تطبيقات طاقة الرياح البحرية في العالم وتداعياتها على تركيا

بشرى زينب أوزدمير*

* سيتا، تركيا.

ملخص: أدّت المخاوف المتزايدة بشأن الاحتباس الحراري وتغيّر المناخ على الصعيد العالمي إلى ارتفاع حصة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة لدى الدول خلال العقدين الماضيين. وتُعَدّ طاقة الرياح البحرية، التي تؤدي دورًا محوريًّا في هذا السياق، من القطاعات المتجددة التي تشهد نموًّا سريعًا واستقطابًا متزايدًا للاستثمارات على المستوى العالمي. يتناول هذا التقرير تحليلاً لتطوّر طاقة الرياح البحرية، ومزاياها وعيوبها، والوضع التكنولوجي الراهن، والاستثمارات العالمية، فضلاً عن الوضع الحالي لتركيا في هذا القطاع. كما يتضمّن التقرير توصياتٍ أُعدّت استنادًا إلى المواقع المحتملة في تركيا، والأطر القانونية الناظمة، والأعمال المنجزة بالتعاون مع البنك الدولي، وآليات الدعم المتاحة.

الكلمات المفتاحية: طاقة الرياح البحرية، أمن الطاقة، التخلص من الكربون، تغيّر المناخ.

Global Offshore Wind Energy Applications and Their Implications for Türkiye

BÜŞRA ZEYNEP ÖZDEMİR*

ORCID NO: 0000-0002-2180-5612 bozdemir@setav.org

* SETA, Türkiye.

ABSTRACT: *Growing concerns about global warming and climate change worldwide have led to an increase in the share of renewable energy sources in countries' energy mixes for over two decades. Offshore wind energy, which plays a key role in this regard, is one of the renewable energy sectors experiencing rapid growth and attracting investment on a global scale. This report analyzes the development of offshore wind energy, its advantages and disadvantages, the current technological situation, global investments, and the current status of Türkiye in this field. Recommendations have also been developed considering Türkiye's potential sites, legal frameworks, projects carried out in cooperation with the World Bank, and support mechanisms.*

Keywords: *Offshore Wind Energy, Energy Security, Decarbonization, Climate Change.*

رؤيـــة تركيـــة
2026-(1/15)
151 - 176

Received Date: 07 / 09 / 2025 • Accepted Date: 19 / 11 / 2025

This work has been prepared in accordance with ethical principles

DOI:10.36360/1560-015-001-009

CC BY NC

مقدمة

منذ العقد الأول من الألفية الجديدة، أدّى الارتفاع السريع في الطلب على الطاقة في الدول النامية، وما صاحبه من زيادة في انبعاثات الغازات الدفيئة، إلى إضافة بُعد جديد إلى النقاشات الدولية حول الأثر البيئي لاستهلاك الطاقة، التي تتصدر الأجندة العالمية منذ أكثر من عقدين. وقد أسهمت الجهود المبذولة للحدّ من الاحتباس الحراري العالمي الناتج عن تصاعد الانبعاثات في رفع مكانة مصادر الطاقة المتجددة إلى مستوى مختلف من الأهمية.

فإلى جانب تعزيز أمن الطاقة من خلال تنويع مصادرها، ازداد إسهام المصادر المتجددة في الحدّ من الآثار البيئية السلبية الناجمة عن استخدام الوقود الأحفوري، وهذا زاد من أهميتها بوتيرة متسارعة. كما رافقت التقنيات الجديدة في مجالي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المصادر المتجددة التقليدية، وتحقق تسريع الجهود الرامية إلى تمكين الدول من إنتاج الطاقة باستخدام جميع الموارد المحلية الممكنة.

وقد أصبحت مصادر الطاقة المتجددة اليوم الركيزة الأساسية لنموذج الاقتصاد منخفض الكربون، والمجال الأكثر جذبًا للاستثمارات في قطاع الطاقة على الصعيد العالمي.

تُعَدّ طاقة الرياح البحرية، بوصفها أحد الفروع الفرعية لطاقة الرياح، من القطاعات التي تحظى بأكبر حجم من الاستثمارات عالميًّا بعد الطاقة الشمسية. وقد بدأت بالفعل تطبيقات إنتاج الكهرباء في أعالي البحار للاستفادة من سرعات الرياح الأعلى مقارنة بالمناطق البرية، وهذا جعل محطات طاقة الرياح البحرية أكثر جاذبيةً واستقطابًا للاستثمار.

وإذ نشأت طاقة الرياح البحرية في أوروبا، فقد أصبحت اليوم تكنولوجيا يجري الاستثمار فيها في مناطق أخرى من العالم، تتصدرها الدول الآسيوية. وتعمل تركيا، التي تُعَدّ من أكثر الدول استفادةً من مصادر الطاقة المتجددة في محيطها الإقليمي وفي أوروبا، على توسيع أنشطتها في مجال طاقة الرياح لتشمل قطاع الرياح البحرية.

استنادًا إلى المعلومات المعروضة حول تطوّر تقنيات طاقة الرياح البحرية، يتناول هذا التقرير الوضع الراهن لهذه التكنولوجيا، ويعرض العوامل الواجب أخذها بالحسبان في أثناء مرحلة تخطيط المشروعات، فضلاً عن المزايا والعيوب المرتبطة بطاقة الرياح البحرية. كما تتضمن الدراسة عرضًا للدول التي تمتلك أعلى معدلات استثمار في هذا

المجال على المستوى العالمي، وتختتم بتوصيات تستند إلى تحليل الجهود المبذولة في مجال طاقة الرياح البحرية في تركيا، وتقييم الإمكانات الوطنية، ورصد التطورات الجارية في هذا القطاع.

تطوّر طاقة الرياح البحرية

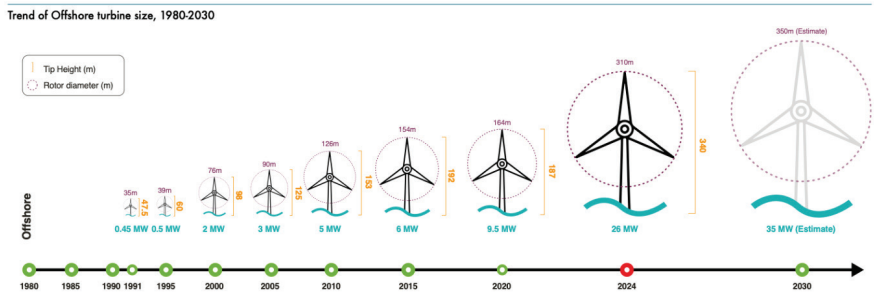
كان إنشاء أول محطة لطاقة الرياح البحرية في العالم عام 1991 قبالة سواحل فينديبي في الدنمارك، بهدف الاستفادة من الرياح الأقوى في أعالي البحار. ضمّت المحطة 11 توربينًا بقدرة مركّبة إجمالية بلغت 5 ميغاواطات، وكانت قادرة على تلبية احتياجات نحو 2,200 منزل من الكهرباء سنويًّا. وقد أُنشئت المحطة بالقرب من الساحل وفي مياه ضحلة، مستخدمةً توربينات صغيرة الحجم تتوافق مع الظروف التقنية المتاحة آنذاك.

وخلال العقد اللاحق، أُنشئت محطات أخرى لطاقة الرياح البحرية قبالة سواحل الدنمارك وهولندا والسويد والمملكة المتحدة، وجرى تشييدها قريبة من الشاطئ على نحو مشابه، حيث تألفت من توربينات مُثبّتة على قاع البحر بقدرات مركّبة تراوحت بين 0.5 و2.3 ميغاواطات.[1]

أتاح التقدم التكنولوجي، إلى جانب العديد من دراسات البحث والتطوير (R&D)، إمكانية تركيب توربينات الرياح البحرية في مواقع أبعد عن السواحل.[2] ففي عام 2010، كانت قدرة التوربين الواحد لا تتجاوز 3 ميغاواطات بارتفاع يقارب 100 متر، بينما تُنتج اليوم توربينات بحرية بقدرات تتجاوز 25 ميغاواطًا وارتفاعات تفوق 200 متر.[3]

وتُسهم زيادة حجم التوربينات في رفع كمية الكهرباء المنتجة، إذ تمكّنها من التحرك ضمن نطاق أوسع وعلى ارتفاعات أكبر. ويعني ذلك أن محطات الطاقة الحديثة تتمتع بـ: عامل قدرة (Capacity Factor)[4] أعلى، أي أنها قادرة على تحقيق إنتاجية أكبر للطاقة مقارنة بإمكاناتها المركبة.[5]

الشكل (1). الاتجاهات التطورية لتوربينات طاقة الرياح البحرية (1980–2030)



المصدر: تقرير طاقة الرياح البحرية العالمي في عام 2025

توجد اليوم نوعان رئيسان من محطات طاقة الرياح البحرية من حيث آلية التركيب: المحطات الثابتة القاع والمحطات العائمة. تعتمد المحطات الثابتة القاع على توربيناتٍ تُثبَّت في قاع البحر بواسطة هياكل معدنية مصنوعة عادةً من الصلب أو معادن مشابهة، وتُقام في المناطق البحرية المفتوحة التي لا يتجاوز عمقها 60 مترًا.

أما في الوقت الراهن، فإن القدرة الإجمالية لطاقة الرياح البحرية على مستوى العالم تتكوّن في الغالب من محطاتٍ تستخدم توربيناتٍ مثبتة في قاع البحر.[6]

بينما المحطات العائمة، محطات تُثبَّت فيها توربينات الرياح على منصّاتٍ عائمة تُقام في المناطق التي يتجاوز عمقها 50 مترًا، حيث تُربط هذه المنصّات بـ(قاع البحر) باستخدام كوابل وسلاسل وحبال. وتتميّز هذه المحطات بكونها تضم توربينات قادرة على الحركة وفقًا لاتجاه الأمواج، وهذا يتيح إنتاج الكهرباء في المياه العميقة، وهو ما لا يُتاح للتوربينات المثبّتة على القاع.[7]

فضلاً عن ذلك، تُسهم المحطات العائمة في توسيع نطاق المناطق الممكن استثمارها في مشروعات طاقة الرياح البحرية، ولاسيما في المناطق الساحلية المخصّصة للسياحة أو الصيد أو الاستخدامات المماثلة.

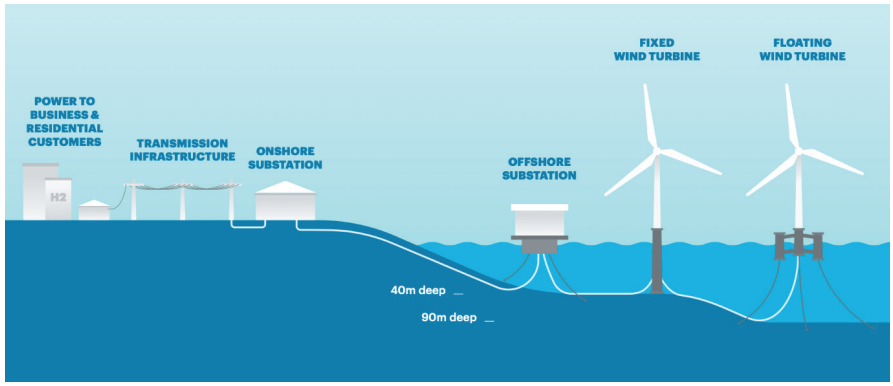
رُكِّب أول توربين رياح بحري عائم في النرويج عام 2009، بقدرة مركّبة بلغت 2.3 ميغاواطات وعلى بُعد 10 كيلومترات من الساحل.[8] ومن الأمثلة المبكرة الأخرى المشروع الذي أُنشِئ قبالة سواحل مرسيليا، إحدى الوجهات السياحية البارزة في فرنسا. ويُعدّ هذا المشروع الأول من نوعه في فرنسا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط، إذ يتكوّن من ثلاثة توربينات بقدرة مركّبة إجمالية تبلغ 8.4 ميغاواطات، ومن المخطّط أن يُصبح في طور التشغيل الكامل في يونيو 2025، بما يتيح تغطية احتياجات نحو 45 ألف شخص من الكهرباء سنويًّا.[9] وإلى جانب النرويج وفرنسا، تُعَدّ المملكة المتحدة والصين والبرتغال من أبرز الدول التي تُظهر تقدّمًا ملحوظًا في مجال محطات طاقة الرياح البحرية العائمة.[10]

تقوم جميع محطات طاقة الرياح البحرية بنقل الكهرباء المولّدة إلى أقرب شبكة برية عبر كوابل (خطوط نقل عالية الجهد) تُدفَن في قاع البحر. وتتميّز هذه الكوابل بأنها أكثر سُمكًا من الكوابل المستخدمة في الاتصالات، إذ تُغلّف بعدة طبقات معدنية، وتُمَدّ على قاع البحر بواسطة سفن متخصّصة، وذلك بهدف حمايتها من الأضرار التي قد تنجم عن الظواهر الطبيعية مثل الزلازل والتيارات المائية، أو عن العوامل البشرية.

وتُعَدّ هذه الخطوط البحرية موضع جدل بيئي واسع؛ نظرًا لتأثيراتها المحتملة في النظم البيئية البحرية، ومن المتوقّع أن يتزايد استخدامها بشكلٍ ملحوظ مع الانتشار المتنامي لمشروعات طاقة الرياح في أعالي البحار.[11]

"على الرغم من انخفاض تكاليف محطات توليد الطاقة القائمة على المصادر المتجددة، فإن محطات طاقة الرياح البحرية ما تزال متميّزة بتكاليفها المرتفعة نسبيًا مقارنة بغيرها من المحطات"

الشكل (2). مثال نموذجي لمزرعة رياح بحرية



المصدر: «طاقة الرياح البحرية»، الهيئة التنظيمية للبنية التحتية البحرية، (ديسمبر 2023).[12]

على الرغم من انخفاض تكاليف محطات توليد الطاقة القائمة على المصادر المتجددة على مرّ السنين، فإن محطات طاقة الرياح البحرية ما تزال متميّزة بتكاليفها المرتفعة نسبيًّا مقارنة بغيرها من المحطات.[13] ففي عام 2010، بلغ إجمالي تكلفة تركيب محطات طاقة الرياح البحرية على مستوى العالم نحو 5,518 دولارًا لكل كيلوواط، مع عامل قدرة بلغ 38% وتكلفة مستوية للكهرباء (LCOE) مرتفعة نسبيًّا.[14]

أما في عام 2024، فقد انخفضت التكلفة الإجمالية للتركيب إلى نحو 2,852 دولارًا لكل كيلوواط، في حين ارتفع عامل القدرة إلى 42% بفضل التطور التكنولوجي، وانخفضت تكلفة الكهرباء المستوية (LCOE) إلى نحو 0.079 دولار/ كيلوواط ساعة (انظر الجدول1).[15]

الجدول 1. تغيّرات إجمالي تكلفة التركيب، عامل القدرة، وتكلفة الكهرباء المستوية عبر السنوات (2010–2024)								
نوع الطاقة	إجمالي تكلفة التركيب (2024 دولار/ كيلوواط)			عامل القدرة بـ %			تكلفة الكهرباء المستوية (2024 دولار/ كيلوواط ساعة)		
	2010	2024	التغير (%)	2010	2024	التغير (%)	2010	2024	التغير (%)
الطاقة الحيوية	3,082	3,242	5	72	73	1	0.086	0.087	1
الطاقة الحرارية الجوفية	3.083	4,015	30	87	88	1	0.055	0.060	9
الطاقة الكهرومائية	1.494	2,267	52	44	48	9	0.044	0.057	30
الطاقة الشمسية الضوئية	5,283	691	–87	15	17	13	0.417	0.043	–90
الطاقة الشمسية المركزة	10,703	3,677	–66	30	41	37	0.402	0.092	–77
طاقة الرياح البرية	2,324	1,041	–55	27	34	26	0.113	0.034	–70
طاقة الرياح البحرية	5,518	2,852	–48	38	42	11	0.208	0.079	–62

المصدر: «تكاليف توليد الطاقة المتجددة في عام 2024»

من المتوقّع أن يزداد الطلب على طاقة الرياح البحرية في السنوات القادمة، مدفوعًا بالتقدم المستمر في مجالات البحث والتطوير والتكنولوجيا. كما يُتوقَّع أن تنخفض التكاليف بشكل أكبر، على غرار ما لوحظ في تقنيات الطاقة المتجددة الأخرى.

مزايا محطات طاقة الرياح البحرية وعيوبها

على الرغم من تكلفتها العالية مقارنة بمحطات الرياح البرية، تُعَدّ طاقة الرياح البحرية مجالاً استثماريًّا رئيسًا؛ نظرًا لمزاياها الكبيرة. فهي توفر الفوائد العامة للطاقة المتجددة، مثل توليد الكهرباء من دون انبعاثات غازات دفيئة، وزيادة أمن إمدادات الطاقة من خلال التنويع، وخلق فرص عمل على طول سلسلة القيمة بأكملها، بدءًا من التصنيع وصولاً إلى التشغيل والصيانة.

بالإضافة إلى ذلك، تقدم محطات طاقة الرياح البحرية مزايا فريدة، منها:

– **إنتاج طاقة أعلى**: توفر الرياح الأقوى والأكثر ثباتًا في البحر توليدًا كهربائيًّا أعلى بكثير وأكثر استدامة مقارنة بمحطات الرياح البرية. وتشير الدراسات إلى أن الرياح بسرعة 15 ميلًا في الساعة تنتج ما يقارب ضعف الكهرباء التي تنتجها الرياح بسرعة 12 ميلًا في الساعة. وتسهم هذه الموثوقية بشكل أكبر في تعزيز أمن الطاقة.[16]

– **مساحة واسعة متاحة**: توفر البحار والمحيطات مناطق شاسعة غير مستغلة تصلح لتركيب عدد كبير من التوربينات. ويمكن لموقع هذه المحطات بالقرب من المدن الساحلية ذات الكثافة السكانية العالية تلبية الطلب الكبير على الطاقة، مع تقليل خسائر النقل عبر توليد الكهرباء بالقرب من نقاط الاستهلاك.[17]

– **أثر بيئي إيجابي**: تشير البحوث إلى أن تقييد الأنشطة البحرية مثل الشحن والصيد ضمن مناطق المحطات يمكن أن يحمي الحياة البحرية ويسهم في صحة النظام البيئي البحري.[18]

ومع ذلك، تمتلك محطات طاقة الرياح البحرية أيضًا عيوبًا ملحوظة، منها:

– **الموسمية وعدم الانتظام**: مثل غيرها من مصادر الطاقة المتجددة، يكون إنتاجها متغيرًا. ففي فترات انخفاض سرعة الرياح، ينخفض الإنتاج، وهذا جعل دولًا مثل المملكة المتحدة الرائدة في القدرة البحرية تضطر للاعتماد على محطات احتياطية تعمل بالوقود الأحفوري.[19]

– **مخاوف بيئية على مدى دورة الحياة**: يتطلب إنتاج التوربينات استخراج عناصر الأرض النادرة والمعادن الحرجة، مما قد يسبب تلوثًا. علاوة على ذلك، بينما يمكن

إعادة تدوير العديد من المكونات بعد انتهاء دورة حياة المحطة، تشكل أجزاء مثل شفرات التوربينات تحدّيًا كبيرًا للتخلص منها، وهذا يثير القلق بشأن الاستدامة البيئية على المدى الطويل.[20]

- **الآثار الاجتماعية والاقتصادية**: قد يؤدي اختيار مواقع غير مناسب إلى التأثير سلبيًّا على الاقتصادات المحلية التي تعتمد على قطاعات مثل السياحة والصيد، وهذا قد يتسبب في خسائر اقتصادية ومعارضة من السكان المحليين.[21]

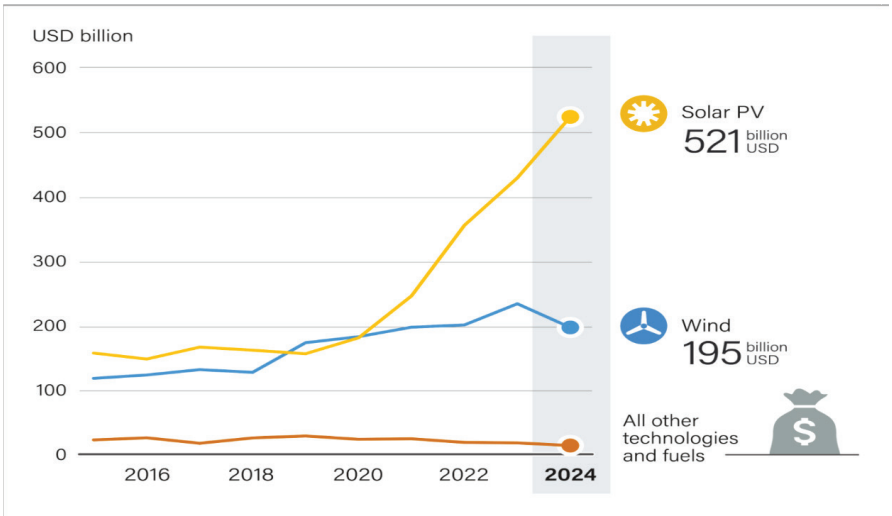
- **التكاليف العالية**: تُعَدّ مزارع الرياح البحرية أكثر تكلفة بكثير من نظيراتها البرية من حيث التركيب والصيانة والإصلاح. وتزداد التكاليف مع عمق البحر، كما أن البيئة البحرية القاسية تسبب أضرارًا أكثر توترًا للتوربينات، مما يزيد من مصاريف الصيانة.[22]

الدول المستثمرة في طاقة الرياح البحرية

كانت طاقة الرياح، إلى جانب الطاقة الشمسية، من بين مصادر الطاقة المتجددة التي حظيت بأكبر قدر من الاستثمارات عالميًّا في السنوات الأخيرة.[23] إن تطلُّبَ الألواح الشمسية، المستخدمة لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، مساحة محدودة مقارنة بالتوربينات المستخدمة في توليد الكهرباء من الرياح، وإمكان تركيبها على أسطح المباني- يجعلان الطاقة الشمسية خيارًا عمليًّا للمستهلك النهائي.

نظرًا للتكاليف العالية في قطاع طاقة الرياح، يتركز التمويل والمشروعات بشكل رئيس على طاقة الرياح البرية. وعلى الرغم من إنشاء أول محطة طاقة رياح بحرية في عام 1991، فإنه لم تتجاوز القدرة التوليدية لطاقة الرياح البحرية 67 ميغاواطًا من إجمالي القدرة التوليدية العالمية لطاقة الرياح البالغة نحو 17,000 ميغاواط بحلول عام 2000. وقد مثل هذا الرقم 0.4% فقط من إجمالي القدرة التوليدية العالمية لطاقة الرياح، ولم تمتلكه سوى ثلاث دول أوروبية، هي: الدنمارك (50 ميغاواطًا)، السويد (13 ميغاواطًا)، والمملكة المتحدة (4 ميغاواطات).[24]

الرسم البياني 1. الاستثمارات في القدرة المركبة للطاقة المتجددة عالميًّا (2015–2024، مليار دولار)



المصدر: «تقرير الحالة العالمية 2025»

على الرغم من أن نحو 3 مليارات شخص حول العالم يعيشون على مسافة لا تتجاوز 100 كيلومتر من الساحل، تشير دراسة صادرة عن وكالة الطاقة الدولية (IEA) إلى أن الإمكانات التقنية العالمية لطاقة الرياح البحرية تفوق الطلب العالمي على الكهرباء بمقدار 18 مرة.[25] وتتركز أعلى الإمكانات التقنية في أوروبا، وخاصة في الاتحاد الأوروبي، تليها الولايات المتحدة، واليابان، والصين، والهند.[26]

شهد سوق طاقة الرياح البحرية العالمي، الذي نما بمعدل يقارب 30% سنويًّا بين عامَي 2010 و2020، استثمارات بشكل رئيس من المملكة المتحدة وألمانيا والدنمارك. ومع ذلك، تُعَدّ الصين الدولة الأكثر استثمارًا في طاقة الرياح البحرية، على غرار استثماراتها في مصادر الطاقة المتجددة الأخرى، وقد أضافت أحدث القدرات في هذا المجال على مستوى العالم.[27]

وفقًا لتقرير مجلس طاقة الرياح العالمي عام 2024، تحققت إضافة قدرة قياسية جديدة قدرها 8 غيغاواطات (GW) إلى القدرة المركبة العالمية لطاقة الرياح البحرية، كما جرى تخصيص 56 غيغاواطًا من القدرة الجديدة خلال العام الماضي. وباحتساب

المحطات التي اكتملت لكنها لم تُشغَّل بعد، بلغت القدرة المركبة 83 غيغاواطًا.[28] وبإنتاج كهربائي سنوي قدره 298 غيغاواطًا ساعة (GWh)، يُخطَّط لتلبية احتياجات الكهرباء لما يصل إلى 73 مليون أسرة. وبحلول مايو 2025، من المتوقَّع إضافة تخصيصات جديدة بإجمالي 100 غيغاواط بين عامي 2025 و2026 إلى 48 غيغاواطًا من المحطات التي هي قيد الإنشاء حاليًّا.

بالإضافة إلى ذلك، وصل إسهام قطاع طاقة الرياح البحرية في سوق العمل إلى مستوى ملحوظ. ووفقًا للتقرير، بحلول نهاية عام 2024، سيكون تطوير طاقة الرياح البحرية على مستوى العالم قد خلق ما مجموعه 17,500 فرصة عمل، منها 8,700 وظيفة بدوام كامل مباشرة و8,800 وظيفة غير مباشرة. ولتحقيق كل ذلك، يُقدَّر أن الاستثمارات في القطاع على مستوى العالم قد وصلت إلى 327.8 مليار دولار أمريكي.[29]

عند فحص الاستثمارات على أساس الإنتاج، يتضح أن كبرى استثمارات في تقنيات طاقة الرياح البحرية على مستوى العالم حصلت في الصين. تستثمر الشركات الصينية بشكل مكثف في إنتاج المكونات مثل شفرات التوربينات وغلاف الماكينات (Nacelles)، محوِّلةً المناطق الساحلية في البلاد إلى مراكز إنتاج تكنولوجية في هذا المجال. ومع وجود 20 مركزًا للإنتاج وأكثر من 10 موانئ بحرية، بالإضافة إلى مراكز إنتاج قيد الإنشاء حاليًّا، من المتوقع أن تصل الصين إلى قدرة إنتاجية تبلغ 20 غيغاواطًا، وهذا يمكنها من تلبية الطلب الوطني خلال السنوات الخمس إلى العشر القادمة. كما أن تصنيع أطول التوربينات الهوائية وأكبرها في الصين يجعلها رائدة في هذه التكنولوجيا.

على النقيض من ذلك، تحافظ أوروبا على موقعها القيادي في إنتاج توربينات الرياح. فالدول الأوروبية، التي كانت الأولى في استضافة مزارع الرياح البرية والبحرية، تصدر منتجاتها إلى العديد من أنحاء العالم بفضل صناعاتها المتقدمة والناضجة. بينما يتركز إنتاج الصين أساسًا لتلبية الطلب المحلي، تتصدر الشركات الأوروبية المشهد في اكتساب الخبرة من خلال التصدير إلى العديد من الدول ونقل جزء من إنتاجها.[30]

على الصعيد العالمي، لوحظ أن القدرة الجديدة المضافة إلى القدرة المركبة في عام 2024 تركزت بشكل رئيس في آسيا، ولاسيما في الصين (7.67%)، وفي أوروبا (5.76%). ومع ذلك، فبينما تبلغ القدرة المركبة الإجمالية لمزارع الرياح البحرية في

18 دولة 62,623 ميغاواطًا، تستضيف الصين أعلى قدرة مركبة، بما يعادل حوالي نصف إجمالي القدرة المركبة.

طاقة الرياح البحرية في تركيا

كانت طاقة الرياح واحدة من المجالات ذات الأهمية الخاصة بين مصادر الطاقة المتجددة في تركيا خلال السنوات الأخيرة. على مدى العشرين عامًا الماضية، أحرزت القدرة المركبة القائمة على مصادر الطاقة المتجددة تقدمًا ملحوظًا؛ بفضل زيادة القدرة التوليدية لطاقة الرياح البرية إلى جانب الطاقة الشمسية؛ إذ وصلت القدرة المركبة لطاقة الرياح البرية، التي كانت لا تتجاوز 19 ميغاواطًا في عام 2002، إلى 13,792 ميغاواطًا بحلول نهاية عام 2024. ومع هذه القدرة المركبة، أصبحت تركيا الدولة السادسة في أوروبا من حيث أعلى قدرة مركبة لطاقة الرياح البرية.[31]

وخلال هذه الفترة، ارتفعت القدرة المركبة الإجمالية لمصادر الطاقة المتجددة في تركيا أيضًا من 12,291 ميغاواطًا إلى 72,288 ميغاواطًا، وهذا وضعها في المرتبة الخامسة بين الدول الأوروبية.[32] ووفقًا لبيانات شركة نقل الكهرباء التركية (TEİAŞ)، فإن القدرة المركبة القائمة على طاقة الرياح البرية، البالغة 13,391 ميغاواطًا حتى يونيو 2025، تشكل 18.5% من إجمالي القدرة المركبة القائمة على مصادر الطاقة المتجددة، البالغة 72,288 ميغاواطًا.

على مدى العشرين عامًا الماضية، لم تقتصر الجهود في مجال طاقة الرياح على إنشاء محطات الطاقة فحسب، بل شملت أيضًا الاستثمارات في صناعة طاقة الرياح. إذ أتاح قانون آلية دعم الطاقة المتجددة (YEKDEM)، الذي أُقِرّ في عام 2005، ضمان شراء الكهرباء من المحطات التي تولد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، مع تقديم مدفوعات إضافية للمحطات التي استخدمت معدات محلية في أثناء البناء، وكان ذلك أحد أهم الخطوات المتخذة في هذا الصدد.

وبحلول عام 2017، جرى ضمان إنشاء محطات طاقة واسعة النطاق باستخدام المصادر المتجددة من خلال مناقصات مناطق موارد الطاقة المتجددة (YEKA)، بينما مكّن شرط إنشاء المصانع المنتجة في مجالات طاقة الرياح والطاقة الشمسية تركيا من إحراز تقدم كبير في صناعة الطاقة المتجددة. ونتيجة لذلك، أصبحت تركيا الآن قادرة

على إنتاج مكونات عديدة وتصديرها، أبرزها أبراج توربينات الرياح، وشفرات الدوّار، والمولدات.[33]

ومع ذلك، وبما يتماشى مع الوضع العالمي، فإن جميع مشروعات طاقة الرياح في تركيا قد نُفِّذت على اليابسة، ولم يجرِ بناء أي محطات طاقة رياح بحرية حتى الآن.

في عام 2018، أطلقت وزارة الطاقة والموارد الطبيعية مناقصة YEKA لإنشاء محطات طاقة الرياح البحرية بقدرة إجمالية تبلغ 1.2 من الغيغاواطات. وفي ذلك الوقت، كان المشروع المخطط له ليكون أول محطة طاقة رياح بحرية في تركيا وأكبرها على مستوى العالم، قد حدد المياه المفتوحة في مناطق ساروس (أدرنة-إنيز، كشان)، وغاليبولو-شاركوي (تشاناق قلعة-تكيرداغ)، وكييكوي (كيركلاريلي-فيزي) بوصفها مناطق مرشحة.

وكما هو الحال في مناقصات YEKA الأخرى، كان من المتوقع أن يتحقق الحصول على 60% على الأقل من مكونات المحطات محليًّا، وأن يشكل العاملون الفنيون الأتراك 80% من إجمالي القوى العاملة الفنية. بالإضافة إلى ذلك، اشترط المشروع استخدام توربينات رياح بقدرة دنيا تبلغ 6 ميغاواطات لكل منها، والانتهاء من التشغيل خلال 60 شهرًا، مع تحديد موعد تقديم الطلبات في أكتوبر من نفس العام.[34] ومع ذلك، أدّى عدم توفر بيانات القياس الميدانية للمناطق المخصصة لتركيب التوربينات إلى منع المشاركة في المناقصة.[35]

بعد عام من المناقصة، نشر البنك الدولي، إحدى المؤسسات التي تعمل على زيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة عالميًّا، تقريرًا حول تطوير طاقة الرياح البحرية في الدول النامية. وشمل التقرير تركيا بوصفها واحدة من ثماني دول، إلى جانب البرازيل والهند وجنوب إفريقيا.

وفقًا للتقرير، تقع أكثر المناطق ملاءمة لطاقة الرياح البحرية في تركيا على الساحل الشمالي الغربي لبحر إيجة. وفي هذه المنطقة، يمكن أن تصل سرعة الرياح إلى 9 م/ ث، وتُقدَّر الإمكانات بـ6 غيغاواطات للتوربينات الثابتة و19 غيغاواطًا للتوربينات العائمة. بينما توجد مناطق على طول سواحل بحر مرمرة والبحر الأسود تتراوح فيها سرعة الرياح بين 7-8 م/ ث، ويُذكَر أن هناك بعض المناطق الواعدة في كل من جنوب وشمال البلاد.

وبشكل إجمالي، تبلغ الإمكانات 12 غيغاواطًا للمناطق التي يصل عمقها إلى 50 مترًا على طول جميع السواحل، و57 غيغاواطًا للمناطق التي يصل عمقها إلى 1,000 متر.

من ناحية أخرى، يجب أخذ المناطق الميتائية في بحر إيجة والبحر الأسود وحركة السفن الثقيلة في بحر مرمرة بعين الاعتبار. والأهم من ذلك، يُتوقَّع أن تشكل محدودية المياه الإقليمية في بحر إيجة إلى 6 أميال بحرية، وعدم تحديد حدود المنطقة الاقتصادية الخالصة (EEZ)، ووجود الجزر الكبيرة والصغيرة- عقباتٍ أمام استغلال هذا الإمكان.[36]

يُعَدّ انضمام تركيا إلى اتفاقية باريس للمناخ في 10 نوفمبر 2021، مع تحديدها في الوقت نفسه هدف صافي انبعاثات صفرية عام -2053 أحد أكثر الخطوات الملموسة لتسريع الجهود في مجال الطاقة المتجددة. ولأن تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع الطاقة، الذي يُشكّل أكبر مكون من مكونات الانبعاثات، مرتبط مباشرة بزيادة حصة المصادر المتجددة في القدرة المركبة- فإن الهدف هو زيادة الاستثمارات في هذا المجال.

وتكتسب الخطة الوطنية للطاقة في تركيا، التي نشرتها وزارة الطاقة والموارد الطبيعية للجمهور في يناير 2023، أهمية إضافية؛ لاحتوائها على أهداف يُرَاد تحقيقها بحلول عام 2035 على طريق الحياد الكربوني. وتتوقع الخطة أن تُرفَع القدرة المركبة لطاقة الرياح، التي بلغت 11.4 غيغاواطات في عام 2022، إلى 29.6 غيغاواطات بحلول نهاية عام 2035، بحيث تصل قدرة الرياح البرية إلى 24.6 غيغاواطات وقدرة الرياح البحرية إلى 5 غيغاواطات.[37]

وفقًا للخطة، بدأت تعريفات YEKDEM، التي جرى تحديثها في 1 مايو، في التعامل مع محطات طاقة الرياح ضمن فئتين منفصلتين، هما الرياح البرية والرياح البحرية، من حيث نسب الإسهام وفترات الدعم المدفوعة وفقًا لمصدر الطاقة.[38] وتبلغ سعر تطبيق آلية دعم موارد الطاقة المتجددة 106 ليرات تركية/ كيلوواط ساعة لمحطات الرياح البرية، و144 ليرة تركية/ كيلوواط ساعة لمحطات الرياح البحرية. ومثل باقي محطات الطاقة، يُخطَّط لتقديم الدعم مدة 10 سنوات لإنتاج الكهرباء و5 سنوات للمعدات المحلية.

وفي مايو 2023، بدأ العمل المشترك بين وزارة الطاقة والموارد الطبيعية والبنك الدولي في مجال طاقة الرياح البحرية. وقد بدأت الوزارة في الحصول على خدمات

استشارية لزيادة الإمكانات الاستثمارية لطاقة الرياح البحرية ضمن برنامج الالتزامات السابقة للانضمام للاتحاد الأوروبي لقطاع الطاقة، بالتعاون مع البنك الدولي.

وبموجب الاتفاقية الموقعة بين الاتحاد الأوروبي والبنك الدولي، قُرِّر تقديم منحة قدرها 12,826,000 يورو لتركيا لتطوير مصادر الطاقة المتجددة وتوسيعها، ودمج جهود مكافحة تغير المناخ في قطاع الطاقة. ويهدف المشروع إلى دعم طاقة الرياح البحرية، بدعم من البنك الدولي، إلى تقليل المخاطر وتطوير القدرات المؤسسية في مناطق مختارة في تركيا. ومن المخطط إجراء دراسات الجدوى الأولية لإطلاع المستثمرين على مناقصة محتملة قائمة على نظام المزاد. وفي هذا السياق، من المتوقع الانتهاء من الدراسات الجيولوجية والجيوتكنيكية،[39] بالإضافة إلى القياسات الجوية والمحيطية والتقييمات التقنية والاقتصادية بحلول مارس 2027 .[40]

استنادًا إلى خطة العمل الوطنية للطاقة، قررت وزارة الطاقة والموارد الطبيعية في فبراير 2024 إجراء دراسات حول إمكانات طاقة الرياح البحرية في تركيا والحصول على بيانات ملموسة من خلال التقييمات الميدانية. يهدف المشروع -بوصفه جزءًا من مشروع مدعوم ضمن عملية الانضمام إلى الاتحاد الأوروبي- إلى إجراء القياسات الجيولوجية والجيوتكنيكية، والتحليلات والقياسات الجوية والمحيطية، ودراسات الجدوى الاقتصادية والمالية الأولية، وتحليلات القيود البيئية والاجتماعية لتحديد إمكانات طاقة الرياح البحرية في المناطق المخصصة من بحر مرمرة.

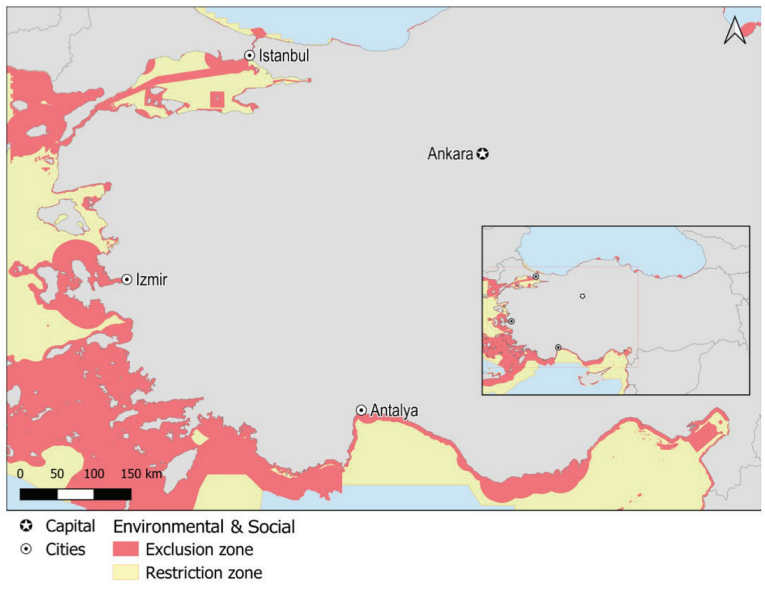
وستُستخدَم النتائج التي أمكن الحصول عليها لتحديد المناطق الملائمة لبناء محطات طاقة الرياح البحرية بشكل واضح، ولتشجيع المشاركين على الاستثمار بثقة قبل طرح مناقصة جديدة.[41] ونتيجة للقرارات المتخذة والدراسات المنفذة، جرى تحديد المناطق المناسبة لمحطات طاقة الرياح البحرية، وفي 4 أغسطس، أعلنت الوزارة عن مناطق YEKA المرشحة للجمهور. وتشمل المناطق المحددة كلًّا من باندرما، وبوزكادا، وغاليبولو، وكارابيغا.[42]

في فبراير 2025، نشر البنك الدولي تقريرًا خاصًّا عن إمكانات طاقة الرياح البحرية في تركيا. ويحمل التقرير عنوان «خريطة طريق طاقة الرياح البحرية في تركيا»، ويقدم تقييمًا شاملًا حول هذا الموضوع، على عكس التقرير السابق.

وفقًا للتقرير، جرى قياس سرعات الرياح البحرية في تركيا على أنها متوسطة إلى منخفضة وفقًا للظروف التكنولوجية الحالية. وتُسجَّل أعلى سرعات للرياح، التي تتراوح بين 8.0 و9.5 م/ ث، على طول ساحل بحر إيجة وفي بحر مرمرة. بينما تتميز الرياح في منطقة البحر الأسود بدرجة ثبات عالية، إلا أنها تتأخر من حيث السرعة، حيث يبلغ متوسطها 7–7.5 م/ ث. وأخيرًا، أشار التقرير إلى أن ساحل البحر الأبيض المتوسط غير مناسب اقتصاديًّا لبناء محطات طاقة الرياح البحرية.

تتوفر المناطق التي يصل عمقها إلى 50 مترًا لتركيب توربينات الرياح المثبتة في قاع البحر على طول سواحل بحر إيجة، وبحر مرمرة، والبحر الأسود. ومع ذلك، عند تقييم مدى ملاءمة هذه المناطق، وبأخذ عوامل مثل حركة الملاحة البحرية، والمناطق المينائية، وسلامة الملاحة، ووجود الجزر الصغيرة والصخور، بالإضافة إلى المناطق ذات الحساسية البيئية والاجتماعية العالية جدًّا، يتضح أن المناطق المحظورة تغطي مساحة واسعة،[43] وأن المواقع الواعدة في تناقص (انظر الخريطة 1).[44]

الخريطة 1. مناطق الاستبعاد والقيود البيئية والاجتماعية والفنية في تركيا

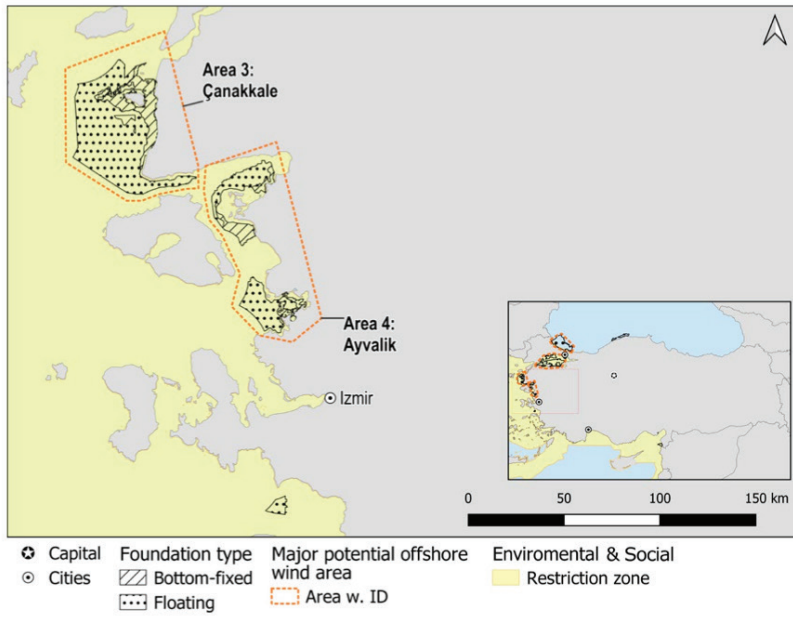


المصدر: «خريطة طريق طاقة الرياح البحرية في تركيا»

وفقًا للتقرير، عند استبعاد المناطق المقيّدة والمناطق التي تواجه قيودًا اجتماعية وبيئية، تصبح المناطق الملائمة لتوربينات الرياح المثبتة في قاع البحر محدودة للغاية. ولا توجد مناطق تجمع بين العمق الأقل من 50 مترًا، وسرعة رياح تزيد عن 7 م/ ث، وعدم وجود قيود، لجميع هذه الخصائص معًا بالنسبة لمحطات الطاقة التي تتكون من توربينات مثبتة في قاع البحر.

وعند استبعاد المناطق المحظورة، والمناطق غير الملائمة من منظور اجتماعي وبيئي، والمناطق ذات سرعة الرياح المنخفضة، والمناطق ذات الأعماق المفرطة، تصبح المناطق الملائمة للمحطات الثابتة والعائمة المثبتة في قاع البحر في بحر إيجة وبحر مرمرة محدودة للغاية (انظر الخريطتين: 2 و3).

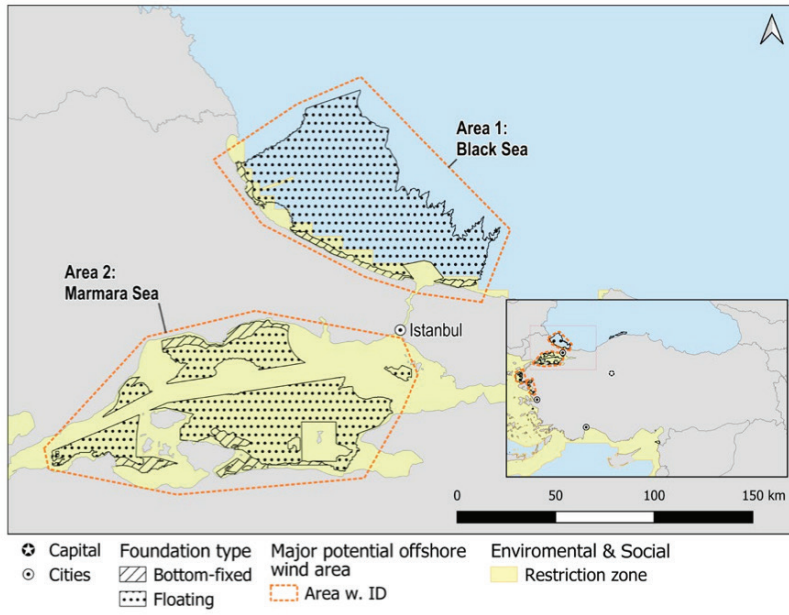
الخريطة 2. المناطق المحتملة لمشروعات طاقة الرياح البحرية ذات الأساسات الثابتة والعائمة في بحر إيجة



المصدر: «خريطة طريق طاقة الرياح البحرية في تركيا»

بعد جميع هذه التقييمات، لوحظ انخفاض في الإمكانات المعلنة في التقرير السابق. وبناءً عليه، من المتوقَّع أن تتطلب هذه المناطق تقييمًا تفصيليًّا قبل تصميم المشروعات فيها.

الخريطة 3. المناطق المحتملة لمشروعات طاقة الرياح البحرية ذات الأساسات الثابتة والعائمة في بحر مرمرة والبحر الأسود



المصدر: «خريطة طريق طاقة الرياح البحرية في تركيا»

عند حساب الإمكانات التقنية للمناطق الموضحة في الخريطتين 2 و3 بناءً على التكنولوجيا الأكثر استخدامًا اليوم، تظهر النتائج: 6.8 غيغاواطات لتوربينات الرياح البحرية ذات الأساسات الثابتة و59.7 غيغاواطات لتوربينات الرياح البحرية العائمة (انظر الجدول2).

الجدول 2. خصائص مناطق طاقة الرياح البحرية المهمة في تركيا

المواقع	إمكانات توربينات الرياح البحرية ذات الأساسات الثابتة		إمكانات توربينات الرياح البحرية العائمة		سرعة الرياح
	كيلومترات مربعة	غيغاواط (GW)	كيلومترات مربعة	غيغاواط (GW)	متر/ ثانية (m /s)
البحر الأسود	290	1.3	5,530	24.9	7.0–7.5
بحر مرمرة	610	2.7	4,330	19.5	7.0–8.5

الجدول 2. خصائص مناطق طاقة الرياح البحرية المهمة في تركيا					
المواقع	إمكانات توربينات الرياح البحرية ذات الأساسات الثابتة		إمكانات توربينات الرياح البحرية العائمة		سرعة الرياح
	كيلومترات مربعة	غيغاواط (GW)	كيلومترات مربعة	غيغاواط (GW)	متر/ ثانية (m /s)
تشناق قلعة	380	1.7	1,660	7.5	8.5–10.0
أيفاليك	230	1.0	610	2.7	7.0–9.5
مناطق صغيرة	–	–	1,140	5.1	7.0–8.5
الإجمالي	1,510	6.8	13,270	59.7	

وتُعَدّ هذه القيم أقل من تلك المذكورة في التقرير السابق للبنك الدولي. وتجدر الإشارة أيضًا إلى أنه، حتى عند مراعاة الإمكانات التقنية ومراعاة جميع القيود المذكورة أعلاه، هناك احتمالية عالية ألا تتحقق المشروعات المحتملة بالكامل.[45] ومن ناحية أخرى، يجب تأكيد أن الإمكانات قد تزداد إذا أدت التحسينات التكنولوجية إلى إنتاج توربينات أكثر كفاءة قادرة على توليد الكهرباء عند سرعات رياح أقل.

في إطار الدراسات التي تُجرَى بالتعاون مع البنك الدولي، بدأت دراسات قياس الرياح الميدانية في بحر مرمرة في مارس 2025. وعلى الرغم من أن الإمكانات أعلى في بحر إيجة، فقد مُنِحت الأولوية لبحر مرمرة؛ نظرًا لاتّصاف المنطقة بأنها أكثر خطورة؛ نظرًا للقيود، مثل ضيق المياه الإقليمية، وعدم وجود منطقة اقتصادية خالصة (EEZ)، والنزاعات العرضية مع اليونان. وتهدف القياسات، المخطط الانتهاء منها بحلول مارس 2027، إلى زيادة جاذبية المنطقة للاستثمار.[46]

ومع تحديث تعريفات YEKDEM في 1 يوليو 2025، طرأ تغيير آخر على أسعار الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة. إذ عُدِّل السعر المخصص للكهرباء الناتج عن طاقة الرياح البحرية، إلى جانب المصادر الأخرى. ووفقًا لذلك، ارتفع سعر تطبيق YEKDEM، الذي كان 144 ليرة تركية/ كيلوواط ساعة في 1 مايو 2023، إلى 305.40 ليرة تركية/ كيلوواط ساعة. كما جرى تحديث الدعم الممنوح لاستخدام المكونات المحلية إلى 81.52 ليرة تركية/ كيلوواط ساعة، بعد أن كان أعلى سعر سابقًا 38.45 ليرة تركية/ كيلوواط ساعة.

على الرغم من أن تركيا لا تمتلك حتى الآن أي محطة طاقة رياح بحرية، إلا أن لديها القدرة على بناء السفن اللازمة لتمديد خطوط النقل التي تربط محطات الطاقة بالشبكة الكهربائية. إذ وقعت شركة LS Marine Solution الكورية الجنوبية اتفاقية مع حوض بناء السفن تيرسان في يالوفا بتاريخ 30 يونيو لبناء أكبر سفينة في آسيا في هذا المجال.[47] وتُظهر هذه الاتفاقية بشكل واضح إمكانات تركيا التصديرية المستقبلية، حيث ستُطوّر السفينة خصيصًا لتعمل فقط في هذا المجال.

خاتمة

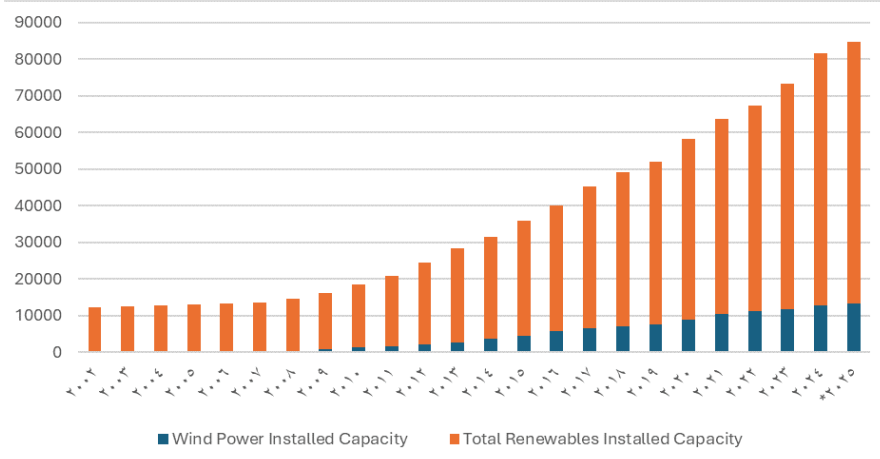
حققت تركيا تقدمًا ملحوظًا في مجال مصادر الطاقة المتجددة خلال العقود الخمسة الماضية. وشهدت مصادر الطاقة المتجددة بوصفها أحد المصادر الأولى التي تلبي الطلب المتزايد على الطاقة– زيادةً في كل من القدرة المركبة والإنتاج الصناعي.

كان أول استثمار في طاقة الرياح في عام 1986 من خلال تركيب توربين في منطقة تششمة في إزمير، وجرى أيضًا تشغيل أول محطة طاقة رياح في تركيا في تششمة عام 1998 بقدرة مركبة تبلغ 1.5 ميغاواطات. في عام 2002، بلغت القدرة المركبة القائمة على طاقة الرياح 19 ميغاواطًا؛ أي ما يعادل 0.15% من إجمالي القدرة المركبة لمصادر الطاقة المتجددة البالغ 12,291 ميغاواطًا.

لاحقًا، ارتفعت القدرة المركبة لطاقة الرياح إلى 2,261 ميغاواطًا في عام 2012، وهذا يمثل 10.2% من إجمالي القدرة المركبة للطاقة المتجددة البالغ 22,180 ميغاواطًا. وفي عام 2022، بلغت القدرة المركبة 11,396 ميغاواطًا، أي ما يعادل 20.4% من إجمالي القدرة المركبة للطاقة المتجددة البالغ 56,006 ميغاواطات.

ووفقًا لأحدث البيانات الصادرة عن هيئة تنظيم سوق الطاقة (EMRA)، فقد بلغت القدرة المركبة القائمة على طاقة الرياح في تركيا 13,250 ميغاواطًا في أبريل 2025، أي ما يعادل 18.5% من إجمالي القدرة المركبة القائمة على مصادر الطاقة المتجددة البالغ 71,583 ميغاواطًا.

الرسم البياني 2. تطور القدرة المركبة القائمة على طاقة الرياح وإجمالي الطاقة المتجددة في تركيا (2002–2025، ميغاواط)



المصدر: EPDK، حتى أبريل 2025

رافق الزيادةَ في القدرة المركبة تطورٌ صناعي ملحوظ بفضل السياسات المنفذة. ومع استثمارات صناعية تتركز بشكل رئيس في منطقة بحر إيجة، أصبحت تركيا واحدة من المراكز الكبرى في أوروبا لإنتاج معدات توربينات الرياح. وقد أصبح قطاع طاقة الرياح في تركيا قادرًا على تلبية احتياجات السوق المحلية من حيث التوظيف وتوفير المعدات. بالإضافة إلى الإسهام في تقليل الواردات في هذا المجال، يمكن للمصنعين المصدرين أيضًا أن يسهموا بشكل إيجابي في ميزان التجارة الخارجية.

مع قاعدة المعرفة هذه والقدرة المركبة، يمكن لتركيا أيضًا إظهار تطور ملحوظ في مجال طاقة الرياح البحرية. فالصناعة، التي اكتسبت خبرة كبيرة في الطاقة الرياحية البرية، يمكن تكييفها للعمل في مجال طاقة الرياح البحرية. وفي هذه الحالة، يمكن لتركيا تعزيز مكانتها بوصفها واحدة من مراكز الإنتاج المهمة في المنطقة.

ومع ذلك، هناك بعض الفرص والمخاطر التي تجب مراعاتها:

• أولًا، من الضروري تحديد الإطار القانوني والمؤسسي بوضوح. فالتغييرات المتكررة في اللوائح التنظيمية في أسواق الطاقة –وبخاصة سوق الكهرباء– يمكن أن تُعَدّ مصدرًا للمخاطر وتثبط المستثمرين. إن وجود لوائح قانونية شفافة وقابلة للتنبؤ

وإطارات قانونية واضحة سيُقلل من حالة عدم اليقين، ويشجع المستثمرين على الدخول في المشروعات.

• من الحقائق الثابتة أن محطات طاقة الرياح البحرية لا تزال تتطلب تمويلًا مرتفعًا مقارنة بالعديد من تقنيات الطاقة المتجددة الأخرى. ولذلك، فإن دعم الدولة لمشروعات المحطات يُعَدّ أمرًا بالغ الأهمية بالنسبة لدول مثل تركيا، التي لم تمتلك بعد أي محطة في هذا المجال.

• أدّت آليات التسعير التفضيلي للكهرباء (Feed-in Tariffs) دورًا حاسمًا في خلق قدرة مركبة عالية للطاقة المتجددة في دول مثل ألمانيا وإسبانيا، كما كانت فعّالة أيضًا في زيادة القدرة المركبة للطاقة المتجددة في تركيا من خلال تنفيذها ضمن لوائح YEKDEM وYEKA. وفي عمليات YEKA التي ستُنظم لمحطات طاقة الرياح البحرية، يمكن تحديد مبلغ التسعير التفضيلي للكهرباء أعلى للمشروعات الأولى التي سيجري تنفيذها، وهذا يقلل من المخاطر على المستثمرين ويشجعهم على المشاركة.

• بالإضافة إلى ضمانات الشراء، يمكن أيضًا تقييم آليات الحوافز الأخرى على المستوى الوطني في تركيا. تُعَدّ الاعتمادات الضريبية أو الخصومات الضريبية -على غرار آليات التسعير التفضيلي للكهرباء- من أكثر طرق الدعم استخدامًا. إذ يُعَدّ خفض الالتزام الضريبي للكيانات القانونية التي تنفذ مشروعات طاقة الرياح البحرية حافزًا للاستثمار من خلال تقليل الضرائب المستحقة للدولة.

• كما أنه من خلال قيام الدولة بتنفيذ عمليات مثل دراسات الجدوى الأولية، وتقييمات الأثر البيئي، وقياسات الرياح، وتقييمات الأرض -كما هو الحال في هولندا- في المناطق المحددة ذات الإمكانات العالية لبناء محطات الطاقة- يمكن تقليل مدة تنفيذ الاستثمار وزيادة الثقة لدى المستثمرين.

• على غرار وكالة البيئة التي أُنشِئت في تركيا ضمن وزارة البيئة والتعمير وتغير المناخ للحد من التلوث البيئي وتسهيل عملية الاقتصاد الدائري- يمكن إنشاء وكالة للطاقة المتجددة لزيادة حصة مصادر الطاقة المتجددة في كل من الصناعة والقدرة المركبة، كما هو الحال في الدنمارك. ومن خلال تبسيط العمليات المتعلقة بمحطات طاقة الرياح البحرية عبر نهج المكتب الموحد داخل الوكالة، يمكن تقليص مدة عملية الاستثمار وجعل بيئة الاستثمار أكثر أمانًا.

• تشكّل قاعدة المعرفة التي تمتلكها تركيا في مجال طاقة الرياح البرية ميزة لتقنيات طاقة الرياح البحرية. فالمصنعون لمكونات التوربينات مثل الأبراج والمولدات والدوارات، والمتركزين في منطقة بحر إيجة، يمكنهم التكيف مع صناعة طاقة الرياح البحرية بسرعة وأمان أكبر بدعم من الدولة. وبفضل الأمان الاستثماري المقدم، يمكن للمنتجين المشجعين الاستثمار بسهولة أكبر وبمخاطر أقل.

• تدرس الوزارة إعادة تنظيم عملية الترخيص، التي كانت مدرجة على جدول أعمالها منذ فترة، التي تُنجَز حاليًّا في وقت أقصر مقارنة بالمتوسط في الدول الأوروبية. ومع تنفيذ تنظيم «الترخيص الفائق» (Super Permit)، من المخطط تقليص مدة عملية الترخيص بشكل أكبر. وسيوفر هذا الأمر بيئة استثمارية أقل مخاطر فيما يتعلق بتوقعات العائد ويتيح تحقيق الأرباح بشكل أسرع.

• أخيرًا، يُعَدّ تعزيز مرونة البنية التحتية للكهرباء إحدى القضايا الأكثر أهمية لجميع الدول، ومنها تركيا، اليوم. إذ تشكل الظروف الجوية القاسية، مثل: الأمطار غير المنتظمة، والعواصف، وارتفاع الحرارة الشديد الناتج عن تغير المناخ، بالإضافة إلى الكوارث الطبيعية مثل الزلازل، والهجمات الإلكترونية- تهديدًا مباشرًا لإمدادات الطاقة ومن ثَمّ للأمن القومي.[48] يجب على جميع الدول التركيز على زيادة أمن بنيتها التحتية بالكامل، بما في ذلك محطات توليد الكهرباء وخطوط النقل والتوزيع والمحولات والشبكات، فضلًا عن زيادة القدرة المركبة من خلال الاستثمار في المصادر المتجددة مثل طاقة الرياح البحرية. وبالنسبة لدول مثل تركيا، التي تتعرض لمناطق أزمات ومخاطر جيوسياسية بسبب موقعها، فإن ضمان استدامة إمدادات الكهرباء يُعَدّ قضية حرجة بقدر أهمية استدامة الإنتاج.

الهوامش والمراجع

1. "Making Green Energy Affordable –How the Offshore Wind Energy Industry Matured– and What We Can Learn from It", Ørsted, (June 2019), https://orsted.com/-/media/WWW/Docs/Corp/COM/explore/Making-green-energy-affordable-June-2019.pdf, (Accessed: July 4, 2025).
2. While the power plant in question was built approximately 3 kilometers from the coast, wind farms can now be built at distances of more than 120 kilometers.

3. "Wind Turbines and Energy Production", Business Norway, November 13, 2024, https://businessnorway.com/articles/wind-turbines-and-energy-production, (Accessed: July 4, 2025); Lin Xiaoyi and Yang Ruoyu, "World's Largest Single Capacity Offshore Wind Turbine Successfully Installed", Global Times, June 28, 2023; Joe Salas, "Planet's Largest Wind Turbine Record Broken again at 26MW", New Atlas, October 23, 2024, https://newatlas.com/energy/world-record-offshore-wind-turbine-dongfang-26-mw, (Accessed: July 4, 2025).

4. يكون حساب «عامل القدرة» من خلال قسمة إجمالي الطاقة التي ينتجها محطة توليد الكهرباء خلال فترة زمنية معينة على مقدار الطاقة التي يمكن أن تنتجها عند عملها بكامل طاقتها. ورغم أن عامل القدرة لمحطات طاقة الرياح البحرية يختلف تبعًا لجودة الرياح في موقع المحطة، ينبغي تأكيد أن محطات طاقة الرياح البحرية تمتلك أعلى عامل قدرة مقارنة ببقية تقنيات الطاقة المتجددة.

5. "Offshore Wind Outlook 2019", IEA, (November 2019), https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019, (Accessed: August 10, 2025).

6. "Global Offshore Wind Report 2024", World Forum Offshore Wind (WFO), (April 2025), https://wfo-global.org/wp-content/uploads/2025/04/WFO_Global-Offshore-Wind-Report-2024_final.pdf, (Accessed: July 4, 2025).

7. "Top 10 Things You Didn't Know about Offshore Wind Energy", Wind Energy Technologies Office of U.S. Department of Energy, August 21, 204, https://www.energy.gov/eere/wind/articles/top-10-things-you-didnt-know-about-offshore-wind-energy, (Accessed: July 1, 2025).

8. "World's First Floating Offshore Wind Turbine Goes to Sea Off Norway Coast", Power Engineering, June 8, 2009, https://www.power-eng.com/renewables/wind-energy/worlds-first-floating-offshore-wind-turbine-goes-to-sea-off-norway-coast, (Accessed: July 4, 2025).

9. "Floating Offshore Wind," SBM Offshore, https://www.sbmoffshore.com/what-we-do/floating-offshore-wind, (Accessed: July 2, 2025); "Provence Grande Large: Full Commissioning of the First French Floating Offshore Wind Farm," EDF, June 5, 2025, https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/provence-grand-large-full-commissioning-of-the-first-french-floating-offshore-wind-farm (Accessed: July 2, 2025); Adnan Memjia, "First Floating Offshore Wind Farm in France Fully Commissioned," Offshore Wind, June 5, 2025, https://www.offshorewind.biz/2025/06/05/first-floating-offshore-wind-farm-in-france-fully-commissioned, (Accessed July 2, 2025).

10. "Global Offshore Wind Report 2025," GWEC, (June 2025), https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions, (Accessed: July 4, 2025).

11. Andrienne Bernhard, "How Undersea Cables May Affect Marine Life", BBC, February 2, 2023.

12. "Offshore Wind Energy", Offshore Infrastructure Regulator, (December 2023), https://www.oir.gov.au/sites/default/files/Offshore%20Wind%20Energy%20Brochure.pdf, (Accessed: August 7, 2025).
13. تعود البيانات الواردة في الجدول إلى مزارع الرياح البحرية المثبتة على قاع البحر.
14. يُستخدم مؤشر تكلفة الطاقة المستوية لحساب تكلفة وحدة الطاقة في محطات توليد الكهرباء، ويجري تحديد سعر وحدة الكهرباء مع الأخذ في الاعتبار تكلفة الاستثمار الأولي، ومصاريف التشغيل والصيانة، وتكاليف الوقود.
15. "Renewable Power Generation Costs in 2024," IRENA, (July 2025), https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024, (Accessed: August 16, 2025).
16. "What are the Advantages and Disadvantages of Offshore Wind Farms?", American Geosciences Institute, https://profession.americangeosciences.org/society/intersections/faq/what-are-advantages-and-disadvantages-offshore-wind-farms, (Accessed: July 4, 2025).
17. "Advantages and Disadvantages of Offshore Wind," Business Norway, November 13 2024, https://businessnorway.com/articles/advantages-and-disadvantages-of-offshore-wind, (Accessed: July 4, 2025).
18. Ibon Galparsoro et al., "Reviewing the Ecological Impacts of Offshore Wind Farms", NPJ Ocean Sustainability, 1 (2022).
19. Jasper Jolly, "Renewable Energy Firms Warn of Difficult Conditions Amid Slow Winds", The Guardian, November 3 2021; Darrell Proctor, "UK Restarts Coal-Fired Units as Temperatures, Power Demand Rise", The Power Mag, June 13, 2023.
20. "Advantages and Disadvantages of Offshore Wind".
21. "What are the Advantages and Disadvantages of Offshore Wind Farms?".
22. "The Pros and Cons of Onshore & Offshore Wind", Brunel, May 19, 2021, https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/onshore-offshore-wind, (Accessed: 11 August 2025); "Onshore vs Offshore Wind Energy: What's the Difference?", National Grid, March 30, 2022, https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/onshore-vs-offshore-wind-energy, (Accessed: August 11 2025); "What are the Advantages and Disadvantages of Offshore Wind Farms?", American Geosciences Institute, https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-advantages-and-disadvantages-offshore-wind-farms, (Accessed: August 11, 2025); "Global Offshore Wind Farm Database and Intelligence", TGS, https://www.4coffshore.com/windfarms, (Accessed: August 11, 2025).
23. "World Energy Investment 2025", IEA, (June 2025), https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025, (Accessed: July 4, 2025); "Energy Transition Investment Trends 2024", Bloomberg NEF, January 30, 2024; "Global Status Report 2025", REN21, (June 2025), https://www.ren21.net/gsr-2025, (Accessed: July 7, 2025).

24. "Data - Country Rankings," IRENA, https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings, (Accessed August 16, 2025).
25. The report published in 2019 was based on the global electricity demand in 2018.
26. "Offshore Wind Outlook", IEA, October 25, 2019, https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019, (Accessed: August 16, 2025).
27. "Offshore Wind Outlook 2019".
28. Edward Peters, "2024 a Record Year for Offshore Wind as Capacity Surpasses 83GW Worldwide", 4C Offshore, June 27, 2025, https://www.4coffshore.com/news/2024-a-27record-year27-for-offshore-wind-as-capacity-surpasses-83gw-worldwide-nid31394.html (Accessed: July 8, 2025).
29. "Global Offshore Wind Report 2025", GWEC, (June 2025), https://www.gwec.net/gwec-news/offshore-wind-installed-capacity-reaches-83-gw-as-new-report-finds-2024-a-record-year-for-construction-and-auctions, (Accessed on: July 4, 2025).
30. "Renewables 2024 – Analysis and Forecast to 2030", IEA, (October 2024), https://www.iea.org/reports/renewables-2024, (Accessed: July 28, 2025); "Global Offshore Wind Report 2025".
31. "Renewable Capacity Statistics 2025".
32. Compiled from TEİAŞ "Power Plant Capacity Reports" and IRENA "Renewable Energy Statistics 2023" data.
33. Firdevs Yüksel, "Türkiye's Wind Energy Installed Capacity Reached 13,391 Megawatts in May," Anadolu Agency Energy Terminal, June 15, 2025.
34. "Türk karasularında 2-3 milyar dolarlık rüzgar santrali", Dünya, June 22, 2018.
35. "Paydaş Etkileşim Planı (PEP) – Avrupa Birliği Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) 2019 Enerji Sektör Programı -FAZ4 Projesi (P179235)," Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, (February 2023), https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular//IPA_2019_SEP_PDF_TR_202303081115.pdf (Accessed August 29, 2023).
36. "Going Global – Expanding Offshore Wind to Emerging Markets", World Bank Group, (October 2019), https://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf (Accessed: September 1, 2023).
37. "Türkiye Ulusal Enerji Planı," Ministry of Energy and Natural Resources of the Republic of Türkiye, (2022), https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Türkiye_Ulusal_Enerji_Planı.pdf, (Accessed: September 4, 2025).

38. Abdullah Paçal, "Türkiye denizüstü rüzgar enerjisinde yeni bir döneme giriyor," Petrotürk, July 9, 2025, https://www.petroturk.com/yenilenebilir-enerji-haberleri/turkiye-deniz-ustu-ruzgar-enerjisinde-yeni-bir-doneme-giriyor, (Accessed on July 21, 2025).

39. An interdisciplinary measurement that reveals the scope, content, and characteristics of seas and oceans from geological, chemical, physical, and biological perspectives. For more information, see "What is Oceanography?", Osinografi.com, https://osinografi.com/osinografi/osinografi-nedir, (Accessed: July 28, 2025).

40. "Restructuring Paper on a Proposed Project Restructuring of Türkiye-EU IPA Energy Sector Program Phase Project–Offshore Wind Support," The World Bank, May 25, 2023, https://documents1.worldbank.org/curated/en/099071624015012140/pdf/P179235112204d0fc1b3871ae4994cef393.pdf, (Accessed: July 11, 2025).

41. "Paydaş Etkileşim Planı (PEP) – Avrupa Birliği Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) 2019 Enerji Sektör Programı -FAZ4 Projesi (P179235),".

42. "Offshore Candidate YEKA Announcement," Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources, August 4, 2023, https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=20382, (Accessed: July 10, 2025).

43. تشمل المناطق المحظورة أساسًا المناطق العسكرية، والمناطق التي تفرض قيودًا اجتماعية أو فنية، مثل مسارات الملاحة المسجلة لدى المنظمة البحرية الدولية، إضافةً إلى المناطق المحمية والمناطق المعترف بها دوليًا من حيث التنوع البيولوجي، مثل مناطق تغذية وتعشيش السلاحف البحرية وموائل فقمة الراهب المتوسطية. لمزيد من المعلومات، يُرجى الرجوع إلى «خريطة طريق طاقة الرياح البحرية في تركيا».

44. "Offshore Wind Roadmap for Turkiye", World Bank, (February 2025), https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099022625113027269, (Accessed: July 10, 2025).

45. The calculation is based on a wind turbine generator density of 4.5 MW/square kilometer.

46. "Türkey - EU IPA Energy Sector Program Phase IV Project - Offshore Wind Support," The World Bank Group, June 27, 2025, https://documents1.worldbank.org/curated/en/099062725101056563/pdf/P179235-5b2c8c33-9a35-417b-8344-bbcb187337e7.pdf, (Accessed: July 10, 2025); Duygu Alhan, "Türkiye Rolls Up Its Sleeves to Turn Offshore Wind Energy Potential in the Marmara Sea into Investment," Anadolu Agency Energy Terminal, November 8, 2024.

47. Erward Peters, "Asia's Largest Cable-Laying Vessel to Be Built at Turkish Shipyard," 4C Offshore, June 30, 2025, https://www.4coffshore.com/news/27asia27s-largest27-cable-laying-vessel-to-be-built-at-turkish-shipyard-nid31396.html, (Accessed July 8, 2025).

48. According to research, cyberattacks on the electricity sector have doubled between 2020 and 2022 alone. See "Cybersecurity in the Power Sector," Eurelectric, February 21, 2025, https://www.eurelectric.org/in-detail/cybersecurity-in-the-power-sector, (Accessed: July 29, 2025).