 3,050 ميغاواط بحلول 2025.

المشاريع الرئيسة

- محطة إبراء الثانية للطاقة الشمسية (500 ميغاواط): أكبر مزرعة شمسية عاملة في عُمان، تم تشغيلها في 2021، وتزود أكثر من 33,000 منزل بالطاقة وتقلل 340,000 طن من انبعاثات CO_2 سنويًا.
- مزرعة ظفار لطاقة الرياح (50 ميغاواط): أول مشروع رياح واسع النطاق في دول مجلس التعاون الخليجي، ينتج طاقة لأكثر من 16,000 منزل.
- محطة ميرة الحرارية الشمسية (1 غيغاواط حرارية): منشأة لإنتاج البخار بالطاقة الشمسية طورتها PDO وGlassPoint لتعزيز استخراج النفط، محللة استخدام الغاز الطبيعي.

المشاريع المستقبلية

- مشروعا منح 1 و2 للطاقة الشمسية (1,000 ميغاواط): قيد التطوير، من المقرر اكتمالها بحلول 2025.
- 29 مزرعة شمسية جديدة مخطط لها في مختلف المحافظات، بإجمالي أكثر من 1,000 ميغاواط.
- توسعة طاقة الرياح: تخطط OPWP لإنشاء مزرعتين للرياح (100 ميجاوات لكل منهما) في الدقم وجعلان بني بو حسن بحلول 2027 - 2029.

• تحويل النفايات إلى طاقة: من المتوقع تشغيل محطة بركا (150 ميغاواط) بحلول 2028، لتحويل النفايات البلدية إلى كهرباء أساسية.

تشهد محفظة الطاقة المتجددة في سلطنة عمان نموًا سريعًا من خلال الشراكات بين القطاعين العام والخاص، بهدف إزالة الكربون من شبكتها وتحقيق أهداف الطاقة الخضراء المحلية والموجهة للتصدير.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

تُدار شبكة الكهرباء في سلطنة عُمان من قِبل الشركة العُمانية لنقل الكهرباء (OETC)، وهي تخضع حاليًا لترقيات لاستيعاب الطلب المتزايد على الطاقة المتجددة. ويدعم المركز الوطني للتحكم في الطاقة (NECC) دمج مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في الشبكة، مما يضمن التوزيع الفوري والاستقرار. ويجري تنفيذ مبادرات الشبكة الذكية وأدوات التنبؤ المتقدمة لإدارة إمدادات الطاقة المتغيرة، وخاصةً من محطات الطاقة الكهروضوئية الكبيرة.

عُمان متصلة بشبكة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي، مما يسمح بتبادل الكهرباء عبر الحدود مع الدول المجاورة، مما يعزز موثوقية الشبكة ويُمكّن التجارة المستقبلية في الكهرباء الخضراء.

على الرغم من أن أنظمة تخزين طاقة البطاريات واسعة النطاق (BESS) لم تُشغّل بعد، إلا أن عُمان تستكشف حلول تخزين لدعم نشر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. ويجري حاليًا مراجعة مشاريع تجريبية لأنظمة الطاقة الشمسية مع التخزين، والتخزين الموسمي القائم على الهيدروجين، لا سيما فيما يتعلق بمراكز الهيدروجين الأخضر في الدقم والوسطى.

تُعد هذه التطورات ضرورية لموازنة الأحمال، وضمان أمن الطاقة، وتحقيق أهداف عُمان في مجال الطاقة المتجددة.

تكامل مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة

تدير شركة نقل الكهرباء العمانية (OETC) نقل الكهرباء في عُمان. لدعم زيادة قدرة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، يتم تحديث الشبكة بـالمراقبة في الوقت الحقيقي والإرسال الآلي وتقنيات الشبكة الذكية. ينسق المركز الوطني لمراقبة الطاقة (NECC) التوليد المتغير من محطات الطاقة الشمسية الكبيرة مثل إبراء الثانية ومشاريع منح القادمة. يتم أيضًا التخطيط لممرات نقل جديدة لنقل الطاقة من تجمعات الطاقة المتجددة في الوسطى وظفار إلى مراكز الأحمال.

التوصيل مع الدول المجاورة

تشارك عُمان في شبكة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي، مما يتيح تبادل الكهرباء مع دول المجلس الأخرى. يعزز هذا الربط مرونة الشبكة وأمن الطاقة، مما يسمح لعُمان بموازنة الإمداد المتقطع للطاقة المتجددة عن طريق استيراد أو تصدير الكهرباء حسب الحاجة. تجري خطط لزيادة سعة الربط لدعم تصدير الهيدروجين الأخضر في المستقبل وتكامل سوق الطاقة الإقليمي.

حلول وتخاريج تخزين الطاقة

على الرغم من عدم وجود أنظمة تخزين بطاريات واسعة النطاق عاملة حاليًا في عُمان، إلا أنها تقيم تقنيات لدعم تكامل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. تدرس الحكومة أنظمة الطاقة الشمسية مع تخزين البطاريات، خاصة في المواقع النائية والمعزولة. بالإضافة إلى ذلك، يتم وضع الهيدروجين الأخضر كناقل لتخزين الطاقة الموسمية، مع مشاريع تجريبية للتحليل الكهربائي في الدقم لتحويل فائض الطاقة المتجددة إلى هيدروجين قابل للتخزين. ستكون هذه الحلول أساسية لمرونة الطاقة وأهداف عُمان للطاقة النظيفة لعام 2030 و2050.

التحديات والعقبات

رغم أن سلطنة عُمان قطعت خطوات كبيرة نحو تطوير الطاقة المتجددة، إلا أن العديد من التحديات الهيكلية والتشغيلية لا تزال تعيق تحقيق كامل إمكاناتها من الطاقة النظيفة.

قيود تكامل الشبكة

تفتقر البنية التحتية الحالية للشبكة، خاصة في المناطق النائية مثل الوسطى وظفار، إلى المرونة والقدرة على دمج مصادر الطاقة المتجددة الكبيرة والمتقطعة. هناك حاجة إلى استثمارات في ترقيات الشبكة، الضوابط الذكية، والوصلات الإقليمية لضمان موثوقية وسريان الطاقة بكفاءة من مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح واسعة النطاق.

محدودية نشر تخزين الطاقة

لا تمتلك عُمان حاليًا أنظمة تخزين طاقة واسعة النطاق عاملة، مما يقيد قدرتها على إدارة ذروة الطلب وتقلبات الإمداد. تخضع أنظمة تخزين البطاريات (BESS)، تخزين الهيدروجين، والأنظمة الهجينة للتقييم ولكنها لا تزال في مرحلة التخطيط. يضعف عدم وجود تخزين قدرة عُمان على توزيع الطاقة المتجددة بشكل مستمر.

فجوات تنظيمية وتأخيرات في التنفيذ

على الرغم من أن عُمان قد أدخلت أطرًا تنافسية للشراء وشراكات القطاع العام والخاص (PPPs)، إلا أن التأخيرات في تخصيص الأراضي والتصاريح وتقييمات الأثر البيئي تبطئ جداول المشاريع. هناك أيضًا حاجة إلى لوائح أوضح لقياس صافي الطاقة، نشر الطاقة الشمسية الصغيرة، وتوليد الطاقة الموزع لفتح سوق الألواح الشمسية التجارية والسكنية.

مشاركة القطاع الخاص والتمويل

يبحث المستثمرون طويلي الأجل عن نماذج إيرادات واضحة، اتفاقيات شراء طاقة (PPAs) مضمونة وأدوات تخفيف المخاطر. في عُمان، يمكن أن تؤدي التأخيرات في إبرام اتفاقيات شراء الطاقة وغياب آليات تعريفة التغذية إلى خلق عدم يقين للمطورين، بخاصةٍ في القطاعات الناشئة مثل الهيدروجين الأخضر وطاقة الرياح البحرية.

قيود سلسلة التوريد المحلية

يتم حاليا استيراد معظم الألواح الشمسية، المحولات، ومكونات توربينات الرياح، مما يحد من سلسلة القيمة المحلية ويزيد من تكاليف الشراء. لتعزيز التنوع الصناعي، يجب على عُمان الاستثمار في قدرات التصنيع المحلية، تدريب القوى العاملة، واتفاقيات نقل التكنولوجيا.

إن معالجة هذه الحواجز أمر ضروري لسلطنة عُمان لتحقيق أهدافها في مجال الطاقة المتجددة لعام 2030 وإنشاء نظام بيئي مرن ومستدام للطاقة.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

تعمل سلطنة عُمان على بناء قاعدة قوية للبحث والابتكار والقدرات الصناعية في مجال الطاقة المتجددة، بما يتماشى مع أهداف التحول إلى الطاقة النظيفة والتنويع الاقتصادي.

البحث والتطوير في تقنيات الطاقة المتجددة

تشارك المؤسسات العمانية بنشاط في البحث التطبيقي حول أداء الألواح الشمسية، رسم خرائط موارد طاقة الرياح، الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، تحليل الهيدروجين الأخضر، وأنظمة تخزين الطاقة. كان مشروع ميرة الشمسي الحراري رائداً في توليد البخار بالطاقة

الشمسية لتعزيز استخراج النفط، مما قلل من استهلاك الغاز الطبيعي. يشمل البحث والتطوير الحالي أيضًا مشاريع تجريبية حول **تحويل النفايات إلى طاقة وتكامل تحلية المياه بالطاقة الشمسية.

الجامعات والمؤسسات البحثية المشاركة

من بين الجهات الفاعلة الرئيسية جامعة السلطان قابوس، جامعة التكنولوجيا والعلوم التطبيقية (UTAS) ، ومركز عُمان للهيدروجين. تتعاون هذه المؤسسات مع وزارة الطاقة والثروة المعدنية وهيدروجين عُمان (HYDROM) لإجراء دراسات الجدوى، بحث تحسين الأنظمة، وتجارب إنتاج الهيدروجين.

التصنيع المحلي وسلسلة التوريد

على الرغم من أن عُمان لا تزال تستورد معظم الألواح الشمسية ومكونات توربينات الرياح، تنتج الشركات المحلية هياكل التركيب، المحولات، الكابلات، ومفاتيح التوزيع. كجزء من استراتيجية الهيدروجين الأخضر، تخطط عُمان لإنشاء تصنيع محلي لـأجهزة التحليل الكهربائي، الألواح الشمسية، ومكونات توربينات الرياح، مما يخلق سلاسل قيمة صناعية جديدة ووظائف.

نقل التقانة والتعاون الدولي

تتعاون عُمان بنشاط مع قادة عالميين من ألمانيا، اليابان، هولندا، والصين لنقل التكنولوجيا، برامج التدريب، والبحث والتطوير المشترك في الهيدروجين، تخزين الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح البحرية. يدعم هذا التعاون هدف عُمان في أن تصبح مركزًا إقليميًا للابتكار في الطاقة المتجددة والوقود الأخضر.

ومن خلال تعزيز قاعدة داعمة للبحث والتطوير والصناعة، تعمل سلطنة عمان على تعزيز مكانتها كقائد إقليمي في مجال الطاقة المتجددة المتكاملة والابتكار في مجال الهيدروجين.

التوصيات

1 - تسريع تحديث الشبكة: الاستثمار في البنية التحتية للشبكة الذكية وأنظمة النقل المرنة لدعم تكامل الطاقة المتجددة المتغيرة.

2 - نشر حلول تخزين الطاقة: تسريع المشاريع التجريبية لتخزين البطاريات وتخزين

الهيدروجين لتعزيز استقرار الشبكة وقابلية توزيع الطاقة المتجددة.

3 - تعزيز البحث والتطوير والابتكار: زيادة التمويل للجامعات ومراكز البحث لتطوير تقنيات الطاقة الشمسية، الرياح، والهيدروجين المخصصة لظروف عُمان.

4 - توطين التصنيع: تشجيع الاستثمار في الإنتاج المحلي للألواح الشمسية، مكونات توربينات الرياح، وأجهزة التحليل الكهربائي لتعزيز سلاسل التوريد.

5 - تحسين الأطر التنظيمية: تبسيط عمليات التصريح وإنشاء سياسات داعمة للتوليد الموزع، قياس صافي الطاقة، ومناقصات منتجي الطاقة المستقلين.

6 - توسيع الشراكات الدولية: الاستفادة من الخبرة العالمية عبر المشاريع المشتركة واتفاقيات نقل التكنولوجيا في تطوير الطاقة النظيفة والهيدروجين.

7 - تعبئة التمويل الأخضر: إنشاء آليات حوافز لجذب استثمارات القطاع الخاص في مشاريع الطاقة المتجددة والهيدروجين واسعة النطاق.

دولة فلسطين

معلومات عامة

تواجه فلسطين (الضفة الغربية وقطاع غزة تحديدًا) تحديات فريدة في مجال الطاقة كإقليم تحت الاحتلال. يبلغ عدد سكانها حوالي 5.3 مليون نسمة ولا تمتلك إنتاجًا محليًا كبيرًا للوقود الأحفوري، مما يجعلها تعتمد بشكل كبير على الطاقة المستوردة. يتم استيراد أكثر من 85% من الكهرباء المستهلكة مع كميات صغيرة إضافية من الأردن ومصر، بينما يتم توليد حوالي 10 إلى 15% فقط محليًا. يعد الوصول إلى الكهرباء شبه عالمي من حيث الاتصال بالشبكة، لكن الإمداد غالبًا ما يكون غير كافٍ. في قطاع غزة، يعني العجز المزمن في الطاقة أن السكان قد يحصلون على 6 إلى 8 ساعات فقط من الكهرباء من الشبكة يوميًا. أدى هذا إلى اعتماد واسع النطاق على المولدات الخاصة وأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية. بشكل عام، يتميز قطاع الطاقة في فلسطين بالاعتماد الكبير على الواردات ومحدودية التوليد المحلي وقيد البنية التحتية المفروض من قبل الاحتلال الإسرائيلي.

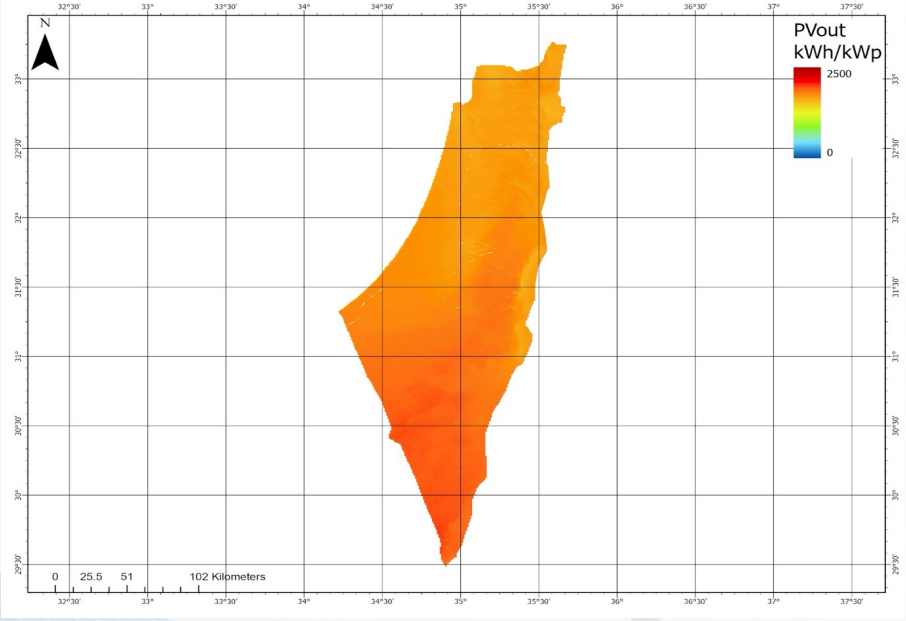
المشهد الطاقي

يتميز مشهد الطاقة الفلسطيني بنمو مرتفع في الطلب ومحدودية البنية التحتية. لدى الضفة الغربية وقطاع غزة شبكات كهرباء منفصلة وغير متصلة، مما يعقد إدارة الطاقة. تعمل شركة نقل الكهرباء الفلسطينية المحدودة (PETL)، التي تأسست في 2013، كمشتري وحيد للكهرباء في المناطق الخاضعة للسلطة الفلسطينية، حيث تشتري الطاقة من شركة الكهرباء الإسرائيلية (IEC) والدول المجاورة وبعض المولدات المحلية. يتم التوزيع من قبل ست شركات توزيع إقليمية (مثل شركة كهرباء محافظة القدس، شركة توزيع كهرباء غزة) وشركات بلدية. يعد التوليد المحلي محدودًا جدًا - حيث يمتلك قطاع غزة محطة طاقة تعمل بالديزل (بقدرة حوالي 60 - 75 ميغاوات)، وهناك تركيب متزايد للأنظمة الكهروضوئية الشمسية. يؤدي نقص السعة وتعطل إمدادات الوقود (خاصة في غزة) إلى انقطاعات متكررة للتيار الكهربائي. يظل المورد الهيدروكربوني المحلي الوحيد، حقل غزة البحري للغاز، غير مطور. نتيجة لذلك، يجب على فلسطين استيراد جميع أنواع الوقود تقريبًا (الديزل والبنزين والغاز المسال) والكهرباء لتلبية احتياجاتها، مما يجعلها عرضة للضوابط الخارجية وتقلبات الأسعار.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

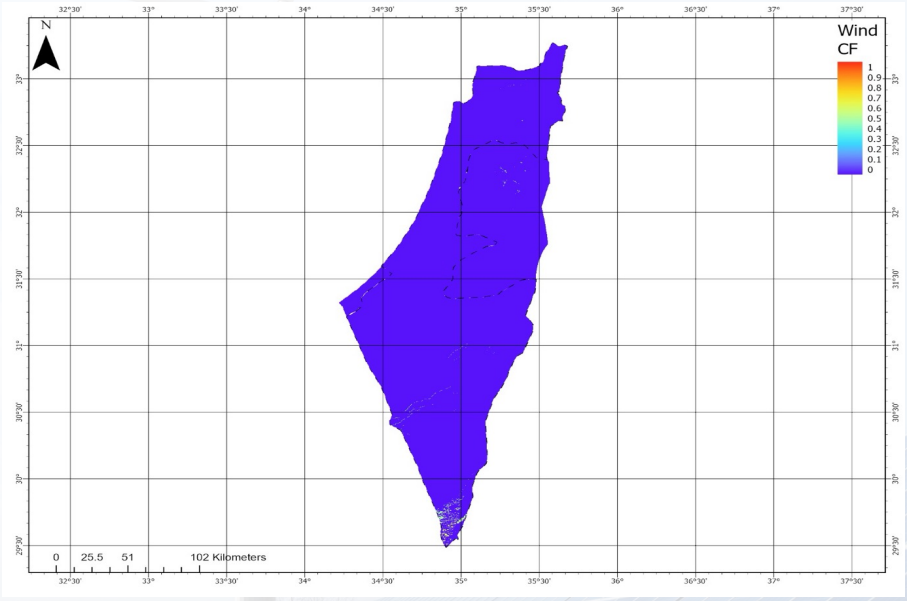
تتمتع فلسطين بأشعة شمس وفيرة على مدار العام، بمتوسط إشعاع شمسي يبلغ حوالي 5.4 كيلوواط ساعة/م^2 يوميًا (المتوسط السنوي). هناك أكثر من 3000 ساعة من أشعة الشمس سنويًا، مما يجعلها مماثلة لأفضل المناطق في الشرق الأوسط. الإمكانات التقنية للطاقة الشمسية كبيرة: يمكن أن تصل الطاقة الشمسية واسعة النطاق (PV/CSP) إلى حوالي 3,477 ميغاواط في الضفة الغربية وسعة إضافية على أسطح المنازل تبلغ حوالي 534 ميغاواط في الضفة الغربية بالإضافة إلى 163 ميغاواط في غزة. تقع معظم الأراضي المفتوحة الكبيرة ذات الإمكانات الشمسية الأعلى في المنطقة ج (تحت سيطرة الاحتلال)، مما يحد من وصول الفلسطينيين لتطوير محطات طاقة شمسية كبيرة. على الرغم من هذه القيود، فإن مستويات الإشعاع الشمسي (4.6 إلى 5.2 كيلوواط ساعة/كيلوواط يوميًا) ممتازة في كل من غزة والضفة الغربية، مما يجعل الطاقة الشمسية خيارًا قابلًا للتطبيق بشدة لتوليد الطاقة وتسخين المياه والتطبيقات خارج الشبكة.



الشكل 30: خريطة الموارد الشمسية في فلسطين (المصدر: GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

إمكانات طاقة الرياح في فلسطين متواضعة بسبب سرعات الرياح المعتدلة. وتفتقر فلسطين إلى قياسات رياح شاملة (تم تدمير بعض المحطات الجوية في النزاعات)، لكن التقديرات النظرية تشير إلى أن قمم التلال في الضفة الغربية (مناطق حول الخليل والقدس ورام الله ونابلس – غالبًا في جبال المنطقة ج) لديها متوسط سرعات رياح تبلغ حوالي 4 - 8 م/ث. هذه السرعات هامشية لمزارع الرياح الكبيرة (مورد معتدل). قد تحقق بعض المرتفعات كثافات طاقة رياح تبلغ 300 - 600 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا، لكن أفضل المواقع تقع في المنطقة ج قليلة السكان، حيث تفتقد السلطات الفلسطينية حاليًا حقوق التطوير – عائق رئيس أمام مشاريع مزارع الرياح. من الجدير بالذكر أن شركة محلية – Brothers Engineering Group – تصنع توربينات رياح صغيرة (200 واط إلى 2 كيلوواط) بالتعاون مع شركة إسرائيلية، حيث توفر وحدات تصل إلى 50 كيلوواط للمزارع والمنازل. مثل هذه التوربينات الصغيرة وبعض المشاريع التجريبية هي المساهمات الأساسية لطاقة الرياح حتى الآن. أحدث اختراق هو تركيب توربينين رياح (1.7 ميغاواط إجمالاً) في طوباس، شمال الضفة الغربية – أول مشروع رياح واسع النطاق في فلسطين. سيقوم هذا المشروع الممول من الاتحاد الأوروبي/الوكالة الفرنسية للتنمية بإقران حوالي 2 ميغاواط من الطاقة الشمسية مع 1.7 ميغاواط من طاقة الرياح لتشغيل مرافق المياه المحلية، مما يظهر طاقة الرياح على نطاق صغير لأول مرة.



الشكل 31: خريطة موارد الرياح في فلسطين.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

تعترف السلطة الفلسطينية بأهمية الطاقة المتجددة لأمن الطاقة وقد سنت سياسات داعمة خلال العقد الماضي. وتم إقرار قانون الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في 2015، والذي وفر الإطار القانوني لتعزيز الطاقة النظيفة. حدد هذا القانون أدوار المؤسسات، وقدم حوافز مثل تعريفة التغذية والقياس الصافي وإعفاءات ضريبية لتشجيع الاستثمار الخاص. في وقت سابق، في 2012، أصدرت سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية (PENRA) استراتيجية للطاقة المتجددة تهدف إلى تحقيق 130 ميغاواط من القدرة المتجددة بحلول 2020. بينما لم يتم تحقيق هذا الهدف بالكامل، فقد أطلقت برامج مثل المبادرة الفلسطينية للطاقة الشمسية (PSI)، التي دعمت آلاف أنظمة الطاقة الشمسية الصغيرة على الأسطح بأسعار تغذية وقروض ميسرة. في 2021، قامت PENRA بتحديث استراتيجيتها بخارطة طريق للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة حتى 2030، حيث تهدف إلى تحقيق حوالي 500 ميغاواط من الطاقة المتجددة بحلول 2030. تتوقع هذه الرؤية أن تشكل الطاقة الشمسية حوالي 80%، وطاقة الرياح 10%، والكتلة الحيوية/الغاز الحيوي 10% من مزيج الطاقة المتجددة. بالإضافة إلى ذلك، تشمل المساهمة المحددة وطنيًا (NDC) لفلسطين بموجب اتفاقية باريس توسيع نطاق الطاقة المتجددة كإجراء للأمن المناخي والطاقة (بدعم دولي). تم التعبير عن الأهداف أيضًا من حيث تقليل الواردات - على سبيل المثال، هدف تقليل واردات الكهرباء بنسبة 50% بحلول 2030 من خلال التوليد المحلي للطاقة المتجددة. لتنفيذ هذه الأهداف، قدمت السلطات القياس الصافي للأنظمة الأقل من 1 ميغاواط، والمناقصات التنافسية للمشاريع واسعة النطاق (أكثر من 1 ميغاواط)، وصندوق الطاقة المتجددة الذي يساعد في تمويل المشاريع. تكمل البرامج الممولة من المانحين (الاتحاد الأوروبي والبنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي) السياسة الوطنية من خلال تقديم منح ومساعدة فنية لمشاريع الطاقة المتجددة. على الرغم من الخطط الطموحة، فإن تحقيق الأهداف يمثل تحديًا بسبب القيود السياسية واللوجستية (الوصول إلى الأراضي ورأس المال وسيطرة الشبكة) كما هو موضح أدناه.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

- سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية (PENRA).
- المجلس الفلسطيني لتنظيم الكهرباء (PERC).
- شركة نقل الكهرباء الفلسطينية المحدودة (PETL).
- شركات التوزيع (DISCOs).

- صندوق الاستثمار الفلسطيني (PIF) / مسادر.
- وزارة المالية والتخطيط.
- المانحون الدوليون والمنظمات غير الحكومية (البنك الدولي والاتحاد الأوروبي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي والوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، إلخ.)

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

يتزايد نشر الطاقة المتجددة في فلسطين بشكل مطرد من قاعدة منخفضة. تعد الطاقة الكهروضوئية الشمسية التقنية المتجددة المهيمنة، نظرًا للمناخ المواتي. اعتبارًا من 2021، كان لدى فلسطين حوالي 119 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية المركبة (عاملة) في الضفة الغربية وقطاع غزة، مع حوالي 84 ميغاواط إضافية تحت العقد أو قيد الإنشاء. ولقد شمل هذا آلاف الأنظمة الصغيرة على الأسطح وبعض المصفوفات الأكبر. بحلول 2023، يقدر أن السعة الشمسية قد تجاوزت 150 ميغاواط، متجهة نحو الأهداف الحكومية. اعتبارًا من منتصف العشرينيات، تساهم الطاقة الشمسية بحوالي 3 إلى 5% من إمدادات الكهرباء في فلسطين، ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة مع تشغيل مشاريع جديدة. تهدف القدرة المتجددة المركبة مجتمعة إلى الوصول إلى 200 ميغاواط في السنوات القليلة المقبلة. لا تعوض هذه المشاريع الواردات فحسب، بل تخلق أيضًا وظائف محلية ومرونة.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

بنية شبكة الكهرباء الفلسطينية غير متطورة ومجزأة بسبب القيود الجيوسياسية. لا توجد شبكة نقل وطنية تربط الضفة الغربية وقطاع غزة، ولا حتى شبكة جهد عالي متصلة داخل الضفة الغربية، بدلاً من ذلك، يتم تغذية كل منطقة شركة توزيع في الغالب من خلال اتصالات شعاعية من مقدمي الخدمة الخارجيين. يعني سيطرة الاحتلال على المنطقة ج أن الفلسطينيين لا يمكنهم بناء خطوط جهد عالي جديدة أو محطات فرعية دون إذن. لتحسين الوضع، سمحت الاتفاقيات في السنوات الأخيرة ببناء أربع محطات فرعية بجهد 161 كيلو فولط في الضفة الغربية. تتيح هذه المحطات الفرعية (قرب جنين ونابلس ورام الله والخليل) لشركة PETL أخذ الطاقة السائبة وتوزيعها محليًا، مما يزيد من السيطرة الفلسطينية على الإرسال ويقلل قليلاً من الاعتماد على مغذيات IEC المباشرة.

نظرًا لعدم مرونة الشبكة وعدم وجود توليد احتياطي، يمكن أن يساعد تخزين البطاريات في دمج الطاقة الشمسية وتوفير النسخ الاحتياطي أثناء انقطاع التيار. تم ترخيص مزرعة شمسية

بارزة بقدرة 5.3 ميغاواط مع تخزين بطارية 12.2 ميغاواط ساعة في طوباس في 2024، وهو أول مشروع للطاقة الشمسية مع التخزين. تسمح البطارية المدمجة بتوفير الطاقة بعد غروب الشمس وتعزز استقرار الشبكة، مما يجعلها نموذجًا للمشاريع المستقبلية.

في غزة، الشبكة صغيرة ومعزولة، حيث يقوم عدد قليل من خطوط 22 كيلو فولط باستيراد الطاقة، إلى جانب محطة الطاقة المحلية في غزة. تعاني شبكة غزة المتضررة من الحرب من خسائر عالية وإغلاقات متكررة، وقد تدهور الوضع الحالي إلى أسوأ من أي وقت مضى. مع مستوى الدمار الحالي، ستكون جهود الاستعادة بمثابة إعادة بناء من الصفر. يعد تخزين الطاقة أمرًا بالغ الأهمية لفلسطين.

التحديات والعقبات

- القيود السياسية والإقليمية.
- سعة الشبكة وموثوقيتها.
- الوصول إلى الطاقة والقيود المالية.
- الحواجز الإدارية والسوقية.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

على الرغم من التحديات، غذت فلسطين روح الابتكار في مجال الطاقة المتجددة بدافع الضرورة. تشارك مؤسسات البحث والجامعات مثل جامعة النجاح الوطنية وجامعة بيرزيت ومركز أبحاث الطاقة في النجاح، في دراسات حول تحسين الطاقة الشمسية وتخزين الطاقة ودمج الطاقة المتجددة في الشبكات الضعيفة. دعمت حاضنات الأعمال، التي تمولها غالبًا برامج الاتحاد الأوروبي أو الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية، الشركات الناشئة في تركيب الطاقة الشمسية وإدارة الطاقة الفعالة المخصصة للاحتياجات المحلية.

أطلق صندوق الاستثمار الفلسطيني التابع لشركة مسادر مشروعًا لإنشاء مصنع تجميع وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الضفة الغربية، بسعة إنتاج سنوية تبلغ 20 ميغاواط. يهدف هذا المصنع، الذي تم طرح مناقصته في 2021، إلى تجميع الألواح محليًا، مما يقلل من الاعتماد على الاستيراد ويبني القدرة التقنية. بينما لا تصنع فلسطين خلايا شمسية أو توربينات رياح على نطاق واسع، إلا أنها تنتج مكونات نظام التوازن وتصنع العديد من الورش الصغيرة هياكل تركيب الألواح الشمسية. كانت صناعة سخانات المياه بالطاقة الشمسية في

الضفة الغربية نشطة لعقود، حيث تصنع مجمعات مسطحة قوية ساهمت في اعتماد أكثر من 50 % من الأسر لأنظمة الطاقة الحرارية الشمسية.

أظهر الفلسطينيون أيضًا ابتكارًا في حلول الطاقة خارج الشبكة، بخاصةٍ في غزة. مع انقطاع التيار المتكرر، قام الفنيون ورواد الأعمال المحليون بالجمع بين الألواح الشمسية على الأسطح وتخزين البطاريات لإنشاء أنظمة طاقة صغيرة على مستوى المنزل. بحلول 2019، كان في غزة ما يقرب من 9000 من هذه التركيبات، وبحلول 2022 أكثر من 12000 نظام توفر طاقة حيوية للأسر والشركات، وهذا يجعل غزة واحدة من أعلى الكثافات لأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية عالميًا. أظهرت المشاريع التي ساعدتها وكالات الأمم المتحدة والمنظمات غير الحكومية تطبيقات متجددة مثل وحدات تحلية المياه بالطاقة الشمسية والضخ الشمسي للري ومخمرات الغاز الحيوي للمزارع.

التوصيات

- تعظيم الطاقة الشمسية الموزعة.
- تمكين الوصول إلى الأراضي والبنية التحتية.
- تعزيز السياسات والتمويل.
- بناء القدرات المحلية.
- التكامل الإقليمي وتبادل الطاقة.

دولة قطر

معلومات عامة

تقع دولة قطر على شبه جزيرة في الخليج العربي، تحدها المملكة العربية السعودية من الجنوب وتحيط بها مياه الخليج العربي. تبلغ مساحتها 11,571 كم^2 وتتمتع بمناخ صحراوي حار مع صيف طويل وحارق (يتجاوز 45°م) وشتاء معتدل. تمتلك قطر أحد أعلى معدلات الناتج المحلي الإجمالي للفرد على مستوى العالم، مدفوعة باحتياطياتها الهائلة من النفط والغاز. يهيمن على الطلب على الطاقة تكييف الهواء (70 % من ذروة الحمل) وتحلية المياه والأنشطة الصناعية. يعد استهلاك الفرد للكهرباء في قطر من بين الأعلى عالميًا، مما يستلزم التحول نحو حلول الطاقة المستدامة.

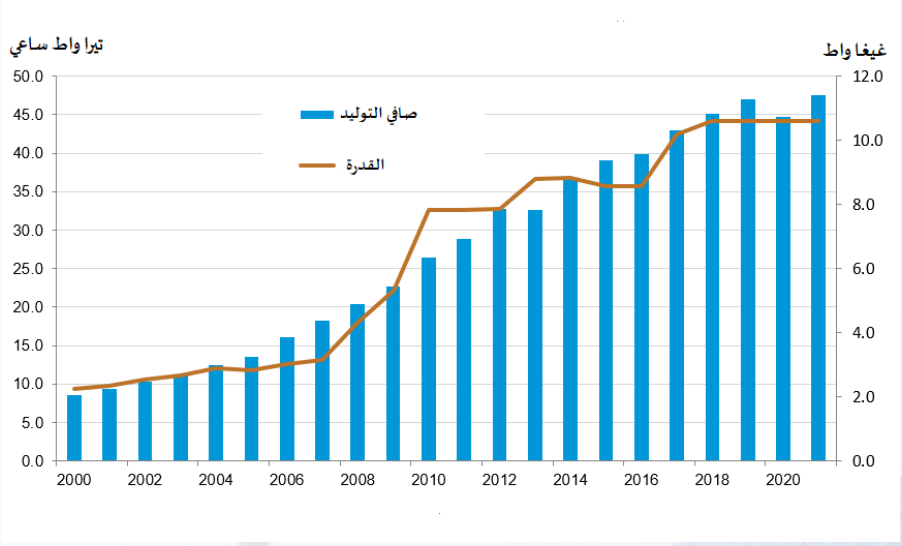
تعد قطر رائدة عالميًا في إنتاج الغاز الطبيعي وتعمل بنشاط على تنويع قطاع الطاقة لديها من خلال دمج الطاقة المتجددة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية، لتعزيز الاستدامة وتقليل الانبعاثات الكربونية. مع واحدة من أعلى مستويات الإشعاع الشمسي عالميًا (~2,100 كيلوواط ساعة/م^2/سنويًا)، أولت قطر أولوية للطاقة الشمسية كعنصر رئيس في تحولها لهذه الطاقة. يعد مشروع محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط علامة فارقة نحو تحقيق هدفها لعام 2030 المتمثل في 20 % من الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء. على الرغم من التحديات مثل تراكم الغبار والحرارة الشديدة والاعتماد على دعم الوقود الأحفوري، تتقدم قطر في أجندة الطاقة المتجددة من خلال سياسات استراتيجية مثل رؤية قطر الوطنية 2030 واستراتيجية الاستدامة لقطر للطاقة. تشمل المبادرات المستقبلية التوسع في الطاقة الشمسية واسعة النطاق ومشاريع الهيدروجين الأخضر وتكامل الشبكة الذكية، مما يضع قطر كقائدة ناشئة في مجال الطاقة المتجددة في منطقة الخليج.

المشهد الطاقي

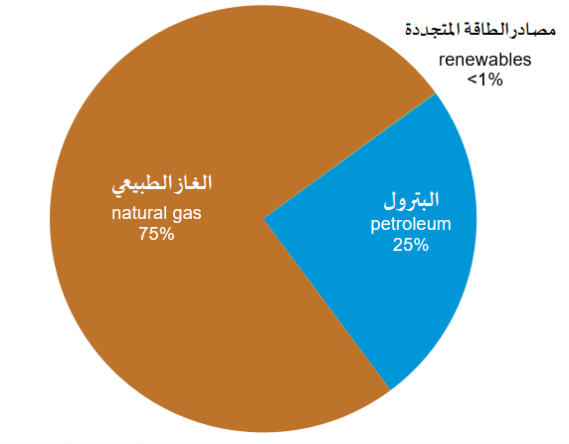
لا يزال قطاع الطاقة في قطر يهيمن عليه الغاز الطبيعي، الذي يغذي تقريبًا كامل توليد الكهرباء ويدعم مكانتها كرائدة في تصدير الغاز الطبيعي المسال. يتميز نظام الطاقة في قطر بالاعتماد الكبير على الغاز الطبيعي، مع سعة توليد كهرباء مركبة تتراوح بين 12 - 14 غيغاواط، تقريبًا كلها من محطات تعمل بالغاز. يعد الطلب على الكهرباء من بين الأعلى للفرد عالميًا (~16,000 كيلوواط ساعة/فرد/سنويًا)، مدفوعًا باحتياجات التبريد الشديدة والصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة والتعريفات المدعومة، حيث تصل ذروة الطلب إلى 10 -

11 غيغاواط. ومع ذلك، تعمل الدولة على تنويع مزيج الطاقة لديها لدمج مصادر متجددة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية، تماشيًا مع رؤية قطر الوطنية 2030 والالتزامات المناخية. يعد مشروع محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط أول مشروع للطاقة المتجددة واسع النطاق في البلاد، مما يمثل بداية تحول الطاقة المتجددة، على الرغم من أن مصادر الطاقة المتجددة تساهم حاليًا بنسبة 1 % فقط من إجمالي التوليد. بينما تهدف قطر إلى توليد 20 % من كهربائها من مصادر متجددة بحلول 2030، يجب معالجة تحديات مثل دعم الغاز وتحديث الشبكة وفقدان كفاءة الطاقة الشمسية بسبب الغبار. تؤكد المبادرات الاستراتيجية، بما في ذلك التوسع في الطاقة الشمسية واسعة النطاق وتجارب الهيدروجين الأخضر، التزام قطر بموازنة اقتصادها القائم على الغاز الطبيعي المسال مع تحول الطاقة المستدام. مع أهداف تحقيق 20 % من الطاقة المتجددة بحلول 2030 والاستثمارات في الهيدروجين الأخضر، توازن قطر بين اقتصاد الوقود الأحفوري وتحول الطاقة المستدام.

يوضح الشكل 32 توليد الطاقة الكهربائية من قبل وزارة الكهرباء والماء والطاقة المتجددة. ويوضح الشكل 33، الذي أعدته وحدة أبحاث الطاقة، مزيج توليد الكهرباء في قطر.



الشكل 32: صافي الطاقة في قطر وسعة التوليد.

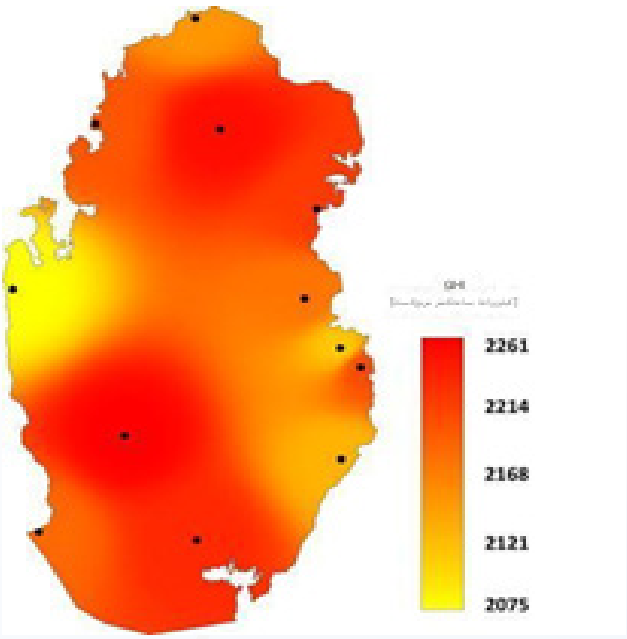


الشكل 33: إجمالي استهلاك الطاقة الأولية في قطر، 2021.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

تمتلك قطر إمكانات استثنائية لتطوير الطاقة الشمسية، حيث يتجاوز متوسط الإشعاع الشمسي 2,100 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا - من بين الأعلى عالميًا. تضع هذه الميزة الطبيعية الطاقة الكهروضوئية الشمسية كحجر الزاوية في تحول الطاقة المتجددة في قطر، مكملة بفرص ناشئة في إنتاج الهيدروجين الأخضر. حققت الدولة خطوات أولية مع محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط وحددت أهدافًا طموحة لتوليد 20% من كهربائها من مصادر متجددة بحلول 2030. ومع ذلك، تواجه تحقيق هذه الإمكانات تحديات كبيرة تشمل الظروف البيئية القاسية (درجات الحرارة العالية وتراكم الغبار الذي يمكن أن يقلل كفاءة الخلايا الكهروضوئية بنسبة 15-20%)، الاعتماد الكبير على الغاز الطبيعي المدعوم، والحاجة إلى تحديث الشبكة لاستيعاب التوليد المتجدد المتغير. تظهر التطورات السياسية الحديثة في إطار رؤية قطر الوطنية 2030 والاستثمارات الاستراتيجية في البحث من خلال مؤسسات مثل معهد قطر لبحوث البيئة والطاقة (QEERI) التزامًا متزايدًا بتجاوز هذه الحواجز. يشير تقارب موارد قطر الشمسية من الطراز العالمي والقدرة المالية الكبيرة والتركيز المتزايد على الاستدامة إلى آفاق قوية لنمو الطاقة المتجددة، بخاصةٍ في مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق المدمجة مع تخزين الطاقة وتطبيقات الهيدروجين الأخضر.



الشكل 34: خريطة شمسية لقطر

إمكانات طاقة الرياح

تبقى إمكانات طاقة الرياح في قطر متواضعة ولكنها ذات صلة استراتيجية لتنويع مزيج الطاقة المتجددة لديها. بمتوسط سرعات رياح تتراوح بين 3 - 5 م/ث على ارتفاع 10 أمتار (تزداد إلى 4 - 6 م/ث على ارتفاعات مركز التوربينات)، تكون موارد الرياح في البلاد أكثر قابلية للتطبيق في المناطق الساحلية الشمالية والمناطق الصحراوية المفتوحة. بينما لا تكفي لمزارع الرياح واسعة النطاق، قد تدعم هذه الظروف أنظمة الرياح-الشمس الهجينة والتطبيقات الموزعة. تشير التقييمات الحديثة إلى أن مواقع محددة يمكن أن تحقق عوامل سعة تتراوح بين 15 - 25 %، مما يجعل طاقة الرياح قابلة للتطبيق عند دمجها مع موارد قطر الشمسية من الطراز العالمي وحلول تخزين الطاقة. تشمل التحديات الرئيسة انخفاض كثافة الطاقة، الاضطرابات العالية من الهياكل الحضرية، والمنافسة مع الطاقة الغازية المدعومة. ومع ذلك، يمكن للنشر المستهدف في المناطق المثلى، بخاصةٍ لتشغيل المنشآت الصناعية أو محطات التحلية، أن يكمل استراتيجية قطر المتجددة المهيمنة بالطاقة الشمسية ويساهم في هدفها المتمثل في 20 % من الطاقة المتجددة بحلول 2030.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

أنشأت قطر إطارًا سياسيًا شاملاً لتعزيز اعتماد الطاقة المتجددة، ترتكز على رؤيتها الوطنية 2030 واستراتيجية قطاع الطاقة في قطر. تهدف الدولة إلى توليد 20 % من كهربائها من مصادر متجددة بحلول 2030، مع التركيز على الطاقة الشمسية. تشمل السياسات الرئيسية:

- الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة (2021): تركز على الطاقة الشمسية واسعة النطاق (مثل محطة الخرسعة بقدرة 800 ميغاواط) والتوليد الموزع.

- برنامج سراج للطاقة: يستهدف 5غيغاواط من السعة الشمسية بحلول 2025، بما في ذلك أنظمة الأسطح والتطبيقات الصناعية.

- مبادرات الهيدروجين والأمونيا الأخضر: مشاريع تجريبية مرتبطة بالطاقة الشمسية، مدعومة باستثمارات تزيد على مليار دولار.

- إصلاحات تنظيمية: تديرها كهرماء (شركة الكهرباء والماء القطرية)، بما في ذلك:

- برنامج ترشيد للكفاءة (هدف خفض الطلب 20 % بحلول 2030).
- سياسات القياس الصافي للطاقة الشمسية على الأسطح (أطلقت 2023).

التوجهات المستقبلية

- هدف 2025: 5 غيغاواط سعة شمسية (واسعة النطاق + موزعة).

- رؤية 2030: 20 % حصة متجددة، مع توسع محتمل في تصدير الهيدروجين الأخضر.

- التنسيق المؤسسي: تعزيز أدوار قطر للطاقة، MEERI، وكهرماء لتنفيذ السياسات.

أهداف الطاقة المتجددة

حددت قطر أهدافًا طموحة للطاقة المتجددة لتنويع مزيج الطاقة المهيمن عليه بالغاز ودعم العمل المناخي. جوهر هذه الاستراتيجية هو هدف توليد 20 % من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول 2030، مع التركيز الأساس على الطاقة الشمسية. حققت الدولة تقدمًا كبيرًا مع محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط - أول مشروع شمسي كبير النطاق في المنطقة - وتخطط لتوسيع السعة إلى 5 غيغاواط بحلول 2025 في إطار برنامج سراج للطاقة. تتماشى هذه الجهود مع ركيزة الاستدامة في رؤية قطر الوطنية 2030 وخارطة طريق إزالة الكربون في استراتيجية قطاع الطاقة في قطر.

تشمل محركات السياسة الرئيسة تعريفة التغذية للطاقة الشمسية وأنظمة القياس الصافي

واستثمارات تزيد عن مليار دولار في الهيدروجين الأخضر كناقل طاقة نظيف مكمل. ومع ذلك، لا تزال التحديات قائمة، بما في ذلك دعم الوقود الأحفوري المرتفع واحتياجات تكامل الشبكة وفقدان الكفاءة المرتبط بالغبار في الظروف الصحراوية. مع مواردها الشمسية من الطراز العالمي وقدرتها المالية القوية، تتمتع قطر بوضع جيد لتحقيق أهدافها من خلال عمليات النشر واسعة النطاق المستمرة والتطبيقات الصناعية للطاقة الشمسية والتقنيات الناشئة مثل الألواح العائمة وتخزين الطاقة. سيحدد نجاح هذه المبادرات قدرة قطر على موازنة اقتصاد الغاز الطبيعي المسال مع تحول الطاقة المستدام مع الحفاظ على قيادتها العالمية في مجال الطاقة.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

يتم حكم تحول الطاقة المتجددة في قطر من قبل شبكة من المؤسسات المتخصصة التي تعمل بالتنسيق تحت إطار سياسة الطاقة الوطنية. تعمل وزارة الطاقة (ME) كصانع السياسات الأساس، بينما تعمل شركة الكهرباء والماء القطرية (كهرماء) كجهة تنفيذ لمشاريع الطاقة المتجددة من خلال برنامجها ترشيد للحفاظ على الطاقة ومبادرات الطاقة المتجددة. تقود شركة قطر للطاقة عمليات نشر الطاقة الشمسية واسعة النطاق، بما في ذلك محطة الخرسعة البالغة 800 ميغاواط، بينما تقود مؤسسة قطر ومعهد قطر لبحوث البيئة والطاقة (QEERI) التابعة لها الابتكار التقاني والبحث والتطوير للحلول المتكيفة مع الصحراء.

يواجه هذا النظام البيئي تحديات التنسيق بين الوكالات ومتطلبات إصلاح الدعم وأطر تنظيمية متطورة للتقنيات الناشئة مثل الهيدروجين الأخضر. تشمل التطورات الحديثة نظام القياس الصافي لكهرماء للطاقة الشمسية الموزعة وإنشاء جمعية قطر للطاقة الشمسية لتعزيز مشاركة القطاع الخاص. مع تقدم قطر نحو هدفها المتمثل في 20 % من الطاقة المتجددة بحلول 2030، تركز هذه المؤسسات بشكل متزايد على تحديث الشبكة وتكامل التخزين ونماذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص لتسريع تحول الطاقة مع الحفاظ على موثوقية النظام في الظروف المناخية القاسية.

مشاريع الطاقة المتجددة والسعة المركبة

قطر، الرائدة عالميًا في تصدير الغاز الطبيعي المسال، ركزت بشكل متزايد على تنويع مزيج الطاقة لديها من خلال الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة. تعمل قطر بنشاط على توسيع قطاع الطاقة المتجددة لديها كجزء من التزامها بالاستدامة بموجب رؤية قطر الوطنية 2030

وخطة العمل الوطنية للتغير المناخي. يتماشى هذا التحول مع رؤية قطر الوطنية 2030 التي تؤكد على التنمية المستدامة وتقليل الانبعاثات الكربونية. في السنوات الأخيرة، حققت قطر تقدمًا كبيرًا في مجال الطاقة الشمسية، خاصة مع اكتمال محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط، واحدة من أكبر المحطات في المنطقة. تهدف الدولة إلى الوصول إلى 5 غيغاوات من السعة الشمسية بحلول 2035، مما يعزز بشكل كبير حصتها من الطاقة المتجددة. بالإضافة إلى ذلك، تستكشف قطر مشاريع طاقة الرياح وتحويل النفايات إلى طاقة لتعزيز محفظة الطاقة النظيفة لديها. على الرغم من مواردها الهيدروكربونية الوفيرة، يوضح التزام قطر بالطاقة المتجددة نهجها الاستباقي في تحول الطاقة والتخفيف من تغير المناخ. تقدم هذه الورقة نظرة عامة على مبادرات الطاقة المتجددة في قطر والسعة المركبة والآفاق المستقبلية في القطاع. تشمل المبادرات الرئيسة القادمة التوسع في الطاقة الشمسية مع محطات كهروضوئية كبيرة إضافية ومشاريع محتملة لطاقة الرياح البحرية والاستثمارات في إنتاج الهيدروجين الأخضر. تخطط قطر أيضًا لدمج تقنيات الشبكة الذكية وحلول تخزين الطاقة لتعزيز الكفاءة. تتماشى هذه الجهود مع هدف الدولة المتمثل في تحقيق 20 % من الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء بحلول 2030. من خلال الاستفادة من إشعاعها الشمسي العالي والاستثمار في تقنيات الطاقة النظيفة المبتكرة، تضع قطر نفسها كقائدة إقليمية في تحول الطاقة المستدام مع الحفاظ على هيمنتها في سوق الغاز الطبيعي المسال العالمي.

بنية الشبكة وتخزين الطاقة

مع تسريع قطر لتحول الطاقة المتجددة لديها، أصبح تحديث بنية الشبكة ونشر أنظمة تخزين الطاقة المتقدمة من الأولويات الحرجة. يتم ترقية شبكة الكهرباء في البلاد، التي تعتمد تقليديًا على الغاز الطبيعي، لدمج حصص أعلى من الطاقة المتجددة المتغيرة، بخاصةٍ الطاقة الشمسية من مشاريع مثل محطة الخرسعة للطاقة الشمسية بقدرة 800 ميغاواط. يتم تنفيذ تقنيات الشبكة الذكية، بما في ذلك المراقبة الرقمية وأنظمة الاستجابة للطلب، لتعزيز استقرار الشبكة وكفاءتها. بالإضافة إلى ذلك، تستثمر قطر في تخزين البطاريات واسعة النطاق وتستكشف حلول التخزين بالضخ والهيدروجين لإدارة التقطع وضمان أمن الطاقة. تتماشى هذه الجهود مع رؤية قطر الوطنية 2030 وتدعم هدف الدولة المتمثل في تحقيق 20 % من الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة لديها بحلول 2030. من خلال تعزيز بنية شبكتها واعتماد تقنيات التخزين المتطورة، تهدف قطر إلى بناء نظام طاقة مرن ومستدام مع الحفاظ على مكانتها كقائدة عالمية في مجال الطاقة.

التحديات والعقبات

على الرغم من التزام قطر القوي بالطاقة المتجددة بموجب رؤيتها الوطنية 2030 وأهداف العمل المناخي، فإن عدة تحديات تعيق النشر السريع والقابلية للتوسع لمشاريع الطاقة النظيفة. تنبع هذه العوائق كلٌ من عوامل اقتصادية وتقنية وبيئية وتنظيمية، والتي يجب معالجتها لتسريع تحول الطاقة في البلاد.

الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري

يتمتع اقتصاد قطر بجذور عميقة في النفط والغاز، الذي يوفر طاقة وفيرة ومنخفضة التكلفة وإيرادات حكومية كبيرة، وهذا يخلق عبئًا تنافسيًا للطاقة المتجددة، حيث يقلل الوقود الأحفوري المدعوم من الحافز المالي الفوري للاستثمارات واسعة النطاق في الطاقة المتجددة.

التكاليف الأولية العالية وتحديات التمويل

بينما انخفضت تكاليف الطاقة الشمسية عالميًا، تظل النفقات الرأسمالية المقدمة للمشاريع المتجددة واسعة النطاق مرتفعة. تبطئ مشاركة القطاع الخاص المحدودة والاعتماد على التمويل الحكومي من نشر المشاريع. بالإضافة إلى ذلك، يشكل تأمين التمويل للتقنيات غير المجربة (مثل الهيدروجين الأخضر) مخاطر للمستثمرين.

الظروف البيئية القاسية

تؤثر الحرارة الشديدة والعواصف الترابية والرطوبة في قطر سلبًا على كفاءة وعمر الألواح الشمسية وتوربينات الرياح. يقلل تراكم الغبار من أداء الخلايا الكهروضوئية، مما يتطلب تنظيفًا وصيانة متكررة، مما يزيد من التكاليف التشغيلية.

تكامل الشبكة ومشاكل الاستقرار

تتحدى الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح بنية الشبكة الحالية في قطر، المصممة لتوليد الطاقة الثابتة القائمة على الغاز. بدون تخزين طاقة كافٍ (بطاريات، تخزين الهيدروجين) وترقيات الشبكة الذكية، يمكن أن يؤدي الاختراق العالي للطاقة المتجددة إلى عدم الاستقرار وانقطاعات الإمداد.

توافر الأراضي والاستخدامات المتنافسة

تخلق المساحة المحدودة للأراضي في قطر منافسة بين مشاريع الطاقة المتجددة والتطور

الحضري والمناطق الصناعية. تتطلب مزارع الطاقة الشمسية واسعة النطاق مساحة كبيرة، مما قد يتعارض مع أولويات اقتصادية أو بيئية أخرى.

فجوات السياسات واللوائح

على الرغم من أن قطر حددت أهدافًا للطاقة المتجددة، فإن عدم وجود لوائح مفصلة، حوافز (مثل تعريفة التغذية) وخارطة طريق واضحة لمشاركة القطاع الخاص يبطئ التقدم. هناك حاجة إلى إطار تنظيمي أكثر تنظيماً لجذب الاستثمار الأجنبي وضمان إمكانية تمويل المشاريع.

فجوات القوى العاملة الماهرة والتقانة

يتطلب قطاع الطاقة المتجددة خبرة متخصصة في الهندسة وإدارة المشاريع والصيانة. تتمتع القوى العاملة الحالية في قطر بخبرة أكبر في مجال النفط والغاز، مما يتطلب برامج إعادة تدريب ونقل معرفة لدعم تحول الطاقة الخضراء.

على الرغم من التقدم الملحوظ في الطاقة المتجددة، فإن التغلب على هذه التحديات سيتطلب إصلاحات سياسية وابتكار تقاني وشراكات بين القطاعين العام والخاص واستثمارات في تحديث الشبكة وحلول التخزين. ستكون معالجة هذه العوائق حاسمة لتحقيق قطر لهدفها المتمثل في 20 % من الطاقة المتجددة بحلول 2030 وضمان استدامة الطاقة على المدى الطويل.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

تتقدم قطر استراتيجيًا في قطاع الطاقة المتجددة لديها، وذلك من خلال مبادرات بحثية مستهدفة وابتكار تقاني وتطوير قدرات التصنيع المحلي. كجزء من رؤية قطر الوطنية 2030، تستثمر الدولة في مبادرات بحثية متطورة، مثل تحسين الطاقة الشمسية وحلول تخزين الطاقة وإنتاج الهيدروجين الأخضر، وذلك بهدف تنويع مزيج الطاقة لديها وتقليل الانبعاثات الكربونية. تعزز مراكز الابتكار مثل واحة العلوم والتقانة في قطر (QSTP) والتعاون مع المؤسسات العالمية الاختراقات في تقنيات الطاقة المتجددة المخصصة للظروف المناخية القاسية في قطر.

لتعزيز أمن الطاقة والمرونة الاقتصادية، تعطي قطر الأولوية للتصنيع المحلي لمكونات الطاقة المتجددة، بما في ذلك الألواح الشمسية وأنظمة تخزين البطاريات، مدعومة بسياسات تحفيز الإنتاج المحلي والشراكات الأجنبية. ومع ذلك، يجب معالجة بعض التحديات مثل التكاليف الأولية العالية ونقص العمالة الماهرة والتبعية في سلسلة التوريد لزيادة نطاق هذه الجهود. من خلال دمج البحث والابتكار والتصنيع المحلي، تهدف قطر إلى وضع نفسها كقائدة إقليمية في الطاقة المستدامة مع خلق وظائف عالية القيمة وتقليل الاعتماد على الواردات.

التوصيات

تتماشى دوافع قطر المستقبلية للطاقة المتجددة مع أهدافها طويلة المدى المتمثلة في التنويع الاقتصادي وأمن الطاقة والإشراف البيئي. مع استمرار البلاد في موازنة ثروتها الهيدروكربونية مع التوسع في الطاقة النظيفة، لديها القدرة على وضع معيار للتنمية المستدامة في منطقة الخليج.

- تسريع حوافز الطاقة الشمسية على الأسطح (القياس الصافي).
- الاستثمار في محطات هجينة شمسية-غاز لاستقرار الحمل الأساسي.
- توسيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لمشاريع واسعة النطاق.

جمهورية القمر المتحدة

معلومات عامة

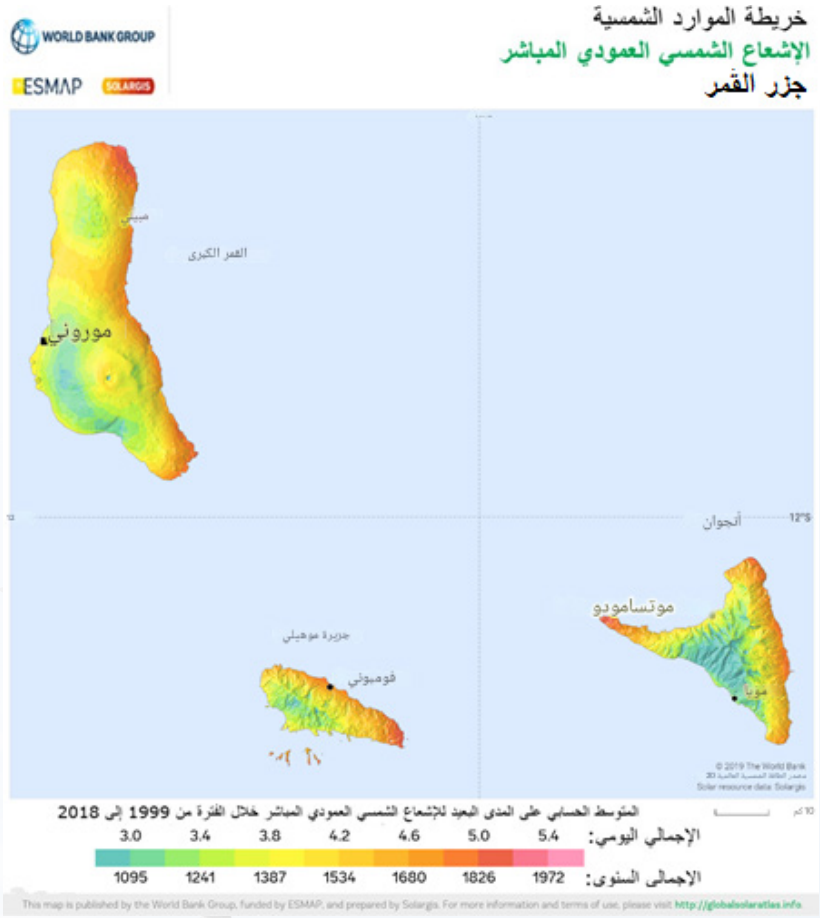
جزر القمر هي دولة جزرية صغيرة في المحيط الهندي يبلغ عدد سكانها حوالي 850,000 نسمة اعتبارًا من عام 2023. تتكون جزر القمر من ثلاث جزر رئيسة: القمر الكبرى (نجازيجا)، وأنجوان (ندزواني)، وموهيلي (موالي)، وهي جزر بركانية ذات مناخ استوائي. اقتصاد جزر القمر صغير ويعتمد بشكل كبير على الزراعة، مع اعتماد كبير على الوقود الأحفوري المستورد لتلبية احتياجاتها من الطاقة. يبلغ معدل التغطية بالكهرباء حوالي 84 % (87 % في المناطق الحضرية و81 % في المناطق الريفية)، على الرغم من أن إمدادات الطاقة كانت تقليديًا باهظة التكلفة وغير موثوقة. تعد جزر القمر واحدة من أكثر الدول ارتفاعًا في أسعار الكهرباء في أفريقيا (حوالي 0.30 دولار/كيلوواط ساعة) بسبب استخدام مولدات الديزل. تلعب الكتلة الحيوية (الفحم النباتي والحطب) أيضًا دورًا رئيسًا، بخاصةٍ في الطهي، في مزيج الطاقة، مما يثير مخاوف تتعلق بالاستدامة. مع محدودية الموارد الأحفورية المحلية، بدأت جزر القمر في إعطاء أولوية لتطوير الطاقة المتجددة لتحسين أمن الطاقة وتقليل التكاليف.

المشهد الطاقي

تمتلك جزر القمر نظامًا كهربائيًا صغيرًا ومعزولًا يعتمد بشكل كبير على الديزل. بلغت القدرة المركبة الإجمالية للطاقة حوالي 46-44 ميغاواط في عام 2021، منها حوالي 37 ميغاواط (≈85 %) تعتمد على الديزل، بينما كانت 6.0 ميغاواط من الطاقة الشمسية و0.97 ميغاواط من الطاقة الكهرومائية الصغيرة، مما يعكس اعتمادًا كبيرًا على زيت الوقود الثقيل المستورد. تعاني شبكات الكهرباء في الجزر من العزلة والتقادم، وتعاني من انقطاعات متكررة. غالبًا ما تكون القدرة التشغيلية أقل بكثير من القدرة المركبة بسبب سوء الصيانة. تجاوز الطلب الأقصى (حوالي 24 ميغاواط عبر الجزر) في بعض الأحيان القدرة التشغيلية، مما تطلب تقليل الأحمال الذي قلل من إمدادات الطاقة بنسبة 13 - 20 % في عام 2021. كان مزيج الطاقة في عام 2020 حوالي 94 % من الوقود الأحفوري، و5 % من الطاقة الشمسية، وأقل من 1 % من الطاقة الكهرومائية. لا يزال استخدام الكتلة الحيوية للطهي شائعًا في المناطق الريفية. لا يؤدي استخدام الديزل إلى زيادة تكلفة الكهرباء فحسب، بل يعرض جزر القمر أيضًا لتقلبات أسعار الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يُنظر إلى تنويع وتوسيع إمدادات الطاقة، وبخاصةٍ من خلال زيادة مصادر الطاقة المتجددة، على أنه أمر ضروري لتحسين الموثوقية وتقليل التكاليف وتحفيز التنمية الاقتصادية.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية



الشكل 35 : خريطة المصدر الشمسي 2021 جزر القمر

تتمتع جزر القمر بأشعة شمس وفيرة على مدار العام، مما يجعلها موقعًا مناسبًا للطاقة الشمسية. يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي المباشر (DNI) من حوالي 3.0 إلى 5.4 كيلوواط ساعة/م^2 يوميًا على الجزيرة، أي ما يعادل حوالي 1,095 إلى 1,972 كيلوواط ساعة/م^2 سنويًا. يظهر الإشعاع الشمسي المرتفع في الخريطة الموضحة في الشكل 35، حيث تتمتع المناطق الوسطى والشمالية من القمر الكبرى والجزء الشرقي من أنجوان بأعلى معدلات الإشعاع.

تحصل الجزر في المتوسط على حوالي 8.3 ساعات من أشعة الشمس يوميًا. وفقًا للأرقام المقدمة من Solargis، يُقدر إنتاج الطاقة الكهروضوئية النظرية بحوالي 1,460 كيلوواط ساعة لكل 1 كيلوواط من القدرة الكهروضوئية سنويًا، وهو ما يعدُّ جيدًا. تتمتع كل من أنظمة الطاقة الشمسية على الأسطح والمزارع الشمسية الكبيرة بإمكانيات عالية في جزر القمر. الأراضي المسطحة محدودة، ولكن جميع المناطق (مثل الأراضي المنخفضة المشمسة والهضاب) مناسبة لتركيب الألواح الشمسية. تعدُّ الطاقة الشمسية أكثر مصادر الطاقة المتجددة تطورًا في البلاد بالفعل، ومع مثل هذه الموارد الممتازة، لديها أكبر إمكانية على المدى القصير لتحل محل توليد الديزل. يمكن أن تلبي الطاقة الشمسية أحمال الذروة النهارية إذا تم دمجها مع التخزين. المتطلبات الرئيسة هي الاستثمار في قدرات الطاقة الشمسية وترقيات الشبكة للتعامل مع التقلبات.

إمكانات طاقة الرياح

تعد إمكانات طاقة الرياح في جزر القمر متوسطة. نظرًا لأنها أرخبيل، لا توجد العديد من الممرات عالية الرياح، على الرغم من وجود بعض المناطق الساحلية والمرتفعة المناسبة لأنظمة الرياح. تُظهر الملاحظات التجريبية أن متوسط سرعة الرياح يتراوح من 5 إلى 6 م/ث في المواقع المفتوحة. على وجه التحديد، في نجازيجا (القمر الكبرى)، لوحظ متوسط سرعة رياح إجمالي يبلغ حوالي 5.7 م/ث. تكون الفترة الأكثر رياحًا خلال الشتاء الجنوبي؛ حيث يكون شهر حزيران هو الأكثر رياحًا بمتوسط سرعة رياح تبلغ 12.4 ميل في الساعة (5.5 م/ث). تشير سرعات الرياح المذكورة إلى مورد متواضع مناسب لتوربينات الرياح الصغيرة إلى المتوسطة، ولكن المزارع الريحية الكبيرة ستكون محدودة بسبب توافر الأراضي والاضطرابات الناتجة عن جبال الجزيرة. لا توجد مزارع رياح على نطاق المرافق في جزر القمر حاليًا، ولا تزال خرائط الرياح عالية الدقة غير متوافرة.

إمكانات الطاقة الكهرومائية

تتلقى جزر القمر البركانية أمطارًا غزيرة (1,000 - 5,000 مم/سنويًا في الجبال)، مع بعض الإمكانات للطاقة الكهرومائية. التضاريس جبلية، مثل جبل كارتالا (2,316 م)، مع وجود جداول مائية شديدة الانحدار ولكن لا توجد أنهار دائمة، حيث يتسرب المطر بسرعة إلى التربة البركانية المسامية. يحد هذا من الطاقة الكهرومائية إلى مشاريع صغيرة تعمل بالجريان المائي، معظمها في أنجوان وموهيلي. توجد محطة صغيرة للطاقة الكهرومائية (حوالي 300 كيلوواط) في دوموني، مع محطتين أخريين تضيفان سعة تصل إلى حوالي 1 ميغاواط. تظهر الدراسات

أن عددًا من المواقع الإضافية قابلة للتطبيق، خاصة في أنجوان. بينما يكون الإجمالي المحتمل ضئيلاً (بضعة ميغاواط) وموسميًا، فإن مثل هذه المنشآت تكون قيّمة للمناطق النائية. تشكل الترسيبات وتدفق المياه على مدار العام مع الخزانات تحديات. ستقتصر الطاقة الكهرومائية في جزر القمر على المحطات الصغيرة والمتناهية الصغر.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

تطل جزيرة القمر على جبل كارتالا، وهو بركان نشط كان محورًا لاستكشاف الطاقة الحرارية الأرضية. تؤكد تقارير KenGen (2008) والمكتب الجيولوجي لجزر القمر إمكانية المنطقة لتوليد أكثر من 45 ميغاواط من الطاقة الحرارية الأرضية، أي ما يقرب من ضعف القدرة الوطنية. تعد الظواهر السطحية مثل الينابيع الساخنة دليلاً على وجود خزانات ضحلة. كان التقدم سريعًا منذ عام 2022، حيث وافق البنك الأفريقي للتنمية على منحة بقيمة 26.6 مليون دولار في عام 2024 للحفر العميق (2.9-2.5 كم). قامت الدراسات الهيدرولوجية والمسوحات بتقليل مخاطر الموقع، مما يدعم المقترحات لمحطة تجريبية بقدرة 15 ميغاواط، قابلة للتوسع إلى 45-40 ميغاواط. بينما قد تقدم لاغريل إمكانات أقل، إلا أن كارتالا لا تزال في طليعة تحول الطاقة في جزر القمر.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

تطمح جزر القمر إلى توسيع نطاق الطاقة المتجددة. استهدفت خطة «Assises de l'Énergie 2030» تحقيق 28 % من الطاقة المتجددة في عام 2017 بحلول عام 2024 ، ولكن هذا الهدف كان طموحًا. تخطط جزر القمر لتوسيع قدرة الطاقة المتجددة من الصفر تقريبًا في عام 2010 إلى 40 % بحلول عام 2030. يتماشى هذا مع الرؤية الوطنية للتنمية المستدامة. التزمت جزر القمر في مساهمتها المحددة وطنيًا (NDC) المحدثة في عام 2021 بتقليل انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 23% بحلول عام 2030، مشروطة بالدعم الدولي.

لتحقيق هذه الأهداف، قدمت وزارة الطاقة والمياه والهيدروكربونات (MEEH) سياسات داعمة، مع إدارة خدمات الكهرباء من قبل SONELEC. تشمل الإجراءات إعفاءات ضريبية لمعدات الطاقة المتجددة وإطار عمل منتجي الطاقة المستقلين (IPP) لجذب الاستثمارات الخاصة. تشارك جزر القمر أيضًا في التعاون الدولي، بما في ذلك مبادرة IRENA's SIDS Lighthouses، مع دعم فني لتخطيط الطاقة المتجددة.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

بدأ نشر الطاقة المتجددة في جزر القمر، على الرغم من انطلاقه من قاعدة منخفضة، في اكتساب زخم في السنوات الأخيرة من خلال عدة مشاريع:

• الطاقة الشمسية الكهروضوئية: في عام 2023، أطلقت جزر القمر مشروع الوصول إلى الطاقة الشمسية بمساعدة البنك الدولي، لبناء 9 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية و19 ميغاواط ساعة من تخزين البطاريات عبر جميع الجزر. تم تشغيل محطة طاقة شمسية بقدرة 6.3 ميغاواط قرب موروني، بتمويل من ADFD، في عام 2024. يوجد مشروعان صغيران (2 ميغاواط في أنجوان، 1 ميغاواط في موهيلي) قيد التطوير. شملت القدرة السابقة (حوالي 6 ميغاواط حتى عام 2021) أنظمة صغيرة وخارج الشبكة. ستتجاوز القدرة الإجمالية 10 ميغاواط في عام 2024 مع هدف يبلغ 47 ميغاواط في عام 2027.

• الطاقة الكهرومائية: تم إعادة تأهيل منشآت الطاقة الكهرومائية الصغيرة في أنجوان وموهيلي بحلول عام 2020 بإجمالي حوالي 1 ميغاواط. تم تجديد محطة لينجوني للطاقة في عام 2019. بلغت القدرة الإجمالية حوالي 0.97 ميغاواط بحلول عام 2022. توجد محطة جديدة بقدرة 300 كيلوواط في دوموني في مرحلة التخطيط.

• الطاقة الحرارية الأرضية: مشروع كارتالا قيد الاستكشاف، مع خطط للحفر في الفترة 2024 - 2025. يمكن تشغيل محطة تجريبية بقدرة 15 ميغاواط بحلول عام 2028، قابلة للتوسع إلى 45 ميغاواط.

• الشبكات الصغيرة وخارج الشبكة: تم تقديم شبكات صغيرة تعمل بالطاقة الشمسية في القرى الريفية في عام 2025 بمساعدة UNDP/GEF. توفر هذه المشاريع طاقة على مدار الساعة ومكاسب اقتصادية.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

شبكة الكهرباء في جزر القمر معزولة ومتهالكة، حيث تمتلك كل جزيرة - القمر الكبرى، وأنجوان، وموهيلي - شبكات صغيرة تعمل بالديزل وغير متصلة ببعضها البعض. تعاني من خسائر عالية، وأعطال في المعدات، وانقطاعات تصل إلى 20 ساعة (2018). لدمج الطاقة المتجددة، يقوم مشروع الوصول إلى الطاقة الشمسية بترقية الشبكة. يشمل ذلك مركز إرسال وطني ونظام SCADA في القمر الكبرى لتحسين التحكم والموثوقية. يتم تجديد خطوط النقل والمحطات الفرعية، وسيتم تخزين 19 ميغاواط ساعة من بطاريات الليثيوم أيون (15 ميغاواط ساعة في القمر الكبرى، 3 ميغاواط ساعة في

أنجوان، 1 ميغاواط ساعة في موهيلي) لتخزين الطاقة الشمسية وتحقيق التوازن في العرض. تعمل SONELEC على تقليل الخسائر الفنية وتحسين إرسال الديزل. يتم تجربة شبكات صغيرة تعمل بالطاقة الشمسية بشكل مستقل في المواقع النائية (2025). تسمح هذه الاستثمارات لجزر القمر بتحقيق هدفها لعام 2030 المتمثل في 40 % من الطاقة المتجددة دون المساس بالموثوقية.

التحديات والعقبات

على الرغم من التقدم، تواجه جزر القمر تحديات هائلة في تطوير الطاقة المتجددة:

- عدم كفاية الاستثمارات العامة والاعتماد على التمويل الخارجي يثبط الاستثمار في البنية التحتية كثيفة رأس المال. التكاليف الأولية المرتفعة وسوق متخصصة عالية المخاطر تثبط الاستثمارات الخاصة.
- تواجه SONELEC مشكلات صيانة وتظهر عدم كفاءة تشغيلية. يؤدي نقص الكفاءة المحلية في المجالات الحرجة، والعقبات البيروقراطية إلى إعاقة سرعة تنفيذ المشاريع.
- لا تحتوي الشبكات المعزولة للجزر على اتصالات احتياطية، مما يحد من إمكانية دمج الطاقة المتجددة المتغيرة دون أنظمة تخزين ومراقبة.
- عدم وجود قانون موحد للطاقة المتجددة أو تعريفة تغذية يؤدي إلى عدم اليقين. الإصلاحات التنظيمية قيد التقدم.
- يؤثر كلٌ من مخاوف استخدام الأراضي والقيود الجغرافية ومخاطر الأعاصير، يؤثر في إنشاء بنية تحتية للطاقة المتجددة.
- يؤدي الاستخدام المفرط للحطب والفحم النباتي إلى إزالة الغابات ومشاكل صحية؛ مما يتطلب الانتقال إلى وقود جديد بهدف التغلب على عقود اقتصادية وسلوكية.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

تستفيد جزر القمر من الشراكات الدولية لبناء القدرات المحلية وتعزيز الابتكار في قطاع الطاقة المتجددة الناشئ. على الرغم من أن التقانة والمعرفة يتم استيرادها إلى حد كبير، إلا أن المبادرات الرئيسة تشمل:

- تلقى مهندسون وجيولوجيون من جزر القمر تدريبًا عمليًا في الفترة 24-2023 كجزء من مشروع كارتالا للطاقة الحرارية الأرضية من STEAM (إيطاليا) وآخرون في التقييم والمسح، مما يبني قدرات محلية للعمليات المستقبلية.

• تقوم مشاريع البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي ببناء قدرات الفنيين المحليين لتركيب الألواح الشمسية وصيانتها. بدأت مشاريع صغيرة لبيع مجموعات الطاقة الشمسية المستوردة، وتشير دراسات الجدوى إلى التجميع المحلي لمكونات الطاقة الشمسية بحلول عام 2027 لخلق فرص عمل.

• يقوم برنامج أفريقيا للشبكات الصغيرة بتخصيص شبكات صغيرة تعمل بالطاقة الشمسية لاحتياجات الريف (مثل الري)، باستخدام عدادات ذكية ونماذج محلية يمكن تكرارها في أماكن أخرى.

• تقوم جامعة جزر القمر بدمج موضوع الطاقة المتجددة بمساعدة مؤسسات دولية. يقوم الطلاب القمريون في الخارج بإجراء أبحاث، مثل مسح الرياح في نجازيجا عام 2021، مما يوجه التخطيط المحلي.

• على الرغم من استيراد معظم المعدات، يتم توظيف العمالة المحلية في التجميع. تقوم المشاريع التجريبية بإنتاج سخانات المياه الشمسية من خلال تدريب ممول من المانحين للحرفيين.

التوصيات

لتسريع تحول جزر القمر إلى الطاقة المتجددة، يُوصى بالإجراءات الرئيسة التالية:

• تعزيز تركيب الألواح الشمسية على نطاق المرافق وعلى الأسطح مع تخزين البطاريات، مما يسهل عطاءات منتجي الطاقة المستقلين وسياسات القياس الصافي وتمويل المانحين.

• مواصلة ترقية خطوط النقل وتقنيات الشبكة الذكية ومراكز الإرسال والنظر في اتصالات طويلة الأمد بين الجزر.

• سن قانون للطاقة المتجددة بأهداف واضحة (40 % بحلول عام 2030)، وإجراءات منتجي الطاقة المستقلين، وإصلاح دعم الديزل؛ والتنسيق مع أهداف المناخ وفتح دعم صندوق المناخ الأخضر.

• إنشاء مراكز تدريب للطاقة الشمسية وأنظمة البطاريات والشبكات الصغيرة، بما في ذلك الشباب والنساء؛ وإشراك الشركات المحلية من خلال شراكات مع المانحين.

• التعاون مع IRENA، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي والبنك الأفريقي للتنمية والشبكات الإقليمية لتعزيز التمويل والمهارات والتعلم من الأقران.

• تمويل حلول الطهي النظيف وإدارة الغابات المجتمعية؛ وتوصيل الشبكات الصغيرة بجميع القرى غير المكهربة (حوالي 16 %) لضمان استفادة الجميع من الطاقة.

دولة الكويت

معلومات عامة

تقع دولة الكويت في الجزء الشمالي الغربي من الخليج العربي، بين خطي عرض 28.30 و30.06 شمالاً، وخطي طول 46.30 و49.00 شرقاً. تحدها من الشمال الغربي العراق، ومن الجنوب والجنوب الغربي المملكة العربية السعودية. تقع شواطئها على الخليج العربي من الغرب. وفر هذا الموقع الخاص للكويت أهمية تجارية، حيث تعد منفذاً طبيعياً للجزء الشمالي الغربي من شبه الجزيرة العربية. تبلغ المساحة الإجمالية للكويت 17,818 كم^2. تقع في المنطقة الجغرافية الصحراوية التي تتميز بمناخ قاري طويل الصيف وقصير الشتاء.

تمتلك دولة الكويت أعلى معدل استهلاك للطاقة للفرد في العالم، مدفوعاً بنمو السكان، وتوسع الأنشطة الاقتصادية، وأنماط الحياة الحديثة. تعاني الكويت من صيف طويل وحار، مما يزيد بشكل كبير من الطلب على الطاقة حيث يعتمد الناس بشكل كبير على أنظمة تكييف الهواء للتبريد. خلال النهار، تمثل أنظمة تبريد المباني حوالي 70 % من إجمالي الحمل في البلاد.

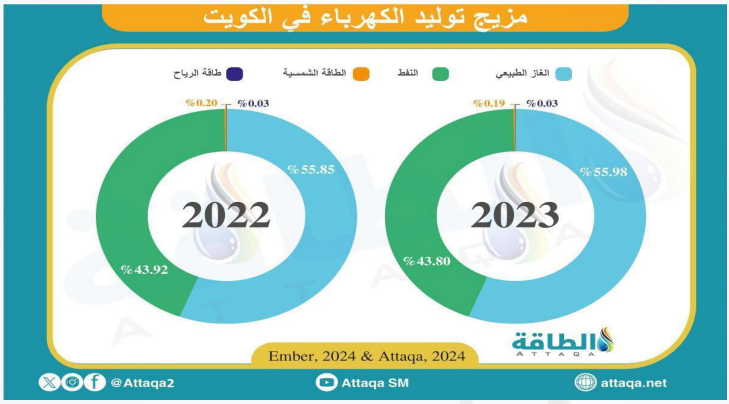
المشهد الطاقي

زاد إنتاج الطاقة الكهربائية من 68,288 تيراواط ساعة في عام 2015 إلى 88,017 تيراواط ساعة في عام 2023 بمعدل زيادة سنوي بلغ 5.4 % في عام 2023. لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة، تعتمد البلاد بالكامل على محطات الطاقة التقليدية التي تعمل بالوقود الأحفوري لتوليد الطاقة، والتي لا تضر بالبيئة فحسب، بل أصبحت غير اقتصادية بسبب ارتفاع أسعار الوقود. بحلول عام 2030، سيتضاعف الطلب على الطاقة ثلاث مرات. نتيجة لذلك، تحول الحكومة تركيزها نحو موارد الطاقة البديلة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية، لتنويع مزيج الطاقة.

كجزء من جهود حكومة الكويت لتحقيق أهدافها في الطاقة المتجددة المحددة في رؤية الكويت 2035 واستراتيجية الكويت للطاقة المتجددة والمستدامة للسنوات 2030 - 2050. تم التأكيد على أن الكويت على المسار الصحيح لإنتاج 30 % من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، وهو ما يتجاوز الأهداف التي حددتها بعض الدول الأخرى.

يوضح الشكل 36 إنتاج الطاقة الكهربائية من قِبل وزارة الكهرباء والماء والطاقة المتجددة. ويوضح الشكل 37، الذي أعدته وحدة أبحاث الطاقة، مزيج توليد الكهرباء في الكويت.

الشكل 36: توليد الطاقة الكهربائية



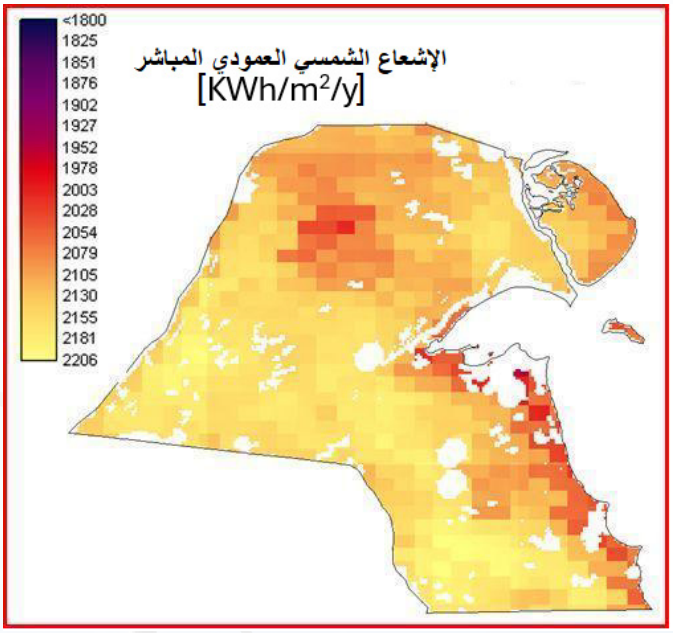
الشكل 37: مزيج توليد الطاقة الكهربائية

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

تمتلك دولة الكويت، مثل العديد من دول الخليج، إمكانات كبيرة لتطوير الطاقة المتجددة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسية. تعتمد البلاد بشكل كبير على النفط والغاز لتلبية احتياجاتها من الطاقة، ولكنها بدأت في استكشاف والاستثمار في الطاقة المتجددة لتنويع مزيج الطاقة وتقليل انبعاثات الكربون وضمان استدامة الطاقة على المدى الطويل.

تتلقى البلاد إشعاعاً شمسياً هائلاً يومياً، خاصة خلال فصل الصيف. يوضح الشكل 38 الإشعاع العمودي المباشر (DNI) عبر الدولة، مما يشير إلى أن الكويت مناسبة لتوليد الطاقة الشمسية، حيث يتجاوز DNI 1900 كيلوواط ساعة/م² سنوياً في معظم المناطق. يبلغ متوسط ساعات الطاقة الشمسية في الكويت حوالي 9 - 11 ساعة/يوم، بمتوسط إشعاع شمسي يومي يزيد عن 7.0 كيلوواط ساعة/م² ومتوسط سنوي يتراوح بين 2100 - 2200 كيلوواط ساعة/م². يمكن استخدام توليد الطاقة الشمسية لتلبية أنواع مختلفة من الأحمال، بما في ذلك الأحمال التجارية والسكنية والبلدية خلال النهار.

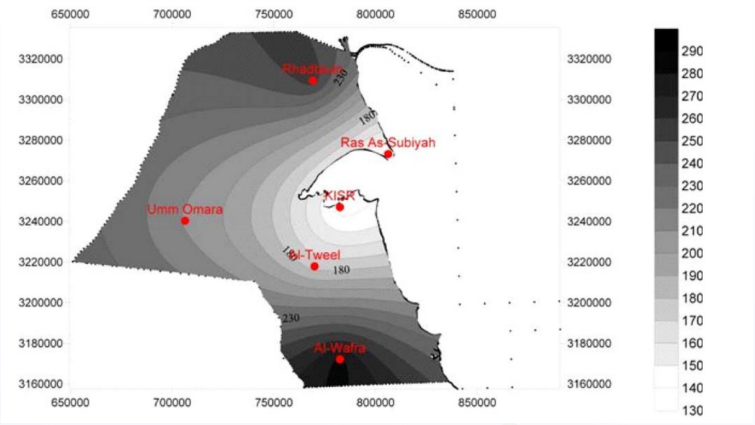


الشكل 38: خريطة الصورة الشمسية للكويت

إمكانات طاقة الرياح

تم العثور على أعلى إمكانات لطاقة الرياح خلال فصل الصيف، وهو موسم الذروة في الطلب على الكهرباء في الكويت. تم تقييم خصائص الرياح في ستة مواقع في دولة الكويت. تراوح متوسط سرعة الرياح السنوي للمواقع المدروسة بين 3.7 و5.5 م/ث، وكثافة طاقة الرياح المتوسطة بين 80 و167 واط/م² على ارتفاع قياسي يبلغ 10 م. تم العثور على أقصى كثافة لطاقة الرياح على ارتفاع 30 م، والتي تتراوح بين 130 و275 واط/م² بزيادة 70 % من الارتفاع

القياسي، مما يشير إلى إمكانات رياح معقولة بخاصةٍ في الجزء الشمالي من البلاد. يظهر الشكل 39 توزيع كثافة طاقة الرياح المحتملة في جميع أنحاء البلاد على ارتفاع 30 م. يظهر بوضوح أن كثافة طاقة الرياح تقترب من خليج الكويت بينما تزداد في المناطق الصحراوية المفتوحة في الوفرة والتويل وأم عمارة.



الشكل 39: توزع كثافة طاقة الرياح فوق الكويت على ارتفاع 30 متراً

سياسات الطاقة المتجددة وأهدافها

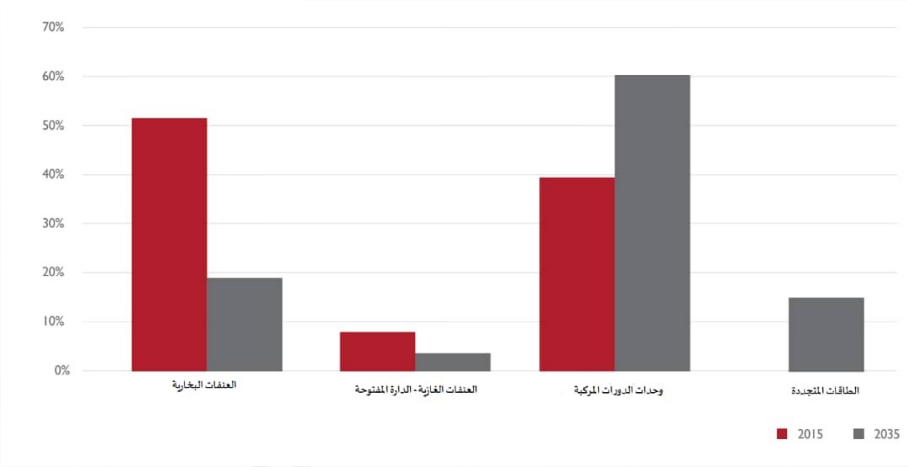
الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

تشارك عدة مؤسسات حكومية في الكويت على مستويات مختلفة في قطاع الطاقة، ولكل منها ولايات مختلفة. تشرف وزارة الكهرباء والماء على جميع جوانب توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها. تكلف هيئة الكويت للشراكة مع القطاع الخاص بالتفاوض على اتفاقيات شراء الطاقة لمنتجي الطاقة والماء المستقلين، وقد تفاوضت على أول مشروع من هذا القبيل في الكويت، محطة الزور الشمالية للطاقة، نيابة عن الحكومة. ترعى مؤسسة الكويت للتقدم العلمي مشاريع الطاقة الشمسية الموزعة، وقد أشرف معهد الكويت للأبحاث العلمية على تصميم وتنفيذ المرحلة الأولى في مجمع الشقايا للطاقة المتجددة.

تم تشكيل اللجنة العليا للطاقة في عام 2018 من قبل مجلس الوزراء، وكانت مكلفة بتحسين التنسيق بين الوزارات والهيئات التنظيمية ومشغلي البنية التحتية ومقدمي الخدمات. ستكون

إحدى المسؤوليات المهمة للجنة هي معالجة عدم التنسيق، الذي يعيق حالياً زيادة قدرة الطاقة المتجددة في الكويت.

تخطط الكويت لتوسع كبير في قدرتها التوليدية، وخاصة محطات الدورة المركبة، خلال العقدين المقبلين كما هو موضح في الشكل 40. ومع ذلك، فإن زيادة قدرة الطاقة المتجددة وتحديث أو شراء وحدات مرنة سيكون مساراً أكثر استدامة. بينما يمكن أن يُعزى اختيار الوقود لتوليد الطاقة إلى حقيقة أن الكويت غنية بموارد الوقود الأحفوري، فإن الهيكل العام لقطاع الطاقة نفسه في الكويت يزيد من تبني الطاقة المتجددة ببطء.



الشكل 40: تقانة التوليد كنسبة مئوية االواجب تثبيتها للعام 2035 مقارنةً بالعام 2015

ضعف الترتيبات المؤسسية والقانونية

يعد عدم التنسيق بين المؤسسات المختلفة السبب الرئيس للتطوير والتنفيذ البطيء لتقنيات الطاقة المتجددة. تساهم عدة سلطات حالياً في تحقيق هدف 15%، ولكن هذه الجهود مغطاة بموجب الخطة الاستراتيجية ولا يتم تنسيقها. يؤدي عدم التنسيق إلى مخاطر استراتيجية وتشغيلية، مثل إمكانية التكرار وانخفاض الكفاءة في تحقيق الهدف. تفتقر الكويت إلى سلطة دولة قوية يمكن أن تروج للطاقة المتجددة مع التأثير على المؤسسات القوية الحالية، مثل شركات المرافق، لإمالة الميزان لصالح الطاقة المتجددة. لا يعزز الإطار التنظيمي الحالي الطاقة المتجددة وتقنيات كفاءة الطاقة وبرامج الحوافز لتحفيز السوق. يعد عدم الاستقلال التنظيمي أيضاً مصدر قلق كبير لنشر الطاقة المتجددة في الكويت.

أهداف الطاقة المتجددة:

حددت الكويت هدفاً لزيادة حصة الطاقة المتجددة في إجمالي الطلب على الطاقة إلى 15 % بحلول عام 2030، مقارنة بأقل من 1 % في عام 2019. يبدو هدف الكويت للطاقة المتجددة معقولاً في سياق الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (MENA) والأهداف المحلية للطاقة المتجددة.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

تشرف وزارة الكهرباء والماء على جميع جوانب توليد ونقل وتوزيع الكهرباء. تكلف هيئة الكويت للشراكة مع القطاع الخاص بالتفاوض على اتفاقيات شراء الطاقة لمنتجي الطاقة والماء المستقلين، وقد تفاوضت على أول مشروع من هذا القبيل في الكويت، محطة الزور الشمالية للطاقة، نيابة عن الحكومة. ترعى مؤسسة الكويت للتقدم العلمي مشاريع الطاقة الشمسية الموزعة، وقد أشرف معهد الكويت للأبحاث العلمية على تصميم وتنفيذ المرحلة الأولى في مجمع الشقايا للطاقة المتجددة.

أبرز الجهات الفاعلة هي كما يلي:

- المؤسسية: لجان وزارة الصناعة والتجارة (الفنية، التنظيمية، المناقصات...)، الوكالة الوطنية لإتقان الطاقة (ANME)، الهيئة الوطنية للكهرباء (STEG: إنتاج الطاقة، النقل، التوزيع).
- القطاع الخاص والمؤسسات المالية.
- وكالات تعزيز الاستثمار.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

اتخذت الكويت بالفعل بعض الإجراءات المهمة لتحفيز إدخال الطاقة المتجددة. يعد مشروع الشقايا للطاقة الشمسية المركزة بقدرة 50 ميغاواط وسيلة لتحفيز توسيع نطاق الطاقة المتجددة إلى 15 % من التوليد بحلول عام 2030 (22 تيراواط ساعة سنوياً، أو 8 غيغاواط بحلول عام 2030). تم تشغيل محطة الشقايا للطاقة الشمسية الكهروئية بقدرة 10 ميغاواط ومزرعة الرياح بقدرة 10 ميغاواط منذ نوفمبر وديسمبر 2016 على التوالي، ويمكن للأراضي المخصصة للشقايا استيعاب حوالي 2 غيغاواط من الطاقة البديلة (MEW، 2016). هناك مجالان رئيسان للعمل لبناء على هذه الجهود الأولية وتسريع انتشار الطاقة المتجددة

مشاريع الطاقة المتجددة المستقبلية

تركيب وتشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروئية (PV) على أسطح خزان المياه الأرضي في الصبية بقدرة 24 - 30 ميغاواط.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

تلعب بنية الشبكة الكهربائية وأنظمة تخزين الطاقة في الكويت دوراً حاسماً في إدارة الطلب المتزايد على الطاقة وضمان إمدادات طاقة مستدامة. مع سعي الكويت لتنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، أصبحت الاستثمارات الكبيرة في تحديث الشبكة وتقنيات تخزين الطاقة المتقدمة ضرورية. تُدار الشبكة الكهربائية في الكويت من قبل وزارة الكهرباء والماء والطاقة المتجددة (MEWRE) وتعتمد بشكل كبير على الوقود الأحفوري، وخاصة الغاز الطبيعي والنفط. تمتلك البلاد واحدة من أعلى معدلات استهلاك الكهرباء للفرد في العالم بسبب درجات الحرارة الصيفية القصوى (تتجاوز 50°م)، والاعتماد الكبير على تكييف الهواء، والتعريفات الكهربائية المدعومة. تبلغ القدرة المركبة حوالي 20 غيغاواط (اعتباراً من عام 2024)، تأتي في الغالب من محطات الطاقة التي تعمل بالغاز والنفط مع ذروة طلب تبلغ 16-15 غيغاواط (ذروة الصيف)، تنمو بنحو 5% سنوياً.

حددت الكويت هدفاً لتحقيق 15 % من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030 (مقارنة بأقل من 1 % اليوم)، مع التركيز الأساسي على الطاقة الشمسية. بعض التقدم في الطاقة الشمسية:

- مجمع الشقايا للطاقة المتجددة (50 ميغاواط):

- يعمل منذ عام 2019، ويجمع بين الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية المركزة (CSP).
- تهدف المرحلة الثانية إلى إضافة 1.5 غيغاوات بحلول عام 2027.

- مشروع الدبدبة الشمسي (1.5 غيغاواط):

- أحد أكبر مشاريع الطاقة الشمسية المخطط لها في المنطقة.
- من المتوقع الانتهاء بحلول عام 2027، مما يساهم بحوالي 10 % من قدرة الكويت.
- مبادرات الطاقة الشمسية على الأسطح:
- مشاريع تجريبية للتركيبات الشمسية السكنية والتجارية.
- سياسات القياس الصافي قيد التطوير لتشجيع الاعتماد.

التحديات والعقبات

تواجه الكويت تحديات كبيرة في دمج الطاقة المتجددة في شبكتها الكهربائية، على الرغم من إمكاناتها الشمسية الواسعة وأهدافها الطموحة لعام 2030. تشمل العوائق الرئيسة الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري، الذي يمثل 99 % من توليد الطاقة، وبنية شبكة مصممة لمحطات مركزية تعمل بالوقود، مما يجعل دمج الطاقة الشمسية الموزعة صعباً. تشمل العقبات الاقتصادية والسياسية التعريفات الكهربائية المدعومة بشدة، مما يقلل من الحوافز المالية للطاقة المتجددة، بينما تؤخر البيروقراطية تنفيذ المشاريع. تؤثر العوامل البيئية، مثل الحرارة الشديدة وتراكم الغبار والعواصف الرملية على كفاءة الألواح الشمسية بنسبة تصل إلى 20 %. بالإضافة إلى ذلك، يحد نقص حلول تخزين الطاقة وتقنيات الشبكة الذكية من المرونة في إدارة مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة. يتطلب التغلب على هذه التحديات إصلاحات سياسية وترقيات للبنية التحتية ومشاركة القطاع الخاص لضمان انتقال طاقة مستدام.

إذا عجلت الكويت بالاستثمارات في الطاقة المتجددة وتحديث الشبكة، فيمكنها تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وخفض الانبعاثات وتعزيز أمن الطاقة. ومع ذلك، يعتمد التقدم على الإصلاحات السياسية والحوافز وترقيات البنية التحتية. مع مبادرات الحكومة والاستثمارات الاستراتيجية، يعد تطوير بنية شبكة فعالة مقترنة بأنظمة تخزين طاقة قوية أمراً بالغ الأهمية لتحقيق أهداف انتقال الطاقة في الكويت وضمان مستقبل طاقة آمن ومرن.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

تتقدم الكويت في البحث والابتكار في مجال الطاقة المتجددة لدعم انتقالها إلى شبكة طاقة مستدامة، مع التركيز على الطاقة الشمسية. تقود المؤسسات الأكاديمية، مثل معهد الكويت للأبحاث العلمية (KISR)، وجامعات ومؤسسات بحثية أخرى وشراكات مع شركات دولية، البحث والتطوير في تقنيات الألواح الشمسية عالية الكفاءة، وحلول تقليل الغبار وأنظمة الطاقة الشمسية-الغاز الهجينة. ومع ذلك، يظل التصنيع المحلي محدوداً، حيث يتم استيراد معظم مكونات الطاقة الشمسية. تُبذل جهود لإنشاء إنتاج محلي للألواح الشمسية ومكونات أنظمة التوازن، مستفيدة من القاعدة الصناعية في الكويت وتحفيز الاستثمارات الخاصة. تشمل التحديات الرئيسة الاعتماد التقاني ونقص العمالة الماهرة والتكاليف الأولية المرتفعة. يمكن أن تعزز السياسات الاستراتيجية، مثل اتفاقيات نقل التقانة والدعم للإنتاج المحلي، التصنيع المحلي وتقليل الاعتماد على الواردات. سيكون تعزيز التعاون بين البحث والصناعة

والاستثمار في تدريب القوى العاملة أمراً حاسماً لدمج الطاقة المتجددة على المدى الطويل وتنويع الاقتصاد.

التوصيات

تماشياً مع رؤية الأمير، تهدف هذه السياسة إلى تعزيز الطاقة المتجددة في الكويت وزيادة حصة الطاقة المتجددة في إجمالي الطلب على الطاقة إلى 15 % بحلول عام 2030.

على وجه التحديد، تهدف السياسة إلى:

- تمكين البيئة المؤسسية والتنظيمية لتعزيز استثمارات الطاقة المتجددة وتعظيم مشاركة القطاع الخاص.
- تعزيز استثمارات الطاقة المتجددة في الكويت على نطاقي المرافق واللامركزية.
- زيادة مشاركة المستهلكين في تحقيق هدف 15%.
- إنشاء مركز تميز حكومي للطاقة المستدامة ليلعب دوراً قيادياً في دفع عجلة الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في الكويت وفي المنطقة بأكملها على المدى الطويل.
- تحقيق تخفيضات في الانبعاثات.

الجمهورية اللبنانية

معلومات عامة

يقع لبنان على الساحل الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، ويتميز بتضاريس متنوعة من الجبال والسهول الساحلية. تواجه البلاد أزمات اقتصادية وطاقة شديدة، مما يؤثر بشكل كبير على أمن الطاقة. تاريخياً، اعتمد لبنان على الوقود الأحفوري المستورد، وعانى من نقص مستمر في الكهرباء، تفاقم بسبب عدم الاستقرار المالي ونقص الاستثمارات في البنية التحتية. أدت هذه الأزمة إلى زيادة الاهتمام العام ونمو سريع في حلول الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية اللامركزية، للتخفيف من انقطاعات الكهرباء المستمرة.

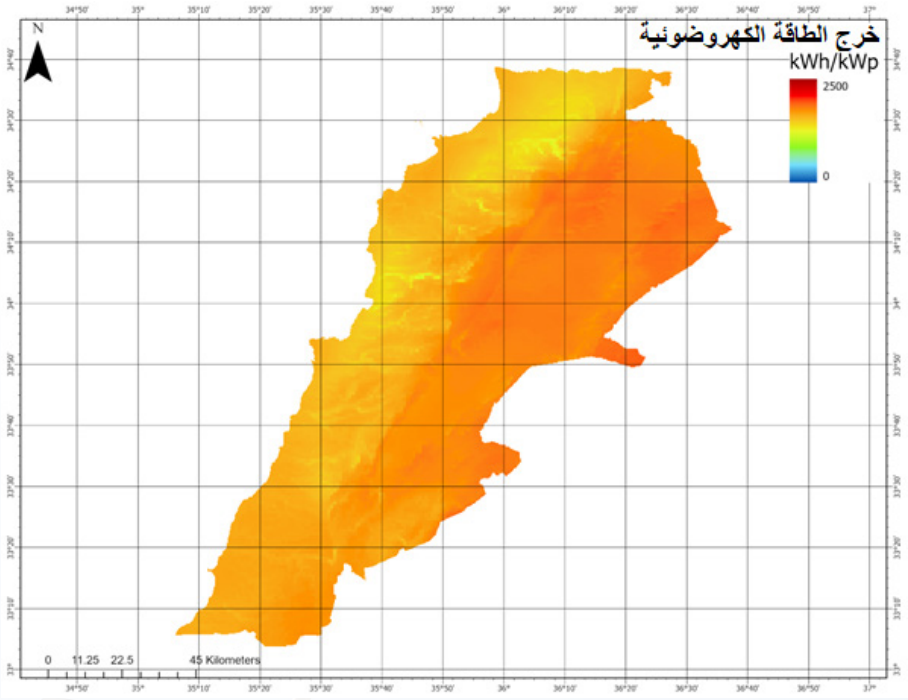
المشهد الطاقي

اعتباراً من عام 2023، تبلغ القدرة المركبة لتوليد الكهرباء في لبنان حوالي 1,800 ميغاواط، مع انخفاض الإنتاج الفعلي بشكل متكرر بسبب نقص الوقود وعدم كفاءة البنية التحتية. يشمل مزيج الطاقة حوالي 53 % من الوقود الأحفوري، و31 % من الطاقة الشمسية، و15 % من الطاقة الكهرومائية، وحوالي 1 % من مصادر الطاقة المتجددة الأخرى. توفر الشبكة الوطنية كهرباء محدودة ومتقطعة، عادة لبضع ساعات فقط في اليوم، مما أدى إلى الاعتماد الواسع على مولدات الديزل المكلفة والملوثة.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

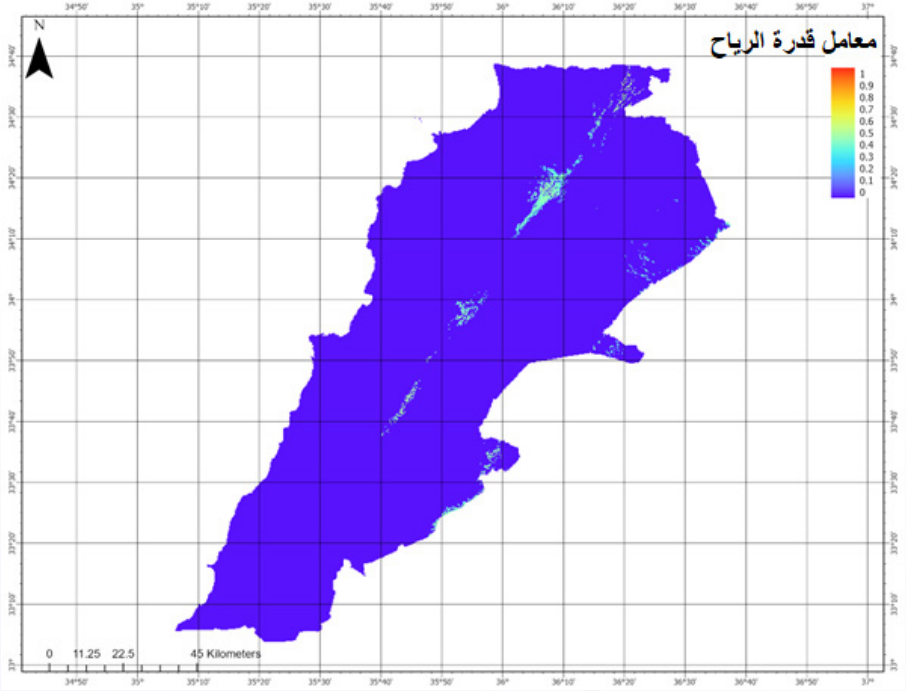
يتمتع لبنان بأكثر من 300 يوم مشمس سنوياً، مما يوفر إمكانات كبيرة لتوليد الطاقة الكهروضوئية الشمسية. ارتفعت القدرة الشمسية بشكل كبير من حوالي 90 ميغاواط في عام 2020 إلى أكثر من 690 ميغاواط بحلول عام 2022، مدفوعة بتركيبات الأسطح السكنية والتجارية حيث يبحث المواطنون والشركات عن بدائل لإمدادات الكهرباء غير الموثوقة من الشبكة الوطنية. كان الهدف الأصلي لعام 2026 هو 680 ميغاواط، مما يعني أن لبنان يتبنى هذه التقانة بسرعة.



الشكل 41 : خريطة الموارد الشمسية في لبنان (مصدر البيانات GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

يمتلك لبنان إمكانات كبيرة لطاقة الرياح، تقدر بحوالي 6.1 غيغاواط، خاصة في المناطق الساحلية والجبلية. على الرغم من هذه الإمكانات الواعدة، تظل طاقة الرياح غير مطورة إلى حد كبير، حيث لا توجد مزارع رياح كبيرة تعمل اعتباراً من عام 2023، وذلك بسبب قيود الاستثمار والتنظيم. هناك هدف قائم لتركيب 426 ميغاواط من قدرة طاقة الرياح بحلول عام 2026.



الشكل 42: خريطة موارد الرياح في لبنان حسب عامل السعة (مفلترة لسرعة الرياح القصوى وأحمال التعب)

موارد الطاقة الكهرومائية

تمثل الطاقة الكهرومائية حالياً حوالي 15 % من توليد الطاقة في لبنان، بقدرة مركبة تبلغ حوالي 280 ميغاواط. على الرغم من ذلك، فإن المنشآت قديمة وتتطلب استثمارات كبيرة للتحديث لاستغلال إمكانات الطاقة الكهرومائية بشكل كامل. تبلغ القدرة المستهدفة للطاقة الكهرومائية بحلول عام 2026 حالياً 426 ميغاواط من القدرة المركبة.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

تم تحديد الطاقة الحرارية الأرضية كمورد متجدد محتمل في الاستراتيجيات الوطنية، ولكن لم يتم تنفيذ أي مشاريع نشطة أو استكشافات كبيرة اعتباراً من عام 2023. هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات والمشاريع التجريبية لتقييم الجدوى.

سياسات وأهداف الطاقة المتجددة

حدد لبنان أهدافاً طموحة للطاقة المتجددة، تهدف إلى أن تشكل الطاقة المتجددة 30 % من مزيج الطاقة بحلول عام 2030 كما هو مفصل في خطة العمل الوطنية للطاقة المتجددة (NREAP). إلى جانب ذلك، تحدد خطة العمل الوطنية لكفاءة الطاقة (NEEAP) مبادرات تعزز تسخين المياه بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية وإجراءات كفاءة الطاقة. تحقيق هذه الأهداف يواجه عوائق كبيرة بسبب عدم الاستقرار السياسي المستمر وعدم وجود لوائح واضحة ومحدودية حوافز الاستثمار.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

- وزارة الطاقة والمياه (MEW).
- كهرباء لبنان (EDL).
- المركز اللبناني لحفظ الطاقة (LCEC).

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

بحلول عام 2022، وصلت قدرة الطاقة المتجددة في لبنان إلى حوالي 113 ميغاواط، مدفوعة بشكل كبير بتركيبات الطاقة الكهرومائية والطاقة الشمسية الكهروضوئية المنتشرة في المنازل والشركات والصناعات الصغيرة. على الرغم من المساهمة الملحوظة للطاقة الكهرومائية، فإنها تواجه قيوداً بسبب البنية التحتية القديمة. تظل طاقة الرياح في مراحل التخطيط مع تحديد مشاريع محتملة ولكن لم يتم تنفيذها بعد.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

لا تزال بنية الشبكة الكهربائية في لبنان قديمة، مما يحد بشكل كبير من توصيل الكهرباء الموثوقة ودمج مصادر الطاقة المتجددة. يساهم عدم استقرار الشبكة في انقطاعات التيار الكهربائي المتكررة، مما دفع إلى اعتماد خاص لتخزين البطاريات بشكلٍ أساس مع تركيب الألواح الشمسية على الأسطح لتوفير طاقة متسقة.

التحديات والعقبات

يواجه لبنان عدة عوائق أمام تطوير الطاقة المتجددة، بما في ذلك عدم الاستقرار السياسي المستمر، والقيود الاقتصادية الشديدة التي تحد من استثمارات البنية التحتية، وتعقيد اللوائح

التنظيمية ومحدودية القدرة المحلية على تصنيع تقانة الطاقة المتجددة. يتطلب التغلب على هذه العوائق تبسيط الأطر السياسية والاستثمار في البنية التحتية وتحسين الظروف المالية والتنظيمية لتعزيز تبني الطاقة المتجددة.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

يدعم الجامعات اللبنانية والمؤسسات المتخصصة مثل المركز اللبناني لحفظ الطاقة (LCEC) البحث والابتكار في مجال الطاقة المتجددة. تظل القدرات التصنيعية المحلية محدودة، حيث يتم استيراد معظم تقانة الطاقة المتجددة. أدى التبني المتزايد للأنظمة الشمسية إلى ظهور ابتكارات في أنظمة الطاقة اللامركزية وحلول الطاقة المتجددة على مستوى المجتمع، مما يسلط الضوء على قاعدة خبراء محلية متنامية.

التوصيات

- تسريع الإصلاحات السياسية لخلق بيئة تنظيمية مستقرة للطاقة المتجددة.
- إعطاء الأولوية لاستثمارات البنية التحتية، خاصة في تحديث الشبكة وحلول التخزين.
- توسيع الحوافز المالية والدعم لاستثمارات الطاقة المتجددة.
- تعزيز بناء القدرات وتطوير القدرات المحلية في التصنيع والابتكار.
- تعزيز الوعي بالطاقة المتجددة وحلول الطاقة القائمة على المجتمع.

دولة ليبيا

معلومات عامة

ليبيا دولة تقع في شمال أفريقيا ويبلغ عدد سكانها حوالي 7 ملايين نسمة ومساحتها 1.76 مليون كم^2، معظمها يقع ضمن الصحراء الكبرى. تمتلك ليبيا احتياطيات هيدروكربونية وفيرة تشكل حوالي 39 % من احتياطيات النفط المؤكدة في أفريقيا، مما يجعلها منتجًا رئيسيًا للنفط والغاز. أدى عدم الاستقرار السياسي منذ عام 2011 إلى تأثير شديد على البنية التحتية والاقتصاد الليبي. يصل التيار الكهربائي إلى معظم المناطق الحضرية، ولكن إمدادات الطاقة كانت غير موثوقة بسبب أضرار الحرب ونقص الاستثمارات ومشاكل إمدادات الوقود. مع تغطية 88 % من أراضيها بالصحراء، تمتلك ليبيا إمكانات هائلة للطاقة الشمسية، مما يوفر مسارًا واعدًا لتنويع مزيج الطاقة ودعم التعافي بعد الصراع من خلال تطوير الطاقة المتجددة واستعادة وصول الطاقة من 70 % إلى 80 % (2011) وما بعدها.

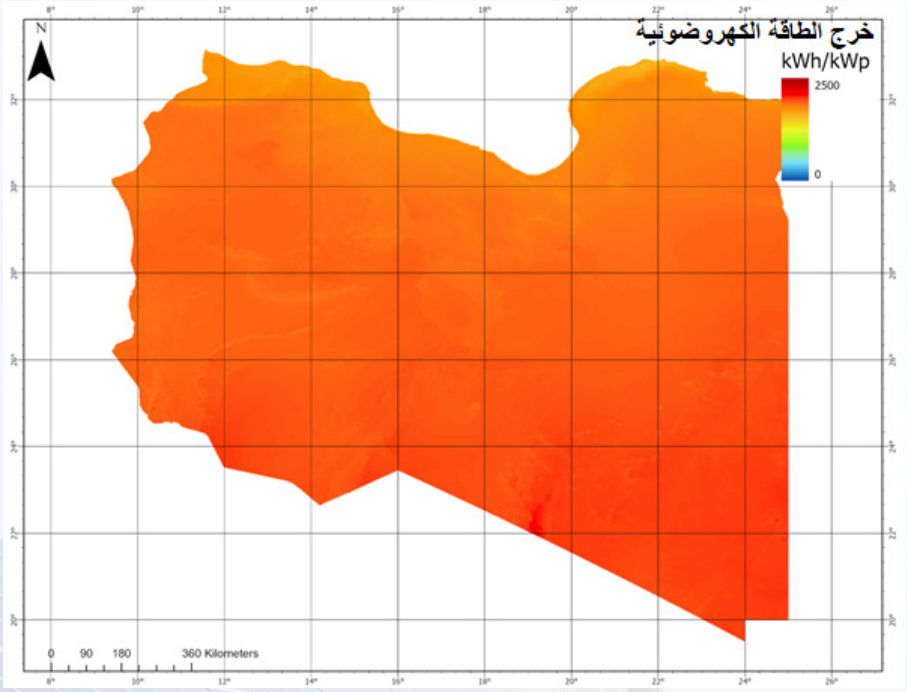
المشهد الطاقي

يُهيمن الوقود الأحفوري على قطاع الطاقة في ليبيا. يُستخدم النفط والغاز الطبيعي في توليد معظم الكهرباء، وكان التحول إلى الطاقة المتجددة مخططًا له في عام 2013 لتحقيق 7 % بحلول عام 2020 و10 % بحلول عام 2025، لكن الهدف الأول لم يتحقق حيث بلغ 4 % فقط، إلا أن الجهود مستمرة لتعزيز تبني المخططات المحلية وشراكات الصناعة. تُدير الشركة العامة للكهرباء في ليبيا (GECOL)، وهي شركة مملوكة للدولة، التوليد ونقل وتوزيع الكهرباء. تبلغ القدرة الاسمية للطاقة في البلاد حوالي 10 غيغاواط، ولكن بسبب الأضرار الناجمة عن الصراع، مشاكل الصيانة، ونقص الوقود، يتوفر عادة حوالي 5.5 غيغاواط فقط. تعمل معظم المحطات بتوربينات تعمل بالغاز (بسبب التكلفة)، حيث حل الغاز محل النفط في توليد الكهرباء المحلي. أدت عقود من الدعم الكبير إلى إبقاء تعريفة الكهرباء منخفضة جدًا لأن دعم الوقود والكهرباء يغطي ما يصل إلى 86 إلى 91 % من التكلفة الحقيقية، مما يؤدي إلى ارتفاع الطلب والهدر بنسبة 60 % من الخسائر التجارية، مما يقوض مالية GECOL. في المناطق النائية الجنوبية التي لا تصل إليها الشبكة بشكل موثوق، تعتمد المجتمعات والمرافق الحيوية غالبًا على مولدات الديزل. يتميز مشهد الطاقة الحالي في ليبيا بشبكة كهرباء قديمة ومثقلة بالعبء، واعتماد شبه كامل على الهيدروكربونات، وهي حالة تهدف الحكومة إلى تغييرها من خلال الإصلاحات ودمج الطاقة المتجددة.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

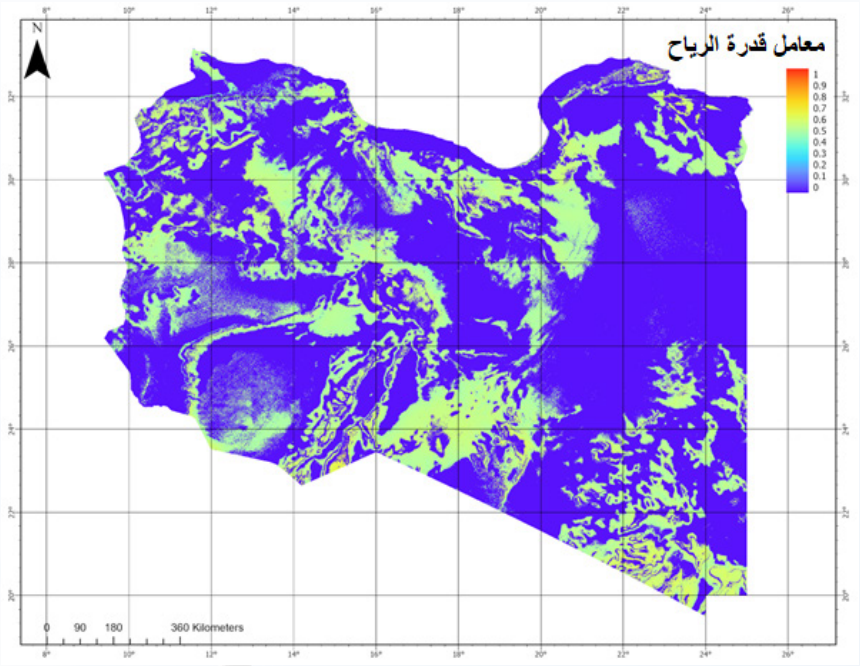
تمتلك ليبيا موارد طاقة متجددة ممتازة، خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. يوفر المناخ الجاف والجغرافيا في ليبيا بعض أعلى مستويات الإشعاع الشمسي في العالم. يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي اليومي من حوالي 7.1 كيلوواط ساعة/م^2 على الساحل الشمالي إلى 8.1 كيلوواط ساعة/م^2 في المناطق الداخلية الجنوبية، مع حوالي 3,200 إلى 3,500 ساعة من أشعة الشمس الساطعة سنويًا. يعني هذا أن كل كيلومتر مربع من الصحراء الليبية يتلقى طاقة شمسية تعادل تقريبًا 1.5 مليون برميل من النفط الخام سنويًا. يترجم هذا الإشعاع الشمسي الكثيف إلى إنتاجية تقدر بـ 1,750 إلى 2,050 كيلوواط ساعة لكل كيلوواط مركب سنويًا في العديد من المناطق. تُعد الأراضي المسطحة والمفتوحة في ليبيا مثالية لمشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) الكبيرة ومشاريع الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، ويمكن أن تلبي الطاقة الشمسية الطلب المحلي عدة مرات.



الشكل 43: خريطة موارد الطاقة الشمسية في ليبيا المصدر (GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

تشير تقييمات موارد الرياح إلى إمكانات قوية في أجزاء مختلفة من ليبيا، خاصة على طول ساحل البحر المتوسط وبعض المناطق الداخلية. يبلغ متوسط سرعة الرياح المقاسة 6 إلى 7.5 م/ث على ارتفاع 40 مترًا في مواقع واعدة مثل درنة في الشرق، وحوالي 7.7 م/ث في بعض التحليلات. تمتلك مناطق كبيرة، خاصة في الشمال الشرقي والساحل الغربي، كثافة طاقة رياح تتجاوز 400 واط/م^2. هذه الظروف مواتية لمزارع الرياح الكبيرة. حددت الحكومة أراضٍ لمشاريع رياح أولية في مواقع مثل درنة (60 ميغاواط) والمقرون (80 ميغاواط). يمكن أن تستضيف المناطق الساحلية والهضاب الصحراوية في ليبيا عدة غيغاواط من قدرة طاقة الرياح، مستفيدة من الرياح المنتظمة القادمة من البحر المتوسط والصحراء.



الشكل 44: خريطة موارد الرياح في ليبيا حسب عامل القدرة (مُرشَّحة لسرعات الرياح القصوى وأحمال التعب)

سياسات الطاقة المتجددة وأهدافها

لتنفيذ هذه الأهداف، أنشأت ليبيا الهيئة العامة للطاقة المتجددة في ليبيا (REAOL) بموجب قانون في عام 2007. تُكلف الهيئة بالتخطيط وتنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة، وجذب الاستثمارات الخاصة، وتطوير الإطار التنظيمي للطاقة المتجددة. منذ ذلك الحين، عمل صانعو السياسات على وضع لوائح تمكينية لتشجيع منتجي الطاقة المستقلين (IPPs) والشراكات بين القطاعين العام والخاص في قطاع الطاقة. تم إعداد قانون جديد للكهرباء يسمح بالتوليد الخاص والتغذية الكهربائية للشبكة، وهو إصلاح كبير في قطاع كان يعمل بالكامل تحت إدارة الدولة تاريخيًا. تدعم منظمات دولية مثل IRENA والبنك الدولي ليبيا من خلال المساعدة الفنية وخطط العمل.

تدرك حكومة ليبيا الحاجة إلى التحول من نظام طاقة يعتمد على الهيدروكربونات ووضعت سياسات وأهدافًا لتعزيز الطاقة المتجددة. حجر الزاوية في الاستراتيجية هو خطة الطاقة المتجددة الاستراتيجية 2025-2013، التي حددت أهدافًا طموحة لدمج الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء. هدفت الخطة في الأصل إلى تحقيق 7 % من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عام 2020 و10 % بحلول عام 2025، على الرغم من عدم تحقيق هدف 2020 بسبب عدم الاستقرار (حيث بلغت النسبة 4% فقط). في عام 2023، أكدت السلطات الليبية على هدف 10 % بحلول عام 2025 وأعلنت عن رؤية طويلة الأجل لتحقيق حوالي 4 غيغاوات من القدرة، أي 20 % من مزيج الطاقة، بحلول عام 2035. تشمل هذه الأهداف مزيجًا من التقنيات، خاصة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، وطاقة الرياح، بالإضافة إلى سخانات المياه الشمسية. من المتوقع أن يحقق عام 2025 1,000 ميغاواط من طاقة الرياح، و800 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية، و400 ميغاواط من الطاقة الشمسية المركزة، بالإضافة إلى انتشار سخانات المياه الشمسية.

تشارك ليبيا في مبادرات إقليمية مثل ممر الطاقة النظيفة في أفريقيا. بينما توجد سياسات وأهداف واضحة على الورق، كان التنفيذ بطيئًا. التركيز الآن على تحويل الأهداف إلى مشاريع ملموسة من خلال تحسين ظروف الأمن، ووضوح اللوائح، وحوافز الاستثمار.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (MoERE).
- الهيئة العامة للطاقة المتجددة في ليبيا (REAOL).

- الشركة العامة للكهرباء في ليبيا (GECOL).
- المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية (LCSERS).
- مجلس الطاقة.
- وزارة النفط والغاز.
- الجامعات والكليات التقنية.
- الشركاء الدوليون (UNDP، GIZ، وIRENA).

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

يوجد نشر الطاقة المتجددة في ليبيا في مرحلة مبكرة، مع وجود عدد قليل من المشاريع الصغيرة قيد التشغيل حاليًا، ولكن هناك عدة مشاريع كبيرة في طور الإعداد. تشمل هذه المشاريع تركيب أنظمة شمسية صغيرة خارج الشبكة وتجريبية مثل أنظمة الطاقة الشمسية التي تعمل على تشغيل محطات تقوية الاتصالات والعيادات، ووحدات ضخ المياه بالطاقة الشمسية، وحفنة من أنظمة الأسطح المتصلة بالشبكة. تم تنفيذ نظام طاقة شمسية مركزية في وادي المرسيت بقدرة 67 كيلوواط وبعض مخططات الكهربة الريفية التي تبلغ حوالي 0.7 ميغاواط مؤخرًا ضمن برامج عامة. يُستخدم وقود الكتلة الحيوية في بعض المنازل الريفية لأغراض الطهي، ولكن لا توجد محطات طاقة تعمل بالكتلة الحيوية. لا توجد حاليًا طاقة رياح متولدة في ليبيا، باستثناء اختبار بعض التوربينات الصغيرة في مرافق البحث.

توشك ليبيا على توسع كبير في الطاقة المتجددة مع خروجها من الصراع. هناك عدة مشاريع طاقة شمسية كهروضوئية كبيرة قيد الإنشاء أو في مرحلة التخطيط المتقدم مثل مزرعة الكفرة الشمسية بقدرة 100 ميغاواط التي بدأت في جنوب شرق ليبيا في عام 2020 مع مقاول صيني وستشغل 200 هكتار. مشروع آخر هو حديقة بني وليد الشمسية بقدرة 50 ميغاواط في شمال غرب ليبيا الذي أطلقته REAOL ومن المتوقع أن يبدأ التشغيل بحلول عام 2025. مصنع طاقة تاجوراء الشمسية (طرابلس) بقدرة 115 ميغاواط في مرحلة البناء ويُذكر لقربه من مراكز الطلب الرئيسية. مشروع سبها للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 40 ميغاواط هو مشروع آخر في مراحله الأولى في المنطقة الجنوبية من البلاد. مزرعة غدامس الشمسية بقدرة 200 ميغاواط هي شراكة بين القطاعين العام والخاص بين GECOL وشركة AG Energy الليبية قيد التطوير لغرب ليبيا وهي حاليًا في مرحلة التنفيذ.

توجد أيضًا مشاريع وشراكات أخرى تم الإعلان عنها بما يتماشى مع أهداف البلاد. حديقة سدادة الضخمة للطاقة الشمسية بقدرة 500 ميغاواط هي مشروع وقعت ليبيا مذكرة تفاهم مع TotalEnergies (فرنسا) لبنائه في وسط ليبيا في عام 2021، مما يجعله الأكبر في البلاد على المدى القصير. ومع ذلك، هناك مشروع أكبر هو برنامج استثمار W Solar بقدرة 2,000 ميغاواط، الذي توصلت ليبيا إلى اتفاق مع شركة ألفا ظبي القابضة (W Solar) الإماراتية لتطويره عبر مواقع متعددة، لكنه لا يزال في مرحلة التخطيط.

في قطاع الرياح، لا تزال مزارع الرياح التجارية الأولى في ليبيا قيد الانتظار. تم تحديد موقعين منذ سنوات — درنة والمقرون — وتم تأمين الأرض للتوربينات، لكن البناء لم يبدأ بعد. هناك اهتمام متجدد بطاقة الرياح منذ عام 2023، حيث تفاوض وفد ليبي مع شركاء أجانب لإعادة النظر في مشاريع مزارع الرياح كجزء من تنويع مصادر الطاقة بخلاف الطاقة الشمسية. يُذكر أن مشروع رياح تجريبي صغير بقدرة حوالي 0.5 ميغاواط قيد التطوير لأغراض الاختبار.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

الشبكة الكهربائية الوطنية في ليبيا واسعة نسبيًا لكنها عانت من سنوات من الصراع والإهمال. تعمل الشبكة كشبكة موحدة تغطي المدن الساحلية والعديد من البلدات الداخلية، مع خطوط نقل رئيسية تربط الشرق والغرب والمناطق الجنوبية. تبلغ القدرة الفعالة للتوليد حوالي 5.5 غيغاواط بسبب الانقطاعات، مقابل طلب ذروة غالبًا ما يتجاوز 7 غيغاواط، مما يؤدي إلى تقليل الأحمال خاصة خ لال فصل الصيف الحار. تشمل البنية التحتية روابط جهد عالي مثل وصلة تشغيلية 220 كيلوفولط مع مصر وروابط مع تونس (على الرغم من مشاكل المزامنة). تبلغ خسائر الشبكة حوالي 15 % تقنيًا، لكن النظام يعاني من اضطرابات إمدادات الوقود وتراكم أعمال الصيانة، مما يؤدي إلى انقطاعات متكررة. لتحسين الموثوقية، أعلنت وزارة الكهرباء عن 20 مشروعًا ذا أولوية للشبكة تركز على إعادة تأهيل المحطات الفرعية، وخطوط نقل جديدة في مناطق الحمل العالي، بالإضافة إلى ترقية البنية التحتية القديمة. يساعد دعم المانحين من البنك الأفريقي للتنمية وغيرهم في توفير قطع الغيار وتحديث أنظمة التحكم.

حتى الآن، لا توجد أنظمة تخزين طاقة كبيرة على الشبكة. سيتطلب دمج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح حلول تخزين لاستقرار الشبكة. تُناقش خطط لإدخال أنظمة تخزين بطاريات تجريبية في مزارع الطاقة الشمسية مثل مصنع سدادة بقدرة 500 ميغاواط. توفر جغرافيا

ليبيا فرصًا محدودة لتخزين الطاقة الكهرومائية بالضخ، لذا سيكون تخزين البطاريات والتخزين الحراري عبر الطاقة الشمسية المركزة أساسيين. تم تركيب أنظمة بطاريات صغيرة في منشآت الطاقة الشمسية خارج الشبكة مثل العيادات وأبراج الاتصالات لضمان استمرارية الخدمة. تدرس ليبيا أيضًا التكامل الإقليمي كشكل من أشكال «التخزين الافتراضي» مثل وصلة كابلات بحرية مع مالطا. يتم التخطيط لهذا لتصدير فائض الطاقة الشمسية إلى أوروبا خلال ذروة الإنتاج، مما يستخدم بشكل فعال شبكة البحر المتوسط الأوسع لموازنة العرض والطلب. بالنسبة ليبيا، يُعتبر تعزيز الشبكة وإضافة سعة التخزين من العوامل الممكّنة الحاسمة لتوسيع الطاقة المتجددة.

التحديات والعقبات

- عدم الاستقرار السياسي والأمني.
- بطء المشتريات بسبب الفجوات التنظيمية والمؤسسية.
- المشاكل الاقتصادية والمالية.
- قيود البنية التحتية.
- القدرات الفنية والبشرية.
- تشوهات السوق والدعم.
- أولويات التعافي بعد الصراع.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

تمتلك ليبيا قاعدة بحثية وأكاديمية تركز على الطاقة المتجددة، لكنها تحتاج إلى تعزيز. يعمل المركز الليبي لبحوث ودراسات الطاقة الشمسية (CSERS) في تاجوراء منذ عام 1978، ويعمل على تطبيقات الطاقة الشمسية الحرارية، واختبارات الطاقة الكهروضوئية، والمشاريع التجريبية إلى جانب أقسام الهندسة في الجامعات. تعطلت أنشطة البحث والتطوير خلال سنوات الصراع، ولكن هناك مؤخرًا تركيز متجدد على بناء الخبرات المحلية مع شركاء مثل الاتحاد الأوروبي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي لتدريب المهندسين والمسؤولين الليبيين من الوزارة، وGECOL، وREAOL، وCSERS. يركز هذا الجهد على الخبرة العملية في تخطيط وتركيب أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الكبيرة والطاقة الشمسية على الأسطح المتصلة بالشبكة.

في مجال الابتكار المحلي، تُدرس مشاريع تجريبية تجمع بين الطاقة الشمسية الكهروضوئية ومولدات الديزل وتخزين البطاريات لتوفير الكهرباء للمدن النائية وتقليل استهلاك الديزل. ستكون هذه المشاريع نماذجًا لدمج الطاقة المتجددة في المناطق خارج الشبكة. البحث جارٍ في تحلية المياه بالطاقة الشمسية وضخ المياه لمعالجة ندرة المياه على الساحل ولضخ المياه في مشروع النهر الصناعي العظيم. هذه الابتكارات المحلية، وإن كانت متواضعة، مهمة لبناء نظام بيئي محلي حول نشر وصيانة تكنولوجيا الطاقة المتجددة.

يلعب التعاون الدولي دورًا رئيسيًا في مشهد البحث والابتكار في ليبيا. تشارك ليبيا بنشاط مع خبراء أجانب من خلال جولات دراسية، وتبادل أكاديمي، ومذكرات تفاهم. على سبيل المثال، لدى REAOL شراكات مع معهد فراونهوفر في ألمانيا حول البحث الشمسي، ومع Power China الصينية حول تقانة محطات الطاقة الشمسية الكبيرة. التزمت شركة Eni الإيطالية، وهي شريك تقليدي رئيس في النفط والغاز، أيضًا بالمساعدة في مشاريع الطاقة المتجددة ودعم خفض الانبعاثات بتوقيع مذكرة تفاهم في عام 2023 حول الطاقة المستدامة ودعم إزالة الكربون. تساعد هذه الشراكات في تقديم تقنيات جديدة مثل روبوتات تنظيف الألواح الشمسية لظروف الصحراء، وتصاميم متقدمة لتوربينات الرياح، وبناء القدرة الليبية لتصنيع أو على الأقل تجميع بعض التقانة محليًا في النهاية.

التوصيات

- تعزيز الإطار التنظيمي.
- إصلاح الدعم تدريجيًا.
- إعادة تأهيل البنية التحتية.
- بناء القدرات وتطوير القوى العاملة المحلية.
- المشاريع التجريبية والعروض التوضيحية.
- الاستفادة من الشراكات الدولية.
- التخطيط المتكامل للطاقة.
- معالجة التمويل والمخاطر.

جمهورية مصر العربية

معلومات عامة

تمتد جمهورية مصر العربية عبر شمال شرق أفريقيا وشبه جزيرة سيناء في آسيا، وتحدها ليبيا من الغرب، والسودان من الجنوب، والبحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر من الشمال والشرق. تبلغ مساحتها حوالي 1,001,450 كيلومتر مربع ويبلغ عدد سكانها أكثر من 114 مليون نسمة، مما يجعلها ثالث أكثر دولة من حيث عدد السكان في أفريقيا. مناخ مصر حار وصحراوي جاف، مع موسم أمطار شتوي معتدل على طول الساحل الشمالي وصيف طويل وجاف من مايو إلى سبتمبر. بسبب الجفاف الشديد في معظم أراضيها، يعيش حوالي 99٪ من السكان على طول وادي النيل والدلتا، والتي تشكل حوالي 5.5٪ فقط من مساحة مصر. توفر هذه الجغرافيا لمصر تعرضًا وفيرًا لأشعة الشمس ومساحات شاسعة من الأراضي الصحراوية المناسبة لمشاريع الطاقة المتجددة واسعة النطاق.

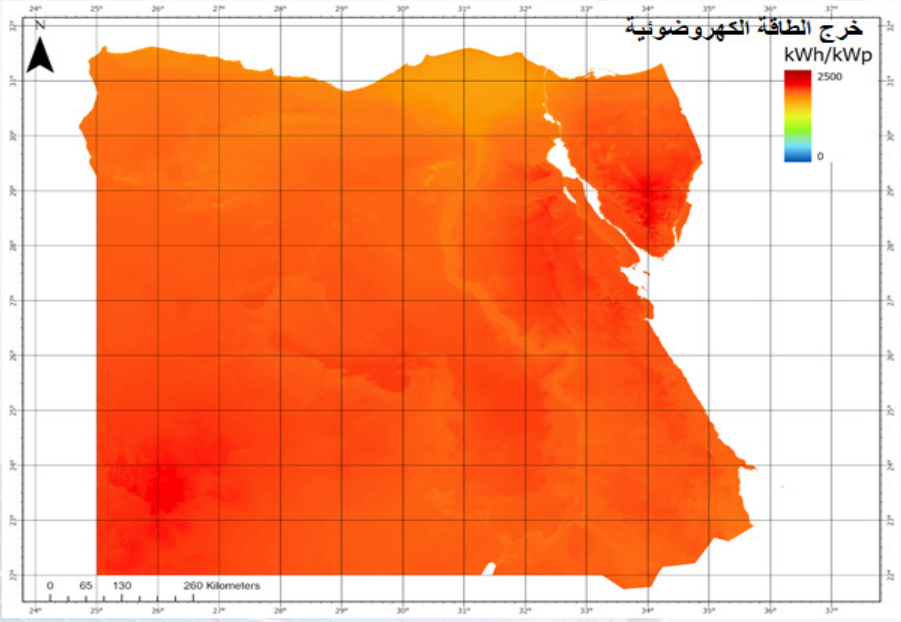
المشهد الطاقي

يتمتع قطاع الطاقة في مصر بتنوع ولكنه لا يزال يعتمد بشكل كبير على الوقود الأحفوري لتوليد الكهرباء. في عام 2023، بلغت القدرة الإنتاجية لمصر حوالي 59.4 غيغاواط، منها حوالي 5.5٪ من الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. ولدت محطات الطاقة حوالي 221.7 تيراواط ساعة من الكهرباء، وهو رقم قياسي مدفوع بالطلب المتزايد من السكان. يعد الغاز الطبيعي هو الوقود المهيمن، حيث يمثل حوالي 84٪ من مزيج الكهرباء في عام 2023، بينما يساهم النفط في حصة إجمالية من الوقود الأحفوري تبلغ حوالي 88٪. والباقي يأتي بشكل رئيس من الطاقة الكهرومائية بنسبة 7٪. بفضل التوسعات الكبيرة في القدرات، حيث تمت إضافة حوالي 38 غيغاواط منذ عام 2015، حققت مصر إمدادًا كهربائيًا مستقرًا ووصولًا شبه عالمي للكهرباء. إلا أن الاعتماد الكبير على الغاز تسبب في مخاطر مثل نقص الغاز في منتصف عام 2022 مما أدى إلى انقطاع التيار الكهربائي خلال فصل الصيف، على الرغم من وجود قدرة كافية. واعترافًا بهذه التحديات، بدأت الحكومة إصلاحات مثل تقليل الدعم وجذب الاستثمار الخاص لتنويع مزيج الطاقة وزيادة حصة الطاقة المتجددة فيه.

إمكانات الطاقة المتجددة

إمكانات الطاقة الشمسية

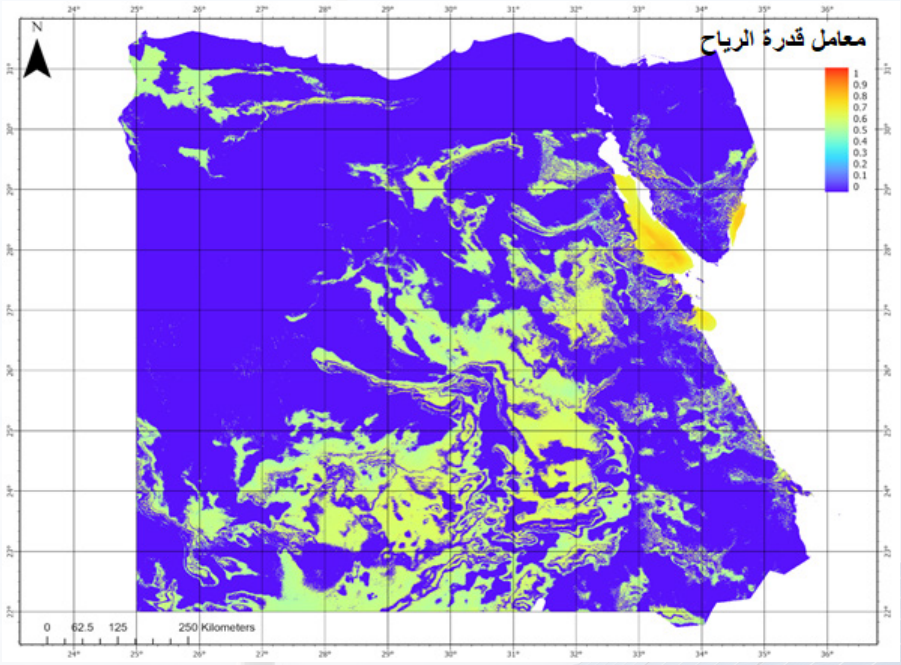
تمتلك مصر مستويات عالية من الإشعاع الشمسي، مما يوفر إمكانات هائلة للطاقة الشمسية. يتراوح الإشعاع الشمسي السنوي تقريبًا من 2000 إلى 3200 كيلوواط ساعة/م^2 في مناطق مختلفة، وتتمتع البلاد بأكثر من 3500 ساعة من أشعة الشمس سنويًا. توفر المساحات الشاسعة من الصحراء غير المأهولة أشعة الشمس المكثفة على مدار العام، مما يوفر مواقع مثالية لمزارع الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV) ومشاريع الطاقة الشمسية المركزة (CSP). المورد الشمسي النظري هائل، ومن الناحية العملية، تشير الخرائط الشمسية إلى أن معظم أنحاء مصر تتمتع بظروف شمسية ممتازة. هناك مشاريع شمسية واسعة النطاق جارية لاستغلال هذه الإمكانات. يعمل مجمع بنبان للطاقة الشمسية في أسوان، وهو أحد أكبر المنشآت الكهروضوئية في العالم، حاليًا بقدرة تبلغ حوالي 1.8 غيغاواط مع خطط لمزيد من التوسع. الإشعاع الشمسي العمودي المباشر (DNI) في المناطق الغربية والجنوبية يجعل مشاريع CSP ممكنة أيضًا. يمكن أن تتجاوز موارد مصر الشمسية الطلب المحلي بكثير، مما يخلق فرصًا ليس فقط للاستخدام المحلي ولكن أيضًا لتصدير الطاقة النظيفة أو الهيدروجين الأخضر.



الشكل 45: خريطة الموارد الشمسية في مصر (المصدر:(GlobalSolarAtlas.info)

إمكانات طاقة الرياح

تمتلك مصر أيضًا موارد كبيرة لطاقة الرياح، وبخاصةٍ في بعض الممرات. يتمتع خليج السويس وساحل البحر الأحمر بسرعات رياح عالية تتراوح بين 8 إلى 10 م/ث على ارتفاعات تتراوح بين 50 إلى 100 متر، مما يجعلها مماثلة لبعض أفضل مواقع طاقة الرياح على مستوى العالم. يمكن أن تصل كثافة طاقة الرياح على اليابسة إلى أكثر من 300 واط/م^2 على ارتفاع 100 متر في العديد من المواقع، مما يشير إلى إمكانات قوية لمزارع الرياح واسعة النطاق. خصصت مصر بالفعل أراضي كافية لحوالي 30 غيغاواط من مشاريع الرياح، وحددت استراتيجية الحكومة «رؤية 2030» هدفًا بقدرة 14 غيغاواط من طاقة الرياح بحلول عام 2030. تشمل مناطق مزارع الرياح الرئيسة الزعفرانة وجبل الزيت (منطقة خليج السويس). هناك مشاريع كبيرة قيد التخطيط مثل عامي 2022 - 2023 عندما وقعت مصر مذكرات تفاهم لمزرعتين رياحيتين ضخمتين بقدرة 10 غيغاواط مع شركاء دوليين، والتي ستكون من بين أكبر مشاريع الرياح في العالم. تؤكد مثل هذه التطورات على أن إمكانات الرياح في مصر، إذا تم استغلالها بالكامل، يمكن أن تلعب دورًا حيويًا في نظام الطاقة الإقليمي.



الشكل 46: خريطة موارد الرياح في مصر حسب عامل السعة (تمت تصفيتها للسرعات القصوى وأحمال التعب).

موارد الطاقة الكهرومائية

تأتي الطاقة الكهرومائية في مصر بشكل كامل تقريبًا من نهر النيل، الذي تم تطويره على نطاق واسع لعقود. يعد السد العالي في أسوان حجر الزاوية في قدرة مصر الكهرومائية بقدرة مركبة تبلغ 2100 ميغاواط. إلى جانب سد خزان أسوان الأقدم والعديد من السدود الصغيرة (إسنا، نجع حمادي، أسيوط)، تبلغ القدرة الكهرومائية المركبة الإجمالية في مصر حوالي 2.8 غيغاواط، وتنتج ما يقرب من 13 إلى 15 تيراواط ساعة في عام عادي. يمثل هذا الجزء الأكبر من الطاقة الكهرومائية المجدية تقنيًا حيث لا يوجد مجال لبناء سدود كبيرة جديدة نظرًا لأن تدفق النيل مستغل بالكامل. يمكن تحقيق بعض المكاسب الإضافية من خلال ترقيات الكفاءة والوحدات الكهرومائية الصغيرة على الهياكل القائمة، لكن إمكانات الطاقة الكهرومائية التقليدية الإضافية محدودة. بدلاً من ذلك، تستكشف مصر مشاريع تخزين الطاقة الكهرومائية بالضخ لدعم تكامل الطاقة المتجددة مع مشروع تخزين طاقة بالضخ بقدرة 2100 إلى 2400 ميغاواط في جبل عتاقة والذي تم التخطيط له لتوفير تخزين طاقة للشبكة وإمدادات الذروة، على الرغم من أنه يتم حاليًا إعادة طرحه للمستثمرين.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

يتم توجيه إطار سياسة الطاقة المتجددة في مصر من خلال استراتيجيتها الوطنية للطاقة المستدامة والتزاماتها المناخية الدولية. في عام 2016، تبنت الحكومة الاستراتيجية المتكاملة للطاقة المستدامة حتى عام 2035، والتي حددت في البداية أهدافًا بنسبة 20٪ من الكهرباء المتجددة بحلول عام 2022 و42٪ بحلول عام 2035. على الرغم من أن الهدف لعام 2022 لم يتحقق بالكامل في الوقت المحدد (حوالي 12٪ فقط بما في ذلك الطاقة الكهرومائية)، إلا أن مصر رفعت منذ ذلك الحين طموحاتها. قامت مصر بتقديم الجدول الزمني لتحقيق هدف 42٪ من الكهرباء المتجددة إلى عام 2030. وأكد رئيس الوزراء في أواخر عام 2024 أن 42٪ من مزيج الطاقة بحلول عام 2030 هو الهدف الرسمي، مقارنة بحوالي 11.5٪ من توليد الطاقة المتجددة الذي تم تحقيقه في عام 2023.

لتحقيق هذه الأهداف، نفذت مصر مجموعة من الأدوات السياسية والإصلاحات التي وضعت أحكامًا لمشاركة القطاع الخاص في الطاقة المتجددة، ونماذج تنموية متعددة، وتعريفات التغذية (FiT). ضمن برنامج التعريفات المضمونة أسعارًا ثابتة لمدة 20 إلى 25 عامًا لطاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية، مما أدى إلى تمويل مشاريع مثل مجمع بنبان للطاقة الشمسية. بعد جولات التعريفات المضمونة التي جذبت أكثر من 2 غيغاواط من الطاقة

الشمسية الكهروضوئية، انتقلت مصر إلى المناقصات والاتفاقيات الثنائية للمشاريع الكبيرة. على الرغم من وجود دعم كبير تاريخيًا على الكهرباء والوقود، إلا أن الحكومة تقوم تدريجيًا بإلغاء دعم الكهرباء ورفع أسعار الوقود، مما يحسن الجدوى الاقتصادية للطاقة المتجددة، لكن إجمالي الدعم لا يزال يقدر بـ 7 مليارات دولار. سياسة القياس الصافي التي تسمح لأنظمة الطاقة المتجددة الصغيرة والمتوسطة بتغذية الطاقة الفائضة إلى الشبكة للحصول على رصيد. وقد حفز ذلك سوقًا متناميًا للطاقة الشمسية على الأسطح للمنازل والشركات، مع المئات من شركات تركيب الطاقة الشمسية المرخصة.

أنشأت وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (MOERE) مجلسًا أعلى للطاقة لتنسيق السياسات وتعمل مع شركاء دوليين (مثل البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية والبنك الدولي وغيرهم) لتسهيل الاستثمار الأخضر. في عام 2024، صدر تنظيم جديد للتجارة الخاصة بالكهرباء بين القطاع الخاص يسمح لمنتجي الطاقة المتجددة ببيع الكهرباء مباشرة إلى المستهلكين الكبار حتى حد معين. استضافت مصر أيضًا مؤتمر الأطراف COP27 للمناخ في عام 2022، حيث أطلقت برنامج Nexus of Water-Food-Energy (NWFE) لتعبئة التمويل المناخي لمشاريع الطاقة المتجددة. تفكر الحكومة في خطط أكثر طموحًا بعد عام 2030. تقترح المسودات الاستراتيجية أهدافًا مثل 61-40٪ من الطاقة المتجددة بحلول عام 2040. تؤكد استراتيجية مصر الوطنية للتغير المناخي 2050 أيضًا على توسيع الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر. سيعتمد تحقيق هذه الأهداف على استمرار الدعم السياسي وترقيات الشبكة وجذب الاستثمار في السنوات القادمة.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة (MOERE).
- الهيئة العامة للطاقة الجديدة والمتجددة (NREA).
- هيئة تنظيم الكهرباء وحماية المستهلك (EgyptERA).
- الشركة القابضة لكهرباء مصر (EEHC).
- الشركة المصرية لنقل الكهرباء (EETC).
- المجلس الأعلى للطاقة.
- وزارة البترول والثروة المعدنية.
- وزارة البيئة والجهاز المصري لشؤون البيئة (EEAA).
- المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE).

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

اعتبارًا من عام 2023، تبلغ القدرة المركبة الإجمالية للطاقة المتجددة في مصر حوالي 6.1 غيغاواط، دون احتساب التوليد الحراري القائم على الطاقة المتجددة. تتكون هذه القدرة من حوالي 2.8 غيغاواط من الطاقة الكهرومائية، و1.6 إلى 1.7 غيغاواط من طاقة الرياح، و1.6 إلى 1.7 غيغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية، بالإضافة إلى حوالي 20 ميغاواط من الطاقة الشمسية المركزة (CSP) وبعض مشاريع الكتلة الحيوية/الغاز الحيوي التجريبية. تشمل المشاريع الرائدة في مصر: مجمع بنبان للطاقة الشمسية في أسوان بإجمالي قدرة حوالي 1.65 غيغاواط عبر 32 محطة، ومزارع الرياح في الزعفرانة وجبل الزيت بإجمالي قدرة تزيد عن 1 غيغجاواط، ومزرعة الرياح الممولة من القطاع الخاص رأس غارب بقدرة 262.5 ميغاواط، ومزرعة الرياح في خليج السويس (غرب بكر) بقدرة 500 ميغاواط والتي بدأت العمل في عام 2021.

هناك المزيد من المشاريع في الطريق لمصر. تقود اتحاد شركات بقيادة ACWA Power مشروع رياح بقدرة 1.1 غيغاواط قيد التطوير. يتم إضافة محطات جديدة واسعة النطاق، مثل محطة AMEA للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 500 ميغاواط في أسوان، و500 إلى 1000 ميجاوات المخطط لها في نفس الموقع. يشمل التوسع من خلال الشراكات العالمية اتحادًا بين الإمارات ومصر يتكون من Infinity وMasdar وحسن علام، وافق على تطوير 10 غيغاواط من طاقة الرياح على اليابسة في مصر، بالإضافة إلى العديد من محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية بإجمالي حوالي 2 إلى 3 غيغاواط المخطط لها عبر اتفاقيات مع مطورين من الإمارات وأوروبا. جذبت مصر أيضًا استثمارات لمرافق الهيدروجين الأخضر التي ستكون مدعومة بطاقة متجددة مخصصة مثل المشروع التجريبي للتحليل الكهربائي بقدرة 100 ميغاواط للأمونيا الخضراء والذي بدأ التجارب في أواخر عام 2022.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

تمتلك مصر شبكة كهرباء وطنية واسعة النطاق تغطي جميع المناطق المأهولة تقريبًا وتخضع لترقيات كبيرة لاستيعاب التوليد الجديد من الطاقة المتجددة. تعمل البلاد بشبكة موحدة مع اتصالات بالدول المجاورة، بما في ذلك وصلة بقدرة 450 إلى 1000 ميغاواط مع الأردن، وصلة أصغر مع ليبيا بقدرة 200 ميغاواط، وصلة بقدرة 80 إلى 300 ميغاواط مع [غير مكتمل]. تقوم مصر والمملكة العربية السعودية ببناء وصلة HVDC بقدرة 3000 ميغاواط لتبادل الطاقة بين البلدين. هناك أيضًا اتفاقية قائمة لإنشاء وصلة EuroAfrica المقترحة التي تمتد بين مصر وقبرص واليونان ككابل بحري بقدرة 2 غيغاواط، مما سيربط مصر بالشبكة

الأوروبية. تدعم هذه المشاريع رؤية مصر لتصبح مركزًا إقليميًا للكهرباء، مما يسمح بتصدير فائض الطاقة المتجددة.

لتحسين شبكتها الداخلية، استثمرت مصر بكثافة في بنية نقل الكهرباء وتقنية الشبكة الذكية. تمت مضاعفة طول شبكة الجهد العالي 500 كيلو فولط أكثر من الضعف، وتمت إضافة العشرات من المحطات الفرعية الجديدة للتعامل مع الأحمال والتوليد المتزايد. تقوم الحكومة بإنشاء مراكز تحكم جديدة (بمساعدة من شركات دولية مثل سيمنز وشنايدر) لتحديث عمليات الشبكة. لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من الترقيات، خاصة خطوط النقل إلى المناطق النائية ذات الرياح العالية وأشعة الشمس حيث تقع العديد من المشاريع. تم تحديد قيود سعة الشبكة كعقبة رئيسة أمام نشر أسرع للطاقة المتجددة. تسعى مصر بنشاط للحصول على دعم دولي من جهات مثل البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية والبنك الدولي لتعزيز الشبكة وتوسيعها لدمج مزارع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المخطط لها.

التحديات والعقبات

- قيود الشبكة.
- عقبات تنظيمية ومؤسسية.
- قضايا مالية واقتصادية.
- مزيج الطاقة ودعم الوقود.
- الصناعة المحلية والمهارات.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

استثمرت مصر في البحث والتطوير (R&D) وتعزيز الصناعات المحلية لدعم طموحاتها في مجال الطاقة المتجددة. تقوم الهيئة العامة للطاقة الجديدة والمتجددة (NREA) والجامعات المصرية بإجراء دراسات حول رسم الخرائط للموارد، وتكيف التقانة وتكامل الشبكة. تستضيف مصر المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE) في القاهرة، للمساعدة في تبادل المعرفة وبناء القدرات في مجال الطاقة النظيفة عبر منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. محليًا، تموّل برامج مثل مبادرة الأكاديمية المصرية للبحث العلمي للطاقة المتجددة مشاريع تجريبية مثل تحلية المياه بالطاقة الشمسية في المناطق النائية، أو نماذج توربينات الرياح. قامت مصر بتكليف محطة تجريبية للطاقة الشمسية الحرارية المركبة بقدرة 20 ميغاواط في الكريمات في عام 2011، والتي تجمع بين الطاقة الشمسية المركزة ومحطة غاز، لاكتساب الخبرة في تقانة الطاقة الشمسية الحرارية المتقدمة.

تشجع الحكومة بنشاط التصنيع المحلي لمكونات الطاقة المتجددة. بحلول عام 2018، حققت مصر تحقيقًا محليًا لأكثر من 30٪ من الأجزاء المستخدمة في مشاريع مزارع الرياح واسعة النطاق، بشكل رئيسي من خلال أبراج التوربينات المحلية، الكابلات، والأعمال المدنية. هناك مصنع لشفرات توربينات الرياح في منطقة السويس والعديد من الشركات التي تنتج هياكل التركيب والمعدات الكهربائية لمزارع الطاقة الشمسية. بالنسبة للطاقة الشمسية المركزة (CSP)، تم تحديد هدف تحقيق محلي بنسبة 50٪، مستفيدًا من صناعات الفولاذ والزجاج في مصر. في قطاع الطاقة الشمسية الكهروضوئية، أنشأت شركات مثل السويدى إليكتريك خطوط تجميع للألواح الشمسية، وهناك خطط قيد التنفيذ لتوسيع التصنيع. في عام 2023، أعلن اتحاد يضم مصدر وإنفينيتي عن مشروع لتطوير قدرة تصنيع ألواح شمسية بقدرة 4 غيغاواط في مصر، إلى جانب مصنع بطاريات بقدرة 2 غيغاواط، لتزويد محطات الطاقة الشمسية المستقبلية.

تضع مصر نفسها في صناعة الهيدروجين الأخضر الناشئة. جذبت مواردها المتجددة الممتازة وموقعها الاستراتيجي العديد من المقترحات للهيدروجين الأخضر. وفقًا للخطط الحكومية، تهدف مصر إلى إنتاج 1.5 مليون طن من الهيدروجين الأخضر سنويًا بحلول عام 2030، وترتفع إلى 5.8 مليون طن بحلول عام 2040. هناك عدة مشاريع تجريبية جارية مثل مصنع الهيدروجين الأخضر الصغير الذي تم افتتاحه في أواخر عام 2022 في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس لإنتاج الأمونيا، مما يجعله الأول في أفريقيا. من خلال الشراكات مع شركات دولية من أوروبا والولايات المتحدة والصين والخليج، تجلب مصر خبراتها وابتكاراتها في مجالات مثل التحليل الكهربائي للهيدروجين، تخزين البطاريات، وتحلية المياه بالطاقة الشمسية الحرارية.

تشجع مصر أيضًا الابتكار المحلي من خلال المسابقات وحاضنات الأعمال. تدعم هذه البرامج الشركات الناشئة العاملة على أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية للزراعة وحلول كفاءة الطاقة. من خلال تنمية المهارات الفنية المحلية والتصنيع، تهدف مصر ليس فقط إلى تلبية الطلب المحلي ولكن لتصبح مصدرًا لتقانة الطاقة المتجددة والمعرفة الفنية.

التوصيات

- تسريع توسيع الشبكة الكهربائية وتحديثها.
- تبسيط العمليات التنظيمية.
- تعزيز الحوافز السوقية.
- تأمين التمويل والشراكات.
- بناء القدرات المحلية.

المملكة المغربية

معلومات عامة

تعكس الرؤية الاستراتيجية للمغرب للانتقال الطاقي التزامًا قويًا بمواجهة تحديات تغير المناخ مع الاستفادة من الفرص الناشئة. منذ عام 2009، عندما تم إطلاق الاستراتيجية الوطنية للطاقة، زادت البلاد من حصة الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء لديها. تعمق هذا الالتزام مع الخطة الوطنية للمناخ 2020 - 2030، التي تركز على الابتكار الأخضر، واستراتيجية التنمية منخفضة الكربون طويلة الأجل «المغرب 2050»، التي وضعت أسس النمو الواعي بالكربون.

رفع المغرب طموحاته في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى 45.5٪ بحلول عام 2030 من خلال مساهمته المحددة وطنياً المحدثة، بينما يستهدف تحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050. سيتم تحقيق هذه الأهداف جزئيًا من خلال خفض استهلاك الطاقة بنسبة 20٪ وتوسيع مصادر الطاقة المتجددة لتشكل 52٪ من إجمالي القدرة المركبة بحلول عام 2030. تستثمر البلاد بشكل كبير في بنية الطاقة المتجددة التحتية، لا سيما من خلال توسيع محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الوطنية عبر مناطق متنوعة. كما أطلق المغرب عرضًا طموحًا باسم «العرض المغربي» لتطوير الهيدروجين الأخضر.

المشهد الطاقي

يكشف المشهد الطاقي للمغرب في عام 2024 عن تناقض صارخ بين إنتاجه المحلي العالي من الطاقة المتجددة (حيث تمثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية 93.8٪ من الطاقة المحلية) وتوليد الكهرباء الذي لا يزال يهيمن عليه الفحم (60.5٪)، بينما تظل البلاد تعتمد بشكل كبير على واردات الطاقة التي تكلف 104.6 مليار درهم لتلبية إجمالي استهلاكها البالغ 24,002 كيلوطن مكافئ نفط.

الجدول 15 : إحصاءات مشهد الطاقة (غير مسمى في الوثيقة، يحتوي على إجمالي استهلاك الطاقة وإجمالي توليد الكهرباء واستيراد/تصدير الطاقة ونسبة مزيج الطاقة والطلب على الكهرباء

إجمالي استهلاك الطاقة	استهلك المغرب 24,002 كيلو طن مكافئ نفطي من الطاقة في عام 2024، حيث كانت الكهرباء (11,085 كيلو طن مكافئ نفطي)، والوقود الأبيض (7,824 كيلو طن مكافئ نفطي)، والبوتان (3,089 كيلو طن مكافئ نفطي) فئات الاستهلاك الأساسية.
إجمالي توليد الكهرباء	بلغ إنتاج الكهرباء المحلي 43,558 غيغاوات ساعة، بشكل أساسي من الفحم (26,362 غيغاوات ساعة)، تليها طاقة الرياح (9,256 غيغاوات ساعة)، والغاز الطبيعي (4,186 جيجاوات ساعة)، والطاقة الشمسية (1,644 غيغاوات ساعة)
استيراد/تصدير الطاقة	بلغت تكلفة واردات المغرب الصافية من الطاقة 104.6 مليار درهم، حيث تمثل المنتجات البترولية (88.9 مليار درهم) والفحم (10.8 مليار درهم) أكبر تكاليف الواردات.
مصادر الطاقة بالنسب المئوية	إنتاج الطاقة المحلي: الفحم 0 %، النفط 0.1 %، الغاز الطبيعي 1.5 %، التدفئة الصناعية 1.3 %، الطاقة الكهرومائية 3.3 %، طاقة الرياح 79.7 %، الطاقة الشمسية 14.1 %. توليد الكهرباء: الفحم 60.5 %، البترول 2.9 %، الغاز الطبيعي 9.6 %، التدفئة الصناعية 0.3 %، التخزين بالضخ 0.7 %، الطاقة الكهرومائية 0.9 %، طاقة الرياح 21.3 %، الطاقة الشمسية 3.8 %.
الطلب على الكهرباء	إجمالي الطلب على الكهرباء 45.713 تيراواط/ساعة في عام 2024 (ONEE، 2025)

إمكانات الطاقة المتجددة

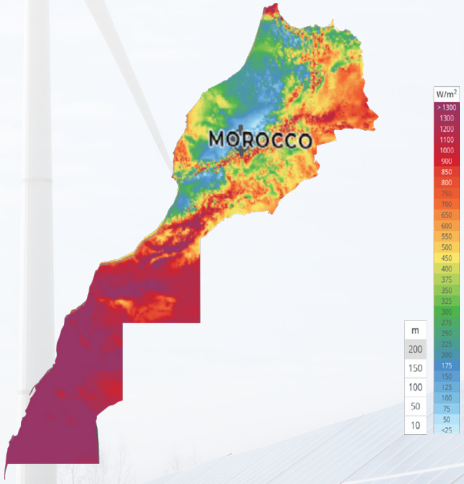
طاقة الرياح

تمتلك المغرب إمكانات استثنائية لطاقة الرياح، خاصة على طول سواحلها. تظهر المناطق الأطلسية الجنوبية الغربية بالقرب من العيون والداخلة أعلى سرعات للرياح (8 - 9.9 م/ث على ارتفاع 80 مترًا)، مصنفة كموارد «رائعة» (>9.4 م/ث) و»استثنائية» (8.6 - 9.4 م/ث) للتطوير التجاري. تظهر منطقة كلميم أيضًا إمكانات كبيرة بسرعات رياح عالية باستمرار.

يقدم الساحل الأطلسي المركزي ظروف رياح «مناسبة» (7.5 - 8.1 م/ث) إلى «جيدة» (6.9 - 7.5 م/ث)، لا تزال قابلة للتطبيق للمشاريع. في حين أن المناطق الداخلية الوسطى بما في ذلك الدار البيضاء وفاس وبني ملال تشهد سرعات رياح أقل (3 - 4 م/ث)، وتقع في فئات «هامشية» (5.9 - 6.9 م/ث) أو «ضعيفة» (<5.9 م/ث)، مما يحد من جدواها التجارية.

تكشف خريطة الملاءمة عن مواقع مثالية متركزة على طول الساحل الأطلسي، مع مناطق جنوبية غربية تظهر ظروفًا مناسبة للغاية (4 - 5 درجات). يظهر شمال المغرب ملاءمة متغيرة مع مناطق أقل ملاءمة متداخلة مع مناطق ذات إمكانات متوسطة. بينما تظهر المناطق الداخلية ملاءمة متوسطة في الغالب، بينما تمثل بعض المناطق المستثناة مراكز حضرية.

تمنح الميزة الجغرافية للمغرب مناطق ذات إمكانات بعيدة عن المناطق المأهولة، مما يقلل من صراعات استخدام الأراضي ويمكن أن يضع البلاد كرائدة إقليمية في إنتاج طاقة الرياح.



الشكل 47: إمكانات طاقة الرياح في المغرب

الطاقة الشمسية

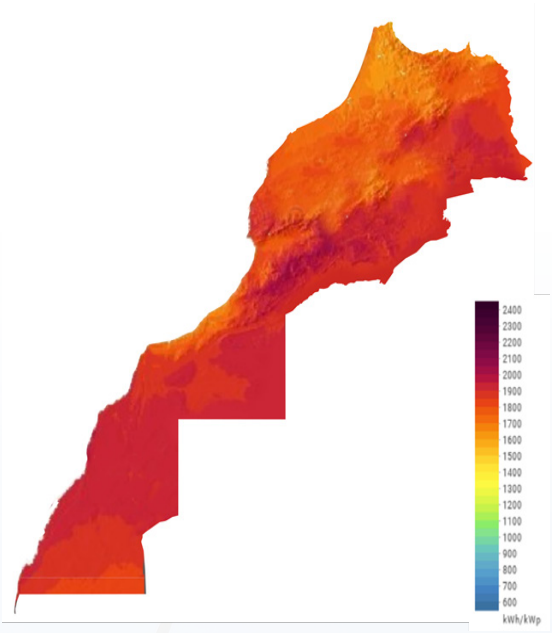
تمتلك المغرب موارد شمسية استثنائية مع حوالي 3,000 ساعة من أشعة الشمس سنويًا وإشعاع يتجاوز 2,200 كيلوواط ساعة/م². تتبع إمكانات الطاقة الشمسية في المغرب تدرجًا واضحًا من الشمال إلى الجنوب، حيث تتلقى المناطق الشمالية 1700 - 1900 كيلوواط ساعة/م² (لا تزال قابلة للتطبيق تجاريًا)، والمناطق الوسطى حوالي 2000 كيلوواط ساعة/م²، والمناطق الجنوبية، خاصة تلك المتاخمة للصحراء الكبرى، تتجاوز 2200 - 2300 كيلوواط ساعة/م².

يشرح هذا التوزيع المواتي المواقع الاستراتيجية للمنشآت الكبرى مثل مجمع نور ورزازات في وسط جنوب المغرب. حتى المناطق «الأقل مثالية» في شمال البلاد تتلقى إشعاعًا شمسيًا كبيرًا مقارنة بالمعدلات العالمية.

حددت وزارة الانتقال الطاقي والتنمية المستدامة أربع مناطق محددة لتطوير الطاقة الشمسية في جميع أنحاء المغرب:

- المنطقة 1: المناطق الوسطى والشرقية (بني ملال-خنيفرة، درعة-تافيلالت، إلخ.)
- المنطقة 2: المناطق الجنوبية (سوس-ماسة، كلميم-وادي نون، إلخ.)
- المنطقة 3: المناطق الوسطى والغربية (مراكش-آسفي، الدار البيضاء-سطات، إلخ.)
- المنطقة 4: المناطق الشمالية (طنجة-تطوان-الحسيمة، الشرقية)

تم اختيار هذه المناطق بناءً على قيم الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي (GHI) تتراوح بين 1006 و2453 كيلوواط ساعة/م²، مما يوضح التزام المغرب بتوسيع قدرة الطاقة المتجددة من خلال الاستفادة من الموارد الشمسية عبر مناطق جغرافية متنوعة.



الشكل 48: إمكانات الطاقة الشمسية في المغرب

موارد الطاقة الكهرومائية في المغرب

ساهم قطاع الطاقة الكهرومائية في المغرب بـ 382 غيغاواط ساعة في توليد الكهرباء في عام 2024، مما يمثل 0.9٪ فقط من إجمالي إنتاج الكهرباء في البلاد (بونونة، 2025). على الرغم من هذه المساهمة المتواضعة، تمتلك المغرب إمكانات كهرومائية غير مستغلة بشكل كبير، بخاصةٍ في منطقة جبال الأطلس. تمتلك البلاد ما يقرب من 2 غيغاواط من القدرة الكهرومائية المركبة وركزت مؤخرًا على محطات الطاقة الكهرومائية الصغيرة والمتوسطة كجزء من استراتيجية انتقالها إلى الطاقة المتجددة (IRENA، 2023).

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية في المغرب

حددت الدراسات الأولية موارد حرارية أرضية واعدة في المنطقة الشمالية الشرقية من المغرب، وبخاصةٍ بالقرب من بركان وأوجدة، حيث تشير الينابيع الحرارية إلى إمكانات حرارية تحت السطح (بركاوي وآخرون، 2022). بدأت ماسن التقييمات الأولية لهذه الموارد، على الرغم من أن العمل الاستكشافي الكبير لا يزال مطلوبًا قبل المضي قدمًا في التطوير التجاري.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

صممت استراتيجية الطاقة المغربية لتحويل الانتقال إلى الطاقة المستدامة إلى قوة دافعة للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في جميع أنحاء البلاد. يركز هذا النهج على ضمان أمن الطاقة والتوافر والوصول الشامل وإدارة الطلب والحفاظ على البيئة كأهداف رئيسة. تركز الاستراتيجية بشكل خاص على تطوير الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة الطاقة وزيادة مرونة النظام الكهربائي وتعزيز إنتاج الكهرباء اللامركزي. بالإضافة إلى ذلك، يلتزم المغرب بإزالة الكربون عن القطاع الصناعي، واستكشاف مصادر طاقة مبتكرة مثل الهيدروجين والكتلة الحيوية والطاقة البحرية، وتطوير طرق تخزين الطاقة المتقدمة مع تعزيز التكامل الإقليمي (MTEDD، 2025).

أهداف الطاقة المتجددة

تم هيكلة أهداف الطاقة المتجددة في المغرب على النحو التالي:

- بحلول عام 2030: يهدف المغرب إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء إلى 52٪ بحلول عام 2030.
- بحلول عام 2040، يهدف المغرب إلى تحقيق 70٪ من الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء (من حيث إنتاج الطاقة والقدرة).
- بحلول عام 2050، يزيد هذا الهدف إلى 80٪ من الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء (مرة أخرى، من حيث الطاقة والقدرة).

التزامات صافي الصفر/إزالة الكربون

تمثل استراتيجية المغرب منخفضة الكربون 2050 التزام المناخ للبلاد لتحقيق الحياد الكربوني. تهدف الاستراتيجية إلى البناء على أهداف المغرب المحدثة للمساهمات المحددة وطنياً لعام 2030 من خلال وضع استراتيجية شاملة طويلة الأجل للتنمية منخفضة الانبعاثات تتماشى مع المادة 4.19 من اتفاقية باريس. من خلال سبع توجهات استراتيجية، يخطط المغرب لزيادة الكهرباء المتجددة، وتسريع التحول إلى الكهرباء عبر قطاعات الصناعة والمباني والنقل، واستكشاف تطوير الهيدروجين الأخضر. تؤكد الاستراتيجية على كفاءة الطاقة الواسعة النطاق، ومبادئ الاقتصاد الدائري والزراعة المستدامة والحفاظ على النظم البيئية للغابات والنقل متعدد الوسائط وإنشاء مدن ذكية منخفضة الكربون. يعتمد تنفيذها على الحوكمة

الإقليمية من خلال إطار «الجهوية المتقدمة» في المغرب، مع أدوار كبيرة للسلطات الإقليمية في التخطيط المناخي. سيتم قياس الاستراتيجية من خلال مسارات إزالة الكربون القطاعية التفصيلية وبدعم من إعادة توجيه القطاع المالي نحو الاستثمارات المقاومة للمناخ، مما يضع المغرب في النهاية كاقتصاد أخضر تنافسي مع خلق فرص عمل مستدامة.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسية

تتولى عدة مؤسسات رئيسة إدارة وتنظيم تطوير الطاقة المتجددة في المغرب:

- المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب (ONEE) هو المرافق الوطنية للكهرباء والماء في المغرب الذي يعمل كمشغل لنظام النقل في البلاد، حيث يدير شبكة الكهرباء الوطنية بينما يشرف على توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها إلى جانب خدمات إنتاج وتوزيع مياه الشرب.
- الوكالة المغربية للطاقة المستدامة (MASEN) مسؤولة عن إدارة مشاريع الطاقة المتجددة وتنفيذ برنامج الطاقة المتجددة في البلاد، لا سيما من خلال تطوير مجمعات الطاقة المتجددة واسعة النطاق مثل نور ورزازات. وهي تعزز مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكهرومائية المتكاملة مع جذب الاستثمارات الدولية والتقانية.
- الوكالة الوطنية لتنظيم الكهرباء (ANRE) هي هيئة تنظيمية مستقلة في المغرب تأسست عام 2016 للإشراف على تحرير قطاع الكهرباء وضمان المنافسة العادلة وشفافية السوق والامتثال للمعايير الفنية والبيئية.
- وزارة الانتقال الطاقي والتنمية المستدامة هي الوزارة المعنية بقطاع الطاقة والإشراف على تطوير السياسات.

قائمة مشاريع الطاقة المتجددة في المغرب

نفذت المغرب عدة محطات لطاقة الرياح عبر مختلف المحافظات، بإجمالي قدرة تشغيلية تبلغ 2448.8 ميغاواط اعتبارًا من عام 2024. يمتد التطوير على مدى أكثر من عقدين، بدءًا من محطة الكدية البيضاء بقدرة 50 ميغاواط في عام 2000 وصولاً إلى منشآت أكبر مثل محطة طرفاية بقدرة 301.3 ميغاواط (2014) ومحطة بوجدور بقدرة 318 ميغاواط (2022). خطط التوسع المستقبلية طموحة، بما في ذلك مشروع OCP للرياح بقدرة 2600 ميغاواط في طرفاية، مما يزيد أكثر من ضعف قدرة طاقة الرياح الحالية في البلاد.

الجدول 16: قائمة بمشاريع طاقة الرياح

الاسم	سنة البدء/ القانون الأساسي	المقاطعة	القدرة بالميغاواط
أموغدول الصويرة	2007	الصويرة	60
لافارج	2010	تطوان	32
طنجة الأولى	2009	طنجة ، دهر سعدان	107
	2011	طنجة ، بني مجمل	33
سيمار	2012	العيون	5
أخفنير	2013 - 2016	اخفنير, اقليم طرفايا	203
فم الواد	2013	العيون	50.6
هاوما	2013	الفنيدق	50.6
طرفاية	2014	طرفاية	301.3
جبل خلادي	2019	طنجة	120
أفتيسات الأول	2019	بوجدور	201.6
ميدلت	2020	ميدلت	210
الوليدية	2021	سيدي بنور	36
تازة	2022	تازة	150
بوجدور	2022	بوجدور	318
جبل لحديد	2023	الصويرة	270
أفتيسات الثاني	2023	بوجدور	200
إعادة تأهيل كوديا البيضاء	2024	تطوان	100
المجموع الجزئي	2,488.8 ميغا واط		
محطة تحلية المياه الداخلة	مخطط لعام 2025	الداخلة	40
نسيم كوديا البيضاء	مخطط لعام 2025	فحص- أنجرة	150
نسيم دار الشاوي	مخطط لعام 2025	طنجة، تطوان	250
أكوا باور – جوشن باور المغرب	مخطط لعام 2026	غير محدد	500
بير إنزاراني	مخطط لعام 2026	الداخلة	360
GA Tarfaya – Wind OCP	مخطط لعام 2027	طرفاية	2600
متحف رياح تطوان	مخطط لعام 2029	تطوان	130 ميغاواط
المجموع الجزئي	4,030 ميغا واط		

بالإضافة إلى ذلك، يسلط جدول محفظة الطاقة الشمسية واسعة النطاق في المغرب الضوء على التزام البلاد الكبير بتطوير الطاقة المتجددة عبر مناطق متعددة. تعرض البيانات 11 مشروعًا شمسيًا تشغيليًا بإجمالي قدرة 850 ميغاواط وتقانة كهروضوئية. بينما توجد 2,744 ميغاواط أخرى في مراحل مختلفة من التطوير أو البناء. تقع هذه المنشآت في جميع أنحاء مناطق المغرب المتنوعة، مع تركيز كبير في منطقة درعة-تافيلالت.

من ناحية أخرى، يقدر أن أكثر من 1,000 ميغاواط من الطاقة الكهروضوئية الشمسية الموزعة مثبتة في المنازل والمباني الإدارية والمصانع الصناعية والفنادق ومراكز الخدمات والمزارع.

الجدول 17: قائمة مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق

اسم المشروع		القدرة بالميغاواط	التكنولوجيا المستخدمة	المقاطعة، المنطقة	الحالة
عين بني ماثار		20	الطاقة الشمسية المركزة	جرادة ، الشرقية	تشغيلي
نور ورزازات الأول		160	الطاقة الشمسية المركزة	ورزازات ، درعة تافيلالت	تشغيلي
نور ورزازات الثاني		200	الطاقة الشمسية المركزة	ورزازات ، درعة تافيلالت	تشغيلي
نور ورزازات الثالث		150	الطاقة الشمسية المركزة	ورزازات ، جهة درعة تافيلالت	تشغيلي
نور I PV	نور ورزازات الرابع	70	الطاقة الشمسية	ورزازات ، جهة درعة تافيلالت	تشغيلي
	نور العيون الأول	80	الطاقة الشمسية	العيون - العيون الساقية الحمراء	تشغيلي
	نور بوجدور الأول	20	الطاقة الشمسية	بوجدور العيون - الساقية الحمراء	تشغيلي

نور تافيلالت	نور زاكورة	40	الطاقة الشمسية	زاكورة، درعة تافيلالت	تشغيلي
	نور أرفود	40	الطاقة الشمسية	أرفود ، درعة تافيلالت	تشغيلي
	نور ميسور	40	الطاقة الشمسية	ميسور ، درعة تافيلالت	تشغيلي
طاقة المغرب الخضراء		30	الطاقة الشمسية	طنجة أصيلة ، تاغر تطوان الحسيمة	تشغيلي
المجموع		850 ميجا واط			
برنامج OCP للطاقة الشمسية	المكتب الشريف للفوسفات - بن جرير	67	الطاقة الشمسية	بن جرير ، مراكش صافي	تحت الإنشاء
	المكتب الشريف للفوسفات - خريبكة	135	الطاقة الشمسية	خريبكة ، بني ملال خنيفرة	
نور بوجدور الثاني		350	الطاقة الشمسية	بوجدور العيون - الساقية الحمراء	تطوير

نور أطلس	عين بني ماثار	89	الطاقة الشمسية	جرادة ، الشرقية	تطوير
	إنجيل	34	الطاقة الشمسية	بولي مين في مكناس	
	بوعنان	24	الطاقة الشمسية	فجيج ، الشرقية	
	بودنيب	29	الطاقة الشمسية	الرشيدية ، درعة تافيلالت	
	تاتا	29	الطاقة الشمسية	طاطا، درعة تافيلالت	
	تانتان	29	الطاقة الشمسية	تانتان ، كلميم واد نون	
نور ميدلت الأول		825	300 ميغاواط من الطاقة الشمسية المركزة و 525 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية	ميدلت, درعة تافيلات	تطوير
نور ميدلت الثاني		400	الطاقة الشمسية	ميدلت, درعة تافيلات	تطوير
نور ميدلت الثالث		400	الطاقة الشمسية	ميدلت, درعة تافيلات	تطوير
متحف تينزنيت		48	الطاقة الشمسية	تزنيت	تطوير
GA Tarfaya – PV OCP		1200	الطاقة الشمسية	طرفاية	تطوير

محطة نور للطاقة الشمسية - المرحلة الأولى	عين بني ماثار	69	الطاقة الشمسية	جرادة، الشرقية	تطوير
	الحاجب	36	الطاقة الشمسية	الحاجب، فيس مكنس	
	باجاد	48	الطاقة الشمسية	خريبكة، بني ملال خنيفرة	
	سيدي بنور	48	الطاقة الشمسية	سيدي بنور، الدار البيضاء سطات	
	قلعة سراغنا	48	الطاقة الشمسية	قلعة سراغنا، مراكش صافي	
	تارودانت	36	الطاقة الشمسية	تارودانت ، سوس ماسة	
	جرسيف	48	الطاقة الشمسية	جرسيف ، شرقي	
المجموع			2,792 ميغا واط		

بنية الشبكة الكهربائية

اعتبارًا من نهاية عام 2023، وصلت شبكة نقل الجهد العالي إلى إجمالي 29,105 كيلومتر من الخطوط، موزعة كما يلي: 4,164 كيلومتر من خطوط 400 كيلو فولت، 11,259 كيلومتر من خطوط 225 كيلو فولت، 147 كيلومتر من خطوط 150 كيلو فولط، و13,535 كيلومتر من خطوط 60 كيلو فولط. بالإضافة إلى ذلك، تمتد شبكة الجهد المتوسط على إجمالي طول 99,022 كيلومتر، بينما تمتد شبكة الجهد المنخفض على 249,788 كيلومتر (ONEE، 2023).

- **الربط مع الدول المجاورة**

تشمل وصلات الربط الكهربائي التشغيلية مع الدول التالية:

- إسبانيا

يتكون الربط بين المغرب وإسبانيا من خطين رئيسين. الأول، خط ملوسة (المغرب) - طريفة (إسبانيا) البالغ طوله 26 كيلومترًا، تم تشغيله في عام 1996 ويعمل بجهد 400 كيلو فولط بسعة 700 ميغاواط في التيار المتردد. الثاني، خط ملوسة/2 (المغرب) - طريفة/2 (إسبانيا)،

الذي تم تشغيله في عام 2006، يمتد حوالي 31.1 كيلومترًا ويعمل بجهد 400 كيلو فولط، بسعة 700 ميغاواط (ONEE، 2025؛ وRED، 2006).

- الجزائر

لدى الجزائر والمغرب وصلات ربط تشمل خطًا بطول 47 كيلومترًا بين غزوات (الجزائر) وجدة (المغرب)، تم تشغيله في عام 1988، بجهد 225 كيلو فولط في التيار المتردد. وصلة أخرى، تم تشغيلها في عام 1992، تربط تلمسان (الجزائر) بوجدة (المغرب) بجهد 225 كيلو فولط. بالإضافة إلى ذلك، فإن الربط بين حاسي عامر (الجزائر) وبورديم (المغرب)، الذي تم تشغيله في عام 2009، يتكون من خطين 400 كيلو فولط في التيار المتردد، بإجمالي طول 232 كيلومترًا. تمتلك الخطوط سعة تبادل إجمالية تبلغ 1500 ميغاواط (كرمان، أ. 2010).

بالإضافة إلى ذلك، يشارك المغرب في تطوير مشاريع الربط الكهربائي التالية:

- الربط HVDC بين المغرب والبرتغال

يعتمد الربط المقترح HVDC 400 كيلو فولط بين بن حرشان، المغرب وتافيرا، البرتغال على تكوين دوائر ثنائية القطب (محول ثنائي) بقدرة 500 ميغاواط لكل منهما وإجمالي طول 265 كيلومترًا (ONEE، 2025).

- ثالث ربط بين المغرب وإسبانيا

يعمل ONEE ومشغل نظام النقل الإسباني Red Eléctrica على تطوير ربط كهربائي جديد بجهد 400 كيلو فولط عالي التيار المتردد، بين المغرب وإسبانيا بما في ذلك كابل بحري بطول 30 كيلومترًا. سيقدم المشروع سعة نقل إضافية تبلغ 600 ميغاواط، ومخطط لتشغيله بحلول عام 2030.

- موريتانيا

وقعت المغرب وموريتانيا في عام 2024 اتفاقية لتنفيذ ربط كهربائي بخط 400 كيلو فولت.

مشاريع تخزين الكهرباء في المغرب

وسع المغرب بشكل كبير قدرته في مجال الطاقة المتجددة، وأصبح تخزين الكهرباء ضروريًا لاستقرار الشبكة ولمزيد من نشر محطات الطاقة المتجددة المتقطعة. تشمل استراتيجية انتقال الطاقة في البلاد استثمارات في حلول تخزين متنوعة لتكملة توليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. تتراوح هذه الحلول بين محطات التخزين بالضخ وأنظمة البطاريات إلى تخزين الملح المنصهر لمحطات الطاقة الشمسية المركزة، مما يخلق نهجًا شاملاً لإدارة الكهرباء.

محطات تخزين الطاقة بالضخ التشغيلية

طور المغرب بنية تحتية شاملة لتخزين الطاقة الكهرومائية بالضخ لدعم انتقاله إلى الطاقة المتجددة وتعزيز استقرار الشبكة. تعمل البلاد حاليًا بمنشأتين رئيستين وتطور مشروعين إضافيين.

تتميز محطة عبد المومن لتخزين الطاقة بالضخ، الواقعة على بعد 70 كيلومترًا شمال شرق أغادير، بقدرة مركبة تبلغ 350 ميغاواط مع وحدتين عكسيتين بقدرة 175 ميغاواط لكل منهما. تتضمن المنشأة خزانين للتخزين (1.3 مليون متر مكعب لكل منهما)، دائرة مائية بطول 3 كيلومترات مع أنبوب ضغط، مبنى المحطة، ومحطة فرعية بجهد 225 كيلو فولط.

تستخدم محطة أفورير، الواقعة بالقرب من بني ملال بين مراكش ومكناس، خزانين بفرق ارتفاع يبلغ 800 متر. يتم تغذيتها من السدود الموجودة على روافد نهر أم الربيع، وتعمل بمعدل تدفق ضخ يبلغ 40 متر مكعب/ثانية وتدفق توربيني يبلغ 70 متر مكعب/ثانية، مما يتيح دورتين يوميًا. تبلغ سعة كل خزان 1.26 مليون متر مكعب.

تحت التطوير مشروع إفاسة بالقرب من شفشاون (بقدرة 300 ميغاواط مع خزانين سعة 793,000 متر مكعب لكل منهما) ومشروع المنزل بالقرب من فاس (بقدرة 400-300 ميغاواط مع وحدتين عكسيتين). يتميز كلا المشروعين بأنظمة دوائر مغلقة مع خزانات علوية وسفلية متصلة ببنية تحتية هيدروليكية.

تدعم هذه المنشآت هدف المغرب المتمثل في تحقيق 52٪ من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، معالجة ذروة الطلب والتخفيف من تحديات التقطع.

أنظمة تخزين طاقة البطاريات

يعمل المغرب على تطوير أنظمة تخزين طاقة البطاريات (BESS) لدعم انتقاله إلى الطاقة المتجددة. في مارس 2025، أطلق ONEE مبادرة رئيسة لتثبيت 1600 ميغاواط ساعة-تيار متردد من بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم (LFP) في عشر مواقع في جميع أنحاء البلاد، بسعات تتراوح بين 100 - 300 ميغاواط ساعة لكل موقع. يهدف هذا البرنامج إلى تعزيز مرونة الشبكة، وتمكين تكامل أكبر للطاقة المتجددة، وتقديم خدمات أساسية بما في ذلك تحويل الأحمال وإدارة الطاقة التفاعلية.

يتميز مشروع نور ميدلت 3 بتركيب 400 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية مع نظام BESS بسعة 400 ميغاواط ساعة مصمم خصيصًا لدعم تكامل الطاقة المتجددة وتلبية ذروة الطلب.

في أوسرد، يدمج نظام الطاقة الهجين مجموعة شمسية كهروضوئية بقدرة 1.5 ميغاواط مع محطة ديزل موجودة من خلال نظام بطاريات LFP بسعة 5 ميغاواط ساعة. يتيح هذا التكوين إمدادًا كهربائيًا على مدار الساعة مع تحسين استخدام الموارد.

تنفذ مجموعة OCP نظام BESS بسعة 100 ميغاواط ساعة كجزء من برنامجها الاستثماري الأخضر البالغ 13 مليار دولار. يدعم نظام التخزين هذا ست محطات للطاقة الشمسية في بن جرير وخريبكة بإجمالي قدرة 602 ميغاواط ذروة، يتم نشرها على مرحلتين: 202 ميغاواط ذروة في المرحلة الأولى و400 ميغاواط ذروة مع تخزين البطاريات في المرحلة الثانية.

أنظمة تخزين الملح المنصهر

يستخدم مجمع نور للطاقة الشمسية في المغرب أنظمة تخزين حراري بالملح المنصهر عبر محطاته الثلاث لتمكين توليد الكهرباء بعد ساعات النهار. يوفر نور 1 (160 ميغاواط) 3 ساعات من التخزين بكامل الحمل، ويقدم نور 2 (200 ميغاواط) 6 ساعات بسعة 85٪، ويتميز نور 3 بخزانات تخزين سعة 17,600 متر مكعب مع سعة 2,620 ميغاواط حرارية. تستخدم جميع الأنظمة خليطًا من نترات الصوديوم ونترات البوتاسيوم، تعمل بين 565-290 درجة مئوية. أثناء التشغيل الشمسي، تنتقل الحرارة الزائدة إلى الأملاح، تتحرك من الخزانات الباردة إلى الساخنة. عند الحاجة، تنعكس هذه العملية، مما يسمح باستمرار إنتاج الكهرباء خلال فترات ذروة الطلب أو بعد غروب الشمس.

البحث والتطوير

أنشأ المغرب بنية تحتية للبحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة لدعم انتقاله الطاقي الوطني. يعمل معهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات الجديدة كمنشأة بحثية ووكالة تمويل للمشاريع التعاونية. يستضيف منصة غرين إنرجي بارك عدة مبادرات مبتكرة بما في ذلك غرين آند سمارت بيلدينج بارك، ماروتيست (لاختبار الطاقة الكهروضوئية)، PV Roadways (لمقارنة تقانات الطاقة الشمسية)، «موديول دو ديزير» (لتطوير ألواح شمسية متكيفة مع الصحراء)، ومختبر اختبار معتمد. بالإضافة إلى ذلك، تسهل ماسن الاستثمارات الخاصة مع تعزيز البحث والتطوير لتحسين أداء تقانة الطاقة المتجددة وتطوير القدرة الصناعية المحلية. كما يؤكد المغرب على بناء القدرات والشبكات للباحثين.

تقدم العديد من الجامعات والمؤسسات المغربية برامج تدريبية متنوعة في مجال الطاقة المتجددة من الشهادات الفنية إلى الدرجات المتقدمة.

التصنيع المحلي

يغطي قطاع التصنيع المحلي معظم سلسلة قيمة الطاقة المتجددة. تشمل التطورات الأخيرة مصنع ريش توربينات الرياح التابع لشركة إيولون بالقرب من الناظور، منشأة إنتاج الألواح الشمسية التابعة لشركة المادن في الحسيمة، والعديد من الشركات المصنعة للكابلات الكهربائية.

بالإضافة إلى ذلك، هناك عدة مشاريع لتصنيع البطاريات قيد الإنشاء، بما في ذلك غيغا فاكتوري ليثيوم أيون بقدرة 20 غيغاواط ساعة لشركة غوشن هاي-تيك في القنيطرة، مصانع الكاثود والأنود التابعة لشركة BTR Mediterranean في طنجة، ومصنع الأنود التابع لشركة فالكون إنرجي ماتيريالز. بدأ مصنع بطاريات COBCO عملياته في أوائل عام 2025.

أقام المغرب تعاونًا دوليًا من خلال IRESEN، بالشراكة مع مؤسسات مثـل SATT وAFD وUM6P ومجموعة OCP وغيرها لتسهيل نقل التقانة والابتكار في مجال الطاقة المتجددة.

الاستنتاجات

يُظهر المغرب نهجًا استراتيجيًا وشاملاً للانتقال الطاقي. تدعم الأهداف الطموحة للبلاد، بما في ذلك تحقيق 52٪ من قدرة الطاقة المتجددة بحلول عام 2030 وصافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050، استثمارات كبيرة في تقانات الطاقة المتجددة المتنوعة وحلول التخزين.

يمثل التوزيع الجغرافي لموارد المغرب المتجددة تحديًا وفرصة في آن واحد. تتركز إمكانات طاقة الرياح على طول الساحل الأطلسي، وبخاصةٍ في المناطق الجنوبية الغربية من العيون والداخلة وطرفاية، حيث تتجاوز سرعات الرياح 8 - 9 م/ث. أصبحت هذه المناطق محط تركيز رئيس لتطوير مزارع الرياح الكبرى في المغرب، مع وجود 2,448.8 ميغاواط من القدرة التشغيلية المثبتة بالفعل وتوسعات كبيرة مخطط لها، بما في ذلك مشروع OCP للرياح بقدرة 2,600 ميغاواط في طرفاية.

وبالمثل، تتبع الموارد الشمسية تدرجًا من الشمال إلى الجنوب، مع إمكانات استثنائية في المناطق الجنوبية حيث يتجاوز الإشعاع الشمسي 2,200 - 2,300 كيلوواط ساعة/م^2. قام المغرب بتطوير منشآت شمسية كبيرة النطاق بشكل استراتيجي في هذه المناطق ذات الإمكانات العالية، مع مشاريع بارزة مثل مجمع نور ورزازات. تشمل محفظة الطاقة الشمسية الحالية في البلاد 850 ميغاواط من القدرة التشغيلية، مع 2,744 ميغاواط إضافية قيد التطوير أو البناء، مما يوضح نموًا كبيرًا في هذا القطاع.

أحد الأصول الرئيسة لاستراتيجية المغرب للطاقة المتجددة هو استثماره في حلول تخزين متنوعة، ضرورية لإدارة تقطع توليد الطاقة المتجددة وضمان استقرار الشبكة. تشمل هذه الحلول محطات تخزين الطاقة بالضخ، وأنظمة تخزين طاقة البطاريات، وأنظمة تخزين الملح المنصهر المبتكرة. تتيح هذه التقنيات التكميلية للمغرب تمديد توليد الطاقة المتجددة إلى ما بعد فترات ذروة توفر الموارد، وفصل الجمع عن التوليد بشكل فعال.

يستحق التموضع الاستراتيجي لمشاريع الطاقة المتجددة في المغرب التقدير أيضًا. غالبًا ما تقع المنشآت الرئيسة في مناطق أقل كثافة سكانية، مما يقلل من صراعات استخدام الأراضي مع تعظيم استخدام الموارد. سمح هذا النهج للمغرب بتطوير قدرة متجددة كبيرة دون تعطيل اجتماعي كبير، مما يخلق نموذجًا يوازن بين الاعتبارات الفنية والبيئية والاجتماعية.

بالنظر إلى المستقبل، يمثل «العرض المغربي» لتطوير الهيدروجين الأخضر الحدود التالية في رحلة المغرب للطاقة المتجددة، وذلك من خلال الاستفادة من موارده المتجددة الوفيرة لإنتاج الهيدروجين الأخضر.

الجمهورية الإسلامية الموريتانية

معلومات عامة

موريتانيا هي دولة تقع في شمال أفريقيا بمساحة تبلغ 1,030,700 كيلومتر مربع وساحل يمتد لـ 754 كيلومترًا على طول المحيط الأطلسي. تتمتع البلاد بموارد وفيرة للطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، مع إمكانات كبيرة لإنتاج الهيدروجين الأخضر. يتميز المناخ بارتفاع درجات الحرارة التي تتجاوز 40 درجة مئوية في معظم المناطق باستثناء الساحل الشمالي. تقع موريتانيا عند مفترق الطرق بين شمال أفريقيا وأفريقيا جنوب الصحراء، مما يمنحها موقعًا استراتيجيًا يوفر فرصًا لتطوير واستغلال مشاريع الطاقة المتجددة.

المشهد الطاقي

الجدول 18: بيانات الطاقة في موريتانيا

إجمالي استهلاك الطاقة	54 بيتا جول (2021)
إجمالي توليد الكهرباء	1.7 تيراواط ساعي (2021)
استيراد/تصدير الطاقة	في عام 2022، بلغت واردات المنتجات البترولية 409,976 طنًا، معظمها من الغاز الطبيعي (68.3 %) والوقود (15.1 %).
مصادر الطاقة (كنسب مئوية)	النفط (المستورد): المصدر الرئيسي. حيث يُشكل النفط 89% من إنتاج الكهرباء تحديدًا. الكتلة الحيوية التقليدية (المحلية): نسبة كبيرة. الرياح: 6 % من الكهرباء الطاقة الشمسية الكهروضوئية: 5 % من الكهرباء
الطلب على الكهرباء	البيانات غير متوافرة في المستندات المصدرية

إمكانات الطاقة المتجددة

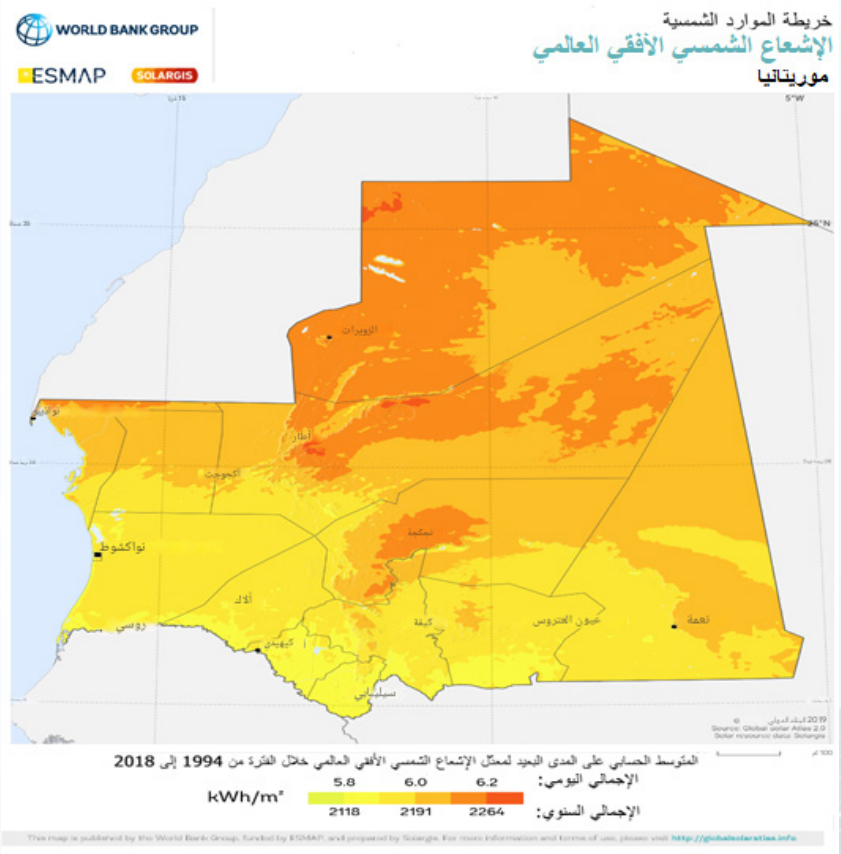
إمكانات الطاقة الشمسية

تمتلك موريتانيا موارد شمسية استثنائية مع إشعاع أفقي عالمي (GHI) يتراوح بين 2000-2200 كيلوواط ساعة/م²/سنويًا في معظم أراضيها.

تظهر المناطق الشمالية والوسطى في موريتانيا أعلى إمكانات شمسية (المناطق البرتقالية/ الحمراء)، خاصة حول زويرات، أطار، وتيجكجة. بينما تظهر المناطق الجنوبية والساحلية، بما في ذلك العاصمة نواكشوط، إمكانات عالية بشكل معتدل (المناطق الصفراء). تم تحديد المدن الرئيسة، بما في ذلك نواكشوط، نواذيبو، زويرات، كيفة، والنعمة.

تتلقى البلاد حوالي 3920 ساعة من أشعة الشمس سنويًا في نواكشوط، مع مستويات مماثلة متوقعة في جميع أنحاء البلاد.

وفقًا لوزارة البترول والمناجم والطاقة، تمتلك موريتانيا إمكانات إنتاج للطاقة الشمسية تبلغ 585 تيراواط ساعة من قدرة 330 غيغاواط إذا تم تخصيص 5٪ فقط من الأراضي للإنتاج الشمسي.



الشكل 49: الإشعاع الأفقي العالمي في موريتانيا

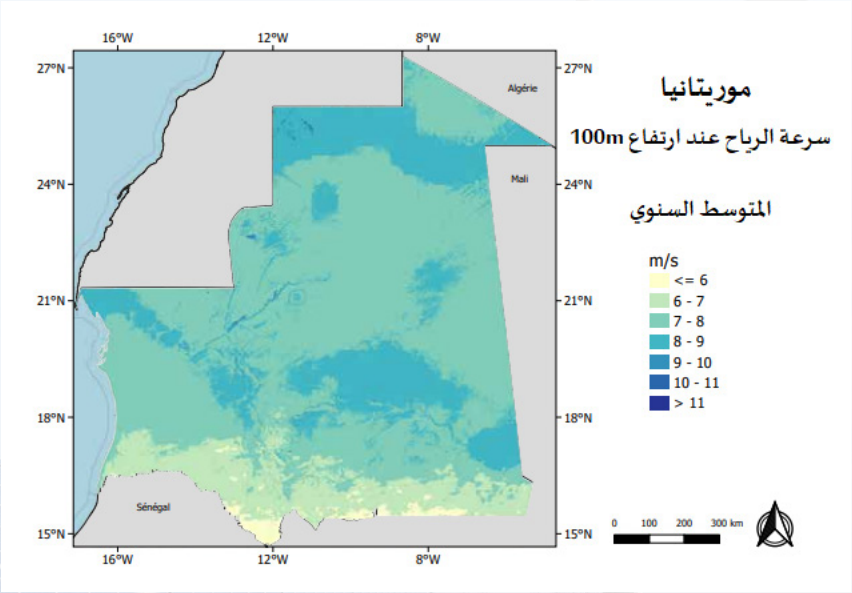
إمكانات طاقة الرياح

تتمتع موريتانيا بموارد رياح استثنائية، حيث تتجاوز سرعات الرياح 8 م/ث في معظم أنحاء البلاد.

تظهر المناطق الساحلية في موريتانيا، وبخاصةٍ على طول الساحل الأطلسي الغربي، أعلى سرعات للرياح (8 - 9 م/ث)، ممثلة بالمناطق الزرقاء الفيروزية. بينما تظهر المناطق الشمالية والوسطى من البلاد سرعات رياح معتدلة (7 - 8 م/ث)، موضحة بظلال أفتح من الأزرق والأخضر. أما المناطق الجنوبية المتاخمة للسنغال فلها أقل سرعات رياح (6 - 7 م/ث أو أقل)، ممثلة بألوان خضراء فاتحة.

توضح هذه الخريطة إمكانات طاقة الرياح في موريتانيا، حيث تكون المناطق الأكثر وعدًا لتطوير طاقة الرياح على طول الساحل الأطلسي. عند النظر إليها جنبًا إلى جنب مع خريطة الموارد الشمسية، تظهر أن موريتانيا تمتلك موارد طاقة متجددة متكاملة، مع إمكانات رياح قوية في المناطق الساحلية وإمكانات شمسية ممتازة في جميع أنحاء البلاد، خاصة في المناطق الشمالية.

مع تخصيص 5٪ فقط من أراضيها لطاقة الرياح (51,535 كيلومتر مربع)، يمكن لموريتانيا توليد 111 تيراواط ساعة من قدرة 33 غيغاواط. تقدم المناطق الساحلية، خاصة حول نواذيبو، أقوى موارد الرياح.



الشكل 50: سرعة الرياح على ارتفاع 100 متر

موارد الطاقة الكهرومائية

تمتلك موريتانيا موارد محدودة للطاقة الكهرومائية لكنها تستفيد من سد مانانتالي الكهرومائي، المشترك من خلال منظمة تنمية نهر السنغال. تبلغ سعة التخزين في منشأة مانانتالي 11 مليار متر مكعب وتولد حوالي 807 غيغاواط ساعة سنويًا من خلال خمس توربينات كابلان بإجمالي قدرة 200 ميغاواط.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

تركز استراتيجية الطاقة في موريتانيا للفترة 2020 - 2030 على ثلاثة أهداف رئيسة: تعزيز أمن الطاقة من خلال التطوير واسع النطاق للموارد المتجددة، وتحقيق الوصول الشامل للكهرباء بحلول 2030 (مع وصول 100٪ في المناطق الحضرية وزيادة الوصول في المناطق الريفية إلى الضعف بحلول 2024)، وجعل قطاع الطاقة محركًا للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. تتضمن الاستراتيجية نهجًا من ثلاث مراحل: تطوير موارد الغاز الطبيعي البحرية (2022 - 2025)، وتوسيع مشاريع الغاز وإدخال تقنيات إزالة الكربون (2025 - 2030)، وتطوير إنتاج الهيدروجين والأمونيا المتجددة على نطاق واسع (من 2030).

أهداف الطاقة المتجددة (النسبة المئوية (%) حسب السنة)

- بحلول 2030 : 60٪ طاقة متجددة في مزيج الطاقة و13 غيغاواط قدرة متجددة؛
- بحلول 2040 : 36 غيغاواط قدرة متجددة؛
- بحلول 2050 : 70 غيغاواط قدرة متجددة.

التزامات صافي الصفر/إزالة الكربون

تهدف مساهمة موريتانيا المحددة وطنيًا (NDC) المحدثة إلى خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة 11٪ بحلول 2030 مقارنة بالسيناريو المعتاد مع الموارد المحلية والدعم الدولي بمستويات 2020. ومع توافر دعم دولي معزز، تهدف موريتانيا إلى تحقيق الحياد الكربوني بخفض 92٪ من السيناريو المعتاد. يغطي الالتزام قطاعات الطاقة والعمليات الصناعية والزراعة/الغابات والنفايات، مع تحديد الطاقة كأعلى قطاع يحتمل خفض الانبعاثات.

الهيئات والمؤسسات التنظيمية الرئيسة

• وزارة البترول والمناجم والطاقة: الوزارة المسؤولة عن الإشراف على قطاعات البترول والمناجم والطاقة في موريتانيا وتطويرها. تلعب الوزارة دورًا حاسمًا في تنفيذ سياسة الطاقة في موريتانيا، بما في ذلك الخطة الثلاثية المراحل لتحقيق الوصول الشامل للكهرباء بحلول 2030 من خلال تطوير موارد الغاز الطبيعي والطاقة الشمسية وطاقة الرياح. تشرف على الشركة الموريتانية للكهرباء (سومالك).

• الشركة الموريتانية للكهرباء (سومالك): هي الشركة المملوكة للدولة المسؤولة عن توليد وتوريد الكهرباء في معظم أنحاء البلاد. اعتبارًا من 2022، قامت سومالك بتشغيل 490 ميغاواط من القدرة التوليدية، primarily من المنشآت الحرارية التي تعمل بزيت الوقود الثقيل، إلى جانب 30 ميغاواط من طاقة الرياح و83 ميغاواط من الطاقة الشمسية.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

اعتبارًا من 2021، كان لدى موريتانيا 229.52 ميغاواط من قدرة الطاقة المتجددة المركبة، باستثناء محطة الطاقة الكهرومائية التابعة لمنظمة تنمية نهر السنغال. تشمل:

طاقة الرياح

تبلغ القدرة المركبة الإجمالية لطاقة الرياح في موريتانيا 134.67 ميغاواط، والتي تشمل مزارع الرياح التالية:

- مزرعة رياح نواكشوط: 30 ميغاواط؛
- مزرعة رياح بولنوار: 100 ميغاواط؛
- مزرعة رياح نواذيبو: 4.4 ميغغاواط؛
- مزرعة رياح شامي: 0.27 ميغاواط.

الطاقة الشمسية (94.85 ميغاواط)

تبلغ القدرة المركبة الإجمالية للطاقة الشمسية في موريتانيا 94.85 ميغاوات، والتي تشمل المحطات الشمسية التالية:

- محطة توجنين الشمسية (نواكشوط): 50 ميغاواط؛
- محطة نواكشوط الشمسية: 15 ميغاواط (حوالي 30,000 لوح شمسي رقيق)؛
- محطة زويرات الشمسية: 12 ميغاواط؛

- ثماني محطات شمسية ريفية: 16.6 ميغاواط إجمالاً؛
- محطات هجينة في النعمة (0.75 ميغاواط) وعادل باغرو (0.5 ميغاواط).

المشاريع قيد التطوير

يتم حاليًا تطوير المشاريع الشمسية التالية في البلاد.

- محطة النعمة الشمسية: 50 ميغاواط؛
- محطة كيفة الشمسية: 50 ميغاواط مع نظام تخزين بالبطاريات (BESS).

بالإضافة إلى ذلك، تم الإعلان عن عدة مشاريع كبيرة للهيدروجين الأخضر، بما في ذلك:

- مشروع نور (شركة شاريوت أويل آند غاز/تي إتش 2): قدرة 10 غيغاواط (3 غيغاواط في المرحلة الأولى)؛
- مشروع أمان (سي دبليو بي غلوبال): قدرة 30 غيغاواط (18 غيغاواط رياح، 12 غيغاواط شمسية)؛
- مشروع إنفينيتي/كونجونكتا: قدرة متجددة 15 غيغاوات؛
- مشروع ميغاتون مون (جرينجو إنرجي): توليد هجين شمسي-رياح بقدرة 60 غيغاواط/190 تيراواط ساعة.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

تكامل الطاقة المتجددة في الشبكة

اعتبارًا من 2023، كان لدى موريتانيا حوالي 1,950 كيلومترًا من خطوط نقل الجهد العالي (225 كيلو فولت و90 كيلو فولت) و5,450 كيلومترًا من خطوط الجهد المتوسط/المنخفض. تهدف البلاد بحلول 2030 إلى توسيع هذا إلى 4,500 كيلومتر من خطوط الجهد العالي و10,000 كيلومتر من خطوط الجهد المتوسط/المنخفض.

الربط مع الدول المجاورة

موريتانيا متصلة بشبكة منظمة تنمية نهر السنغال (OMVS) عبر سد مانانتالي. يتم حاليًا تطوير خط جهد عالي جديد (225 كيلو فولت) يربط نواكشوط بالنعمة (1,400 كيلومتر)، والذي سيوفر اتصالاً ثانيًا بشبكة OMVS عبر ألاك، سانغريف، كيفة، تينتان، عيون العتروس، والنعمة، مع اتصال إضافي بمالي في كايس من تينتان.

بالإضافة إلى ذلك، وقع وزراء الطاقة في المغرب وموريتانيا مذكرة تفاهم لتعزيز الشراكة في قطاعات الكهرباء والطاقة المتجددة. تشمل الاتفاقية دراسة تنفيذ مشروع ربط كهربائي بين البلدين. يهدف هذا الربط إلى استقرار شبكات الكهرباء في كلا البلدين وتحسين إمدادات الكهرباء.

التحديات والعقبات

على الرغم من امتلاكها إمكانات كبيرة للطاقة المتجددة بفضل مساحاتها الصحراوية الشاسعة وساحلها الأطلسي البالغ طوله 754 كيلومترًا الذي يوفر موارد وفيرة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، تواجه موريتانيا تحديات في استغلال هذه الأصول للتنمية المستدامة.

تخلق بنية النقل غير الكافية في البلاد اختناقات في توزيع الكهرباء، بينما يحدد نقص سعة تخزين الطاقة من تكامل مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة في الشبكة الوطنية. يمثل استقرار الشبكة تحديًا تقنيًا، حيث تكافح البنية التحتية الحالية لاستيعاب الطبيعة المتغيرة لتوليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

في الوقت نفسه، تفتقر البلاد إلى قطاع تصنيع قوي يمكنه توطين تصنيع مكونات أو معدات الطاقة المتجددة، مما يجعلها تعتمد بشكل كبير على الواردات ويزيد من تكاليف المشاريع.

بالإضافة إلى ذلك، تمثل التمويل ورأس المال تحديًا آخر، حيث تتطلب مشاريع الطاقة المتجددة استثمارات أولية عالية بينما تظل الأسواق المالية المحلية محدودة، مما يخلق اعتمادًا على الاستثمار الأجنبي الذي غالبًا ما يأتي بشروط معقدة.

أخيرًا، تطرح الحقيقة الجغرافية لتطوير المشاريع في المناطق الصحراوية النائية في موريتانيا تعقيدات لوجستية، حيث تزيد شبكات الطرق المحدودة والاتصالات والخدمات الأساسية من تكاليف البناء والتشغيل.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

البحث والتطوير في تقانات الطاقة المتجددة

أجريت عدة دراسات ومشاريع بحثية في موريتانيا لدعم تطوير الطاقة المتجددة ومعالجة تحديات الطاقة في البلاد. تهدف هذه الجهود إلى تقييم إمكانات الموارد المحلية، وتحسين أداء المنشآت الحالية، واقتراح حلول تقنية اقتصادية مناسبة.

ومع ذلك، تستثمر البلاد أقل من 0.1٪ من ناتجها المحلي الإجمالي في البحث والتطوير بشكل عام. يتدفق التمويل الحكومي للبحث والتطوير بشكل أساس من خلال الوكالة الوطنية للبحث العلمي والابتكار والإدارات الوزارية المختلفة، بإجمالي إنفاق مقدر بحوالي 4 ملايين يورو (167.6 مليون أوقية) في 2021.

الجامعات والمؤسسات البحثية المشاركة

تضم المؤسسات الرئيسة المشاركة في البحث والابتكار في مجال الطاقة المتجددة ما يلي:

- الوكالة الوطنية للبحث العلمي والابتكار (ANRSI).
- جامعة نواكشوط العصرية (UNA) ووحداتها البحثية المختلفة.
- المدرسة العليا للأساتذة (ENS).
- مركز البحوث التطبيقية في الطاقة المتجددة في موريتانيا (CRAER): يعزز تطبيقات الطاقة المتجددة وتحلية المياه والتبريد مع شركاء وطنيين ودوليين. يستخدم CRAER البحث التطبيقي لحل المشكلات الجديدة التي تطرحها التطبيقات المختلفة في الميدان والحاجة إلى التدريب الأكاديمي؛ ومع ذلك، فإن نقص الموارد والطبيعة الدورية للمشاريع يجعل جمع البيانات ورأس المال صعبًا.
- المعهد العالي للتعليم التقاني في روصو (ISET-Rosso)
- المدرسة العليا للمناجم في موريتانيا (EMiM)، الموجودة في نواكشوط، وهي مؤسسة رائدة متخصصة في مجالات الهندسة والموارد الطبيعية. تلعب دورًا حيويًا في تطوير الابتكار التقاني في موريتانيا. تشتهر بتميزها الأكاديمي، وتشارك EMiM في البحث، وبخاصةٍ في مجال الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح، مما يساهم في التنمية المستدامة والنمو الاقتصادي في البلاد والمنطقة.
- المعهد العالي للتعليم اتقاني (ISET): يجري أبحاثًا تطبيقية حول عدة مواضيع.

التصنيع المحلي وسلسلة التوريد

تبدو قدرات التصنيع المحلي في تقانات الطاقة المتجددة محدودة. وتعد الصناعة الكيميائية، الضرورية للمعدات والمواد المتخصصة اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتخزينه وتوزيعه، في مرحلة مبكرة، وتركز بشكلٍ أساس على السلع الاستهلاكية. لا يوجد حاليًا صناعة لإنتاج الهيدروجين أو تصنيع المعدات المرتبطة به مثل الخلايا الكهروضوئية ومكونات توربينات الرياح وأجهزة التحليل الكهربائي، أو معدات تخزين الهيدروجين.

نقل التقانة والتعاون الدولي

وقعت موريتانيا مؤخرًا عددًا من الشراكات الدولية تهدف إلى تطوير مشاريع إنتاج الهيدروجين الأخضر التي تشمل نقل التقانة. وتشمل التعاونات الرئيسة مبادرة فريق أوروبا مع الاتحاد الأوروبي وبنك الاستثمار الأوروبي وفرنسا وألمانيا وإسبانيا ومشروع نور مع الشركة البريطانية شاريوت أويل آند غاز وTE H2 (مشروع مشترك بين توتال إنرجيز ومجموعة إرين)؛ مشروع أمان مع الشركة الأسترالية سي دبليو بي غلوبال؛ شراكة مع مصدر الإماراتية وإنفينيتي المصرية؛ ومبادرة HyDeal Africa بقيادة Gaia Energy وHyDeal لتصدير الهيدروجين الأخضر إلى أوروبا. بالإضافة إلى ذلك، تشارك الشركة البريطانية متعددة الجنسيات للنفط والغاز (BP) في مشروع نسيم.

الجمهورية اليمنية

معلومات عامة

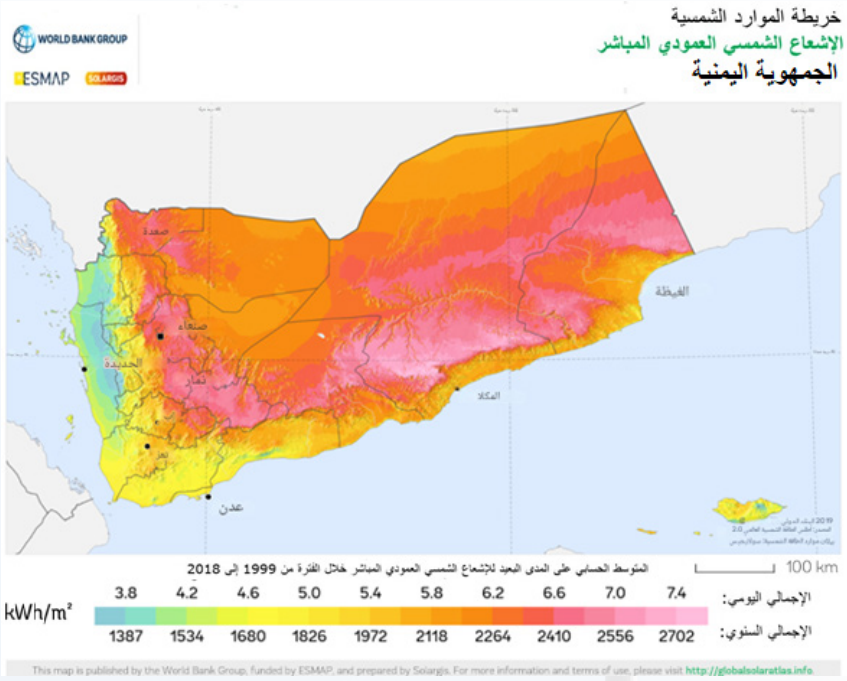
اليمن دولة منخفضة الدخل تقع في شبه الجزيرة العربية ويبلغ عدد سكانها حوالي 30 مليون نسمة، تواجه حاليًا واحدة من أسوأ الأزمات الإنسانية في العالم بسبب الصراع المستمر منذ عام 2015. أدى عدم الاستقرار المطول إلى شل اقتصاد اليمن وبنيته التحتية، مع تدهور الخدمات الأساسية. كان اليمن يعاني من نقص في الطاقة قبل الصراع، مع محدودية الوصول إلى الكهرباء المحلية واعتماد كبير على الوقود المستورد. يتميز مناخ البلاد بالحرارة والجفاف، مع وجود مناطق صحراوية شاسعة ومناطق مرتفعة توفر إشعاعًا شمسيًا وفيرًا وبعض المناطق الساحلية القابلة لاستغلال طاقة الرياح. صادق اليمن قانونيًا على اتفاقية باريس واعترف بضرورة استغلال موارد الطاقة المتجددة في محاولة لتلبية الطلب المتزايد والحد من الانبعاثات؛ ومع ذلك، فإن عدم الاستقرار السياسي ونقص القدرة المؤسسية أعاقا بشدة التطور في قطاع الطاقة. نتيجة لذلك، يتخلف اليمن كثيرًا عن الدول المجاورة في التطوير والكهربة، مما يبرز الحاجة الملحة لمصادر الطاقة المستدامة.

المشهد الطاقي

يعتمد اليمن بنسبة تقارب 100٪ على الوقود الأحفوري، وخاصة النفط، في توليد الكهرباء. وكانت الشبكة الوطنية قبل الحرب تتمتع بقدرة مركبة تبلغ حوالي 1.5 غيغاوات (مع محطة ماريب للغاز بقدرة ~340 ميغاوات ومحطات الديزل). ومع ذلك، كان التوليد الفعلي أقل بكثير بسبب نقص الوقود والأضرار وأعمال الصيانة، حيث وصل إلى أقل من 100 ميغاوات في الفترة الأخيرة. انهارت الشبكة العامة بشكل فعلي — فقد تم تدمير 55٪ من بنية الكهرباء التحتية خلال الحرب. ويتم الآن خدمة حوالي 12٪ فقط من السكان بالكهرباء من قبل المرافق العامة، بينما يعتمد معظم الآخرين على مولدات الديزل الخاصة وأنظمة الطاقة الشمسية خارج الشبكة. يبلغ إجمالي الوصول إلى الكهرباء حوالي 76٪، وهو رقم ارتفع مع تحول الأسر إلى أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية خلال الحرب. لا يزال مزيج الطاقة في اليمن يعتمد بنسبة ~99.9٪ على الوقود الأحفوري، بينما تساهم الطاقة المتجددة بأقل من 0.1٪. يعد استهلاك الكهرباء للفرد منخفضًا جدًا، وانقطاعات التيار المتكررة شائعة. يستورد اليمن الوقود المكرر (بنزين، ديزل) لتلبية الاحتياجات المحلية ولكن لا يوجد لديه وصلات شبكية عابرة للحدود. يمكن أن تصل تكلفة الكهرباء من توليد الديزل الخاص إلى 0.90 دولار لكل كيلوواط ساعة، مما يجعل خدمات الطاقة الحديثة باهظة الثمن وغير موثوقة لمعظم اليمنيين. يؤكد هذا الوضع المأساوي على الضرورة الملحة لتعزيز تفانات الطاقة المتجددة بأسعار معقولة لتحسين أمن الطاقة.

إمكانات الطاقة المتجددة (الشمسية، الرياح، الكهرومائية والحرارية الأرضية)

يمتلك اليمن موارد متجددة غير مستغلة بشكل كبير عبر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والحرارية الأرضية، على الرغم من أن الإمكانات الكهرومائية القابلة للاستغلال محدودة. أكدت عدة دراسات وتقييمات أن المصادر الأربعة الرئيسة للطاقة المتجددة — الشمسية، الرياح، الحرارية الأرضية، والكتلة الحيوية — موجودة بوفرة ويمكن تسخيرها لتلبية احتياجات الطاقة المتزايدة في اليمن. وحددت دراسة لوزارة الكهرباء الإمكانات النظرية والعملية لهذه الموارد، مشيرة إلى فرص هائلة على المدى الطويل.



الشكل 51: خريطة الموارد الشمسية © Solargis 2021

إمكانات الطاقة الشمسية

كما هو موضح في الشكل 51، يتمتع اليمن بإشعاع شمسي مباشر ممتاز يتراوح بين 3.8-7.4 كيلوواط ساعة/م² يوميًا (في المتوسط السنوي) في معظم المناطق. ومع وجود أكثر من 3000 ساعة من أشعة الشمس سنويًا في العديد من المناطق، تعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية عالية

الإنتاجية — يمكن لـ 1 كيلوواط من الطاقة الكهروضوئية توليد ~2500-1800 كيلوواط ساعة/سنويًا في ظروف اليمن. توفر الصحاري الشاسعة والهضاب مساحة لمزارع الطاقة الشمسية الكبيرة. تقدر الدراسات أن الإمكانات النظرية الإجمالية للطاقة الكهروضوئية في اليمن تبلغ حوالي 2.4 مليون ميغاوات، بينما تبلغ القدرة القابلة للتحقيق واقعيًا حوالي 18000 ميغاوات، ويتجاوز هذا بكثير الطلب المحلي. ويمكن تطوير الطاقة الشمسية من خلال مشاريع المرافق المتصلة بالشبكة وأنظمة لامركزية. ومع وفرة أشعة الشمس وارتفاع أسعار الكهرباء المعتمدة على الديزل، تعد الطاقة الشمسية منافسة اقتصاديًا. ويظل التحدي الرئيس هو التمويل والتنفيذ.

إمكانات طاقة الرياح

توفر جغرافيا اليمن رياحًا وفيرة في بعض المناطق، خاصة على طول البحر الأحمر وخليج عدن والمرتفعات الداخلية. تتجاوز سرعات الرياح 8-7 م/ث على ارتفاع 50 مترًا في مواقع رئيسة مثل باب المندب وجزيرة سقطرى. أشارت دراسة جدوى ما قبل الحرب لمزرعة رياح بقدرة 60 ميغاوات في المخا إلى رياح مواتية (عامل سعة 30٪+)، ولكن توقف المشروع بسبب الصراع. تبلغ الإمكانات الإجمالية لطاقة الرياح في اليمن مئات الغيغاوات؛ قدرت إحدى الدراسات القدرة النظرية بأكثر من 300 غيغاوات، مع 34 غيغاوات قابلة للاستغلال. تعد المناطق الساحلية (مثل الحديدة، تعز، شبوة) مثالية لمزارع الرياح. حددت دراسة للبنك الدولي عام 2020 إمكانات تقنية لطاقة الرياح البحرية تبلغ 158 غيغاوات ضمن 200 كيلومتر من الساحل. وعلى الرغم من محدودية بيانات الرياح على اليابسة، يمكن أن تصبح طاقة الرياح مصدرًا رئيسًا للطاقة إذا امتدت الشبكة إلى المناطق العاصفة. يمكن لتسخير حتى جزء صغير — مئات الميغاوات من مواقع مثل سقطرى والمخا — توفير طاقة متنوعة وبأسعار معقولة.

موارد الطاقة الكهرومائية

إمكانات الطاقة الكهرومائية في اليمن متواضعة، وذلك بسبب عدم وجود أنهار دائمة، ويعتمد توافر المياه على تدفقات الأودية الموسمية. تقدر إمكانات الطاقة الكهرومائية الصغيرة لأودية المرتفعات الغربية بـ 30-10 ميغاوات. واعتبارًا من عام 2025، لا توجد محطات كهرومائية متصلة بالشبكة، إذ من المرجح أن يقتصر التطوير المستقبلي على المشاريع الكهرومائية الصغيرة في المناطق الريفية.

إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية

يتمتع اليمن بآفاق قوية للطاقة الحرارية الأرضية بسبب موقعه على حدود الصفيحة العربية

الأفريقية. يقع ضمن نظام الوادي المتصدع الكبير، مع وجود براكين حديثة وأكثر من 100 نبع حراري في الغرب والجنوب. تشمل الحقول الحرارية الأرضية الكبيرة ذمار (اللسي وإسبل)، إب (القفر)، ذمار/ضالع (دمت)، تعز، وساحل البحر الأحمر. تبلغ درجات الحرارة تحت السطحية 150-200 درجة مئوية وفقًا للمسوحات الجيوكيميائية. وتقدر الإمكانات الحرارية الأرضية بـ 30 غيغاوات، مع 2-3 غيغاوات قابلة للاستغلال حاليًا. يمكن بناء محطة بقدرة 50-100 ميغاوات في ذمار إذا تم العثور على خزانات مناسبة. على الرغم من عدم وجود مشاريع حرارية أرضية نشطة اعتبارًا من عام 2025، يعد هذا المورد واعدًا لتوفير طاقة موثوقة على مدار العام. وتعد الاستخدامات المباشرة (مثل التدفئة والزراعة) والمحطات الثنائية الصغيرة أيضًا قابلة للتطبيق.

سياسات الطاقة المتجددة والأهداف

اعتمد اليمن استراتيجية وطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة في عام 2009 بهدف تحقيق 15٪ من الكهرباء المتجددة بحلول عام 2025 (~2600 غيغاواط ساعة/سنويًا)، بما في ذلك 400 ميغاوات من طاقة الرياح، 160 ميغاوات حرارية أرضية، 6 ميغاوات كتلة حيوية، 5.5 ميغاوات طاقة شمسية كهروضوئية عبر 110,000 نظام منزلي، و200,000 سخان مياه شمسي. كان من المقرر أيضًا زيادة كفاءة قطاع الطاقة بنسبة 15٪. ومع ذلك، أوقف الصراع منذ عام 2015 التقدم. من غير المرجح تحقيق معظم أهداف 2025 — لم يتم إحراز تقدم في مشاريع طاقة الرياح أو الحرارية الأرضية على نطاق الشبكة.

كانت مساهمة اليمن المحددة وطنيًا لاتفاقية باريس في عام 2016 هي خفض الانبعاثات عبر الطاقة المتجددة. يتضمن هدف جديد مع تقييم الاحتياجات التقانية 2022-2021 400 ميغاوات طاقة شمسية كهروضوئية (250 ميغاوات خارج الشبكة، 150 ميغاوات على الشبكة) و200 ميغاوات طاقة رياح بحلول عام 2030، مما يعكس نمو الطاقة الشمسية تحت الصراع وتوسعًا معقولاً. لا يوجد هدف لصافي انبعاثات صفرية؛ التركيز على الوصول إلى الطاقة والقدرة على الصمود.

على المستوى الحكومي، يوجد داخل وزارة الكهرباء والطاقة مديرية الطاقة المتجددة. يتم تشغيل الشبكة من قبل المؤسسة العامة للكهرباء ولكن بقدرات محدودة. يفتقر اليمن إلى قانون للطاقة المتجددة وتعريفة تغذية ولكنه متقبل للشراكة مع القطاع الخاص، كما في مشروع الطاقة الشمسية الأخير في عدن. في عام 2021، تم إتاحة لائحة تنظيمية تحدد المعايير الفنية لتركيبات الطاقة الشمسية الكهروضوئية. اليمن عضو في المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE) والتحالف الدولي للطاقة الشمسية. تواصل البرامج

المدعومة من المانحين (مثل برنامج الأمم المتحدة الإنمائي والبنك الدولي ومرافق البيئة العالمية) تقديم المساعدة السياسية. يعتمد النجاح على الاستقرار والاستثمار وبناء القدرات المحلية.

مشاريع الطاقة المتجددة والقدرة المركبة

على الرغم من سنوات الصراع، شهد اليمن ثورة شمسية شعبية. وبحلول عام 2021، بلغت القدرة المركبة الإجمالية للطاقة المتجددة في البلاد حوالي 253 ميغاوات — تقريبًا كلها على شكل طاقة شمسية كهروضوئية. وبحلول عام 2023، ومع وجود أنظمة غير مسجلة، تراوحت التقديرات بين 400-300 ميغاوات، معظمها من الاستخدامات خارج الشبكة مثل أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية والمضخات وإنارة الشوارع. وأصبحت الطاقة الشمسية المصدر الرئيس للكهرباء المنزلية بعد عام 2016 — 75٪ في المناطق الحضرية و50٪ في المناطق الريفية.

كانت المشاريع المتصلة بالشبكة أبطأ. في عام 2024، كان الاختراق هو أول محطة طاقة شمسية كهروضوئية على نطاق المرافق في اليمن: منشأة بقدرة 120 ميغاوات في عدن بدعم من مصدر الإماراتية. وعند اكتمالها، ستوفر الطاقة النهارية للشبكة الجنوبية. المشروع الذي تم إلغاؤه هو مزرعة رياح المخا بقدرة 60 ميغاوات، والتي ألغيت بسبب الصراع.

تبقى المشاريع خارج الشبكة مهمة. تقوم الشبكات الصغيرة والأنظمة الهجينة الممولة من المنظمات الدولية بإمداد العيادات والمدارس والشركات بالكهرباء. وتتضمن هذه أنظمة الهجين الشمسي-الرياح لبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي في تعز، والشبكات الشمسية الصغيرة بقيادة الشباب في خمس محافظات. قدم مشروع البنك الدولي للوصول الطارئ للكهرباء في اليمن (2018 - 2022) أنظمة الطاقة الشمسية لأكثر من 50,000 أسرة ومؤسسات عامة. أضافت مشاريع أخرى أنظمة الطاقة الشمسية إلى 98 مدرسة وبعض المستشفيات. وتدعم مضخات الري بالطاقة الشمسية التي يروج لها منظمة الأغذية والزراعة وسط ندرة الديزل.

تهيمن الطاقة الشمسية خارج الشبكة على المشهد العام للطاقة المتجددة في اليمن، حيث توفر إمدادات حيوية. يمثل مشروع عدن بداية الطاقة المتجددة على نطاق الشبكة — مشروطًا بتحسين الأمن.

بنية الشبكة الكهربائية وتخزين الطاقة

تعرضت شبكة الكهرباء في اليمن لأضرار بالغة، حيث تم تدمير أكثر من 55٪ من البنية التحتية خلال الصراع. وتفتتت الشبكة الوطنية ما قبل الحرب إلى أنظمة إقليمية معزولة. تعتمد حضرموت على شبكة تعمل بالديزل بقدرة 150 ميغاوات، بينما تعتمد مناطق مثل

المهرة ومأرب على شبكات صغيرة تعمل بالديزل أو الطاقة الشمسية أو أنظمة هجينة. تخدم الشبكة المركزية بالقرب من صنعاء عددًا قليلاً الآن، مع انقطاعات متكررة وفقدان 30٪ من القدرة قبل الحرب. ستتصل محطة عدن الشمسية الجديدة بقدرة 120 ميغاوات عبر خطوط مخصصة، على الرغم من أن التكامل يظل تحديًا بسبب عدم الاستقرار وعدم وجود نظام إرسال وطني. يفتقر اليمن أيضًا إلى تخزين الطاقة على نطاق المرافق، ولكن أنظمة الطاقة الشمسية خارج الشبكة والشبكات الصغيرة تستخدم عادة بطاريات الرصاص أو الليثيوم. يمكن أن يدعم توسيع تخزين الشبكة (مثل نظام تخزين طاقة البطاريات) توسع الطاقة المتجددة، خاصة في الشبكات المعزولة مثل حضرموت. ويعد التحديث والتوصيل أمرًا حيويًا لنمو الطاقة المستدامة.

التحديات والعقبات

يحد الصراع والأزمة الاقتصادية والضعف المؤسسي من تركيب الطاقة المتجددة في اليمن. أدى عدم الاستقرار المستمر إلى إتلاف البنية التحتية وتعطيل الحوكمة وردع الاستثمار. تحد القيود المالية من الدعم الحكومي، ويثني المشاركة الخاصة المخاطر العالية. يعاني قطاع الطاقة أيضًا من نقص التنظيم الموحد مع تقسيم السلطات وتوافر تشريعات قديمة. كما أن القدرة التقنية ضعيفة بسبب نزيف العقول الناجم عن الصراع، مما أدى إلى تركيب أنظمة شمسية منخفضة الجودة وصيانة غير كافية.

يعيق حظر الاستيراد، وتكاليف المعدات الباهظة، ومشاكل سلسلة التوريد النشر. تشكل اختناقات الشبكة مشكلة أخرى — البنية التحتية الحالية متدهورة للغاية، بحيث لا يمكنها قبول الطاقة المتجددة على نطاق واسع دون ترقية. تظل القرى الريفية خارج الشبكة. التمويل نادر، والسياسات غير المنتظمة — مثل دعم الديزل السابق — قد ثبطت الطاقة المتجددة. سيتطلب معالجة هذه القضايا المترابطة مساعدة عالمية متضافرة وإصلاحًا محليًا مستمرًا.

البحث والابتكار والتصنيع المحلي

على الرغم من السياق الصعب في اليمن، بدأ الابتكار والبحث الصغير على المستوى المحلي في مجال الطاقة المتجددة في الظهور. كانت هناك مبادرات للطاقة الشمسية وطاقة الرياح في مؤسسات صنعاء وعدن قبل الحرب، ولا يزال الباحثون في الشتات ينشرون دراسات حول أنماط الرياح والإمكانات الحرارية الأرضية. ويشارك اليمن أيضًا في منصات إقليمية مثل RCREEE وأجرى تقييمًا للاحتياجات التقانية في 2022-2021.

على المستوى الشعبي، يدفع الابتكار الضرورة. وقامت المؤسسات الصغيرة والمتوسطة — مثل النصر للطاقة الشمسية وغرالة للطاقة الشمسية — بإنشاء سوق شمسية متنامية من خلال استيراد وتجميع وتركيب الأنظمة. ويمنح مشروع HEAL التابع لبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي الشباب والنساء القدرة على تشغيل الشبكات الصغيرة للطاقة الشمسية، مما يعزز حلول الطاقة التي تقودها المجتمعات.

على الرغم من أن اليمن يفتقر إلى تصنيع التوربينات أو الألواح المحلية، هناك تجميع محلي وتصنيع للإطارات وإعادة تدوير البطاريات. يتم إنتاج أقواس التثبيت في ورش صغيرة، وإصلاح بطاريات الرصاص شائع.

يدعم البنك الدولي والوكالة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ) والتحالف الدولي للطاقة الشمسية (ISA) نقل التكنولوجيا من خلال تدريبات على أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية والهجينة والمعايير. على الرغم من محدودية البحث والتطوير الرسمي والتصنيع، طور التكيف المحلي كفاءات أساسية وتوعية. مع الاستقرار، قد تتطور هذه الكفاءات إلى سلاسل توريد محلية وشراكات بحثية.

التوصيات

- لتطوير قطاع الطاقة المتجددة في اليمن، يجب اعتماد استراتيجية متعددة الجوانب بمجرد أن تسمح الظروف.
- وضع استراتيجية وطنية للطاقة المتجددة (2025 - 2035)، وإعادة بناء القدرة المؤسسية، وإدخال لوائح متناسقة لجذب الاستثمار الخاص (مثل منتجي الطاقة المستقلين وتعريفة التغذية).
- إعادة بناء الشبكة لتكامل الطاقة المتجددة وتقليل الخسائر وإنشاء شبكات صغيرة هجينة مع تخزين البطاريات. استكشاف وصلات إقليمية مستقبلية.
- توسيع نطاق أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية والشبكات الصغيرة ومضخات المياه وتجربة طاقة الرياح في مناطق مثل سقطرى وجعلها مستدامة من خلال التدريب وتوعية المستخدم النهائي.
- تمكين النساء والشباب من خلال تعليم المهندسين، وتمويل البحث الجامعي، وتمكين المبادرات الشبيهة ببرنامج الأمم المتحدة الإنمائي والتعاونيات المحلية.

المراجع

المملكة الأردنية الهاشمية

[1] وزارة الطاقة والثروة المعدنية، التقرير السنوي 2023

[2] المساهمة الوطنية المحددة المحدثة للأردن، اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ 2021

[3] تقييم جاهزية الطاقة المتجددة للوكالة الدولية للطاقة المتجددة: الأردن

[4] تقرير صندوق الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة الأردني

دولة الإمارات العربية المتحدة

Enerdata. (أكتوبر 2024). تقرير الطاقة في الإمارات العربية المتحدة. https://www.enerdata.net/estore/countryprofiles/united-arab-emirates.html

CountryEconomy. (2024). الإمارات العربية المتحدة - توليد الكهرباء. https://countryeconomy.com/energyand-environment/electricity-generation/united-arab-emirates

متتبع العمل المناخي. (5 أبريل 2023). الإمارات العربية المتحدة - السياسات والإجراءات. متتبع العمل المناخي.

https://climateactiontracker.org/countries/uae/2023-04-05/policies-action/

Solargis. (بدون تاريخ). خرائط مجانية وبيانات نظم المعلومات الجغرافية: جزر القمر. تم الاسترجاع في ٢٩ مايو ٢٠٢٥، من https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=comoros

باردسلي، د. (٧ أكتوبر ٢٠١٧). دراسة أمريكية تكشف أن الغبار قد يُقلل بشكل كبير من فعالية الألواح الشمسية في شبه الجزيرة العربية. ذا ناشيونال. https://www.thenationalnews.com/uae/science/dust-can-dramatically-reduceeffectiveness-of-solar-panels-in-arabian-peninsula-us-study-finds-1.664896

شولت، هـ.، بونز، م.، ثام، م.، ماس، ن.، ديرتينجر، أ.، شيميل، م.، وكيريس، ب. (٢٠٢٣، نوفمبر).استكشاف إمكانات طاقة الرياح في دولة الإمارات العربية المتحدة. شركة جايدهاوس ألمانيا المحدودة. https://energypartnershipuae.org/fileadmin/vae/publications/Guidehouse_Exploring_UAE_Wind_Energy_Potential_2023.pdf

المعهد الدولي للتبريد. (25 يناير 2024). مشاريع تبريد المناطق الحديثة القائمة على الطاقة الحرارية الأرضية.

https://iifiir.org/en/news/recent-geothermal-energy-based-district-cooling-projects
جاكوبس، ت. (14 أغسطس 2023). أدنوك: بداية عصر الطاقة الحرارية الأرضية في منطقة الخليج. مجلة تكنولوجيا البترول.
https://jpt.spe.org/adnoc-geothermal-era-begins-in-gulf-region
حكومة الإمارات العربية المتحدة. (7 مايو 2024). استراتيجية الإمارات للطاقة 2050. البوابة الرسمية لحكومة الإمارات العربية المتحدة. https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-andenergy/uae-energy-strategy-2050
تكنولوجيا الطاقة. (13 مارس 2024). هيئة كهرباء ومياه دبي تُعزز تطوير مجمع الطاقة الشمسية في الإمارات.
https://www.powertechnology.com/news/dewa-solar-park-development-uae/?cf-view
مصدر. (بدون تاريخ). محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في مدينة مصدر. تم الاسترجاع في 31 مايو 2025، من https://masdar.ae/en/renewables/our-projects/masdar-city-solar-photovoltaic-plant
رويترز. (6 أكتوبر 2023). الإمارات العربية المتحدة تفتتح مشروعًا لطاقة الرياح بقدرة 104 ميجاوات قبل قمة الأمم المتحدة للمناخ. https://www.reuters.com/business/energy/uae-opens-104-mw-wind-project-ahead-un-climate-summit-2023-10-06/
شركة جايدهاوس ألمانيا المحدودة (نوفمبر 2023). استكشاف إمكانات طاقة الرياح في دولة الإمارات العربية المتحدة. الشراكة الإماراتية الألمانية في مجال الطاقة والمناخ.
https://energypartnershipuae.org/fileadmin/vae/publications/Guidehouse_Exploring_UAE_Wind_Energy_Potential_2023.pdf
جويت، ب. (29 أغسطس 2024). تلتزم شركة جي ستار بإنشاء مصنع لوحدات الطاقة الشمسية بقدرة 2 جيجاواط في الإمارات العربية المتحدة. مجلة بي في إنترناشونال. https://www.pv-magazine.com/2024/08/29/gstar-commits-to-2-gw-solar-module-factory-in-uae/

مملكة البحرين

[1] هيئة البحرين للطاقة المستدامة. (2017). خطة العمل الوطنية للطاقة المتجددة. مملكة البحرين.

[2] هيئة البحرين للطاقة المستدامة. (2023). تقرير محدث حول أهداف واستراتيجيات الطاقة المتجددة. مملكة البحرين.
[3] هيئة الكهرباء والماء. (2023). التقرير الإحصائي السنوي. المنامة، البحرين.
[4] هيئة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي. (2022). تقرير حالة شبكة الكهرباء الخليجية. الدمام، المملكة العربية السعودية.
[5] الوكالة الدولية للطاقة. (2023). معلومات الكهرباء: نبذة عن دولة البحرين. باريس: وكالة الطاقة الدولية.
[6] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. (2023). إحصاءات الطاقة المتجددة 2023 - البحرين. أبوظبي: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة.
[7] مركز التعاون الياباني للشرق الأوسط. (2022). تقرير التعاون البحريني الياباني في مجال الطاقة المتجددة. طوكيو: مركز التعاون الياباني للشرق الأوسط.
[8] مجموعة أكسفورد للأعمال. (2023). التقرير: البحرين 2023 - نظرة عامة على قطاع الطاقة. لندن: مجموعة أكسفورد للأعمال.
[9] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية. (2023). البحرين: موجز تحليلي للبلد. واشنطن العاصمة: إدارة معلومات الطاقة الأمريكية.
[10] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي - البحرين. (2022). مبادرة الطاقة المستدامة وتغير المناخ 199 تقريرًا. المنامة: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي.
[11] مركز أبحاث الطاقة المتجددة بجامعة البحرين. (2023). أبرز الأبحاث السنوية. جامعة البحرين.
البنك الدولي. (2023). الأطلس العالمي للطاقة الشمسية. تم الاسترجاع من https://globalsolaratlas.info
البنك الدولي. (2023). الأطلس العالمي لطاقة الرياح. تم الاسترجاع من https://globalwindatlas.info
زاوية. (2023). متتبع مشاريع الطاقة في الشرق الأوسط: مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في البحرين. ريفينيتيف.
مركز دراسات وأبحاث الطاقة المتجددة (2023). موجزات سياسات حول تنويع مصادر الطاقة والتحول الكربوني. المنامة، البحرين.
بلومبيرغ إن إي إف. (2023). متتبع استثمارات الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا - الربع الرابع. لندن: بلومبيرغ إن إي إف.
بابكو إنيرجيز. (2023). خارطة طريق استراتيجية للتحول في قطاع الطاقة في البحرين. المنامة: بابكو إنيرجيز.

الجمهورية التونسية

https://energypedia.info/wiki/Tunisia_Energy_Situation

https://solargis.com/resources/

https://www.energiemines.gov.tn/fr/themes/energies-renouvelables/

https://globalwindatlas.info/en/

https://globalsolaratlas.info/map/

https://www.iea.org/countries/tunisia

https://www.worldbank.org/en/topic/energy

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2017)، «أطلس موارد الطاقة في أفريقيا»، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا

الشركة التونسية للكهرباء والغاز، التقرير السنوي .2023

محمد، م. ب. (2015). تطوير الطاقة الحرارية الأرضية: التجربة التونسية. وقائع المؤتمر العالمي للطاقة الحرارية الأرضية ٢٠١٥. ملبورن: ملبورن، أستراليا.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=algeria

https://globalwindatlas.info/en/

https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie

https://www.iea.org/countries/Algeria

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2017)، «أطلس موارد الطاقة في أفريقيا»، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، نيروبي، كينيا

التقرير السنوي لوزارة الطاقة والمناجم لعام 2023

جمهورية جيبوتي

[1] جمهورية جيبوتي. (19 سبتمبر 2024). المرسوم رقم 2024-244PR/MERN بشأن التصديق على العقود المبرمة مع مُنتج الطاقة المستقل لمشروع بطاريات تخزين الطاقة الشمسية جراند بارا بقدرة 25 ميجاوات + 5 ميجاوات ساعة. الجريدة الرسمية لجمهورية جيبوتي، العدد 18بتاريخ 30 سبتمبر 2024.

جمهورية جيبوتي. (2025). عرض عام. مأخوذ من الموقع الرسمي لجمهورية جيبوتي. https://www.gouvernement.dj/

المديرية العامة للخزانة. (1 أغسطس 2024). احتياجات إنتاج الكهرباء تفتح آفاقًا لزيادة مشاركة القطاع الخاص. الخزانة الدولية: جيبوتي. https://www.tresor.economie.gouv./fr

عبدي، أ. ب.؛ دامسي، أ.؛ كيركا، أ.؛ توركوغلو، هـ.؛ أرديتي، د.؛ ديميركسن، س.؛ كوركماز، م.؛ أرسلان، أ. هـ. نظام دعم القرار المكاني لاختيار موقع مزارع الرياح في جيبوتي. الاستدامة 2024، 16، 9635. https://doi.org/10.3390/su16229635

منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو) ومجموعة البنك الأفريقي للتنمية. (بدون تاريخ). ورقة حقائق حول تطوير الطاقة الحرارية الأرضية لتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص في شرق أفريقيا: جيبوتي. تم الاسترجاع من https://www.unido.org/

مختار بيليه أواليه، جون نيشيجيما، تحديد الهياكل الجيولوجية لآفاق الطاقة الحرارية الأرضية في أرتا في جيبوتي بناءً على تحليل بيانات الجاذبية وتفسيرها، مجلة علوم الطاقة الحرارية الأرضية، المجلد 117، 2024، العدد 102894، ISSN 0375-6505، https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102894 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650523002481)

الوكالة الائتمانية لفرنسا وأفريقيا جيبوتي (21) .(FFAD يونيو 2020). تقرير مدقق الحسابات المستقل عن البيانات المالية في 31 ديسمبر 2019: مشروع استكشاف الطاقة الحرارية الأرضية في منطقة بحيرة عسل. جمهورية جيبوتي، وزارة الطاقة المسؤولة عن الموارد الطبيعية، كهرباء جيبوتي.

المكتب الجيبوتي لتنمية الطاقة الحرارية الأرضية (ODDEG). (بدون تاريخ). مشروع قرية الطاقة الحرارية الأرضية في بحيرة أبهي. تم الاسترجاع من https://www.oddeg.dj/

جمهورية جيبوتي. (10 سبتمبر 2023). مع افتتاح مزرعة طاقة الرياح «ريد سي باور»، تهدف جيبوتي إلى أن تصبح أول دولة أفريقية تعتمد بالكامل على الطاقة المتجددة. الموقع الإلكتروني الرسمي لحكومة جمهورية جيبوتي. https://www.gouv.dj/inauguration-parc-eolien-red-sea-power-2023

الأطلس العالمي للطاقة الشمسية. (2024). بيانات إنتاج الطاقة الكهروضوئية وموارد الطاقة الشمسية في جيبوتي [17 أبريل 2025]. مجموعة البنك الدولي. تاريخ الاسترجاع: 17 أبريل 2025، من https://globalsolaratlas.info/

المملكة العربية السعودية

[1] Enerdata (2024). تقرير الطاقة في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من:

https://www.enerdata.net/estore/energymarket/saudi-arabia
إدارة معلومات الطاقة الأمريكية .(2024) (EIA) المملكة العربية السعودية - موجز تحليلي. تم الاسترجاع من https://www.eia.gov/international/analysis/country/SAU
البنك الدولي .(2023) WITS واردات الكهرباء في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/SAU
إمبر (2024). المملكة العربية السعودية - نبذة عن الدولة. تم الاسترجاع من: https:// ember-energy.org/countries-andregions/saudi-arabia
أرقام (2024). ارتفاع استهلاك الكهرباء في المملكة العربية السعودية إلى 327,000 جيجاواط/ساعة. تم الاسترجاع من https://www.argaam.com/en/article/articledetail/id/1801864
الهيئة العامة للإحصاء السعودية (2024). إحصاءات الطاقة المنزلية 2023. تم الاسترجاع من https://www.stats.gov.sa:
سولارجيس (2024). خرائط موارد الطاقة الشمسية - المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://solargis.com/resources/free-mapsand-gis-data?locality=saudi-arabia
أطلس الرياح العالمي (2024). خريطة سرعة الرياح في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من https://globalwindatlas.info/en/area/Saudi%20Arabia
سولار كوارتر (2025). تستهدف المملكة العربية السعودية الوصول بنسبة الطاقة المتجددة إلى 50% بحلول عام 2030. مأخوذ من https://solarquarter.com
المبادرة السعودية الخضراء (2025). أهداف خفض انبعاثات الكربون. مأخوذ من: https:// www.sgi.gov.sa
مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (2023). انبعاثات غازات الدفيئة الصافية الصفرية بحلول عام 2060. مأخوذ من https://www.kapsarc.org
وزارة الطاقة والصناعة والثروة المعدنية (2024). كتيب استثمار الطاقة المتجددة. مأخوذ من https://misa.gov.sa:
ويكيبيديا (2024). مشروع سدير للطاقة الشمسية الكهروضوئية ومحطة دومة الجندل لطاقة الرياح. مأخوذ من https://en.wikipedia.org/wiki/Sudair_Solar_PV_Project
(2024) ReGlobal. ربط الشبكة الكهربائية الإقليمية في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://reglobal.org

عرب نيوز (2023). الربط الكهربائي بين المملكة العربية السعودية والعراق. تم الاسترجاع من https://www.arabnews.com:

كاربون كريديتس.كوم (2024). مشروع تخزين الطاقة في البطاريات بين BYD و .SECتم الاسترجاع منhttps://carboncredits.com :

ريد سي جلوبال (2024). تخزين الطاقة في البطاريات لتوفير طاقة متجددة بنسبة 100%. تم الاسترجاع من https://www.redseaglobal.com

كاوست (2024). مركز تقنيات الطاقة المتجددة والتخزين. تم الاسترجاع من: https://www.kaust.edu.sa

جامعة الملك فهد للبترول والمعادن (2024). استراتيجية بحثية للطاقة المتجددة. تم الاسترجاع من: https://research-forum.kfupm.edu.sa

جامعة الفيصل (2024). مركز أبحاث وتطوير الشبكات الذكية .JSEC تم الاسترجاع من https://coe.alfaisal.edu

بريك بلك (2024). توطين تصنيع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://breakbulk.com

ألت إنرجي ماج (2025). توسع جيم تشينج سولار في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://www.altenergymag.com

استشارات الطاقة السعودية (2025). تعاونات الهيدروجين الأخضر. تم الاسترجاع من: https://saudienergyconsulting.com

رويترز (2025). التعاون الإيطالي السعودي في مجال الطاقة. تم الاسترجاع من: https://www.reuters.com

إيرث. أورج (2024). عوائق السياسة البيئية في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://earth.org

باور-تكنولوجي (2025-2023). نظرة عامة على مشاريع الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://www.power-technology.com

ResearchGate (2023). تحديات وفرص الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من: https://www.researchgate.net

كلية كليرمونت ماكينا (2024). محركات سياسة الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية. تم الاسترجاع من https://scholarship.claremont.edu

جمهورية السودان

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA)
[2] إدارة معلومات الطاقة الأمريكية
[3] البنك الدولي/برنامج إدارة قطاع الطاقة
[4] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي - السودان
[5] شركة تيرا للطاقة
[6] الطاقة النظيفة لأفريقيا
[7] آدم روبر
[8] بوابة الطاقة الأفريقية
[9] الطاقة المتجددة في السودان: الوضع الراهن والآفاق المستقبلية (تقارير هندسية، 2023) - يوفر بيانات حول تركيب الكهرباء في السودان (على سبيل المثال، حوالي 55% من الطاقة الكهرومائية).
[10] الخطة الرئيسية للطاقة المتجددة في السودان (2005) - وثيقة تأسيسية تحدد مشاريع الطاقة المتجددة (مؤرخة الآن).
[11] تقارير المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (RCREEE) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) حول خطة العمل الوطنية لكفاءة الطاقة في السودان (2013) والمساهمات الوطنية المحددة وطنياً (المُحدّثة عام 2021) - تُفصّل أهداف السودان في مجال الكفاءة و2140 ميغاواط من الطاقة الشمسية/طاقة الرياح المُخطط لها بحلول عام 2030.
[12] بيانات البنك الدولي - الوصول إلى الكهرباء (84% في المناطق الحضرية، 49 % في المناطق الريفية عام 2021) تُؤكد وجود فجوة كبيرة بين المناطق الحضرية والريفية.

الجمهورية العربية السورية

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA)
[2] الوكالة الدولية للطاقة(IEA)
[3] وزارة الكهرباء السورية
[4] خريطة النظام البيئي للطاقة المتجددة في سوريا - الإسكوا التابعة للأمم المتحدة
[5] Economy.com
[6] countryeconomy.com

[7] PVKnowHow.com
[8] وكالة الطاقة الدولية
[9] Al-Jumhuriya.net
[10] ResearchGate
[11] SRTF.org
[12] Sputnik
[13] Mediabank
[14] Bliss Chiquia

جمهورية الصومال

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA)
[2] البنك الدولي
[3] الحكومة الفيدرالية الصومالية
[4] مركز ستيمسون
[5] إدارة التجارة الدولية الأمريكية
[6] وزارة الطاقة والموارد المائية الصومالية
[7] مشروع بورغن
[8] GOGLA/Lighting Africa [8]
[9] Power Africa [9]
[10] منظمة العمل الدولية/الوكالة السويدية للتنمية الدولية
[11] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي في الصومال

الجمهورية العراقية

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)
[2] بيانات الطاقة (Enerdata)
[3] زاوية (Zawya)
[4] البنك الدولي (International Bank)
[5] وكالة الطاقة الدولية (IEA)
[6] شركة ساور للطاقة (Saur Energy)
[7] دراسة أكاديمية (Academic Study)

[8] معلومات الطاقة (The Energy Info)
[9] بيانات تقييم الأثر البيئي (EIA)
[10] معهد الشرق الأوسط (Middle East Institute)
[11] مجلة أبحاث البترول (PET Research)
[12] جامعة الأنبار (University of Anbar)
[13] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) العراق (UNDP)
[14] وزارة النفط

سلطنة عُمان

[1] هيئة تنظيم الخدمات العامة. (2023). التقرير السنوي. مسقط، عُمان.
[2] بلومبرغ إن إي إف. (2023). متتبع استثمارات الطاقة المتجددة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. بلومبرغ إل بي.
[3] هيدروجين عُمان (هيدروم). (2023). الخطة الرئيسية للهيدروجين الأخضر وفرص الاستثمار. وزارة الطاقة والمعادن.
[4] الوكالة الدولية للطاقة. (2023). عُمان: إحصاءات الكهرباء والطاقة. باريس: وكالة الطاقة الدولية. مُستَرجع منhttps://www.iea.org/countries/oman
[5] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. (2023). إحصاءات القدرة المتجددة 2023 - عُمان. أبوظبي: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. مُستَرجع من https://www.irena.org
[6] وزارة الطاقة والمعادن. (2022). الاستراتيجية الوطنية للطاقة وخارطة طريق الالتزام بالصافي الصفري. مسقط، عُمان.
[7] الشركة العمانية لشراء الطاقة والمياه. (2023). بيان السنوات السبع (2023-2029). مسقط: الشركة العمانية لشراء الطاقة والمياه.
[8] وحدة متابعة تنفيذ رؤية عُمان 2040. (2021). ركائز تحول الطاقة في رؤية عُمان 2040.
[9] مجموعة أكسفورد للأعمال. (2023). التقرير: عُمان 2023 - نظرة عامة على قطاع الطاقة. لندن: مجموعة أكسفورد للأعمال.
[10] شركة تنمية نفط عُمان. (2022). تقرير تحديث مشروع مرآة للطاقة الشمسية. مسقط: شركة تنمية نفط عُمان.
[11] جامعة السلطان قابوس. (2023). النشرة البحثية السنوية: التركيز على الطاقة المتجددة. مسقط، عُمان.

[12] جامعة التكنولوجيا والعلوم التطبيقية. (2023). البحوث التطبيقية في أنظمة الطاقة والهيدروجين.
[13] البنك الدولي. (2023). الأطلس العالمي للطاقة الشمسية وأطلس الرياح: بيانات موارد عُمان. تم الاسترجاع من ttps://globalsolaratlas.info و https:// globalwindatlas.info
[14] زاوية. (2023). مشاريع الطاقة المتجددة في عُمان، خط الأنابيب، والمناقصات. ريفينيتيف.

دولة فلسطين

[1] إدارة التجارة الدولية
[2] أخبار سولار كوارتر
[3] مؤسسة فريدريش إيبرت / تقرير معهد فوبرتال
[4] تحولات الطاقة (سبرينغر)
[5] الوكالة الفرنسية للتنمية(AFD)
[6] مركز معلومات المخابرات
[7] البنك الدولي/ الوكالة الدولية لضمان الاستثمار
[8] مشروعMeetMED
[9] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي
[10] مجلة بف
[11] ويكيبيديا

دولة قطر

[1] د. بيريز-أستوديو ود. باشور، «تباين الإشعاع الأفقي العالمي المُقاس في جميع أنحاء قطر»، مجلة الطاقة الشمسية، المجلد 119، الصفحات 178-169، أيلول 2015.
[2] لويس مارتين-بوماريس، دييغو مارتينيز، خيسوس بولو، دانيال بيريز-أستوديو، دنيا باشور، وأنطونيو سانفيليبو، «تحليل الإمكانات الشمسية طويلة المدى لتوليد الكهرباء في قطر»، مجلة مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، المجلد 73، الصفحات 1231- 1246، حزيران 2017.
[3] التقرير السنوي لكهرماء، 2023.
[4] تقرير استدامة الطاقة في قطر، 2022

جمهورية القمر المتحدة

[1] وورلدوميتر. (2024). عدد سكان جزر القمر (2024). تاريخ الاسترجاع: 29 أيار 2025، من https://www.worldometers.info/world-population/comoros-population/

ساكري. (بدون تاريخ). جزر القمر. المركز الجنوب أفريقي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. تاريخ الاسترجاع: 29 مايو 2025، من https://www.sacreee.org/member-state/comoros

PVKnowHow. (بدون تاريخ). تقرير الطاقة الشمسية في جزر القمر. تاريخ الاسترجاع: 29 أيار 2025، من https://www.pvknowhow.com/solarreport/comoros/

معهد الدراسات الأمنية. (بدون تاريخ). ملف الطاقة في جزر القمر. Futures Africa. تاريخ الاسترجاع: 29 أيار 2025، من https://futures.issafrica.org/geographic/countries/comoros/

Futures Africa. (بدون تاريخ). جزر القمر - نظرة عامة جغرافية وطاقية. معهد الدراسات الأمنية. تاريخ الاسترجاع: 29 أيار 2025، من https://futures.issafrica.org/geographic/countries/comoros/

سولارجيس (بدون تاريخ). خرائط مجانية وبيانات نظم معلومات جغرافية: جزر القمر. تاريخ الاسترجاع: 29 أيار 2025، من https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=comoros

قاسم، م. أ.، والغناوي، م. (2017). دراسة جدوى لإنتاج الكهرباء باستخدام نظام هجين لتوليد الطاقة الكهروضوئية والرياح في منطقة نائية بجزر القمر. المجلة الدولية للبحوث والمراجعات في العلوم التطبيقية، 33(2)، 36-23.

ويذر سبارك (بدون تاريخ). متوسط الطقس في جزر القمر على مدار العام. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من https://weatherspark.com/y/150243/Average-Weather-in-Comoros-Year-Round

البنك الدولي. (بدون تاريخ). جزر القمر: بيانات المناخ والاتجاهات التاريخية. بوابة المعرفة المناخية. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/comoros/climate-data-historical

IMM. (بدون تاريخ). اختارت وزارة الطاقة اتحاد IMM-HPP لإعادة تأهيل ثلاث محطات للطاقة الكهرومائية. تم الاسترجاع في 29 مايو 2025، من https://imm.energy/en/the-imm-hpp-consortium-has-beenselected-by-the-ministry-of-energy-for-the-

/rehabilitation-of-3-hydropower-plants
Praene, J. P., Fakra, D. A. H., Benard, F., Ayagapin, L., & Rachadi, M. N. M. 2021). مراجعة الطاقة في جزر القمر لتعزيز مصادر الطاقة المتجددة. الطاقة المتجددة، 169، 885-893. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.067
.ThinkGeoEnergy18يوليو 2023). دراسات شركة Steam Srl تُرسي أسس خارطة طريق الطاقة الحرارية الأرضية في جزر القمر.تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من الرابط: https://www.thinkgeoenergy.com/steam-srls-studies-lay-foundation-for-comorosgeothermal-roadmap/
ConstructAfrica 5 يناير 2024). جزر القمر على وشك الحصول على منحة من البنك الأفريقي للتنمية لمشروع الطاقة الحرارية الأرضية. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من الرابط: https://constructafrica.com/news/comoros-set-get-afdb-grant-geothermal-project
برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. (بدون تاريخ). جزر القمر - وعد المناخ. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من https://climatepromise.undp.org/what-we-do/where-we-work/comoros
المجلس الأفريقي للطاقة. (22 مارس 2024). جزر القمر تُطلق محطة طاقة شمسية بقدرة 6.3 ميغاوات بتمويل من صندوق أبوظبي للتنمية. تاريخ الاسترجاع: 29 ايار 2025، من https://africanenergycouncil.org/comoros-launches-6-3mw-adfd-funded-solar-plant
البنك الأفريقي للتنمية. (بدون تاريخ). جزر القمر - تمويل إضافي لمشروع دعم قطاع الطاقة (PASEC): ملخص خطة الإدارة البيئية والاجتماعية. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025 من https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/environmental-and-social-assessments/comores_projet_dappui_au_secteur_de_lenergie_aux_comores_pasec_financement_supplementaire_-_resume_pgesen.pdf
برنامج الشبكات الكهربائية الصغيرة في أفريقيا. (6 شباط 2024). تمكين ريف جزر القمر: كيف ستساهم الشبكات الكهربائية الصغيرة في توفير الكهرباء والنمو الاقتصادي. تم الاسترجاع في 29 أيار 2025، من https://africaminigrids.org/empowering-rural-comoroshow-minigrids-will-bring-electricity-and-economic-growth/

دولة الكويت

[1] الكتاب الإحصائي لوزارة الكهرباء والماء والطاقة المتجددة، 2023.

[2] الورقة البيضاء لمحور البيئة نحو إطار عمل متكامل للسياسة البيئية، مركز الكويت للسياسات العامة، 2019

الجمهورية اللبنانية

[1] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA)
[2] المركز اللبناني لحفظ الطاقة(LCEC)
[3] وزارة الطاقة والمياه، لبنان
[4] توقعات الطاقة المتجددة في لبنان، عالمنا في البيانات

دولة ليبيا

[1] بوابة الطاقة الأفريقية
[2] رأس مال الطاقة والكهرباء
[3] وكالة الطاقة الدولية
[4] قاعدة بيانات السياسات المشتركة للوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA)
[5] المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة(RCREEE)
[6] موجز البنية التحتية
[7] أخبار أندريتز الهيدرو
[8] برنامج الأمم المتحدة الإنمائي
[9] الوكالة الألمانية للتعاون الدولي
[10] بنك التنمية الأفريقي

جمهورية مصر العربية

[1] منظمة الصحة العالمية
[2] بوابة البنك الدولي للمعرفة حول تغير المناخ
[3] إمبر
[4] إدارة التجارة الدولية الأمريكية
[5] وكالة الطاقة الدولية(IEA)
[6] متتبع العمل المناخي
[7] منظمة الهيدروجين الأخضر
[8] أخبار ومقالات
[9] رويترز

[10] المجلس الأطلسي
[11] ليكسولوجي
[12] إنجي أفريقيا، دراسة استقصائية اقتصادية للشرق الأوسط
[13] إيكومينا

المملكة المغربية

بركاوي، أ. هـ زرهلول، ي.، ريمي، أ.، كوريا، أ.، كارنيرو، ج.، بوغريبة، م.، وفيردويا، م. (2022). موارد الطاقة الحرارية الأرضية في المغرب: لمحة عامة عن الإمكانات والتطوير. مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، 156، 111963. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111963

بنونة، أ. (2025، 7 نيسان). [المشهد الطاقي في المغرب 2024]. منشور على لينكد إن. تم الاسترجاع من https://www.linkedin.com/posts/amin-bennouna_morocco-energy-statistics-2024

بنونة، أ. (2025، 7 نيسان). [المشهد الطاقي في المغرب 2024]. مشاركة ينكدين. تم الاسترجاع من https://www.linkedin.com/posts/amin-bennona_morocco-energy-statistics-2024

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (إيرينا). (2023). توقعات الطاقة المتجددة: المغرب. إيرينا، أبوظبي. تم الاسترجاع من https://www.irena.org/publications/2023/renewable-energy-outlook-morocco

المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب. (21 نيسان 2025). انعقاد الدورة الثامنة للمجلس الإداري للمكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب. [اجتماع الدورة الثامنة للمجلس الإداري للمكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب]. تم الاسترجاع في 22 نيسان 2025، من [اجتماع الدورة الثامنة للمجلس الإداري للمكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب - وزارة الاقتصاد والمالية - المملكة المغربية].

وزارة انتقال الطاقة والتنمية المستدامة .MTEDD. (2025) - استراتيجية الطاقة والتعدين وقطاعات الجيولوجيا. المملكة المغربية. تم الاسترجاع في 13 نيسان 2025، من https://www.mtedd.gov.ma/

المكتب الوطني للكهرباء والمياه الصالحة للشرب. (2025.). المكتب الوطني للكهرباء في المغرب وأفريقيا: النشاط الكهربائي مكتب الكهرباء والماء الصالح للشرب في المغرب وإفريقيا: نشاط الكهرباء]. تم الاسترجاع من https://www.onee.ma/

كيرامان، أ. (أيلول 2010). الحلقة الكهربائية وسوق الكهرباء الأورومتوسطية. ملاحظات

IPEMED، 11. معهد التنبؤ الاقتصادي العالمي المتوسطي
المكتب الوطني للكهرباء والمياه الصالحة للشرب. (2023). تقرير الأنشطة 2023: الطاقة الكهربائية [نشاط تقرير 2023: الطاقة الكهربائية]. تم الاسترجاع من https://www.one.ma/
شركة ريد إلكتريكا دي إسبانيا. (2006). 2ème Interconnexion Électrique Espagne-Maroc [الكهربائية الثانية الربط البيني بين إسبانيا والمغرب]. إدارة الاتصالات والعلاقات المؤسسية، مكتب دياضغط

الجمهورية الإسلامية الموريتانية

[1] وزارة البترول والمعادن والطاقة. خارطة طريق لصناعة هيدروجين منخفضة الكربون في موريتانيا

[2] وزارة البيئة والتنمية المستدامة. (23 كانون الأول 2021). المساهمات المحددة وطنيًا (NDC) المحدثة 2030-2021: ملخص تنفيذي وتقرير تجميعي. الجمهورية الإسلامية الموريتانية.

أطلس الطاقة الشمسية العالمي. (نيسان 2025). بيانات موارد الطاقة الشمسية في موريتانيا. تم الاسترجاع في 8 مايو 2025، من أطلس الطاقة الشمسية العالمي، الإصدار 2. 12. https:// globalsolaratlas.info/download/mauritania

الجامعة التقنية في الدنمارك (2025) .(DTU). بيانات موارد الرياح في موريتانيا. تم الاسترجاع في 8 مايو 2025، من أطلس الرياح العالمي الإصدار 3.4. https://globalwindatlas.info/ area/Mauritania

الوكالة الدولية للطاقة (2023) .(IEA، نوفمبر). فرص الطاقة المتجددة في موريتانيا: ملخص تنفيذي. منشورات الوكالة الدولية للطاقة.

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2015) .(UNDP، سبتمبر). موريتانيا: تقييم جاهزية الطاقة المتجددة. IRENA.

الجمهورية اليمنية

مؤسسة فريدريش إيبرت (2023). التحول في قطاع الطاقة في جزر القمر: التحديات والفرص. https://library.fes.de/pdf-files/bueros/jemen/19245.pdf

مركز كوبنهاغن للمناخ التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة. (2024). موجز سياسات تقييم الاحتياجات التنموية: التخفيف - الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في اليمن. https://

techaction.unepccc.org/wp content/uploads/sites/2/2024/12/tna-policy-brief-mitigation-yemen-solar-and-wind.pdf

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2021). (UNDP). آفاق الطاقة الشمسية في اليمن: مذكرة سياسات. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ye/UNDP-YEM-Prospects-of-Solar-Energy-in-Yemen-Policy-Note1.pdf

(2025) PVKnowHow. تقرير الطاقة الشمسية في اليمن. https://www.pvknowhow. /com/solar-report/yemen

(2021) .Solargis(خرائط موارد الطاقة الشمسية وبيانات نظم المعلومات الجغرافية: اليمن. https://solargis.com/resources/free-maps-and-gisdata?locality=yemen

الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي. (2012). إنشاء مزرعة رياح بقدرة 60 ميغاوات في منطقة المخا. https://www.arabfund.org/blog/projects/construction-of-a-60-mw-wind-farm-in-the-al-mokha-area/

البنك الدولي. (2020). الإمكانات التقنية لطاقة الرياح البحرية في اليمن: خريطة. برنامج مساعدة إدارة قطاع الطاقة (ESMAP). https://documents.worldbank.org/curated/en/669561586852082608/pdf/Technical-Potential-forOffshore-Wind-in-Yemen-Map.pdf

النثري، م.، شريان، أ.، ماتاش، م.، ومينيسالي، أ. (2024). تقييم الاستكشافات الجيولوجية الحرارية في اليمن (المنطقة الغربية والبحر الأحمر). في وقائع ورشة العمل التاسعة والأربعين حول هندسة مكامن الطاقة الحرارية الأرضية (SGP-TR-227). جامعة ستانفورد، ستانفورد، كاليفورنيا.

الفقيه، أ.، ولي، ك. (أيلول 2018). دراسة موارد الطاقة الحرارية الأرضية في اليمن لتوليد الطاقة الكهربائية. في معاملات مركز الأبحاث العالمي (المجلد 42).

الحكومة اليمنية. (2009). الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. قوانين تغير المناخ في العالم. https://climate-laws.org/document/national-strategy-for-renewable-energy-and-energyefficiency_3748

إرسوي، س. ر.، تيرابون-بفاف، ج.، دامرين، م.، وبابورايك، أ. (2022). التحول المستدام لنظام الطاقة في اليمن: تطوير نموذج مرحلي. مؤسسة فريدريش إيبرت. https://library.fes.de/pdffiles/bueros/jemen/19245.pdf

الحكومة اليمنية. (2024). موجز سياسات: الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح

في اليمن. تقييم الاحتياجات التكنولوجية - مركز كوبنهاغن للمناخ التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة. https://tech-action.unepccc.org/wpcontent/uploads/sites/2/2024/12/tna-policy-brief-mitigation-yemen-solar-and-wind.pdf

المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. (بدون تاريخ). اليمن. https://rcreee.org/yemen/

سانتوس، ب. (29 كانون الأول 2022). مصدر تبني أول محطة طاقة شمسية كبيرة الحجم في اليمن. مجلة pv.

https://www.pv-magazine.com/2022/12/29/masdar-to-build-yemens-first-large-scale-solar-plant/

غلوبال إنرجي مونيتور. (8 أيار 2025). مزرعة عدن للطاقة الشمسية. ويكي GEM. https://www.gem.wiki/Aden_solar_farm

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (30) .(UNDP كانون الثاني 2024). برنامج الأمم المتحدة الإنمائي في اليمن: الطاقة الشمسية توفر الطاقة المتجددة للمستشفيات في اليمن. الأمم المتحدة في اليمن. https://yemen.un.org/en/259207-undp-yemen-solarpower-brings-renewable-energy-hospitals-yemen

عقلان، م.، ولاكنر، هـ (2021، 29 نيسان). الري بالطاقة الشمسية في اليمن: الفرص والتحديات والسياسات. مركز صنعاء للدراسات الاستراتيجية. https://sanaacenter.org/publications/main-publications/13849

هدوان، م.، والخوليدي، أ. (2016). حلول الطاقة الشمسية للقرى الريفية والمجتمعات الصحراوية اليمنية. مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، 57، 838-849. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.125

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2024) .(UNDP، 30 كانون الثاني). شبكات الطاقة الشمسية الصغيرة تُحدث فرقًا إيجابيًا لرواد الأعمال اليمنيين. https://www.undp.org/yemen/news/solar-microgrids-make-difference-yemeni-entrepreneurs

المصطلحات العلمية في قطاعي الطاقة الكهربائية والطاقة المتجددة

Action Plan	خطة عمل
Adaptation	التكيف
Aging Infrastructure	بنية تحتية قديمة
Arid Climate	مناخ جاف
Auction	مزاد (للمشاريع)
Bankability	الجدارة الائتمانية (للمشروع)
Barriers	عوائق
Baseload	الحمل الأساس
Battery Energy Storage System (BESS)	نظام تخزين الطاقة بالبطاريات
Biofuels	الوقود الحيوي
Biogas	الغاز الحيوي
Biomass	الكتلة الحيوية
Blackout	انقطاع التيار الكهربائي
Capacity Factor	عامل السعة
Capture, Utilization, Carbon and Storage (CCUS)	احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه
Carbon Emissions	انبعاثات الكربون
Carbon Footprint	البصمة الكربونية
Challenges	تحديات
Circular Carbon Economy	الاقتصاد الدائري للكربون (إعادة تدويره للاستفادة منه)
Clean Energy	الطاقة النظيفة
Climate Change	تغير المناخ
Coal	الفحم
Coastal	ساحلي
Combined Cycle	الدورة المركبة
Commissioning	التشغيل التجاري / استلام المشروع
Community Engagement	مشاركة المجتمع
Competitiveness	القدرة التنافسية
Concentrating Solar Power (CSP)	الطاقة الشمسية المركزة
Cooling Demand	الطلب على التبريد (بسبب المناخ)

Cost Reduction	خفض التكاليف
Cross-border Trading	التبادل عبر الحدود
Curtailment	تقييد (خفض إنتاج الطاقة المتجددة لأسباب فنية)
Dam	سد
Decarbonization	إزالة الكربون
Management Demand-Side	إدارة جانب الطلب
Demonstration Project	مشروع إيضاحي
Desalination	تحلية المياه
Desert	صحراء
Development Agency	وكالة تنمية
Direct Normal Irradiance (DNI)	الإشعاع العمودي المباشر
Distributed Generation	التوليد الموزع
Distribution	توزيع (الطاقة)
Donor	مانح
Economic Diversification	التنويع الاقتصادي
Economic Viability	الجدوى الاقتصادية
Electricity Consumption	استهلاك الكهرباء
Electricity Generation	توليد الكهرباء
Electricity Price	سعر الكهرباء
Electrolyzer	المُحَلِّل الكهربائي (لإنتاج الهيدروجين)
Emissions Reduction	خفض الانبعاثات
Energy Access	الوصول إلى الطاقة
Energy Audit	تدقيق الطاقة
Independence Energy	الاستقلال في مجال الطاقة أو الاستقلال الطاقي
Energy Mix	مزيج الطاقة
Energy Security	أمن الطاقة
Energy Efficiency	كفاءة الطاقة
Energy Intensity	كثافة الطاقة
Energy Storage	تخزين الطاقة
Environmental Impact	الأثر البيئي
Evaluation	تقييم
Export	تصدير
Feasibility Study	دراسة الجدوى

Feed-in Tariff (FiT)	تعريفة التغذية
Energy Consumption Final	الاستهلاك النهائي للطاقة
Financial Strain	ضغوط مالية
Financing	تمويل
Fossil Fuels	الوقود الأحفوري
Gas-fired	يعمل بالغاز
GCC Interconnection	الربط الخليجي
Geothermal Energy	الطاقة الحرارية الأرضية
Geothermal Reservoir	خزان حراري أرضي
Gigawatt-hour (GWh)	غيغاواط ساعة
Global Horizontal Irradiance (GHI)	الإشعاع الأفقي العالمي
Governance	الحوكمة
Grant	منحة
Green Economy	الاقتصاد الأخضر
Green Hydrogen	الهيدروجين الأخضر
Greenhouse Gas (GHG) Emissions	انبعاثات غازات الدفيئة
Grid Code	مدونة الشبكة
Grid Infrastructure	بنية الشبكة التحتية
Grid Limitations	قيود الشبكة
Grid Stability	استقرار الشبكة
Grid	الشبكة (الكهربائية)
Hot Springs	الينابيع الساخنة
Hybrid System	نظام هجين
Hydrocarbon	الهيدروكربون
Hydrogen Production	إنتاج الهيدروجين
Hydropower	الطاقة الكهرومائية
Implementation	تنفيذ
Dependency Import	الاعتماد على الاستيراد
Incentive	حافز
Independent Power Producer (IPP)	منتج مستقل للطاقة
Innovation	الابتكار
Installed Capacity	السعة المركبة

الإطار المؤسسي	**Institutional Framework**
الربط البيني (بين الشبكات)	**Interconnection**
التقطع (طبيعة مصدر الطاقة غير المستمرة)	**Intermittency**
التعاون الدولي	**International Collaboration**
مؤسسة تمويل دولية	**International Financial Institution**
مخاطر الاستثمار	**Investment Risk**
استثمار	**Investment**
كيلوواط ساعة	**Kilowatt-hour (kWh)**
تخصيص الأراضي	**Land Allocation**
غاز المكب	**Landfill Gas**
الإطار القانوني	**Legal Framework**
التكلفة المعادلة للطاقة	**Cost of Energy Levelized (LCOE)**
الغاز الطبيعي المسال	**Natural Gas (LNG) Liquefied**
تسليط الأحمال (انقطاع التيار المخطط)	**Shedding Load**
قرض	**Loan**
التصنيع المحلي	**Local Manufacturing**
سوق	**Market**
المخطط الرئيس	**Master Plan**
ميغاواط	**Megawatt (MW)**
شبكات صغيرة / مصغرة	**Mini-grid**
وزارة الطاقة	**Ministry of Energy**
التخفيف (من آثار تغير المناخ)	**Mitigation**
تحديث	**Modernization**
تخزين الملح المصهور	**Molten Salt Storage**
رصد / متابعة	**Monitoring**
الشبكة الوطنية	**National Grid**
المساهمة المحددة وطنياً	**Determined Nationally Contribution (NDC)**
الغاز الطبيعي	**Natural Gas**
القياس الصافي	**Net Metering**
صافي انبعاثات صفر	**Net Zero**
معوقات	**Obstacles**
خارج الشبكة	**Off-grid**

يعمل بالنفط	**Oil-fired**
النفط	**Oil**
متصل بالشبكة	**On-grid**
مشروع قيد التشغيل	**Operational (Project)**
انقطاع (التيار)	**Outage**
اتفاقية باريس	**Paris Agreement**
ذروة الطلب	**Peak Demand**
الاستهلاك للفرد	**Per Capita Consumption**
منح التراخيص	**Permitting**
كهروضوئية	**Photovoltaic (PV)**
مشروع تجريبي / نموذجي	**Pilot Project**
مخطط له	**Planned**
سياسة	**Policy**
اتفاقية شراء الطاقة	**Purchase Agreement Power (PPA)**
الطاقة الأولية	**Primary Energy**
القطاع الخاص	**Private Sector**
المشتريات	**Procurement**
تطوير المشروع	**Project Development**
خط أنابيب المشاريع (المشاريع قيد التطوير)	**Pipeline Project**
التوعية العامة	**Public Awareness**
القطاع العام	**Public Sector**
شراكة القطاع العام والخاص	**Partnership Public-Private (PPP)**
تخزين الطاقة بالضخ الكهرومائي	**Hydro Storage Pumped**
تخزين بالضخ	**Pumped Storage**
أسعار قياسية منخفضة	**Record-low Prices**
إصلاح	**Reform**
التكامل الإقليمي	**Regional Integration**
هيئة تنظيمية	**Regulatory Authority**
الإطار التنظيمي	**Regulatory Framework**
جهاز تنظيمي	**Regulator**
إعادة تأهيل	**Rehabilitation**
الموثوقية	**Reliability**

Remote Areas	المناطق النائية
Renewable Energy	الطاقة المتجددة
Renewable Energy Target	هدف الطاقة المتجددة
Research and & D) Development (R	البحث والتطوير
Reserves	احتياطات
Resilience	المرونة
Capability Ride-through	القدرة على الاستمرار خلال الاضطرابات
Roadmap	خارطة طريق
Rooftop Solar	الطاقة الشمسية على الأسطح
Rural Electrification	كهربة الريف
Shale Oil	النفط الصخري
Skilled Workforce	قوى عاملة ماهرة
Smart Grid	الشبكة الذكية
Solar Power	الطاقة الشمسية
Solar Irradiation	الإشعاع الشمسي
Stakeholder	أصحاب المصلحة
Strategy	استراتيجية
Subsidy	دعم / إعانة
Supply Chain	سلسلة التوريد
Sustainability	الاستدامة
Target	هدف
Tariff	تعريفة
Tax Exemption	إعفاء ضريبي
Technical Expertise	الخبرة التقنية
Technical Potential	الإمكانيات التقنية
Technology Transfer	نقل التقانة
Tender	مناقصة
Thermal Power Plant	محطة طاقة حرارية
Thermal Storage	التخزين الحراري
Tonnes of Oil Equivalent (toe)	طن مكافئ نفط
Transmission	نقل (الطاقة)
Transparency	الشفافية
Under Construction	قيد الإنشاء

Upgrade	ترقية
Utility-scale	على نطاق المرافق (مشاريع كبيرة)
Utility	شركة مرافق (كهرباء/ماء)
Vision2030	الرؤية لعام ٢٠٣٠
Voltage Control	التحكم في الجهد
(WtE) Waste-to-Energy	تحويل النفايات إلى طاقة
Water-Energy Nexus	الترابط بين الماء والطاقة
Wheeling	النقل المجاني (للكهرباء عبر الشبكة)
Wind Power	طاقة الرياح

أشرف على الطباعة والتهيئة فريق المطبعة
المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
شارع محمد علي عقيد- المركز العمراني الشمالي
تونس- الجمهورية التونسية

شارع محمد علي عقيد - تونس

الهاتف : 900 013 70 216+

تليفاكسميلي : 668 948 71 216+

البريد الإلكتروني : alecso@alecso.org.tn

انترنت : www.alecso.org.tn

ISBN 978-9973-15-472-9