منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

تقرير متابعة فصلية حول

مستجدات الطاقات الجديدة والمتجددة وقضايا تحولات الطاقة وتغير المناخ

الربع الثالث

2025

منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبترول(أوابك)

تقرير متابعة فصلية حول

مستجدات الطاقات الجديدة والمتجددة وقضايا تحولات الطاقة وتغير المناخ

الربع الثالث

2025

إعداد
ماجد إبراهيم عامر
خبير اقتصادي

مراجعة
عبد الفتاح العريفي دندي
مدير الإدارة الاقتصادية
والمشرف على إدارة الإعلام والمكتبة

إعتماد
المهندس جمال عيسى اللوغاني
الأمين العام

تقديم

مع تطور صناعة الطاقة وتزايد الاهتمام بالطاقة المتجددة والنظيفة والمستدامة واستحداث كثير من التشريعات البيئية الصارمة والاهتمام بقضايا البيئة وتغير المناخ، برزت تحديات جديدة للدول الأعضاء في المنظمة. وقد كان لزاماً على الأمانة العامة للمنظمة من توسيع دائرة متابعتها الدورية لتشمل التطورات في مجال الطاقات الجديدة والمتجددة، وقضايا تحولات الطاقة وتغير المناخ، الى جانب الاستمرار في متابعتها الدورية لأخر المستجدات المتعلقة بالأوضاع البترولية العالمية.

يذكر أنه كان في السابق يتم تناول التطورات في مجال الطاقات الجديدة والمتجددة، وقضايا تحولات الطاقة وتغير المناخ ضمن تقرير المتابعة الربع سنوية للأوضاع البترولية العالمية، وقد ارتأى من المناسب اعتباراً من الربع الأول من عام 2025، أن يتم إعداد تقرير متابعة منفصل يتم من خلاله استعراض آخر المستجدات المتعلقة بالمحاور سالفة الذكر.

يتناول **المحور الأول** من التقرير التطورات في مجال الطاقات الجديدة والمتجددة، وخصص **المحور الثاني** لاستعراض الهيدروجين كوقود للمستقبل، وسيتطرق **المحور الثالث** الى آخر المستجدات المتعلقة بقضايا تحولات الطاقة بما في ذلك وضع الطاقة النووية والمعادن الحرجة ، أما **المحور الرابع والأخير** فقد كرس لتناول آخر المستجدات المتعلقة بقضايا البيئة وتغير المناخ.

وتأمل الأمانة العامة للمنظمة، أن يقدم هذا التقرير صورة واضحة لآخر المستجدات التي تشهدها صناعة الطاقة العالمية، وأن يجد المختصون في هذا التقرير إضافة جديدة وقيمة وما يسعون إليه من فائدة.

والله ولي التوفيق ،،،

الأمين العام

جمال عيسى اللوغاني

	قائمة المحتويات	رقم الصفحة
المحور الأول	**التطورات في قطاع الطاقات المتجددة**	**5**
	▪ النمو المتسارع في قطاع الطاقات المتجددة	6
	▪ طاقة الرياح العائمة: الطاقة النظيفة من أعماق البحار	12
	▪ الطاقة الحرارية الجوفية: من باطن الأرض إلى الطاقة المستدامة	15
	▪ طاقة المد والجزر: مصدر واعد لمستقبل الطاقة المتجددة	18
المحور الثاني	**الهيدروجين كوقود للمستقبل**	**22**
	▪ النمو العالمي المتسارع لصناعة الهيدروجين	23
	▪ التحديات الراهنة وارتفاع تكاليف الإنتاج	23
	▪ تغير السياسات الأمريكية وانعكاساتها على مشروعات الهيدروجين	24
	▪ تقدم الصين وريادتها في خفض تكاليف التقنيات	24
	▪ جهود تسريع مشروعات الهيدروجين في أوروبا والهند	25
	▪ التطورات في أسواق الهيدروجين الأخضر العربية	26
المحور الثالث	**تحولات الطاقة**	**29**
	▪ تحولات الطاقة بين صعود الصين وتراجع مكانة الولايات المتحدة	30
	▪ تغير منظور وكالة الطاقة الدولية لأفاق تحولات الطاقة	33
	▪ التطورات في الطاقة النووية	36
	▪ التطورات في المعادن الحرجة	40
	▪ الطاقة الهجينة كحل مبتكر لمستقبل الطاقة المستدامة	43
	▪ الأمن السيبراني كركيزة لدعم التحول الرقمي في أنظمة الطاقة	46
	▪ المباني المنتجة للطاقة: حجر أساس منظومة الطاقة النظيفة والمستدامة	49
	▪ الطاقة اللامركزية: تحول استراتيجي في بنية منظومات الطاقة الحديثة	52
المحور الرابع	**التطورات المتعلقة بتغير المناخ**	**56**
	▪ أهم مُخرجات مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP30"	57
	▪ التبريد العالمي وأثره على الطاقة والانبعاثات	62
مراجع التقرير		**64**

المحور
الأول

التطورات في قطاع الطاقات المتجددة

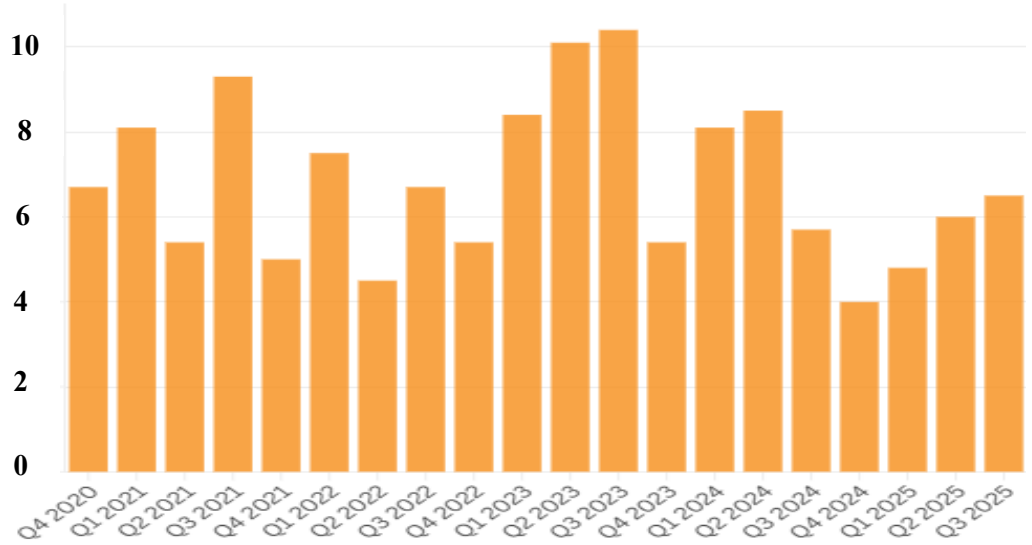
المحور الأول: التطورات في قطاع الطاقات المتجددة

شهدت مصادر الطاقات المتجددة اهتماماً متنامياً على المستوى العالمي في السنوات الأخيرة، مدفوعة بالحاجة الملحة لمواجهة التغير المناخي. وتشمل هذه المصادر الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة المائية، والكتلة الحيوية، وغيرها. وتعد هذه المصادر عنصراً محورياً في جهود التحول نحو مستقبل منخفض الكربون. ومع التقدم التكنولوجي وتراجع تكاليف الإنتاج، أصبحت الطاقات المتجددة خياراً استراتيجياً للعديد من الدول لتأمين احتياجاتها من الطاقة، وتعزيز أمنها الطاقي، ودعم نموها الاقتصادي المستدام. وتشير التوقعات إلى أن حصة الطاقة المتجددة من المزيج العالمي للطاقة ستستمر في الارتفاع بشكل كبير خلال العقود المقبلة، لا سيما مع تعهدات مؤتمر الأطراف "COP28" بزيادة القدرات العالمية المركبة للطاقة المتجددة بمقدار ثلاث مرات بحلول عام 2030.

- **النمو المتسارع في قطاع الطاقات المتجددة**

أظهر قطاع الطاقات المتجددة خلال الربع الثالث من عام 2025 ديناميكية قوية بدرجات متفاوتة على المستوى العالمي، حيث واصلت الطاقة الشمسية ريادتها لهذا القطاع، ليصل إجمالي التمويل العالمي للشركات في قطاع الطاقة الشمسية إلى نحو 6.5 مليار دولار، بزيادة نسبتها 14% مقارنة بالفترة المماثلة من العام الماضي، وفقاً لتقرير شركة "Mercom Capital Group" الذي أشار إلى أن تلك الزيادة الفصلية هي الثالثة على التوالي في تمويل الطاقة الشمسية، بعد تراجعه إلى أدنى مستوى له عند 4 مليار دولار في الربع الأخير من عام 2024. ولكن على الرغم من هذا النمو المستمر، لا يزال إجمالي التمويل خلال الفترة (يناير – سبتمبر) 2025 أقل بنسبة 22% مقارنة بالفترة المماثلة من عام 2024.

التمويل العالمي للشركات في صناعة الطاقة الشمسية، (2020 – 2025)
(مليار دولار)



المصدر: شركة "Mercom Capital Group" لأبحاث السوق.

وفي هذا السياق، استمرت **الصين** في ريادتها العالمية للتوسع السريع في مصادر الطاقة المتجددة، لترتفع قدراتها المركبة لتوليد الكهرباء من تلك المصادر إلى 310 مليون كيلوواط خلال الفترة (يناير – أكتوبر) 2025، بزيادة نسبتها 47.7% على أساس سنوي، وفقاً لتقديرات الهيئة الوطنية الصينية للطاقة، التي أظهرت استحواذ الطاقة الشمسية الكهروضوئية على الحصة الأكبر بلغت 77.6%، يليها طاقة الرياح بحصة 19.8%، والطاقة الكهرومائية بحصة 2.3%، وطاقة الكتلة الحيوية بحصة 0.3% فقط. قدمت تلك القدرات المتزايدة دعماً كبيراً لإمدادات الكهرباء في الصين، حيث ارتفعت كمية الكهرباء المنتجة من الطاقة المتجددة إلى حوالي 2.9 تريليون كيلوواط/ساعة، لتشكل نحو 40% من إجمالي إنتاج الكهرباء. وعلى صعيد السياسات، عززت الصين توجهاتها الهادفة للتخطيط طويل المدى، واقترحت كبرى الشركات الصينية لتصنيع توربينات الرياح مضاعفة قدرات توليد طاقة الرياح، من خلال تركيب ما لا يقل عن 120 جيجاواط من طاقة الرياح سنوياً حتى عام 2030، لتصل إلى حوالي 1300 جيجاواط بحلول عام 2030، وحوالي 2000 جيجاواط بحلول عام 2035، مقارنة بقدرة بلغت 520 جيجاواط في نهاية عام 2024.

وفي **الولايات المتحدة الأمريكية**، انخفض عدد مطوري الطاقة الشمسية الذين أبلغوا عن تأخيرات في الربع الثالث من عام 2025 حيث أبلغت مشروعات الطاقة الشمسية التي تمثل حوالي 20% من السعة المخطط لها عن تأخير في موعد التشغيل، مقارنة بحوالي 25% خلال نفس الفترة من عام 2024، وفقاً لتقديرات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، التي أكدت على أن الطاقة الشمسية تُعد المصدر الأسرع نمواً لقدرة توليد الكهرباء الجديدة في الولايات المتحدة الأمريكية مدفوعة بمشروعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية واسعة النطاق، وأشارت إلى تخطيط المطورين لإضافة حوالي 21 جيجاواط من سعة توليد الكهرباء الجديدة من الطاقة الشمسية على نطاق المرافق في الولايات المتحدة الأمريكية خلال النصف الثاني من عام 2025، عقب إضافة نحو 12 جيجاواط خلال النصف الأول من العام. وفي حال تحقيق هذه الخطط، ستمثل الطاقة الشمسية أكثر من نصف القدرة الجديدة لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة خلال عام 2025. ومن المتوقع تشغيل 32 جيجاواط من الطاقة الشمسية في الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة (أكتوبر 2025 – سبتمبر 2026)، حوالي 5 جيجاواط من هذه القدرة ناتجة عن مشروعات الطاقة الشمسية التي تأخر موعد تشغيلها. **أما على الجانب السلبي**، تأثر قطاع الطاقة المتجددة الأمريكي برفع الدعم ووقف الإعفاءات الضريبية لمشروعات "الطاقة الخضراء" (مثل مشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح)، حيث أصدرت الإدارة الأمريكية في السابع من شهر يوليو 2025 الأمر التنفيذي المعنون " إنهاء الدعم المُشوه للسوق لمصادر طاقة غير موثوقة وخاضعة لسيطرة أجنبية"، الذي أشار إلى أنه لفترة طويلة جداً، أجبرت الحكومة الفيدرالية دافعي الضرائب الأمريكيين على دعم مصادر طاقة باهظة الثمن وغير موثوقة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية. ويؤدي انتشار هذه المشروعات إلى إزاحة طاقة ميسورة التكلفة وموثوقة وقابلة للتوزيع، ويهدد الشبكة الكهربائية، ويشوه جمال المناظر الطبيعية. علاوة على ذلك، فإن الاعتماد على ما يُسمى بالدعم "الأخضر" يهدد الأمن القومي بجعل الولايات المتحدة معتمدة على سلاسل توريد تسيطر عليها جهات خارجية.

وفي **أوروبا**، بدأ نمو بعض تقنيات الطاقة المتجددة يخفت نسبياً، لكن البنية التحتية الاستراتيجية ما زالت تمضي قدماً، حيث أشارت تحليلات شركة "SolarPower" إلى أن القدرة الجديدة المركبة للطاقة الشمسية في دول الاتحاد الأوروبي خلال عام 2025 ستشهد أول تراجع سنوي منذ عام 2015.

ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى انخفاض تركيبات الطاقة الشمسية على أسطح المنازل، وتراجع برامج الدعم ذات الصلة في أسواق رئيسية مثل النمسا وبلجيكا وجمهورية التشيك والمجر وإيطاليا وهولندا. ومع ذلك، من المتوقع أن يصل إجمالي التركيبات إلى نحو 402 جيجاواط بنهاية عام 2025، وهو مستوى يتجاوز هدف خطة "RePower EU" للطاقة الشمسية البالغ نحو 400 جيجاواط. ومن جانب آخر، يُشير تقرير "Wind Europe" إلى أنه من المتوقع أن يُنشئ الاتحاد الأوروبي مزارع طاقة رياح جديدة بقدرة تصل إلى نحو 22 جيجاواط سنوياً بين عامي 2025 و2030، مما سيرفع إجمالي قدرته المركبة إلى حوالي 344 جيجاواط (298 جيجاوات من طاقة الرياح البرية، و46 جيجاوات طاقة الرياح البحرية)، وهو مستوى أقل من هدف 425 جيجاواط بحلول عام 2030.

وأضافت **الهند** حوالي 11 جيجاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية خلال الربع الثالث من عام 2025، وهو الربع الثاني على التوالي الذي يتم فيه إضافة أكثر من 10 جيجاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية الجديدة، وهو ما يُعادل ثلاثة أضعاف المتوسط الفصلي لعام 2022 الذي بلغ 3.5 جيجاواط، مما رفع إجمالي السعة المركبة للطاقة الشمسية خلال الفترة (يناير – سبتمبر) 2025 إلى 29.5 جيجاواط، وهو مستوى مرتفع بنسبة 68.9% مقارنة بالفترة المماثلة من العام الماضي. وفقاً لبيانات معهد اقتصاديات الطاقة والتحليل المالي (IEEFA) التي أظهرت وصول قيمة استثمارات الطاقة المتجددة في الهند خلال الربع الثالث 2025 إلى نحو 5.2 مليار دولار، بزيادة نسبتها 112.6% على أساس سنوي، وبذلك يصل إجمالي الاستثمارات خلال الفترة (يناير – سبتمبر) 2025 إلى 18 مليار دولار، وهي مستوى يفوق بكثير المسجل في الأعوام الثلاثة الماضية.

وواصلت العديد من **الدول العربية** سياساتها نحو دعم الطاقات المتجددة استناداً إلى نهج تنويع الاقتصاد. فعلى سبيل المثال ولا الحصر، تم الإعلان عن مبادرة كبرى للطاقة المتجددة في **المملكة العربية السعودية**، حيث وقعت شركة "أكوا باور"، وشركة الماء والكهرباء القابضة (بديل)، وشركة أرامكو السعودية للطاقة (سابكو)، اتفاقيات شراء الطاقة مع الشركة السعودية لشراء الطاقة في شهر يوليو 2025، تشمل 7 مشروعات، منها 5 محطات للطاقة الشمسية الكهروضوئية ومحطتين لطاقة الرياح، بإجمالي استثمارات تبلغ أكثر من 8.3 مليار دولار، بهدف توفير 15 ألف ميجاواط من الطاقة المتجددة (12 ألف ميجاواط من الطاقة الشمسية و3 آلاف ميجاواط من طاقة الرياح)،

بمجرد دخولها حيز التشغيل خلال النصف الثاني من عام 2027، والنصف الأول من عام 2028. هذا وقد أعلنت المملكة العربية السعودية في شهر أكتوبر 2025، عن توقيع 5 مشروعات جديدة ضمن المرحلة السادسة من البرنامج الوطني للطاقة المتجددة، بإجمالي سعة يبلغ 4500 ميغاواط، واستثمارات تتجاوز نحو 2.4 مليار دولار، وتضُم تلك المشروعات: مشروع الدوادمي لطاقة الرياح بسعة تصل إلى 1500 ميجاواط، وتكلفة إنتاجية هي الأقل لإنتاج الكهرباء من طاقة الرياح عالمياً. ومشروع نجران للطاقة الشمسية بسعة تبلغ 1400ميجاواط، وتكلفة إنتاجية تُعد هي ثاني أقل مستوى قياسي في تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية عالمياً، بعد مشروع "الشعيبة 1" في المملكة أيضاً. فضلاً عن مشروع الدرب للطاقة الشمسية بسعة تبلغ 600 ميجاواط، ومشروع صامطة للطاقة الشمسية بسعة تبلغ 600 ميجاواط، ومشروع السفن للطاقة الشمسية بسعة تبلغ 400 ميجاواط. كما وقعت المملكة العربية السعودية في شهر أكتوبر 2025، عقوداً مع شركة "PowerChina" وشركة "Energy China" لتنفيذ مشروعي "عفيف 1" و"عفيف 2" للطاقة الشمسية الكهروضوئية ومشروع لطاقة الرياح بإجمالي 7 جيجاواط، وبقيمة تزيد عن 4.2 مليار دولار. وفي سياق متصل، وقع تحالف تابع لشركة هندسة الطاقة الصينية "Energy China" ثلاثة عقود جديدة مع مشروع سعودي يضم شركة "أكوا باور" وصندوق الاستثمارات العامة وشركة أرامكو للطاقة، بقيمة إجمالية تبلغ حوالي 2.75 مليار دولار، تشمل تطوير مشروع "خليص" للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة تصل إلى 2 جيجاواط، ومشروعي طاقة رياح بقدرة مركبة 3 جيجاواط.

وفي **دولة الإمارات العربية المتحدة**، أعلنت شركة "مصدر" في شهر يوليو 2025، عن تنفيذ مشروع مشترك مع شركة "Iberdrola" الإسبانية في محطة رياح بحرية في المملكة المتحدة بقدرة إنتاجية تصل إلى 1.4 جيجاواط، بتكلفة تُقدر بنحو 6.1 مليار دولار، ومن المقرر أن تبدأ عمليات تشغيل المشروع خلال الربع الأخير من عام 2026. وافتتحت دولة الإمارات العربية المتحدة في شهر أغسطس 2025 ثالث محطة طاقة شمسية في جمهورية اليمن بقدرة 53 ميجاواط، ومن المقرر أن يمتد المشروع على مساحة كبيرة تبلغ نحو 600 ألف متر مربع. كما تم ترسية عقد مشروع محطة "الخزنة" للطاقة الشمسية على شركة "مصدر" الإماراتية وشركة "إنجي" الفرنسية في شهر أكتوبر 2025، بقدرة تبلغ حوالي 1.5 جيجاواط، حيث يتوقع أن تزود نحو 160 ألف منزل بالكهرباء،

وتحد من انبعاثات 2.4 مليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون سنوياً، من خلال 3 مليون لوح شمسي مزود بخاصية تتبع مسار الشمس طوال ساعات النهار، ما يعزز القدرة الإنتاجية.

وفي **دولة الكويت**، تم توقيع وثيقة الالتزام لتنفيذ المرحلتين الثانية والثالثة من مشروع "محطة الزور الشمالية" في شهر أغسطس 2025، بالتعاون مع وزارة الكهرباء والماء والطاقة المتجددة، وشركة "أكوا باور" ومؤسسة الخليج للاستثمار، وهو أكبر مشروعات الشراكة بين القطاعين العام والخاص من حيث التمويل بتكلفة تصل إلى نحو 3.3 مليار دولار، وكذلك من حيث القدرة الإنتاجية التي تبلغ حوالي 2700 ميجاواط من الطاقة الشمسية و120 مليون جالون يومياً من المياه المحلاة، أي ما يعادل نحو ضعف ما تم إنجازه في المرحلة الأولى من المشروع، ومن المتوقع أن يبدأ الإنتاج في شهر يونيو 2028.

وفي **دولة ليبيا**، أعلنت شركة "Infinity" ليبيا في يوليو 2025، عن استكمال وتسليم أولى محطات الطاقة الشمسية في مدينة الكُفرة، بقدرة تشغيلية تبلغ 1.14 ميجاواط، وقد بدأ المشروع العمل فعلياً في شهر مايو 2025، حيث من المتوقع أن ينتج حوالي 2182 ميجاواط/ساعة من الكهرباء النظيفة سنوياً، ويسهم في خفض استهلاك نحو 545 ألف لتر ديزل سنوياً، وتقليل انبعاثات الكربون بنحو 1300 طن سنوياً. وطرحت شركة "Penta" الأمريكية في أغسطس 2025، عرضاً لتنفيذ مشروع محطة طاقة شمسية بقدرة حوالي 25 ميجاواط في المنطقة الحرة بمدينة مصراتة. وفي سبتمبر 2025، تم الإعلان عن اتفاق مع الاتحاد الأوروبي، لتعزيز برامج دعم الطاقة المتجددة.

وفي **دولة قطر**، وقعت شركة "قطر للطاقة" في شهر سبتمبر 2025، اتفاقية مع شركة "Samsung C&T" لبناء محطة "دخان" للطاقة الشمسية، وهي واحدة من أكبر المحطات في العالم، على مرحلتين ليصل إجمالي قدرتها الإنتاجية إلى 2000 ميجاواط بحلول منتصف عام 2029، وذلك في إطار السعي لتحقيق أحد أهداف استراتيجية قطر للطاقة للاستدامة، وهو توليد أكثر من 4 آلاف ميجاواط من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. ومن المتوقع أن تسهم تلك المحطة إلى جانب محطات الطاقة الشمسية الأخرى في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 4.7 مليون طن سنوياً، وتساهم بنسبة تصل إلى 30% من إجمالي الطلب على الكهرباء في دولة قطر خلال أوقات الذروة، وستبدأ محطة دخان مرحلة الإنتاج الأولى بنهاية عام 2028 بتوليد 1000 ميجاواط من الطاقة

مستخدمة نظام تتبع الأشعة الشمسية، وستعزز كفاءتها من خلال تركيب محولات قادرة على العمل بكفاءة عالية في بيئة ذات درجات حرارة عالية.

وفي **جمهورية مصر العربية**، تم توقيع عقد إنشاء مجمع صناعي للخلايا والألواح الشمسية باستثمارات 220 مليون دولار في شهر أغسطس 2025. كما تم توقيع خطابات النوايا بشأن تمويل مشروع "دندرة" للطاقة الشمسية في شهر أكتوبر 2025، لتأمين جزء كبير من احتياجات مجمع شركة "مصر للألومنيوم"، ما يخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة تصل إلى 30%، ليصبح أول مشروع صناعي واسع النطاق لإزالة الكربون في المنطقة، ويأتي هذا المشروع ضمن المنصة الوطنية لبرنامج «نُوفي» التي تستهدف زيادة قدرات الطاقة المتجددة بنحو 10 جيجاوات بحلول عام 2028. يذكر أن قدرات الطاقات المتجددة القائمة في جمهورية مصر العربية تبلغ نحو 3034 ميجاوات من طاقة الرياح، ونحو 2241 ميجاوات من الطاقة الشمسية، في حين تصل قدرات المشروعات قيد التنفيذ إلى نحو 1300 ميجاوات من طاقة الرياح، ونحو 2000 ميجاوات من الطاقة الشمسية، وفقاً لأحدث البيانات الرسمية الصادرة في شهر سبتمبر 2025.

وفي **الجمهورية العربية السورية**، وقعت المؤسسة العامة لنقل وتوزيع الكهرباء مذكرات تفاهم مع شركتين سعوديتين في أكتوبر 2025، تتضمن تنفيذ مشروعات طاقة شمسية وطاقة رياح بقدرة إجمالية تبلغ 500 ميجاواط. كما تم توقيع اتفاقية مع شركة "STE" السورية – التركية لشراء 100 ميجاواط من الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية لتغطية النقص في الإمدادات.

- **طاقة الرياح العائمة: الطاقة النظيفة من أعماق البحار**

طاقة الرياح العائمة هي تقنية توليد طاقة كهربائية من الرياح باستخدام توربينات عائمة مُرساة على سطح البحار والمحيطات، بدلاً من تركيبها على قواعد ثابتة، مما يسمح باستغلال الرياح القوية في المياه العميقة التي يتعذر الوصول إليها بالتوربينات التقليدية المثبتة على قواعد فولاذية أو خرسانية في أعماق محدودة تتراوح ما بين 50 إلى 60 متر. وقد بدأ نشر هذه التقنية في عام 2009 من خلال تركيب توربين تجريبي بقوة 2 ميجاواط قبالة سواحل النرويج. وتشير التقديرات إلى وجود حوالي 2.8 تيراواط من طاقة الرياح البحرية غير المستغلة في المياه العميقة بالولايات المتحدة الأمريكية، بسبب قيود البنية التحتية، وهو ما يكفي لتزويد نحو 350 مليون منزل بالطاقة.

وتوفر طاقة الرياح العائمة العديد من المزايا الاقتصـــادية والبيئية ومن أبرزها، **أولاً**، تحفيز سلاسل التوريد والصناعات المرتبطة بها، حيث تحتاج إلى تطوير مصانع لتجميع المنصات البحرية الخفيفة وبناء سفن التركيب والصيانة، إضافة إلى تطوير موانئ بحرية قادرة على التعامل مع هياكل توربينات عملاقة. **ثانياً**، تقليل خسائر نقل الطاقة وتحسين كفاءتها، لا سيما في ظل وجود الكثير من التجمعات السكنية الواقعة على السواحل. **ثالثاً**، تعزيز أمن الطاقة، من خلال اعتماد مزيج أوسع من المصـادر، مما يسـهم في تقليل مخاطر الانقطاعات وضـمان اسـتقرار الإمدادات، ويعزز من مرونة أنظمة الطاقة ويدعم النمو الاقتصـــادي. **رابعاً**، توليد الكهرباء من مصـــدر طاقة متجدد خالي من الانبعاثات الكربونية، مما يسـهم في مكافحة تغير المناخ. **خامساً**، خفض التلوث الضـوضـائي بفضـل مواقعها البعيدة عن الشـاطئ، مقارنة بمزارع الطاقة البرية أو البحرية القريبة من اليابسـة. **سـادسـاً**، تحد من اضطراب النظم البيئية البحرية، خاصة وأنها لا تتطلب أعمال حفر أو تثبيت.

وعلى الرغم من ذلك، تواجه طاقة الرياح العائمة العديد من التحديات والمعوقات من أهمها، **أولاً**، ارتفاع التكاليف الاستثمارية اللازمة لبناء المنصات العائمة، والتي قد تصل إلى ثلاثة أضعاف تكلفة توربينات الرياح الثابتة في الوقت الحالي. **ثانياً**، تعقيدات التصـــميم والتحكم في الاســـتقرار، حيث تتعرض منصـــات طاقة الرياح العائمة لأحمال ديناميكية ناتجة عن الأمواج والتيارات البحرية والرياح القوية، مما يســتلزم تصـــميماً هندســياً بالغ الدقة لضـــمان توازنها وثبات أدائها في مختلف الظروف البحرية. **ثالثاً**، الغياب المحتمل للمراقبة البيئية المستمرة لرصد التأثير واتخاذ تدابير التخفيف في الوقت المناسـب. **رابعاً**، تطلق أعمدة التوربينات الضـوضـاء تحت الماء خلال التشـغيل، وقد تؤثر حركتها على نظم الحياة البحرية. **خامسـاً**، يمكن أن تتداخل منصـات طاقة الرياح العائمة مع مسـارات الملاحة البحرية، مما يستدعي تخطيطاً دقيقاً لتجنب التصادمات.

والجدير بالذكر، أنه مع نهاية عام 2024، تم تركيب نحو 278 ميجاواط من طاقة الرياح العائمة على مســتوى العالم، شــملت 101 ميجاواط في النرويج، و78 ميجاواط في المملكة المتحدة، و40 ميجاواط في الصـــين، و27 ميجاواط في فرنســـا، و25 ميجاواط في البرتغال، و5 ميجاواط في اليابان، و2 ميجاواط في إسبانيا. وتُشير التوقعات إلى وصول طاقة الرياح العائمة إلى مرحلة التسويق التجاري بحلول عام 2029. ومع ذلك، من غير المرجح أن يصـل إجمالي الإنتاج السـنوي لمنصـات

طاقة الرياح العائمة إلى 1 جيجاواط قبل عام 2030. ومن المتوقع أن تصبح الصين والمملكة المتحدة والنرويج وكوريا الجنوبية والبرتغال هي أكبر خمس أسواق عالمية لهذه الطاقة بحلول عام 2034.

ومن أبرز مشروعات طاقة الرياح العائمة على المستوى العالمي، يأتي مشروع "Qihang" في **الصين**، والذي تم الإعلان عنه في يناير 2025، وهو أقوى توربين رياح بحري عائم في العالم بقدرة تصل إلى 20 ميجاواط، يتميز بمساحة تُعادل أكثر من سبعة ملاعب كرة قدم قياسية، وتستطيع شفرات التوربين التي تدور بسرعة تُضاهي سرعة القطارات عالية السرعة، تلبية احتياجات منزل من الكهرباء لمدة تتراوح بين يومين وأربعة أيام بدورة واحدة فقط، مما يساهم في تقليل إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بحوالي 62 ألف طن سنوياً. وفي **المملكة المتحدة**، يشهد سوق طاقة الرياح البحرية العائمة نمواً سريعاً، بدعم من مشروع "Hywind Scotland" الذي يُعد أول مزرعة رياح عائمة في العالم، يعمل منذ عام 2017، بقدرة تبلغ 30 ميجاواط، ومشروع "Kincardine" الذي تصل قدرته إلى حوالي 50 ميجاواط، وكان أكبر مزرعة رياح في العالم مزودة بتوربينات عائمة عند تشغيله في عام 2021. ويتوقع تشغيل مشروع "Green Volt" في **اسكتلندا** بقدرة 560 ميجاواط بحلول عام 2027، وهو أحد أكبر المشروعات التجارية لطاقة الرياح العائمة عالمياً. وفي **النرويج**، يأتي مشروع "Hywind Tampen" كأول مزرعة لطاقة الرياح العائمة تم بناؤها خصيصاً لتشغيل منشآت النفط والغاز في بحر الشمال، بقدرة تصل إلى نحو 94.6 ميجاواط، توفر 35% من الطلب السنوي على الكهرباء، مما يقلل من الانبعاثات الكربونية من حقول النفط والغاز بنحو 200 ألف طن سنوياً. وتجدُر الإشارة إلى أن إعلان "Ostend " الموقع من قبل تسع دول أوروبية في أبريل 2023، يتضمن تعهُد النرويج بتحقيق هدف إنتاج 1.5 جيجاواط من طاقة الرياح العائمة، بينما تهدف المملكة المتحدة إلى توفير 5 جيجاواط من طاقة الرياح العائمة بحلول عام 2030.

وعلى مستوى **الدول العربية**، لا توجد مشروعات قائمة لطاقة الرياح العائمة، باستثناء **المملكة العربية السعودية**، التي تخطط لبناء مزرعة رياح بحرية عائمة بقدرة 500 ميجاوات في الخليج العربي، وتشير التقديرات إلى أن إمكانات طاقة الرياح العائمة في المملكة العربية السعودية تتراوح بين 34 و60 جيجاواط. وقد أولت العديد من الدول العربية اهتماماً كبيراً بمشروعات طاقة الرياح خلال الأعوام الأخيرة، في إطار سعيها لتنويع مزيج الطاقة وتحقيق الأهداف المناخية، مثل مشروع "دومة الجندل" في **المملكة العربية السعودية**، ومشروع الشقايا في **دولة الكويت**، ومزارع

رياح الزعفرانة وجبل الزيت ورأس غارب في **جمهورية مصـــر العربية**، وبرنامج **دولة الإمارات العربية المتحدة** لطاقة الرياح الذي يغطي أربعة مواقع تشـــمل جزيرة صـــير بني ياس في أبو ظبي وجزيرة دلما ومنطقة السلع بأبوظبي ومنطقة الحلاه بالفجيرة.

خلاصـــة القول، تُعد طاقة الرياح العائمة نقلة نوعية في مجال الطاقة المتجددة، إذ تفتح آفاقاً جديدة لاسـتغلال الرياح القوية في أعماق البحار والمحيطات، وهي مناطق لم يكن بالإمكان الوصـول إليها باســتخدام التوربينات التقليدية. وعلى الرغم من التحديات التقنية والاقتصـــادية التي تواجه تلك التقنية، فإن التطورات المتسارعة في مجالات التصميم الهندسي ومواد التصنيع، إلى جانب تنامي الاســتثمارات والدعم الحكومي، تعزز فرص انتشـــار هذه التقنية خلال العقد القادم. ومن المتوقع أن تلعب طاقة الرياح العائمة دوراً محورياً في التحول نحو مصـــادر طاقة نظيفة وآمنة ومســـتدامة، تســـهم في تقليل الانبعاثات الكربونية، وتدعم أمن الطاقة العالمي، وتوفر حلولاً مبتكرة لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء. وتتمتع الدول العربية بفرص واعدة في مجال طاقة الرياح العائمة، نظراً لموقعها الجغرافي المتميز الذي يتيح لها اســتغلال الرياح البحرية القوية في المياه العميقة. وعلى الرغم من أن هذه التقنية لا تزال في مراحلها الأولى في الدول العربية، إلا أن هناك مؤشـــرات إيجابية تشير إلى إمكانية تبنيها وتطويرها مستقبلاً.

- **الطاقة الحرارية الجوفية: من باطن الأرض إلى الطاقة المستدامة**

تُعرف الطاقة الحرارية الجوفية بأنها الطاقة الناتجة عن الحرارة المختزنة في باطن الأرض، والتي تتولد بفعل النشـاط الإشـعاعي والجيولوجي الطبيعي، حيث تتجمع في الصـخور عالية الحرارة والمياه الجوفية والفوهات البخارية[1]، ويمكن استغلالها لتوليد الكهرباء أو للاستخدامات المباشرة مثل التدفئة والتبريد وتحلية المياه وفقاً لدرجة حرارة المصدر. ورغم أن مساهمة الطاقة الحرارية الجوفية في إنتاج الكهرباء ما تزال محدودة عند نسبة نحو 0.3% فقط من الإجمالي العالمي، فقد اكتسبت أهمية متزايدة وتوسعاً ملحوظاً في الاستثمارات خلال الأعوام القليلة الماضية – لا سيما في آسيا وأفريقيا، نظراً لأهميتها الاستراتيجية التي تكمُن في كونها مصدراً نظيفاً يمكن أن يساهم في الحد من الانبعاثات

[1] فتحات طبيعية في سطح الأرض تتصاعد منها أبخرة وغازات ذات درجات حرارة مرتفعة مصدرها باطن الأرض.

الكربونية، فضـلاً عن كونها مصـدر متجدد ولا يتأثر بالعوامل المناخية، مما يجعلها خياراً مثالياً لدعم تحقيق الاستقرار في أنظمة الطاقة العالمية.

هذا وتشير بعض الدراسات إلى إمكانية إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية بشكل مشترك من آبار النفط الخام والغاز الطبيعي التي تحتوي على كميات كافية من المياه ذات درجات الحرارة المرتفعة. كما يُمكن إنتاج الهيدروجين الأخضـر باسـتخدام الطاقة الحرارية الجوفية، من خلال الاعتماد على الكهرباء الناتجة منها في تشغيل المحلل الكهربائي.

بلغ إجمالي القدرة العالمية لتوليد الطاقة الحرارية الجوفية عالمياً حوالي 16.9 جيجاواط في نهاية عام 2024، توزعت على أكثر من 35 دولة، تتصـدرها الولايات المتحدة، وتليها إندونيسـيا والفلبين وتركيا ونيوزلندا وكينيا والمكسيك وايطاليا وآيسلندا واليابان. أما على مستوى الدول العربية، ما تزال الطاقة الحرارية الجوفية في مراحلها الأولى، لكن بعض الدول بدأت بالفعل خطوات عملية. فعلى سبيل المثال، أُجريت بعض عمليات الاستكشاف المبكرة التي أشارت إلى وجود "مناطق مثالية" محتملة للطاقة الحرارية الجوفية في المنطقة الغربية من **المملكة العربية السـعودية**، حيث قامت جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية بالتعاون مع شـركة TAQA Geothermal بحفر بئراً تجريبياً على عمق حوالي 400 متر في أوائل عام 2024، بهدف استطلاع ومراقبة ورصد مستقبل استخراج الطاقة الحرارية الجوفية. وفي **دولة الإمارات العربية المتحدة**، أعلنت شـركة "أدنوك" في شـهر ديسـمبر 2023 عن بدء العمليات التشـغيلية في مشـروع "G2COOL"، وهو أول مشـروع لتبريد المناطق باسـتخدام الطاقة الحرارية الجوفية على مسـتوى منطقة الخليج، ويهدف إلى خفض انبعاثات نظام تبريد المباني في "مدينة مصـدر"[2]، والمسـاهمة في تنويع مزيج الطاقة، فضـلاً عن دعم الاسـتراتيجية الوطنية للطاقة 2050. وتم إنشـاء نظام متكامل للتدفئة الحرارية الجوفية في **جمهورية تونس**، يتكون من شـبكة أنابيب حرارية مدفونة أفقيا أو عموديا تحت الأرض يمر عبرها سائل ناقل للحرارة، وقد أثبت كفاءة ملحوظة في تجربة ميدانية خلال فترة التشغيل في فصل الشتاء. وفي **جمهورية مصـر العربية**، تم إطلاق مشـروع "بناء القدرات البشـرية والمادية في مجال الطاقة

[2] المياه المبردة باستخدام الطاقة الحرارية الجوفية تلبي نسبة 10% من احتياجات نظام تبريد "مدينة مصدر" في دولة الإمارات العربية المتحدة.

الحرارية الجوفية" في عام 2023، بالتعاون مع برنامج الاتحاد الأوروبي وعدد من الجامعات المصرية والدولية، بهدف دراسة إمكانات الطاقة الحرارية الجوفية واستغلال مواردها المتاحة.

ويواجه إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية العديد من التحديات، من أبرزها **التحديات الاقتصادية والتكلفة الاستثمارية المرتفعة**، حيث تتطلب عمليات حفر الآبار العميقة وتجهيز منشآت الإنتاج استثمارات كبيرة، تتراوح ما بين 3000 إلى 5000 دولار للكيلوواط في المشروعات التقليدية، وتتراوح ما بين 8000 إلى 17000 دولار في مشروعات التقنيات المعززة التي تتطلب حفر أعماق وصيانة أكبر. ولكن رغم ذلك، فإن العائد التشغيلي مرتفع بفضل ثبات الإنتاج وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، كما أن عمر المشروعات يتجاوز 30 عاماً، مما يجعلها استثماراً طويل الأمد. وتوجد **تحديات تقنية وجيولوجية** مثل المخاطر المرتبطة بعدم ضمان وجود حرارة كافية أو نفاذية مناسبة للصخور، مما قد يؤدي إلى عدم نجاح المشروعات أو حدوث انخفاض في الكفاءة الإنتاجية. وفي هذا السياق، يجري حالياً تطوير أنظمة معززة تتيح استغلال الصخور الجافة من خلال عمل شقوق اصطناعية لزيادة نفاذية الحرارة، إضافة إلى وضع أنظمة مغلقة تقلل من استهلاك المياه وتزيد من كفاءة التشغيل، واستغلال الموارد فائقة الحرارة التي قد توفر إنتاجية مضاعفة للبئر الواحد. يأتي ذلك إلى جانب **التحديات البيئية**، المتمثلة في المخاطر المحتملة لحدوث هزات أرضية صغيرة نتيجة الحقن الهيدروليكي في الأنظمة المعززة، وإعادة حقن المياه التي تتطلب مراقبة دقيقة لتجنب حدوث تلوث للمياه الجوفية. ولكن هذه المخاطر يمكن السيطرة عليها عبر أنظمة المراقبة والتحكم، كما أن الطاقة الحرارية الجوفية تتميز ببصمة أرضية صغيرة نسبياً، إذ تحتاج مساحات محدودة مقارنة بمزارع الرياح أو محطات الطاقة الشمسية لإنتاج نفس الكمية من الكهرباء. ويُعد نقص البيانات الجيولوجية الدقيقة والكوادر المتخصصة من بين أبرز التحديات التي تواجه الطاقة الحرارية الجوفية.

أما فيما يخص الآفاق المستقبلية، تشير التوقعات إلى أنه يمكن للطاقة الحرارية الجوفية تلبية ما يصل إلى نحو 15% من النمو في إجمالي الطلب العالمي على الكهرباء حتى عام 2050. مما يعني نشر ما يصل إلى نحو 800 جيجاواط من الطاقة الحرارية الجوفية على مستوى العالم، مما ينتج حوالي 6000 تيراواط/ساعة سنوياً، وهو ما يعادل الطلب الحالي على الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية والهند مجتمعتين. ويأتي ذلك بدعم من الاستثمارات التي من المتوقع وصولها إلى حوالي

140 مليار دولار سنوياً، وهو ما يفوق إجمالي قيمة الاستثمارات الحالية في طاقة الرياح البرية على المستوى العالمي.

خلاصة القول، تُعد الطاقة الحرارية الجوفية مصدراً استراتيجياً نظيفاً ومستداماً قادراً على المساهمة في تحقيق أمن الطاقة العالمي، لا سيما في ظل الارتفاع المتوقع في الطلب على الكهرباء نتيجة الاستخدامات التقليدية مثل التبريد، والاستخدامات الحديثة مثل مراكز البيانات. وعلى الرغم من التحديات الاقتصادية والتقنية والجيولوجية والبيئية التي تواجهها، فإن التطور الإيجابي المستمر في الأبحاث والتقنيات الحديثة يعزز فرص التوسع في استخدامها، مع تحقيق أقصى استفادة منها من خلال دعم الاستثمارات والشراكات الدولية والسياسات الداعمة لخفض المخاطر وتعزيز ثقة المستثمرين، مما قد يُمكن الطاقة الحرارية الجوفية من أن تكون إحدى الركائز في التحول نحو مستقبل طاقة عالمي أكثر استدامة.

- **طاقة المد والجزر: مصدر واعد لمستقبل الطاقة المتجددة**

طاقة المد والجزر هي أحد أشكال الطاقة البحرية المتجددة الواعدة وهي تُستغل لتوليد الكهرباء من حركة المد والجزر الناتجة عن جاذبية القمر والشمس، حيث يتم استخدام السدود والتوربينات لالتقاط الطاقة الحركية وتحويلها إلى كهرباء. وقد شهدت التكنولوجيا الخاصة بطاقة المد والجزر تطورات كبيرة، فبينما اعتمدت المشروعات الأولى على بناء سدود ضخمة لاحتجاز المياه ثم تمريرها عبر توربينات، اتجهت الصناعة خلال العقود الأخيرة إلى تطوير تقنيات التوربينات الغاطسة أو العائمة التي تشبه في تصميمها توربينات الرياح ولكنها تعمل تحت سطح البحر، ويمكنها الاستفادة من كثافة المياه العالية مقارنة بتوربينات الهواء، مما يضُاعف قدرتها على توليد الطاقة حتى عند سرعات منخفضة. وتشير بعض الدراسات إلى أن استخدام نسبة 10% فقط من موارد طاقة المد والجزر في الأجزاء القريبة من السواحل في جميع أنحاء العالم ذات الأعماق القليلة التي تسمح بوصول تلك الموارد بشكل قوي وملحوظ ، يمكن أن يساهم في تلبية نحو 6% من متوسط الطلب السنوي العالمي على الكهرباء.

وتمتاز طاقة المد والجزر بعدة فوائد بيئية واقتصـــادية، من أهمها، **أولاً**، إنتاج طاقة كهربائية نظيفة دون انبعاث كربونية، مما يســـاهم في تحقيق الأهداف المناخية. **ثانياً**، كثافة الماء العالية التي تعني قدرة توليد أكبر لكل توربين مقارنة بمثيله الهوائي بنفس الحجم. **ثالثاً**، حركة المد والجزر ظاهرة طبيعية دورية تتكرر كل 12 ســاعة تقريباً، ويُمكن توقعها بدقة وبشــكل موثوق، على عكس ســرعة الرياح ودرجة ســطوع الشــمس. **رابعاً**، يُمكن للمشــروعات الكبرى لطاقة المد والجزر أن تنافس في تكلفة الكيلوواط/ســاعة على المدى الطويل، لا ســيما في حالة اســتغلال مرافق البنية التحتية الأخرى (كالشبكة الكهربائية) بكفاءة. **خامساً**، قطاع طاقة الأمواج والمد والجزر العالمي لديه القدرة على توفير أكثر من 80 ألف فرصـــة عمل بحلول عام 2030، وفقاً لتوقعات الوكالة الدولية للطاقة المتجددة. إضـــافة إلى ذلك، يمكن أن تُســـاهم الطاقة المولدة من ظاهرة المد والجزر في تنويع مزيج الطاقة، خاصة في الدول والمناطق الساحلية.

بلغت القدرة العالمية المُركّبة للطاقة البحرية (تشمل طاقة المد والجزر وطاقة التيارات البحرية وطاقة الأمواج والطاقة الحرارية للمحيطات) حوالي 494 ميجاواط في عام 2024، مع استحواذ طاقة المد والجزر على الحصة الأكبر منها. ومن أهم مشروعات طاقة المد والجزر، محطة "La Rance" في **فرنســا** التي شــكلت نقطة تحول رئيســية، باعتبارها أول محطة لتوليد الكهرباء من المد والجزر في العالم، تم إنشـــاؤها في عام 1966، بطاقة تصـــل إلى 240 ميجاواط. وفي **كوريا الجنوبية**، تم الانتهاء من إنشـــاء محطة بحيرة "Sihwa " في عام 2011، وهي الأكبر على مســـتوى العالم في الوقت الحالي، بطاقة إنتاجية بلغت نحو 254 ميجاواط. في حين تواصـل **اسـكتلندا** العمل في مشـروع "MeyGen" المستهدف أن تصل قدرته الإنتاجية الإجمالية إلى حوالي 398 ميجاواط، ليكون الأكبر عالمياً في توليد الطاقة الكهربائية من تيارات المد والجزر عند اكتماله. يأتي ذلك إلى جانب العديد من المشــروعات الصــغيرة في كل من **الصــين والمملكة المتحدة وروســيا وكندا والبرازيل والدانمارك والبرتغال والسويد والولايات المتحدة الأمريكية**.

وتظل هناك تحديات جوهرية تواجه التوســع في طاقة المد والجزر، من أبرزها، **أولاً**، ارتفاع التكاليف الاسـتثمارية لبناء السـدود أو تركيب التوربينات البحرية ومعدات الربط بالشـبكة الكهربائية. **ثانياً**، مواقع الاســتغلال محدودة جغرافياً، حيث إن ظاهرة المد والجزر ليســت بنفس القوة المطلوبة

لتوليد الطاقة في جميع سواحل العالم (يُقدر الخبراء أن نحو 100 موقع عالمي يشهد ارتفاع المد والجزر لمستوى 5 أمتار أو أكثر – وهو الحد التقريبي اللازم لتشغيل محطات كبيرة). **ثالثاً**، استخدام المياه المالحة يُعرض المكونات للتآكل، مما يزيد نفقات الصيانة على المدى الطويل. **رابعاً**، يؤثر بناء السدود في النظام البيئي البحري المحيط، بما في ذلك الكائنات البحرية، لذلك تولي الأبحاث جهداً كبيراً لتقييم الأثر البيئي للتخفيف من الأضرار المحتملة. خامساً، يمكن الاعتماد على مياه المد والجزر في إنتاج الكهرباء خلال أوقات محددة فقط، لأنها تحدث عادة مرتين يومياً، مما يجعلها غير قادرة على تلبية الطلب على الطاقة بشكل متواصل دون انقطاع، ومن ثم تحتاج إلى حلول مساندة مثل أنظمة تخزين الكهرباء (بطاريات) أو الاعتماد على مصادر طاقة أخرى لتغطية الفترات التي لا يوجد فيها مد أو جزر قوي. وكل هذه التحديات تجعل الاستثمار في طاقة المد والجزر يتطلب دراسة دقيقة لضمان الجدوى الاقتصادية.

وعلى مستوى **الدول العربية**، لا توجد محطات قائمة لتوليد الطاقة الكهربائية من المد والجزر، ويرجع ذلك إلى محدودية فروق المد في معظم السواحل العربية. ومع ذلك، تشير الدراسات إلى أن بعض المناطق، مثل سواحل **دولة الكويت**، التي تتمتع بارتفاعات مدية نسبية تصل إلى نحو 3.3 متر، خاصة في موانئ الكويت والأحمدي والخفجي. وقد أظهرت الأبحاث أن هذه الفروق يمكن أن تكون كافية لتشغيل توربينات مائية خاصة، على غرار تجارب روسيا التي نجحت بالفعل في توظيف فروقاً صغيرة نسبياً. ورغم أن تلك الأبحاث لا تزال في مرحلة الدراسات النظرية، فإنها تفتح المجال أمام الدول العربية للتعرف على إمكانية استغلال طاقة المد والجزر في توليد الطاقة الكهربائية، كجزء من استراتيجيتها المستقبلية لتنويع مصادر الطاقة. وتشير التقارير إلى وجود فرص واعدة لاستغلال طاقة المد والجزر في العديد من الدول العربية الأخرى مثل **المملكة العربية السعودية وسلطنة عُمان وجمهورية مصر العربية ودولة الإمارات العربية المتحدة وجمهورية العراق**.

خلاصة القول، تمثل طاقة المد والجزر أحد الحلول الواعدة لتعزيز أمن الطاقة العالمي ودعم التحولات نحو مصادر نظيفة ومستدامة. وعلى الرغم من أن مساهمتها الحالية في مزيج الطاقة العالمي ما زالت محدودة، إلا أن التطور التكنولوجي المتسارع قد يفتح المجال أمام استغلال أكبر لإمكاناتها خلال العقود المقبلة. كما أنه على الرغم من التحديات الاقتصادية والبيئية المرتبطة بإنشاء

وتشـــغيل محطات طاقة المد والجزر، فإن جدواها الاســـتراتيجية تكمُن في موثوقيتها العالية وقابليتها لتوفير طاقة متجددة يمكن التنبؤ بها بدقة، مما قد يجعلها مكملة لمصـــادر أخرى مثل الطاقة الشـمسـية وطاقة الرياح. وبالنســـبة للدول العربية، فإن فرص اســـتكشـــاف وتطوير تلك التقنية، حتى وإن كانت محدودة جغرافياً، تبقى ذات قيمة كبيرة في إطار خطط تنويع مصادر الطاقة وتحقيق الأهداف المناخية. وبناء على ما تقدم، يُمكن أن يحمل المســـتقبل فرصـــاً واعدة لإدماج طاقة المد والجزر ضـــمن مزيج الطاقة العالمي، إذا ما تم دعم الاســـتثمارات في البحث والتطوير، وتبني ســـياســـات داعمة تشـــجع على الابتكار، وتعزيز الشـــراكات الدولية. كما تُعد معالجة التحديات أمراً بالغ الأهمية لإطلاق العنان لإمكانات سوق طاقة المد والجزر والتحول نحو مزيج طاقة أكثر استدامة.

المحور
الثاني

الهيدروجين كوقود للمستقبل

المحور الثاني: الهيدروجين كوقود للمستقبل

▪ النمو العالمي المتسارع لصناعة الهيدروجين

حظي الهيدروجين بأنواعه المختلفة باهتمام عالمي متزايد، كأحد الركائز الأساسية في التحول إلى الطاقة النظيفة والمستدامة على المستوى العالمي. ويمثل الهيدروجين الذي يمكن إنتاجه بطرق مختلفة تشمل الاعتماد على الطاقة المتجددة والغاز الطبيعي، مصدراً واعداً للطاقة يمكن استخدامه في مجموعة واسعة من التطبيقات، بدءاً من إنتاج الكهرباء والنقل وصولاً إلى الصناعات الثقيلة. ومع تزايد الدعوات للحد من الانبعاثات الكربونية، أصبح الهيدروجين من الحلول الاستراتيجية لدعم انتقال الاقتصاد العالمي إلى مسار منخفض الكربون. وتشير التوقعات إلى أن الطلب العالمي على الهيدروجين سيشهد نمواً كبيراً خلال الأعوام المقبلة، حيث يُتوقع أن يتضاعف بحلول عام 2030. وفي هذا السياق، قُدرت قيمة صناعة الهيدروجين العالمية بأكثر من 192 مليار دولار في عام 2024، ومن المتوقع أن ترتفع بمعدل نمو سنوي يبلغ نحو 4.9% حتى عام 2033، لتصل إلى حوالي 300.6 مليار دولار، ويعزى هذا النمو بشكل رئيسي إلى الطلب المتزايد على حلول الطاقة النظيفة، وزيادة الاستثمارات في تقنيات الهيدروجين الأخضر، وتنامي تطبيقاته في قطاعات النقل والتكرير والتصنيع الكيميائي والمعادن ومعالجة أشباه الموصلات وتوليد الطاقة.

▪ التحديات الراهنة وارتفاع تكاليف الإنتاج

على الرغم من تلك التوقعات الطموحة، شهدت بعض أسواق الهيدروجين الأخضر العالمية تباطؤاً نسبياً، حيث تم إلغاء العديد من المشروعات أو خفض الاستثمارات بسبب ارتفاع التكاليف ونقص الطلب، لا سيما في الصناعات التي يصعب تحويلها إلى طاقة كهربائية، مثل صناعة الصلب والنقل لمسافات طويلة، التي وجدت أن الانتقال إلى استخدام الهيدروجين الأخضر يبدو مكلفاً للغاية، حيث لا زالت تكلفة الهيدروجين منخفض الكربون المُنتج باستخدام مصادر الطاقة المتجددة مرتفعة بمقدار ضعفين إلى أربع أضعاف مقارنة بتكلفة الهيدروجين المُنتج من الغاز الطبيعي، وذلك وفقاً لتقديرات وكالة الطاقة الدولية.

- **تغير السياسات الأمريكية وانعكاساتها على مشروعات الهيدروجين**

وقد تراجع سعي **الولايات المتحدة الأمريكية** لريادة قطاع الهيدروجين الأخضر، في ظل التغييرات الأخيرة في سياسة الطاقة الأمريكية، بما في ذلك خفض الحوافز الفيدرالية والإعفاءات الضريبية المقدمة لمشروعات الهيدروجين واسعة النطاق، مما أدى إلى إعادة تقييم المطورون للعديد من المشروعات وسط مخاوف من أن تظل تكاليف الإنتاج مرتفعة بحيث لا يمكنها المنافسة عالمياً. كما تواجه مشروعات الهيدروجين الأخضر الأمريكية أيضاً حالة من عدم اليقين بشأن الائتمان الضريبي للهيدروجين بموجب المادة "V45" الذي يُقدم نحو 3 دولار/ كيلوجرام من الهيدروجين المنتج بانبعاثات شبه معدومة، حيث قد يؤدي إلغائه إلى ارتفاع تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر في الولايات المتحدة الأمريكية لتصل إلى نحو 5 دولار/ كيلوجرام أو قد تزيد عن 7 دولار/ كيلوجرام، وفقاً لتقديرات شركة "BloombergNEF".

وعلى الجانب الإيجابي، تُواصل بعض الشركات الأمريكية تطوير مشروعاتها، وتخطط لبناء العديد من المنشآت التي ستُوفر الهيدروجين الأخضر في قطاعي الخدمات اللوجستية والصناعة، تزامناً مع تعديل استراتيجيات خفض التكاليف، من خلال التوجه لبناء تلك المنشآت بالقرب من مزارع طاقة الرياح أو محطات الطاقة الشمسية بهدف تأمين طاقة منخفضة التكلفة، مع بحث إمكانية مزج الهيدروجين بالغاز الطبيعي في خطوط أنابيب شبكات النقل أو التوزيع لخفض الانبعاثات دون الحاجة إلى تغيير كامل البنية التحتية، حيث لا ينتج عن الهيدروجين انبعاثات عند احتراقه.

- **تقدم الصين وريادتها في خفض تكاليف التقنيات**

في المقابل، تواصل **الصين** تقدمها بخطى سريعة، كونها الدولة الرائدة عالمياً في تصنيع أجهزة التحليل الكهربائي، وهي التقنية الأساسية المستخدمة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، حيث استحوذت على أكثر من 65% من الطاقة الإنتاجية العالمية لأجهزة التحليل الكهربائي في عام 2024، مقارنة بنحو 40% فقط في عام 2022. وهنا تجدُر الإشارة إلى أن تكلفة أجهزة التحليل الكهربائي المصنوعة في الصين تتراوح ما بين 600 إلى 1200 دولار/ كيلوواط، وهو أقل بكثير من النطاق المعتاد في الولايات المتحدة وأوروبا الذي يتراوح ما بين 2000 إلى 2600 دولار/ كيلوواط، مما قد يجعل الأجهزة الصينية هي الخيار الأمثل من حيث التكلفة لمشروعات الهيدروجين الأخضر العالمية.

ويشـــهد الســـوق المحلي نمواً ملحوظاً في الصـــين التي حددت هدفاً لإنتاج 200 ألف طن من الهيدروجين الأخضـــر ســـنوياً بحلول عام 2025، وما يصـــل إلى حوالي 5 مليون طن بحلول عام 2030. ولتعزيز هذا الهدف، بدأت بعض المقاطعات الصـــينية مثل مقاطعة "Inner Mongolia" ومقاطعة "Hebei" في إنشـاء محطات هيدروجين كبيرة تعمل بالطاقة الشـمسـية. وفي هذا السـياق، أطلقت شركة "Envision Energy" الصينية في شهر يوليو 2025، أكبر مصنع لإنتاج الهيدروجين والأمونيا الخضراء والأكبر تطوراً في العالم بمقاطعة "Inner Mongolia"، وهو يعتمد بشكل كامل على مصـــادر الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشـــمســـية، مُدمج بالذكاء الصـــناعي، بطاقة إنتاجية تصـل إلى 320 ألف طن من الأمونيا الخضـراء سـنوياً، ومن المخطط زيادتها إلى نحو 1.5 مليون طن سـنوياً بحلول عام 2028، مما قد يسـرع من اعتماد الأمونيا الخضـراء في قطاعات مثل الأسمدة والكيماويات والشحن، حيث ساهم في أول عملية تزويد بالوقود لسفينة بحرية في العالم. كما أعلنت الصـــين في شـــهر أكتوبر 2025 عن أول آلية تمويل حكومية، تُتيح تغطية ما يصـــل إلى 20% من النفقات الرأسمالية لمشروعات إزالة الكربون المحددة، بما في ذلك الهيدروجين الأخضر.

- **جهود تسريع مشروعات الهيدروجين في أوروبا والهند**

في **أوروبا**، أطلقت المفوضـــية الأوروبية منصـــة رقمية للهيدروجين في شـــهر يوليو 2025، مصـــممة لدعم تطوير ســـوق الهيدروجين المتجدد ومنخفض الكربون ومشـــتقاته، من خلال قيام بنك الهيدروجين بجمع ومعالجة وإتاحة المعلومات المتعلقة بالطلب والعرض على الهيدروجين المتجدد ومنخفض الكربون، المقدمة من الجهات الفاعلة في السوق. وواصلت الدول الأوروبية سعيها للتوسع في الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة، فعلى سبيل المثال، تم اتخاذ قرار الاستثمار النهائي بشـأن البدء في بناء مشـروع "ELYgator"، وهو مشـروع محلل كهربائي بقدرة 200 ميجاواط في ميناء روتردام الهولندي، ومن المتوقع أن يُنتج 23 ألف طن من الهيدروجين المعتمد على الطاقة المتجددة، لخدمة قطاعات الصناعة والنقل الثقيل، مما قد يُقلل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بما يصل إلى نحو 300 ألف طن ســـنوياً، ومن المقرر أن يبدأ تشـــغيله بنهاية عام 2027. ورغم الطموح الأوروبي المتزايد بشـــأن الهيدروجين، تشـير بعض التقارير إلى أن نحو 20% فقط من مشـــروعات

الهيدروجين المخطط لها في دول الاتحاد الأوروبي، من المرجح أن تبدأ العمل بحلول عام 2030، وهو ما يُعادل 12 جيجاواط من الطاقة الإنتاجية، مقارنة بهدف الاتحاد الأوروبي البالغ 40 جيجاواط.

وفي **الهند**، شهدت مشروعات الهيدروجين الأخضر تطورات ملحوظة خلال الربع الثالث من عام 2025، حيث استلمت شركة "Oswal" للطاقة أول وحدة تحليل كهربائي بقدرة 1 ميجاوات، إيذانًا بإطلاق مشروع الهيدروجين الأخضر بنظام البناء والتشغيل والنقل بقدرة 20 ميجاوات، والذي يتألف من عدة محطات نموذجية، ومن المقرر تشغيله في غضون 12 إلى 18 شهر، بهدف توفير الهيدروجين الأخضر لصناعات الكيماويات والأسمدة. وحصلت شركة "Greenzo" للطاقة على عقد لإنشاء محلل كهربائي في مجمع "Kalinga Nagar" الصناعي لإنتاج 0.47 كيلو طن سنوياً من الهيدروجين الأخضر، مع إمكانية التوسع في الإنتاج ليصل إلى 1.5 كيلو طن سنوياً.

▪ التطورات في أسواق الهيدروجين الأخضر العربية

في **الدول العربية** شهد قطاع الهيدروجين الأخضر استمراراً واضحاً في عمليات التطوير خلال الربع الثالث 2025، مدفوعاً برؤية استراتيجية تهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وتعزيز مكانتها كمركز عالمي لإنتاج وتصدير الوقود النظيف منخفض الكربون. فعلى سبيل المثال ولا الحصر، في **المملكة العربية السعودية**، منحت شركة "ACWA Power" في نهاية شهر يوليو 2025، عقد تصميم هندسي لمشروع "Yanbu Green Hydrogen" – بالشراكة مع شركات صينية – لبناء منشأة تبلغ قدرتها الإنتاجية 400 ألف طن من الهيدروجين الأخضر، باستخدام 5 جيجاوات من طاقة الرياح والطاقة الشمسية وخط نقل بطول 400 كيلومتر ونحو 4.4 جيجاوات من أجهزة التحليل الكهربائي، وسيتم تصدير الإنتاج على شكل أمونيا خضراء بحلول عام 2030. وتم توقيع مذكرة تفاهم مع شركة بنية تحتية لتوليد الطاقة وتجهيز الشبكة لدعم مشروع "Yanbu"، مما يعكس التقدم نحو التنفيذ الهندسي الكامل. ويبرُز مشروع "نيوم للهيدروجين الأخضر" الواقع في شمال غرب المملكة العربية السعودية، كأحد المشروعات الرائدة عالمياً، حيث يجمع بين مصادر الطاقة المتجددة الوفيرة، والتكنولوجيا المتطورة، لإنتاج الهيدروجين الأخضر منخفض التكلفة على نطاق واسع، حيث تتواصل تنفيذ أعمال البناء بوتيرة سريعة، لإنجاز الأعمال في مواقع إنتاج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بقدرة 4 جيجاواط بحلول منتصف عام 2026، فضلاً عن تشغيل أجهزة التحليل الكهربائي لإطلاق أولى

عمليات الإنتاج بحلول عام 2027، لإنتاج ما يصـــل إلى 600 طن يومياً من الهيدروجين الخالي من الكربون على شكل أمونيا خضراء مخصصة للتصدير عالمياً. وفي شهر سبتمبر 2025، تم الإعلان عن وصـــول نســـبة الإنجاز إلى أكثر من 80% مع بداية الربع الأول العام الحالي عبر جميع مواقع المشروع – بما في ذلك منشأة الهيدروجين الأخضر، ومحطة طاقة الرياح، ومحطة الطاقة الشمسية، وشـــبكة نقل الطاقة. وتتوقع منظمة التعاون الاقتصـــادي والتنمية أن تصـــل تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر في مشروع "نيوم" إلى أقل من 3 دولار/كيلوجرام، وهي تكلفة تنافسية.

وفي **جمهورية مصـر العربية**، أعلنت شـركة "Destiny Energy " السـنغافورية في شـهر نوفمبر 2025، عن استثمار حوالي 210 مليون دولار في بناء منشآت لإنتاج أكثر من 100 ألف طن متري سـنوياً من الهيدروجين الأخضـر والأمونيا الخضـراء في المنطقة الاقتصـادية لقناة السـويس. ويـأتي ذلـك عقـب توقيع مـذكرة تفـاهم مع حكومـة مـدينـة طوكيو لتعزيز التعـاون في مجـال تطوير الهيدروجين الأخضـر في شـهر أكتوبر 2025، وهو ما يعكس الهدف الاسـتراتيجي لجمهورية مصـر العربية في أن تصبح مركزاً إقليمياً وعالمياً لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر.

وفي **دولة الإمارات العربية المتحدة**، أعلنت هيئة كهرباء ومياه دبي في شهر أغسطس 2025، وصـــول إنتاج مشـــروع الهيدروجين الأخضـــر التابع لها إلى أكثر من 100 طن منذ إطلاقه في شـهر مايو 2021، حيث تم اسـتخدام الجزء الأكبر من الإنتاج لتوليد نحو 1.15 جيجاواط/سـاعة من الكهرباء النظيفة، مما ساهم بشكل كبير في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بأكثر من 515 طن. ويُعد هذا المشـروع هو الأول من نوعه في منطقة الشـرق الأوسـط وشـمال أفريقيا لإنتاج الهيدروجين الأخضـر باسـتخدام الطاقة الشـمسية. ويُعزز المشـروع جهود دعم الاسـتراتيجية الوطنية للهيدروجين، واسـتراتيجية الإمارات للطاقة النظيفة 2050، واسـتراتيجية دبي للطاقة النظيفة 2050، واسـتراتيجية دبي للانبعاثات الكربونية الصـفرية 2050، لتوفير 100% من طاقة إنتاج الطاقة من مصـادر نظيفة بحلول عام 2050. كما يدعم المشـــروع اســـتراتيجية دبي للتنقل الأخضـــر 2030، التي تهدف إلى تحفيز اسـتخدام النقل المسـتدام، بما يتماشـى مع الأهداف الاسـتراتيجية للإمارة لتحسـين جودة الهواء وخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وفي شـــهر نوفمبر 2025، وقعت شـــركة "مصـــدر" الإماراتية الرائدة في مجال الطاقة النظيفة، وشركة "OMV" النمساوية للطاقة والوقود والكيماويات، اتفاقية ملزمة لتأسـيس مشـروع مشـترك لتمويل وبناء وتشـغيل مصـنع التحليل الكهربائي للهيدروجين

الأخضـــر بقدرة 140 ميجاوات في "Bruck an der Leitha " في دولة النمســـا، ومن المتوقع أن يكون هذا المشـــروع أحد أكبر مرافق إنتاج الهيدروجين الأخضـــر في أوروبا، عند بدء تشـــغيله خلال عام 2027.

وفي **دولة ليبيا**، تم بحث تفاصـيل مشـروع اسـتراتيجي ضـخم مع شـركة "H2 Global" الألمانية في شـــهر أغســـطس 2025، يهدف لإنتاج 1 مليون طن من الهيدروجين الأخضـــر ســـنوياً وتصديره إلى الأسواق العالمية، ويتوقع أن يوفر المشروع أكثر من 10 آلاف فرصة عمل جديدة.

وفي **ســـلطنة عُمان**، أعلنت بشـــركة "هيدروجين عُمان"، الجهة المســـؤولة عن اســـتراتيجية الهيدروجين الأخضـــر الوطنية في شـــهر أغســـطس 2025، عن حوافز مالية جديدة تهدف إلى تعزيز الجدوى التجارية لمشـــروعات الهيدروجين الأخضـــر تُمنح من خلال الجولة الثالثة للمزادات، وتشـمل تخفيضـاً بنسـبة 90% في رسـوم إيجار الأراضـي خلال مرحلة التطوير، مع إمكانية تقديم المزيد من الإعفاءات خلال مرحلة التصميم الهندسي الأولي، إلى جانب تخفيضات كبيرة في الرسوم الأساسية خلال الأعوام الأولى من الإنتاج، وإعفاءات ضريبية لمدة تصل إلى 10 أعوام، بهدف دعم اقتصـــاديات مشـــروعات الهيدروجين الأخضـــر في مراحلها المبكرة، وتســـهيل التقدم الســـريع نحو اتخاذ قرارات الاستثمار النهائية.

المحور
الثالث

تحولات الطاقة

المحور الثالث: تحولات الطاقة

برزت تحولات الطاقة كأحد أهم القضايا الجوهرية على الساحة العالمية، في ظل تنامي جهود التصدي لتغير المناخ والسعي لتحقيق التنمية المستدامة. وتشمل تلك التحولات تحديث البنية التحتية، وتعزيز كفاءة الطاقة، وزيادة الاهتمام بمصـــادر الطاقة المتجددة، وتطوير تقنيات احتجاز الكربون واســـتخدامه وتخزينه. ومع تنامي الالتزامات الدولية بخفض الانبعاثات وتحقيق الحياد الكربوني، أصـبحت تحولات الطاقة من المسـارات الاسـتراتيجية لضـمان أمن الطاقة ودعم النمو الاقتصـادي منخفض الكربون. وتشير التقديرات إلى أن الاستثمارات العالمية في تقنيات الطاقة النظيفة ستواصل الارتفاع خلال العقد الحالي، مدفوعة بتقدم التكنولوجيا والسياسات المناخية الطموحة.

- **تحولات الطاقة بين صعود الصين وتراجع مكانة الولايات المتحدة**

يشهد العالم في الأعوام الأخيرة تحولاً جذرياً في موازين القوى الاقتصادية والتكنولوجية نتيجة سـباق الريادة في قطاع الطاقة، الذي أصـبح سـاحة تنافس إسـتراتيجي بين أكبر اقتصـادين في العالم الأمريكي والصـيني. وفي هذا السـياق، تبرُز الصـين كقوة صـاعدة نجحت في ترسـيخ مكانتها في مجالات الطاقات المتجددة والسيارات الكهربائية، في الوقت الذي تكافح فيه الولايات المتحدة الأمريكية للحفاظ على موقعها التاريخي كلاعب محوري في قطاع الطاقة العالمي.

تتبنى **الصـين** سـياسـة إسـتراتيجية واضـحة لتحولات الطاقة، ترتكز على هدف بلوغ ذروة الانبعاثات قبل عام 2030 وتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2060، حيث كثفت الصـين من استثماراتها في سلاسل توريد تقنيات الطاقة النظيفة لتتجاوز نحو 818 مليار دولار في عام 2024، وهو ما يفوق بأكثر من الضـعف ما اسـتثمرته الولايات المتحدة في العام ذاته والذي بلغ حوالي 338 مليار دولار، ويعكس هذا الفارق التزام الصـين بأن تكون الطاقة المتجددة محوراً رئيسـياً في نهضـتها الاقتصـادية. وعلى وقع تلك المعطيات، وصـل إجمالي قدرة الطاقة المتجددة في الصـين إلى مسـتوى قياسي بلغ نحو 1818 جيجاواط في عام 2024 (منها نحو 887.1 جيجاواط من الطاقة الشمسية – مع استحواذها على نحو 80% من سلاسل تصنيع ألواح الطاقة الشمسية، ونحو 521.3 من طاقة الرياح، ونحو 436 جيجاوات من الطاقة الكهرومائية). وفي المقابل، وصـــل إجمالي قدرة الطاقة المتجددة في

الولايات المتحدة الأمريكية إلى نحو 428 جيجاواط (منها نحو 177.6 جيجاواط من الطاقة الشمسية، ونحو 152.7 من طاقة الرياح ونحو 103.1 جيجاوات من الطاقة الكهرومائية).

وواصلت الصين جهودها الملحوظة لتوسيع قاعدة الطاقة المتجددة لديها خلال الفترة المنقضية من عام 2025، حيث شهد الربع الأول من العام إضافة نحو 59.7 جيجاواط من الطاقة الشمسية، ونحو 14.6 جيجاواط من طاقة الرياح ونحو 2.1 جيجاواط من الطاقة الكهرومائية. وفي مايو 2025، نجحت الصين في إضافة نحو 93 جيجاوات من الطاقة الشمسية، أي ما يعادل "100 لوح شمسي كل ثانية تقريباً"، لترتفع قدرتها من الطاقة الشمسية إلى 1 تيراواط – ما يمثل 50% من الإجمالي العالمي. كما قامت بتطوير توربين رياح عائم بقدرة تبلغ 17 ميجاواط، وهو الأكبر من نوعه، ويُتوقع أن يُحدث هذا النموذج تطوراً كبيراً في الكفاءة وتكلفة الإنتاج مستقبلاً. ووضعت الصين حجر الأساس لأكبر سد لإنتاج الطاقة الكهرومائية في العالم بقدرة إنتاجية تصل إلى حوالي 300 مليار كيلوواط/ساعة سنوياً.

أما في **الولايات المتحدة الأمريكية**، فقد تم الإعلان عن استثمارات بأكثر من 1.6 مليار دولار في شهر مارس 2025 شملت مشروعات للطاقة الشمسية في ست ولايات أمريكية، ووفرت الطاقة النظيفة (من مصادر الطاقة المتجددة والنووية) غالبية الكهرباء لمدة ثلاثة أشهر متتالية خلال الفترة (مارس – مايو) 2025، وذلك للمرة الأولى على الإطلاق، حيث تم تحقيق إنتاج قياسي من مزارع الطاقة الشمسية في شهر مايو 2025. وعلى الرغم من ذلك، تم الإعلان عن إلغاء استثمارات كبيرة في مشروعات الطاقة المتجددة جرى التخطيط لها مُسبقاً، ويعزى ذلك جزئياً إلى حالة من عدم اليقين السياسي بشأن الإبقاء على الحوافز الضريبية الموجهة لمشروعات الطاقات المتجددة، حيث تأثرت تلك المشروعات بقانون "One, Big, Beautiful Bill Act" الذي يُخفض بشكل حاد إمكانية الحصول على إعفاءات ضريبية بنسبة 30% لمشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، والتي كان من المقرر أن تستمر حتى عام 2032. كما تسببت القيود التجارية الأمريكية في ارتفاع تكاليف بعض التقنيات الخاصة بالطاقة الشمسية والبطاريات.

وفي **قطاع السيارات الكهربائية**، فقد تحولت الصين إلى مركز عالمي للصناعة بلا منازع. حيث بلغ إنتاج الصين من السيارات الكهربائية 12.4 مليون سيارة في عام 2024، أي ما يمثل حوالي 71.7% من الإجمالي العالمي البالغ 17.3 مليون سيارة، بما في ذلك السيارات التي تنتجها شركات

أمريكية مثل شركة "تسلا" داخل مصانعها في الصين. وسجلت مبيعات السيارات الكهربائية في الصين مستوى قياسي يزيد عن 11 مليون سيارة في عام 2024، أي ما يعادل ثلثي الإجمالي العالمي، وأكثر مما تم بيعه في جميع أنحاء العالم قبل عامين فقط. كما استحوذت الصين على نحو 40% من إجمالي الصادرات العالمية من السيارات الكهربائية. وفي المقابل، تباطؤ نمو مبيعات السيارات الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية بنسبة 75% مقارنة بعام 2023 لتبلغ 1.6 مليون سيارة فقط.

ومن جانب آخر، تتمتع الصين بالسيطرة على سلاسل الإمدادات من المعان الحرجة المستخدمة في صناعة الطاقات المتجددة والسيارات الكهربائية، حيث تُعد أكبر منتج عالمي لمعادن مثل الليثيوم لتستحوذ على نحو 85% من قدرات تصنيع خلايا بطاريات أيونات الليثيوم العالمية، بلغت حوالي 2830 جيجاواط/ساعة، مقابل حوالي 220 جيجاواط/ساعة فقط في الولايات المتحدة الأمريكية. كما تمتلك الصين مراكز تصنيع وتكرير رئيسية لمعظم المعادن الحرجة الأخرى مثل النحاس والكوبالت والمعادن الأرضية النادرة، ما يمنحها تأثيراً استراتيجياً في أسواقها العالمية.

في ضوء ما سبق، يتضح أن سباق الطاقة بين الصين والولايات المتحدة الأمريكية يتجاوز كونه مجرد منافسة اقتصادية أو تكنولوجية، ليصبح عاملاً حاسماً في إعادة تشكيل موازين القوة العالمية خلال العقود المقبلة. فبينما تسعى الولايات المتحدة الأمريكية إلى الحفاظ على موقعها التقليدي في قيادة قطاع الطاقة، تواصل الصين فرض نفسها كقوة صاعدة من خلال استراتيجيات طويلة الأمد واستثمارات ضخمة في قطاع الطاقة المتجددة والسيارات الكهربائية وسلاسل الإمداد المرتبطة بها. ومع استمرار التباين في حجم الاستثمارات، وسرعة التطوير، والسيطرة على المعادن الحرجة، يبدو أن الصين تمضي بخطى متسارعة نحو ترسيخ ريادتها في مجال الطاقة المستدامة، الأمر الذي قد يفرض على الولايات المتحدة الأمريكية إعادة صياغة سياساتها في قطاع الطاقة لمجاراة هذا التحول الاستراتيجي وضمان عدم فقدان زمام المبادرة في أحد أهم ركائز الاقتصاد العالمي.

▪ تغير منظور وكالة الطاقة الدولية لأفاق تحولات الطاقة

تُشكل الطاقة محور التوترات الجيوسياسية العالمية الحالية، حيث تُصاحب المخاطر التقليدية التي تُهدد إمدادات الوقود قيود تُؤثر على سلاسل المعادن الحرجة اللازمة لتقنيات الطاقة النظيفة، مما جعل تنويع مصادر الطاقة وتعزيز التعاون الدولي ضرورة ملحة. وفي هذا السياق، أكد تقرير **"آفاق الطاقة العالمية 2025"** الصادر عن وكالة الطاقة الدولية في الثاني عشر من نوفمبر 2025، على أن العالم يشهد نمواً متسارعاً في الطلب على الطاقة في مختلف القطاعات، من النقل والصناعة إلى الذكاء الاصطناعي ومراكز البيانات التي أصبحت مؤخراً من أبرز محركات استهلاك الطاقة.

يتناول تقرير **"آفاق الطاقة العالمية 2025"** أربعة سيناريوهات رئيسية لاستشراف مستقبل مسارات الطاقة العالمية، أولها **"سيناريو السياسات الحالية - Current Policies Scenario"** الذي يُعد التغير الأبرز في إصدار هذا العام، حيث توقف العمل به مُنذ عام 2020، وهو سيناريو يستند فقط إلى التدابير المُدرجة رسمياً في التشريعات واللوائح القائمة، ويقدم منظوراً حذراً بشأن السرعة التي يتم بها نشر تكنولوجيات الطاقة الجديدة ودمجها في نظام الطاقة. ويُظهر هذا السيناريو استمرار ارتفاع الطلب العالمي على النفط ليصل إلى نحو 113 مليون ب/ي بحلول عام 2050، وهو ما يجعل تقديرات وكالة الطاقة الدولية أكثر تقارباً مع توقعات منظمة أوبك التي تُفيد بأن الطلب سيبلغ 122.9 مليون ب/ي بحلول نفس العام، ويعكس هذا التغيير تحولاً جوهرياً عن إصدار العام الماضي من التقرير الذي أظهرت فيه جميع السيناريوهات بلوغ الطلب على النفط ذروته قبل عام 2030.

وثانيها **"سيناريو السياسات المعلنة -Stated Policies Scenario "** الذي تم تعديله ليعكس سياسات الطاقة والمناخ والسياسات الصناعية المُعلنة، ولكن غير المُنفذة أو غير الممولة بالكامل، بحيث يأخذ في الاعتبار فجوة التنفيذ بين الخطط الرسمية والتطبيق الفعلي، بخلاف الإصدارات السابقة، حيث كان يفترض السيناريو تنفيذ جميع السياسات والتعهدات المعلنة بشكل كامل وفي المواعيد المحددة، ما كان يؤدي إلى مخرجات متفائلة بشأن خفض الانبعاثات وتسريع تحولات الطاقة. ويتوقع هذا السيناريو أن يبلغ الطلب العالمي على النفط ذروته عند 102 مليون ب/ي في عام 2030، قبل أن يتراجع تدريجياً إلى 97 مليون ب/ي بحلول عام 2050، مدفوعاً بانتشار السيارات الكهربائية – لا سيما في الصين.

وثالثها سيناريو **تسريع خدمات الطهي والكهرباء النظيفة - Accelerating Clean Cooking and Electricity Services Scenario** وهو سيناريو مستقبلي جديد من وكالة الطاقة الدولية، يضع مساراً عملياً لتحقيق هدف الوصول الشامل إلى خدمات الطاقة الحديثة، ويهدف إلى ضمان توافر الكهرباء ووسائل الطهي النظيفة للجميع، ويركز على تطبيق حلول عملية فعالة من حيث التكلفة، ويشمل جميع أنواع الوقود والتقنيات الممكنة، مع تحليل للبنية التحتية والسياسات والتمويل اللازم لتوسيع نطاق الوصول. ويعكس هذا السيناريو تحولاً في رؤية وكالة الطاقة الدولية من "الترويج لنهاية عصر الوقود الأحفوري" إلى "مراعاة الواقع والاحتياجات التنموية ومتطلبات الطاقة للدول النامية".

ورابعها سيناريو **"صافي الانبعاثات الصفرية –Net Zero Emissions Scenario"** الذي تم تحديثه ليعكس ما ينبغي أن يحدث لتحقيق هدف اتفاقية باريس المتمثل في الحد من ارتفاع درجة حرارة الأرض إلى 1.5 درجة مئوية، وليس ما يُتوقع فعلياً أن يحدث، ليتحول من "خطة عمل محتملة" إلى "مسار توجيهي للوصول إلى صافي انبعاثات صفرية من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2050". يأخذ هذا السيناريو في الاعتبار واقع الانبعاثات المرتفعة والاستثمارات كثيفة الانبعاثات والتقدم البطيء المُحرز في المضي قدماً ببعض خيارات خفض الانبعاثات، بخلاف الإصدارات السابقة من التقرير، حيث كان يُمثل هذا السيناريو المسار الطموح الذي يفترض تحقيق الحياد الكربوني الكامل بحلول عام 2050. وكان هذا السيناريو يُحدد نتائج مسبقة ويسير عكسياً لبناء مسار يحققها، مستنداً على فرضيات صارمة مثل التوقف الفوري عن الاستثمار في مشروعات جديدة للنفط والغاز، وتسريع الاعتماد على الطاقات المتجددة بمعدلات غير مسبوقة، وخفض الانبعاثات. ويعتمد السيناريو المُحدث على أربعة ركائز أساسية قابلة للتطبيق على نطاق واسع وهي: كهربة الطاقة النظيفة، وكفاءة الطاقة، والوقود منخفض الانبعاثات، والحد من انبعاثات الميثان.

من جهتها أشارت منظمة أوبك إلى التحول الجوهري في موقف وكالة الطاقة الدولية المعلن قبل عامين "بداية نهاية عصر الوقود الأحفوري"، مؤكدة أن ذروة الطلب على النفط والغاز والفحم وشيكة، إلا أن تقريرها "آفاق الطاقة العالمية 2025" أظهر العودة إلى الواقعية بعد أن اصطدمت تلك التأكيدات الخاطئة بالواقع الفعلي. فقد أقر سيناريو "السياسات الحالية" الذي أعادت وكالة الطاقة الدولية طرحه من جديد، بأن الطلب على النفط والغاز لن يبلغ ذروته قبل عام 2050، وأن النفط سيبقى

الوقود المهيمن خلال هذه الفترة. ورغم أن وكالة الطاقة الدولية نشـرت سـيناريوهات أخرى تُظهر مسـارات بديلة، فإن هذا التحول يمثل أول اعتراف منذ أعوام طويلة بإمكانية اسـتمرار دور النفط والغاز كمحركين أساسيين في مزيج الطاقة العالمي المستقبلي. كما يُبرز سيناريو "تسريع خدمات الطهي النظيف والكهرباء النظيفة" أهمية منتج نفطي هو غاز البترول المسال، حيث سيكون الركيزة الأساسية لتوسيع نطاق الطهي النظيف، ويؤكد ذلك الحاجة إلى نهج يشمل جميع مصادر الطاقة، وهو ما ركزت عليه منظمة أوبك في أبحاثها وتوقعاتها خلال الأعوام الأخيرة.

كما أوضحت منظمة أوبك أن عام 2025 شهد تراجعاً واضحاً في موقف وكالة الطاقة الدولية، من خلال تأكيدها على ضرورة الاستثمار في حقول النفط والغاز لضمان المحافظة على أمن الطاقة العالمي، فضلاً عن إصدار تقرير "تداعيات معدلات تراجع إنتاج حقول النفط والغاز" الذي أوضح أن غياب الاستثمارات الجديدة في المنبع سيؤدي إلى فقدان ما يعادل إنتاج البرازيل والنرويج مجتمعتين من السوق العالمية كل عام. ويدعم سيناريو "السياسات الحالية" هذا الطرح، حيث يوضح أن الاستثمار في أنشطة المنبع للنفط والغاز سيكون هو الأعلى بين جميع أنواع الوقود خلال العقد المقبل. وذلك بخلاف الطروحات السابقة التي لا تساعد في رسم مسارات متوازنة ولا في ضمان الاستثمارات اللازمة في مشروعات الإنتاج لتلبية الطلب، أو في دعم التقنيات مثل احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS) التي تساهم في خفض الانبعاثات. وترى منظمة أوبك أن العالم يستهلك حالياً كميات من النفط والغاز – بل من جميع مصادر الطاقة – أكثر من أي وقت مضى، مؤكدة على أن تاريخ الطاقة لم يكن قائم أبدا على عملية الاستبدال أو الاحلال، بل كان قائم على عملية الإضافة والتكامل بين جميع المصادر، فرغم النمو الكبير المتوقع للطاقة المتجددة، فإن تطويرها يعتمد بدوره على منتجات نفطية متعددة.

ختاماً، يرتكز مستقبل الطاقة العالمي إلى مزيج متوازن ومتكامل من المصادر، مع استمرار دور النفط والغاز كمحركين أساسين للطلب، وهنا تبرز ضرورة تعزيز الاستثمارات ودعم الابتكار في التقنيات النظيفة وكفاءة الطاقة، والحاجة إلى تخطيط استراتيجي طويل الأمد يوازن بين أمن الطاقة، وتوفير الطاقة للجميع ومكافحة فقر الطاقة، وتقليل الانبعاثات الكربونية، ما يجعل تحقيق

التنمية المستدامة والطموحات البيئية هدفاً قابلاً للتحقق في إطار واقعي وعلمي، بعيداً عن الطرح النظري والسيناريوهات الوهمية التي لا تراعي واقع الطاقة في ظل التحديات العالمية الراهنة.

- **التطورات في الطاقة النووية**

ارتفعت القدرات العالمية للطاقة النووية خلال الربع الثالث من عام 2025، حيث تراجعت عمليات إغلاق المفاعلات في **الولايات المتحدة الأمريكية**، وواصلت هيئة تنظيم الطاقة النووية تمديد رخص تشغيل طويلة الأمد للمحطات النووية القائمة، بما في ذلك السماح للوحدة الثانية من مفاعل "Diablo Canyon" الذي يوفر حوالي 10% من الكهرباء ونحو 20% من الطاقة النظيفة الخالية من الكربون في ولاية "كاليفورنيا" بالعمل حتى عام 2030. وفي **أوروبا**، لم تساهم القرارات التنظيمية والحكومية في الحد من التراجع في القدرات النووية فحسب، بل ودعم نموها المستقبلي، حيث تمت الموافقة على تأجيل إغلاق مفاعل "Purcelli" النووي في هولندا من عام 2033 إلى عام 2054، في حال توافر شروط السلامة اللازمة. وأكدت شركة "Vattenfall" السويدية في أغسطس 2025، على قرارها باستخدام المفاعلات النووية الصغيرة لتوليد طاقة نووية جديدة بقدرة تصل إلى 1.5 جيجاواط. واستمرت **الصين** في إضافة وحدات جديدة لتوليد الطاقة النووية إلى شبكتها الكهربائية ضمن خطط توسع تُعد هي الأكبر عالمياً، مدفوعة بإستراتيجية تهدف إلى إنشاء أكثر من 100 مفاعل بحلول عام 2030، وقد شمل ذلك تقدم أعمال البناء في العديد من المشروعات، إضافة إلى تشغيل وحدات جديدة ودخول أخرى مراحل التركيب النهائية، مما ساهم في رفع القدرة النووية المركبة وتعزيز إنتاج الصين من الكهرباء منخفضة الانبعاثات.

أما على مستوى **الدول العربية**، فقد احتفلت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية في الثامن من شهر سبتمبر 2025، بمرور عام على بدء تشغيل محطة براكة للطاقة النووية بكامل طاقتها، حيث تُنتج وحداتها الأربع معاً نحو 25% من احتياجات **دولة الإمارات العربية المتحدة** من الكهرباء. ومنذ بدء تشغيل الوحدة الأولى، تم توليد أكثر من 120 تيراواط/ساعة، أي ما يعادل الطلب السنوي على الطاقة في مدينة "نيويورك" الأمريكية. وبالإضافة إلى توليد ما يكفي من الكهرباء النظيفة لتشغيل 574 ألف منزل، ساهمت محطة براكة في منع حوالي 22.4 مليون طن من انبعاثات الكربون سنوياً. كما تم تجنب أكثر من 58 مليون طن متري من انبعاثات الكربون منذ بدء تشغيل الوحدة الأولى منها،

أي ما يعادل إزالة نحو 12 مليون سيارة من الطُرق. وعلى مدار الأعوام الخمس الماضية، أضافت دولة الإمارات العربية كهرباء نظيفة للفرد الواحد أكثر من أي دولة أخرى في العالم، حيث أنتجت محطة براكة 75% من هذه الكهرباء النظيفة. كما ساهمت في تأسيس قوة عاملة نووية ذات مهارات عالية، حيث شارك أكثر من 2000 مواطن في تطويرها وتشغيلها، بالشراكة مع خبراء دوليين. وفي شهر نوفمبر 2025، أعلنت **المملكة العربية السعودية** والولايات المتحدة الأمريكية عن استكمال المفاوضات حول إطار التعاون بشأن الاستخدامات السلمية للطاقة النووية، بما في ذلك نقل التقنيات الأمريكية المتقدمة إلى المملكة. وتتقدم أعمال بناء محطة الضبعة النووية المكونة من 4 وحدات بطاقة إجمالية 4.8 جيجاواط في **جمهورية مصر العربية**، حيث تم تركيب وعاء ضغط المفاعل في الوحدة الأولى بالمحطة في نوفمبر 2025. وتهدف جمهورية مصر العربية إلى توليد 9% من الكهرباء بالطاقة النووية من خلال التشغيل التجاري للوحدتين الأولى والثانية بحلول عام 2030.

ويتزامن التطور الذي يشهده قطاع الطاقة النووية مع ظهور تقنيات مبتكرة، من بينها محطات الطاقة النووية العائمة، وهي منشآت لتوليد الطاقة النووية مُدمجة على هياكل بحرية، سواء كانت منصات بحرية أو سُفن مجهزة لتشغيل مفاعلات نووية صغيرة من حيث الحجم والقدرة. وتُعد حلاً مرناً لتوفير الطاقة، حيث يتم تجميعها في أحواض بناء السفن، قبل نقلها إلى مواقع التشغيل. ومن أبرز مميزاتها، **أولاً**، تزويد المناطق الساحلية والجُزر النائية أو منصات النفط البحرية بالطاقة، دون الحاجة إلى مد بنية تحتية ضخمة. **ثانياً**، تسريع وتيرة الإنشاء مقارنة بالمفاعلات النووية البرية التقليدية الكبيرة. **ثالثاً**، إمكانية استخدام تصميم معياري واحد يتم تصنيعه عدة مرات "Mass production" وتوزيعه على مواقع مختلفة. **رابعاً**، العمل بكفاءة عالية لفترات زمنية طويلة قبل إعادة التعبئة بالوقود (تتراوح ما بين 7 إلى 10 أعوام بين كل عملية تعبئة)، مما يمنحها القدرة على الإنتاج المستمر دون انقطاع. **خامساً**، تقليل البصمة البيئية، حيث تُولد طاقة منخفضة الانبعاثات الكربونية، كما أن نقل تلك المحطات إلى الميناء للإحلال أو الصيانة يجعل إدارة الوقود والنفايات مركزية في منشآت خاصة. **سادساً**، يعتمد تبريدها على مياه البحر في الكثير من الأحيان ولا يتطلب إنشائها أراضي واسعة أو قواعد خرسانية ضخمة، مما قد يلغي الحاجة إلى أبراج تبريد أو موارد مائية خاصة، ويقلل التأثير على البيئة المحيطة. **سابعاً**، يمكن استخدام حرارة تلك المفاعلات في تشغيل محطات تحلية المياه والمرافق الصناعية – مثل إنتاج الهيدروجين الأخضر. **ثامناً**، البُعد عن التجمعات السكانية مما يُقلل

المخاطر في حال وقوع أي حادث عارض، مع عدم تأثرها بالزلازل أو موجات التسونامي اذا وُضعت في عرض البحر.

تشـــمل التجارب العالمية الرائدة في هذا المجال كل من، **روســـيا** التي تمتلك أول محطة طاقة نووية عائمة في العالم "Akademik Lomonosov" تم تشـــغيلها بالكامل في شـــهر مايو 2020، تقع في مدينة "pevik" على الساحل الشمالي الشرقي لروسيا، وهي مُجهزة بمفاعلين نووين بقدرة 35 ميجاواط/ساعة من الكهرباء، تُولدان طاقة كافية لمدينة يسكنها حوالي 100 ألف نسمة، وتُستخدم لتحلية مياه البحر حيث تُنتج ما يصل إلى 240 ألف متر مكعب/ يوم من المياه العذبة الصالحة للشرب. كما تُخطط روسيا أيضاً لبناء 4 وحدات مماثلة لدعم عدد من مشروعات التعدين الكبيرة، قدرة كل منها حوالي 106 ميجاواط/ســـاعة من الكهرباء، تعمل بنظام المناوبة لتأمين إمدادات دائمة من الطاقة. وفي **الصين**، بدأت فكرة إنشاء محطة طاقة نووية عائمة تُعرف باسم "ACPR50S" في عام 2016، تصـــل قدرتها الإنتاجية إلى 200 ميجاواط /ســـنوياً، وكان من المقرر أن تُرســـى على متن ســـفن لاستكشاف النفط الخام البحري. كما أشارت بعض التقارير إلى توجه الصين لبناء عدد من محطات الطاقة النووية العائمة في بحر الصين الجنوبي، قبل الإشارة إلى توقف هذا المشروع بسبب مخاوف تتعلق بالسلامة. ومن جانبها، طورت **كوريا الجنوبية** تصميماً لمحطة طاقة نووية عائمة، يهدف إلى توليد الكهرباء في البحر أو قرب الشواطئ لدعم الموانئ والمجتمعات الساحلية. وحصل هذا التصميم على موافقة مبدئية هي الثانية من جمعية التصـــنيف البحري الأمريكية، بعد مراجعة التصـــميم وفق المتطلبات الخاصـــة بالأنظمة النووية للتطبيقات البحرية، التي أطلقت عام 2024 كأول قواعد شـــاملة من نوعها للمفاعلات النووية العائمة. في فبراير 2025 تم الكشف عن تصميم نموذج مُحسن لمحطة طاقة نووية عائمة تتميز بكفاءة اقتصـــادية وأمان أكبر. وفي **الولايات المتحدة الأمريكية**، تم وضـــع تصـــميم لمحطة طاقة نووية عائمة تســـتوعب عدداً يتراوح ما بين 1 إلى 12 مفاعل لإنتاج حوالي 924 ميجاواط، حيث تُثبت تلك المحطة في ميناء بحري محمي وتُربَط بالشـــبكة المحلية، وهو ما يُعد نموذجاً لمحطة نووية بحرية جاهزة للتشـــغيل، يُمكن تصـــديرها إلى دول أخرى، دون الحاجة لتطوير كامل لســـلســـلة الوقود النووي لديها. وقد بدأت وزارة الطاقة الأمريكية في عام 2022 مبادرات بحثية لدراســـة الجدوى التقنية والاقتصـــادية لإنشـــاء محطات نووية عائمة قبالة الســـواحل الأمريكية. وفي **المملكة المتحدة**، أطلقت شـركة "CorePower" في شـهر فبراير 2025، برنامج "Liberty"

يهدف إلى بدء تلقي طلبات شراء محطات الطاقة النووية العائمة في عام 2028، والوصول إلى مرحلة التسويق التجاري الكامل بحلول منتصف العقد المقبل.

وتواجه محطات الطاقة النووية العائمة العديد من التحديات، **أولها** هي التحديات المتعلقة بالسلامة والأمن البحري، حيث يُثير احتمال حدوث تسرب إشعاعي إلى المياه مخاوف بيئية وصحية، لذا يتطلب الأمر تقنيات أمان متعددة وبروتوكولات صارمة لمنع الحوادث أو استهداف هذه المنشآت. **وثانيها**، تحديات التشغيل والصيانة، حيث يتم تشغيل المفاعلات في بيئة بحرية صعبة مثل الأمواج العالية والمياه المالحة، خاصة وأن بعض الأنظمة الحاملة للمفاعل (خزانات الوقود أو الهيكل المعدني) قد تواجه تحديات في مقاومة التآكل، وهو ما يتطلب فرقاً فنية مُدربة ومرافق صيانة بحرية متخصصة. **وثالثها**، التكاليف الكبيرة لإنشاء محطات الطاقة النووية العائمة، نظراً للاستثمارات المطلوبة في البحث والتصميم والتجهيز البحري. **ورابعها**، التحديات القانونية والتنظيمية المرتبطة بعدم وجود أطر موحدة لتنظيم عمل تلك المفاعلات، ما يقتضي تطوير بروتوكولات رقابية خاصة وضمان الالتزام بالمعايير الدولية. كما يُمثل النقل البحري للوقود المستخدم والنفايات المشعة تحديات إضافية.

تُشكل محطات الطاقة النووية العائمة فرصة مبتكرة **للدول العربية** لتحقيق أمن مستدام للطاقة في المناطق الساحلية والنائية التي تعاني من نقص البنية التحتية، لا سيما في ظل ما تمتلكه تلك الدول من سواحل شاسعة وعدد من الجزر والمناطق النائية. كما يُمكن ان تُعزز المفاعلات النووية العائمة من تنويع مصادر الطاقة وتساهم في تحقيق أهداف خفض الانبعاثات، على غرار تبني دول المنطقة للمفاعلات النووية البرية مثل محطات براكة في **دولة الإمارات العربية المتحدة** ومحطة الضبعة في **جمهورية مصر العربية**. ويُمكن للمفاعلات النووية العائمة أن توفر للدول العربية طاقة مستقرة بأسعار ثابتة بعقود طويلة الأجل لتلبية الارتفاع المتوقع في الطلب على الكهرباء.

تُبرز محطات الطاقة النووية العائمة مزيجاً من الفرص والتحديات، فهي تمثل اتجاهاً واعداً نحو إنتاج طاقة مستدامة ومرنة يمكن أن تدعم المناطق الساحلية والجزر النائية، وتفتح المجال أمام العديد من التطبيقات الصناعية مثل تحلية المياه وإنتاج الهيدروجين الأخضر. غير أن الاستفادة من هذه التكنولوجيا تتطلب معالجة دقيقة لمخاطرها البيئية والاقتصادية، مع تعزيز معايير الأمان، من خلال وضع أطر موحدة وواضحة للتشغيل والصيانة والتخلص الآمن من النفايات. وبالنسبة للدول

العربية، فإن الاستثمار في هذا المجال قد يشكل إضافة استراتيجية إلى مزيج الطاقة، بشرط تبني نهج متكامل يوازن بين الاستفادة من مزايا محطات الطاقة النووية العائمة، وضمان أعلى معايير السلامة وحماية البيئة البحرية، مع وضع رؤية مستقبلية تستند بشكل أساسي إلى التعاون الدولي وبناء القدرات المحلية، بما يضمن تعزيز أمن الطاقة.

وتشير توقعات الرابطة النووية العالمية "World Nuclear Association" الصادرة في شهر نوفمبر 2025 إلى أن تحقق جميع الأهداف الوطنية المعلنة للقدرة النووية الجديدة بحلول عام 2050، سيساهم في ارتفاع إجمالي القدرة النووية العالمية إلى 1363 جيجاوات من الكهرباء، متجاوزاً هدف إعلان مضاعفة الطاقة النووية[3] بأكثر من 100 جيجاوات من الكهرباء. وعند إضافة قدرة المفاعلات الحالية العاملة، والمفاعلات قيد الإنشاء، والمشروعات المخطط لها والمقترحة التي لا تشملها الأهداف الحكومية، سيرتفع إجمالي القدرة إلى 1428 جيجاوات من الكهرباء.

▪ التطورات في المعادن الحرجة

أصبحت المعادن الحرجة اللازمة لتحولات الطاقة مثل الليثيوم والنيكل والكوبالت والجرافيت والنحاس والعناصر الأرضية النادرة الأخرى، محوراً رئيسياً في سياسات الطاقة والتجارة العالمية، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى أهميتها البالغة في صناعة السيارات الكهربائية، وشبكات الكهرباء، وتقنيات الطاقة المتجددة. وفي هذا السياق، اتخذت **الصين** خلال الربع الثالث من عام 2025 خطوات لتشديد سيطرتها على تصدير المعادن الحرجة، حيث أعلنت وزارة التجارة الصينية في أكتوبر 2025 عن تشديد الضوابط على صادرات المعادن الأرضية النادرة والمغناطيسات الدائمة، لتشمل تطبيق قاعدة المنتج الأجنبي المباشر "foreign direct product rule" للمرة الأولى على الإطلاق ، وهي آلية طُبقت في عام 1959 واستخدمتها الولايات المتحدة الأمريكية لفترة طويلة لتقييد صادرات أشباه الموصلات إلى الصين.

وبموجب تلك الإجراءات، سيُطلب من الشركات الأجنبية الحصول على موافقة الحكومة الصينية لتصدير المغناطيسات التي تحتوي على كميات ضئيلة من المعادن الأرضية النادرة صينية

[3] وقّعت حكومات 31 دولة على إعلان مضاعفة قدرة الطاقة النووية ثلاث مرات بحلول عام 2050، مقارنةً بعام 2020. مما يعني ضرورة توسيع القدرة النووية العالمية إلى نحو 1200 جيجاوات من الكهرباء بحلول عام 2050.

المنشأ، أو التي قد يكون تم إنتاجها باستخدام تقنيات صينية للتعدين أو للمعالجة أو تصنيع المغناطيس. كما سيُطبق إطار الترخيص الجديد على المغناطيسات المصنوعة من المعادن الأرضية النادرة[4] في الخارج، وعلى مواد أشباه الموصلات المُختارة التي تحتوي على ما لا يقل عن 0.1% من المعادن الأرضية النادرة الثقيلة المُستوردة من الصين. مع الأخذ في الاعتبار بأن الصين تستحوذ على 70% من الإنتاج العالمي من المعادن الأرضية النادرة، وتمتلك طاقة تكرير وفصل تمثل نحو 90% من القدرة العالمية، كما تهيمن على 93% من صناعة المغناطيسات باستخدام المعادن الأرضية النادرة. كما سيتم رفض طلبات استخدام المعادن النادرة لأغراض عسكرية بشكل تلقائي بهدف منع المساهمات المباشرة أو غير المباشرة للمعادن النادرة الصينية المنشأ أو التقنيات ذات الصلة في سلاسل التوريد الدفاعية الأجنبية. وسيتم منع المواطنون الصينيون من المشاركة في أو تقديم الدعم للمشروعات الخارجية التي تنطوي على استكشاف أو استخراج أو معالجة أو تصنيع المغناطيس من المعادن الأرضية النادرة، إلا بعد الحصول على تصريح من السلطات الصينية.

وفي إطار سعي **الولايات المتحدة الأمريكية** لتعزيز قدراتها في مجال المعادن الأرضية النادرة وصناعة المغناطيس للحد من نفوذ الصين، عقدت وزارة الحرب الأمريكية اتفاقية في يوليو 2025 مع شركة "MP Materials"، تتضمن استثمارات قيمتها 400 مليون دولار في أسهم الشركة، والتزام الشركة بخفض السعر لمدة 10 أعوام لبعض المنتجات القائمة على المعادن الأرضية النادرة، لحماية الجدوى التجارية في ظل انخفاض الأسعار الناجم عن الإفراط في الإنتاج الصيني. فضلاً عن تقديم قرض بقيمة 150 مليون دولار لتوسيع منشأة الشركة في ولاية كاليفورنيا، مما أضاف قدرات فصل المعادن الأرضية النادرة الثقيلة لتعزيز القدرة المحلية على المعالجة. ومن جانبها أعلنت الشركة عن خطط لبناء ثاني منشأة لتصنيع المغناطيس، وستقوم وزارة الحرب الأمريكية بشراء كامل إنتاجها من المغناطيس المُصنع من المعادن الأرضية النادرة لمدة عشرة أعوام. وقد أضافت الإدارة الأمريكية في نوفمبر 2025، عشرة معادن إلى قائمة المعادن الحرجة، بما في ذلك النحاس الضروري للسيارات الكهربائية وشبكات الطاقة ومراكز البيانات، والفحم المعدني المستخدم في صناعة وقود الكوك لإنتاج

[4] المغناطيسات المصنوعة من المعادن الأرضية النادرة هي فئة من المغناطيسات الصناعية عالية القوة التي تعتمد في تركيبها على عناصر من مجموعة الأرض النادرة مثل النيوديميوم والديسبروسيوم والتربيوم، تتميز بقوة مغناطيسية عالية جداً مقارنة بالأنواع التقليدية، وثبات حراري وقدرة على العمل في درجات حرارة مرتفعة، فضلاً عن الحجم صغير، ما يجعلها مثالية للأجهزة الدقيقة والمحركات عالية الأداء.

الصلب، واليورانيوم المُخصب لتشغيل المفاعلات النووية، إلى جانب البورون والرصاص والفوسفات والبوتاس والرينيوم والسيليكون والفضة، ليرتفع إجمالي عددها إلى 60 معدناً، من بينها 15 من المعادن الأرضية النادرة.

واستجابة للاضطرابات في سلاسل إمدادات المعادن الحرجة، سارعت العديد من الدول إلى الإعلان عن مبادرات دولية كبيرة. حيث أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية مع الهند واليابان وأستراليا في يوليو 2025، مبادرة موحدة في مجال المعادن الحرجة هدفها لتأمين وتنويع سلاسل التوريد، في ظل تزايد المخاوف بشأن هيمنة الصين على الموارد الحيوية للتقنيات الجديدة. وقام بنك التصدير والاستيراد الأمريكي في سبتمبر 2025 بتمويل مشروع "Copi"، وهو أول مشروع معادن أسترالي تدعمه الولايات المتحدة منذ أكثر من عقد، حيث سيُصدر البنك تمويلاً بقيمة 2.2 مليار دولار لفتح المجال أمام استثمارات يصل إجماليها إلى نحو 5 مليار دولار. كما أعلنت الولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا في شهر أكتوبر 2025 عن إطار عمل استراتيجي بينهما في مجال المعادن الحرجة، يتضمن استثمارات مشتركة بنحو 3 مليار دولار خلال ستة أشهر لتطوير مشروعات قيمتها 53 مليار دولار. وبالإضافة إلى ذلك، تدعم وزارة الحرب الأمريكية إنشاء مصفاة "gallium" في غرب أستراليا بطاقة 100 طن متري سنوياً، وهي مشروع مشترك مع الحكومة اليابانية. وتعهدت أستراليا بضخ استثمارات رأسمالية قيمتها 100 مليون دولار في مشروع "Arafura Nolans" في الإقليم الشمالي، والذي من المتوقع أن يُوفر حوالي 5% من المعادن الأرضية النادرة في العالم بمجرد بدء تشغيله.

كما قامت العديد من **الدول العربية** باتخاذ خطوات بارزة نحو الدخول بفاعلية في أسواق المعادن الحرجة العالمية. وفي هذا السياق، أعلنت وزارة الصناعة والثروة المعدنية **بالمملكة العربية السعودية** في شهر نوفمبر 2025، أن اكتشافات المعادن الأرضية النادرة تبلغ قيمتها 375 مليار ريال، وأن الدراسات التفصيلية التي أُجريت في 6 مواقع واعدة لهذه المعادن أسفرت عن تأكيد وجود موقعين يحتويان على موارد تُقدر بنحو 644 مليون طن، مع تحديد 4 مواقع أخرى كأهداف استكشافية واعدة، بإجمالي تقديرات ما بين 364 إلى 714 مليون طن. ويُعدّ منجم جبل صايد من أحدث الاكتشافات البارزة، ويُصنف رابع أكبر منجم عالمياً من حيث القيمة التقديرية لرواسب المعادن الأرضية النادرة، مما يتيح تطوير مشروعات مشتركة في الاستكشاف والمعالجة الأولية لإنتاج هذه المعادن، ويتزامن

ذلك مع اتفاقية الإطار الاستراتيجي الموقعة مع الولايات المتحدة الأمريكية في شهر مايو 2025 لتأمين سلاسل إمدادات المعادن الحرجة. وعززت **دولة الإمارات العربية المتحدة** من دورها كمركز استثماري في المعادن الحرجة، حيث أُعلن في شهر أكتوبر 2025 عن توقيع التزامات قدرها 1.8 مليار دولار بين صندوق الثروة السيادية في أبو ظبي ومؤسسة تمويل التنمية الدولية الأمريكية للاستثمار في الأصول الجاهزة أو القريبة من مراكز الإنتاج في الأسواق الناشئة، مع تطوير عمليات المعالجة المحلية ودمج حلول تكنولوجية منخفضة التكلفة، بما يعزز أمن سلاسل الإمدادات العالمية. وأعلنت وزارة الطاقة والمعادن في **سلطنة عُمان** عن توقيعها ثلاث اتفاقيات جديدة لاستكشاف المعادن والتعدين في شهر أغسطس 2025، بقيمة إجمالية 500 مليون دولار، لمشروعات النحاس والكروم والمعادن الصناعية. ووقعت **جمهورية مصر العربية** مذكرة تفاهم مع شركة الموارد العالمية القابضة الإماراتية في سبتمبر 2025، لإطلاق أول مسح جوي جيوفيزيائي شامل لاستكشاف المعادن منذ نحو أربعة عقود، ويستهدف تسريع تحديد مناطق المعادن الحرجة وجذب الاستثمار المحلي والأجنبي.

- **الطاقة الهجينة كحل مبتكر لمستقبل الطاقة المستدامة**

تُعرف الطاقة الهجينة بأنها أنظمة طاقة تجمع بين مصدرين أو أكثر لتوليد أو تخزين الطاقة، فعلى سبيل المثال يُمكن الدمج بين مصادر الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، أو بين الطاقة المتجددة والوقود الأحفوري، أو حتى بين الطاقة النووية والطاقة المتجددة، بالإضافة إلى دمج أنظمة التخزين مثل البطاريات، بهدف تحسين الكفاءة التشغيلية وتعزيز استقرار إمدادات الطاقة. وتُشير التقديرات إلى أن إدخال الطاقة الشمسية في شبكة كهربائية صغيرة تقليدية تعمل بمولدات الديزل يمكن أن يوفر ما بين 20% إلى 50% من استهلاك وقود الديزل، ومع إضافة خاصية تخزين الطاقة بالبطاريات، يمكن أن تصل نسبة توفير الوقود إلى 100%. وتتنوع استخدامات الطاقة الهجينة بشكل كبير في مختلف القطاعات، ففي قطاع **توليد الكهرباء** تستخدم الأنظمة الهجينة في محطات الطاقة المولدة للشبكة الكهربائية، حيث يتم الاعتماد على الطاقة الشمسية في النهار، وعلى طاقة الرياح ليلاً، في حين يُعتمد على البطاريات لتعويض الفجوات الزمنية. وفي **قطاع النقل**، حققت السيارات الهجينة طفرة كبيرة، حيث تجمع بين محرك احتراق تقليدي ومحرك كهربائي، وهو ما يقلل استهلاك الوقود والانبعاثات أيضاً. وتُستخدم الأنظمة الهجينة أيضاً في **قطاع الصناعة** – لا سيما في

حقول النفط والغاز، فقد قامت شـــركة "بترول أبو ظبي الوطنية" في بداية عام 2024، بتشـــغيل أول منصتين حفر تعملان بالطاقة الهجينة، مما قلل الانبعاثات بنسبة 15% مقارنة بمنصات الحفر التقليدية. كما أثبتت أنظمة الطاقة الهجينة فعاليتها في **قطاعات التعدين والزراعة والري**، حيث يتم تركيب محطات تجمع بين الألواح الشمسية ومولدات الديزل لتوفير كهرباء بشكل مستمر وتكاليف أقل.

تبرُز العديد من الفرص الكبيرة أمام أنظمة الطاقة الهجينة، من أهمها، **أولاً**، تُســـاعد على خفض الانبعاثات الكربونية عبر الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة معظم وقت التشغيل واللجوء إلى مصـــادر الطاقة الأخرى عند الحاجة فقط. **ثانياً**، تعزيز أمن إمدادات الطاقة بفضـــل تنويع المصـــادر وتقليل احتمالات الانقطاع. **ثالثاً**، دعم التنمية المستدامة من خلال استغلال البنية التحتية بشكل أفضل وتقليل الهدر في إنتاج الطاقة، حيث يتم تخزين الطاقة الفائضـــة خلال ســـاعات ذروة الإنتاج وتوزيعها خلال فترات الطلب المرتفع. **رابعاً**، توفر مشروعات أنظمة الطاقة الهجينة فرصاً استثمارية جذابة من الناحية الاقتصادية، تزامناً مع الانخفاض في تكلفة التقنيات الخاصة بالطاقة المتجددة والبطاريات.

إلا أن هناك العديد من التحديات التي قد تُعيق التوســـع في أنظمة الطاقة الهجينة، ومن أبرزها، **أولاً**، يتطلب إنشـــاء أنظمة الطاقة الهجينة تكامل تقنيات مختلفة تعمل في توقيتات وخصـــائص متباينة وهو ما يستوجب وجود نظم مراقبة وتحكم متقدمة لإدارة الطاقة، كما أن تصميم وصيانة تلك الأنظمة قد يحتاج لوجود خبرات متعددة التخصصات. **ثانياً**، رغم انخفاض التكاليف الذي تشهده مصادر الطاقة المتجددة بوجه عام، فإن مشـــروعات أنظمة الطاقة الهجينة غالباً ما تتطلب اســـتثمارات أولية كبيرة لتجهيز وحدات توليد متعددة ونظم تخزين، فضلاً عن عدم وجود نماذج تسعير واضحة لبيع الكهرباء المنتجة من المحطات الهجينة وهو ما قد يُعيق التمويل. **ثالثاً**، مازالت الأمور التنظيمية في العديد من الدول تفتقر إلى وجود أطر قانونية ولوائح واضحة لمشروعات أنظمة الطاقة الهجينة، مما يمثل عائقاً أمام منح التراخيص لتلك المشروعات. **رابعاً**، العوائق التنفيذية والبيئية المتمثلة في متطلبات تخصيص مســـاحات واســـعة من الأراضـــي والحصـــول على موافقات متعددة لمواقع توليد وتخزين الطاقة، إلى جانب المخاطر الطبيعية (مثل التقلبات المناخية) التي قد تؤثر على الاستقرار التشغيلي.

وتقود **الولايـات المتحـدة الأمريكيـة** عـدداً من المشـــروعـات الطموحـة في مجـال أنظمـة الطاقة الهجينة على المستوى العالمي، بما في ذلك مشـروع "Scarlet" للطاقة الشـمسـية الذي يجمع

بين 200 ميجاواط من الطاقة الشمسية ونظام تخزين طاقة البطاريات بقدرة 160/40 ميجاواط ساعة، لتوفير طاقة نظيفة تكفي لتشغيل ما يعادل 68 ألف منزل سنوياً في ولاية كاليفورنيا. وتتضمن المرحلة الثانية من المشروع نظام تخزين طاقة البطاريات بطاقة 600/150 ميجاواط ساعة. وفي **الصين**، بدأت أكبر محطة للطاقة الشمسية الكهرومائية الهجينة في العالم إنتاج الكهرباء بهضبة التبت الشرقية، بقدرة مُركبة تبلغ 1 جيجاواط من الألواح الشمسية و3 جيجاواط من مولدات الطاقة الكهرومائية، لإنتاج 2 مليار كيلوواط/ساعة من الكهرباء سنوياً، أي ما يعادل استهلاك أكثر من 700 ألف أسرة من الطاقة لمدة عام. يأتي ذلك إلى جانب مشروع أنظمة طاقة هجينة بقدرة إجمالية تبلغ نحو 2 جيجاواط (1.7 جيجاواط من طاقة الرياح، و0.3 جيجاواط من الطاقة الشمسية) و960/320 ميجاواط ساعة من سعة تخزين الطاقة، بهدف معالجة مشكلات نقص الطاقة المحلية وتحقيق سعر كهرباء تنافسي مقابل الطاقة الحرارية التقليدية في مدينة "Tongliao". هذا وتُعد الصين أكبر منتج ومصدر للسيارات الهجينة في العالم. ويُعد مشروع "Hollandse Kust Noord" **الهولندي** أول محطة طاقة هجينة بحرية في العالم، حيث تم تركيب الألواح الشمسية العائمة على مزارع رياح بحرية.

أما على مستوى **الدول العربية**، يشهد العديد منها مشروعات طاقة هجينة رائدة. فعلى سبيل المثال وليس الحصر، تم إنجاز أعمال البناء بنسبة 80% من مشروع "نيوم" للهيدروجين الأخضر في **المملكة العربية السعودية**، الأكبر على مستوى العالم، والذي يهدف إلى توليد ما يزيد عن 4 جيجاواط من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والتخزين، وإنتاج حوالي 600 طن/يوم من الهيدروجين الأخضر، من خلال التحليل الكهربائي، مما سيسهم في الحد من الانبعاثات بمعدل 5 مليون طن متري سنوياً. كما تم الإعلان عن إطلاق أول مشروع ضخم لتوليد الطاقة الشمسية وتخزينها بالبطاريات في العالم، يعمل على مدار الساعة، في مدينة أبو ظبي - **دولة الإمارات العربية المتحدة** في بداية عام 2025، ويضم المشروع محطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 5.2 جيجاواط (تيار مستمر)، إلى جانب نظام تخزين طاقة بقدرة 19 جيجاواط/ساعة. وفي **دولة الكويت**، تم إنشاء منتزه "الشقايا" للطاقة المتجددة، وتتكون مرحلته الأولى من محطة للطاقة الشمسية المركزة بقدرة 50 ميجاوات، ومحطة للطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 10 ميجاوات، ومحطة لطاقة الرياح بقدرة 10 ميجاوات. يأتي ذلك إلى جانب مشروعات أخرى، مثل مشروع الطاقة الهجينة لأعمدة الإنارة الذي يجمع بين

الطاقة الشمسية والشبكة التقليدية. وفي **جمهورية مصر العربية**، بدأت أعمال مشروع "أوبليسك" للطاقة الشمسية في مايو 2025، حيث تضم مرحلته الأولى 561 ميجاوات من الطاقة الشمسية و200/100 ميجاوات ساعة من تخزين البطاريات، في حين تضم مرحلته الثانية 564 ميجاوات من الطاقة الشمسية. إلى جانب مشروع استبدال مزرعة رياح الزعفرانة بمجمع للطاقة الهجينة يجمع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بقدرة تقارب 3 جيجاواط، وتطوير محطات هجينة لنشاط التعدين وبعض الأنشطة الصناعية مثل مصانع الصلب والأسمنت. وفي **الجمهورية الجزائرية**، تم افتتاح أول محطة طاقة هجينة (شمسية/غازية) في عام 2011 بقدرة 150 ميجاواط. وفي **دولة قطر**، تم توقيع عقد إنشاء محطة "دخان" للطاقة الشمسية بسعة 2000 ميجاواط في سبتمبر 2025، وهي من أكبر المحطات في العالم، مع توقع أن يكون دمج التخزين خطوة محتملة في المستقبل.

خلاصة القول، تُعد أنظمة الطاقة الهجينة من الحلول الواعدة لتحقيق مزيج متوازن بين مصادر الطاقة المختلفة، حيث تدمج بين الطاقة المتجددة وغيرها من المصادر التقليدية أو أنظمة التخزين، بهدف رفع الكفاءة وتقليل الانبعاثات وتعزيز أمن الإمدادات. وقد أثبتت تلك الأنظمة فعاليتها في قطاعات الكهرباء والنقل والصناعة والزراعة، مع تحقيق وفورات كبيرة في استهلاك الوقود وخفض الانبعاثات. وتفتح الطاقة الهجينة فرصاً واسعة للاستثمار ودعم التنمية المستدامة، غير أن توسعها يواجه تحديات تتعلق بارتفاع التكلفة الأولية، والتعقيدات التقنية، ونقص الأطر التنظيمية. وقد تبنت العديد من الدول العربية مبادرات ريادية في هذا المجال، مما يعكس توجهها الاستراتيجي نحو استغلال كافة مصادر الطاقة، وتعزيز التحول نحو أنظمة طاقة أكثر استدامة ومرونة.

▪ الأمن السيبراني كركيزة لدعم التحول الرقمي في أنظمة الطاقة

يُعد مفهوم الأمن السيبراني للطاقة من أكثر القضايا الحيوية التي تفرض نفسها في ظل التحول الرقمي السريع لأنظمة الطاقة حول العالم، فهو يشير إلى حماية البنية التحتية المرتبطة بالطاقة من الهجمات الإلكترونية التي قد تُسبب تعطيلاً أو أضراراً كبيرة. وقد ازدادت أهمية الأمن السيبراني للطاقة بشكل خاص مع توسع استخدام الشبكات الذكية، وإنترنت الأشياء، وغيرها من تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاعات إنتاج وتوزيع الطاقة. حيث أن تعرض أي من هذه التقنيات لهجوم سيبراني

واسع النطاق يمكن أن يؤدي إلى خسائر اقتصادية واستراتيجية جسيمة. وبناء على ذلك، أصبح ضمان الأمن السيبراني للطاقة شرطاً رئيسياً للحفاظ على استقرار اسواق الطاقة العالمية.

إلا أن تحقيق الأمن السيبراني للطاقة يواجه العديد من التحديات، ومن أهمها: **أولاً**، ما زالت الكثير من شبكات الطاقة تعتمد على معدات قديمة لم تُصمم أساساً للعمل بأمان عبر الإنترنت، وتركيبها أو ربطها بالشبكة الرقمية يزيد من إمكانية استغلال ثغراتها. **ثانياً**، دمج أنظمة تكنولوجيا المعلومات الحديثة مع أنظمة التحكم الصناعي التقليدية، الذي جاء بهدف تحسين الكفاءة التشغيلية، أدى في المقابل إلى توسيع نطاق التعرض للمخاطر السيبرانية. **ثالثاً**، تُعد هجمات الفدية الإلكترونية، أو تلك التي تستهدف أنظمة التحكم لإحداث انقطاعات متزامنة، من أخطر التهديدات التي ظهرت خلال الأعوام الأخيرة. **رابعاً**، الافتقار إلى كوادر متخصصة في مجال الأمن السيبراني. **خامساً**، أصبحت سلاسل التوريد بدورها مصدراً لمخاطر إضافية، لا سيما في ظل اعتماد بعض الدول على أجهزة ومكونات أجنبية قد تحتوي على برمجيات أو وحدات اتصال خفية تسمح بالوصول غير المصرح به إلى الشبكات.

ومن أبرز الهجمات السيبرانية على قطاع الطاقة هو هجوم "Stuxnet" الذي استهدف برنامجاً نووياً في إيران خلال عام 2010، عبر فيروس متطور تمكن من تعطيل أجهزة الطرد المركزي المستخدمة لتخصيب اليورانيوم. وفي عام 2012، تعرضت شركة أرامكو السعودية لهجوم "Shamoon" الذي مسح بيانات الآلاف من أجهزة الكمبيوتر، ورغم أن هذا الهجوم لم يعطل الإنتاج، إلا أنه كشف حجم المخاطر التي يمكن أن تلحق بقطاع النفط. وتعرضت أوكرانيا في عام 2016 لسلسلة هجمات سيبرانية أدت إلى انقطاع الكهرباء عن مئات الآلاف من المواطنين في فصل الشتاء، اعتمدت تلك الهجمات على اختراق أنظمة التحكم الصناعي وإغلاق محطات توزيع كاملة عن بُعد. كما حدث هجوم سيبراني على منشأة بتروكيماويات بالمملكة العربية السعودية في عام 2017، عُرف باسم "Triton"، من خلال محاولة تعطيل أنظمة السلامة. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، استهدف هجوم سيبراني أحد أهم شبكات نقل الوقود "Colonial Pipeline" في عام 2021، عبر هجوم فدية (Ransomware)، مما أدى إلى توقف العمليات كإجراء وقائي لعدة أيام وانقطاع إمدادات الوقود في مناطق واسعة من الساحل الشرقي.

هذا وتجدُر الإشـــارة إلى أن **الولايات المتحدة الأمريكية** قامت بإطلاق خطة تنفيذية وطنية في يناير 2025، تحتوي على 32 مبادرة لتعزيز أمن المكونات التقنية الحديثة في منظومات الطاقة، مثل بطاريات تخزين الطاقة، والمركبات الكهربائية. يأتي ذلك إلى جانب القيود المفروضـــة على الواردات الاسـتراتيجية، فعلى سـبيل المثال تشـترط قوانين "Build America, Buy America" اسـتخدام مكونات أمريكية في المشروعات المدعومة اتحادياً، لتقليل الاعتماد على سلاسل توريد أجنبية معرضة للاختراق. وفي **الصين**، أصدرت إدارة الطاقة الوطنية في مايو 2024، خطة طوارئ لمواجهة حوادث الأمن الشبكي في قطاع الكهرباء، تهدف إلى ضبط أي هجوم سيبراني بشكل سريع وتقليل أضراره. كما يُعزز القانون الصيني أيضاً الإجراءات الأمنية المشددة في شبكات الطاقة والبنية التحتية الرقمية. ويتعامل **الاتحاد الأوروبي** مع الأمن السيبراني للطاقة ضمن إطار أمني شامل للبنية التحتية الحرجة، حيث أقرت المفوضـــية الأوروبية تشـــريعات مثل توجيه (EU/2022/2557) الخاص بتعزيز قدرة الكيانات الحيوية التي تشـمل شـركات الطاقة وشـبكات الكهرباء في مواجهة الهجمات السـيبرانية، لا سيما في ظل التأكيد على أن البنية التحتية للطاقة أصبحت معرضة لخطر هجمات واسعة النطاق قد تعطل إمدادات عدة دول في وقت واحد. وفي مارس 2025، أطلقت المفوضية الأوروبية الاستراتيجية المشـتركة للاسـتعداد للطوارئ (EU Preparedness) كإجراء لتعزيز القدرة على مواجهة الأزمات والتهديدات التي قد تصـيب البنية التحتية الحيوية، وعلى رأسـها قطاع الطاقة. وهذه الاستراتيجية تعني أن دول الاتحاد الأوروبي لن تعمل كل دولة بمعزل عن الأخرى عند التعرض لهجوم سـيبراني على شبكة الكهرباء، أو انقطاع إمدادات الغاز– بل سيكون هناك إطار مشترك للتنسيق والاستجابة.

وعلى مستوى **الدول العربية**، قامت معظمها بخطوات هامة في مجال الأمن السيبراني للطاقة. فعلى سـبيل المثال وليس الحصـر، أنشـأت **المملكة العربية السـعودية** هيئة وطنية متخصـصـة للأمن السيبراني في عام 2017، وقامت بوضـع خطط طموحة لتطوير القدرات البشرية والتقنية، مما مكنها من تحقيق المرتبة الثانية عالمياً من بين 193 دولة في المؤشـــر العالمي للأمن السـيبراني[5] (مرفق). في حين اعتمدت **دولـة الإمـارات العربيـة المتحـدة** الاســتراتيجيـة الوطنيـة للأمن السـيبراني في

[5] مؤشـر شـامل يقيس مسـتوى نضـج الأمن السـيبراني في الدول الأعضـاء بالأمم المتحدة، ويغطي خمسـة محاور رئيسـية وهي: التدابير القانونية، والتدابير التنظيمية، وتدابير التعاون، وتدابير بناء القدرات، والتدابير الفنية.

فبراير 2025، وحققت إنجازاً في مجال الأمن السيبراني، حيث صُنفت في الفئة الأعلى عالمياً وفقاً للمؤشر العالمي للأمن السيبراني لعام 2024. واتخذت **جمهورية مصر العربية** خطوات هامة لدعم الأمن السيبراني مثل، تأسيس المجلس الأعلى للأمن السيبراني في عام 2015، ووضع استراتيجية وطنية للأمن السيبراني (2023 – 2027)، وجاءت أيضاً ضمن دول الفئة الأولى في المؤشر العالمي للأمن السيبراني، إلى جانب **مملكة البحرين** التي نجحت في تعزيز جاهزيتها السيبرانية من خلال استراتيجية وطنية شاملة، و**دولة قطر** التي حققت العلامة الكاملة لقيمة المؤشر من خلال التزمها بتعزيز الأمن السيبراني على المستويات المحلية والدولية. وفي **دولة الكويت**، تم تأسيس المركز الوطني للأمن السيبراني في فبراير 2022، فضلاً عن إطلاق الاستراتيجية الوطنية للأمن السيبراني. هذا وتم إقرار مشروع **الاستراتيجية العربية للأمن السيبراني** في سبتمبر 2025، تمهيداً لعرضه على مجلس وزراء الأمن السيبراني العرب، والذي يهدُف إلى بناء فضاء سيبراني عربي أمن وموثوق.

في ضوء ما سبق، يتضح أن الأمن السيبراني للطاقة أصبح تحدياً عالمياً لا يمكن لأي دولة أن تواجهه بمفردها، حيث إن ترابط أسواق الطاقة العالمية يجعل أي هجوم سيبراني واسع النطاق له تداعيات عابرة للحدود، ومن ثم فإنه لم يعد مجرد قضية تقنية، بل عاملاً حاسماً في الحفاظ على استقرار الأسواق العالمية وضمان أمن الدول على حد سواء. وتتضاعف أهمية ذلك مع تسارع تحولات الطاقة نحو اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوسع في مراكز البيانات. وعليه، فإن وضع نهج استباقي يقوم على الاستثمار في التقنيات الحديثة، وتطوير الكوادر البشرية، وتعزيز التعاون الدولي، يُعد ركيزة أساسية لتعزيز أمن الطاقة العالمي في مواجهة التحديات المستقبلية.

- **المباني المنتجة للطاقة: حجر أساس منظومة الطاقة النظيفة والمستدامة**

المباني المنتجة للطاقة (Energy-producing buildings) هي مباني يتم تصميمها لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة في إنتاج كمية من الطاقة تُعادل إجمالي استهلاكها السنوي – مثل المباني الصفرية للطاقة (Net Zero Energy Building)، أو قد تزيد عن إجمالي الاستهلاك – مثل المباني الإيجابية للطاقة (Energy-Positive Buildings) التي يُمكنها تغذية الفائض إلى شبكة الكهرباء العامة أو تشغيل مباني مجاورة. وتُجهز تلك المباني بجدران وعوازل حرارية عالية

الكفاءة، ونوافذ مضـــيئة للتقليل من اســـتهلاك التكييف والإضـــاءة، وأنظمة توليد طاقة متجددة مثل الألواح الشمسية الكهروضوئية، والتوربينات الهوائية المصغرة، والمضخات الحرارية الأرضية.

توفر المباني المنتجة للطاقة العديد من المميزات، فعلى **الجانب البيئي**، تســـهم تلك المباني في خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق أهداف المناخ، لا سيما وأن قطاع البناء مسؤول عن حوالي 40% من إجمالي انبعاثات الكربون العالمية. وعلى **الجانب الاقتصـــادي**، فعلى الرغم من ارتفاع تكلفة البناء الأولية، تنخفض تكلفة تشغيل المباني المنتجة للطاقة بشكل كبير على المدى البعيد، حيث تساهم المباني الصـــفرية للطاقة في خفض اســـتهلاك الطاقة بنســـبة تتراوح بين 44% إلى 56% مقارنة بالمباني التقليدية، فضلاً عن قيمتها السوقية المرتفعة بسبب كفاءتها واستدامتها. وعلى **الجانب التقني**، تستخدم تلك المباني عدة تكنولوجيات متقدمة تدمج بين النظم الذكية للمراقبة والتحكم، وتقنيات الطاقة المتجددة لتحقيق كفاءة عالية في إنتاج الطاقة واســـتهلاكها. وعلى **الجانب الاجتماعي**، تعتمد المباني المنتجة للطاقة على تصـــميمات تراعي الإضـــاءة الطبيعية وجودة الهواء الداخلي، حيث تعمل أنظمة التهوية الذكية على تجديد الهواء باستمرار، بينما توفر النوافذ الذكية والإضاءة الطبيعية بيئة صحية.

وعلى الرغم من تلك المميزات المشـــار إليها أعلاه، تواجه المباني المنتجة للطاقة تحديات عديدة، من أهمها، **أولاً، التحديات الاقتصـــادية**، الارتفاع الملحوظ في تكلفة البناء الأولية مقارنة بالمباني التقليدية، بســـبب اســـتخدام مواد بناء عالية الكفاءة (مثل النوافذ الذكية) وتقنيات حديثة لتوليد الطاقة المتجددة (مثل الألواح الشـمسـية). **ثانياً، التحديات التقنية**، يتطلب تصـميم وبناء وتشـغيل تلك المباني مراعاة عدد كبير من العوامل التقنية الدقيقة التي تختلف من منطقة إلى أخرى ومن نوع مبنى إلى آخر، حيث تعتمد على دمج أنظمة الطاقة الشـــمســـية والتدفئة والتبريد والعزل في نموذج متكامل يحقق الكفاءة المطلوبة. وفي الوقت نفسـه، لا يزال تخزين الطاقة مكلفاً ومحدود السـعة، مما يسـتوجب غالباً ربط تلك المباني بشبكة الكهرباء الوطنية لتغطية العجز أو تصريف الفائض. فضلاً عن أن بعض المناطق قد تعاني من ضـوء شـمس أقل، مما يؤدي لعدم ضـمان كفاية الطاقة المنتجة واسـتدامة الأداء التشـغيلي. **ثالثاً، التحديات التنظيمية والتشريعية**، عدم وجود قوانين وسياسات واضـحة ومُلزمة تدعم التحول نحو الاســـتدامة، حيث ما زالت القوانين الخاصـــة بالبناء في العديد من دول العالم تفتقر إلى

معايير إلزامية لتحقيق كفاءة طاقة عالية أو بناء مباني صـــفرية الطاقة، كما أن آليات التنفيذ والمراقبة غالباً ما تكون غير مفعلة بالشكل الكافي.

ومن أهم مشـــروعات المباني المنتجة للطاقة عالمياً، يبرُز مركز "Bullitt" التجاري في مدينة Seattle **الأمريكية**، الذي تم افتتاحه عام 2013، واسـتطاع عبر أنظمته من الطاقة الشـمسـية توليد طاقة تزيد بنسبة 30% عن استهلاكه خلال 10 أعوام، وهو ما يكفي لتشغيل 41 منزل لمدة عام. ويُعد متحف "Exploratorium" في ولاية San Francisco أكبر متحف أمريكي صـفري الطاقة، حيث يولد 85% من احتياجاته الكهربائية بقدرة 1.3 ميجاواط، عبر شبكة ألواح شمسية، مما يخفض نحو 17.2 ألف طن من انبعاثات ثاني أكسـيد الكربون. وصـممت محمية "Pahranagat" الأمريكية لتحقيق صافي استهلاك صفري عن طريق تقنيات كالمضخات الحرارية الجوفية وتخفيض الاستهلاك عبر النوافذ الطبيعية، ويعتمد على ألواح شمسية لتوليد كامل طاقته التشغيلية. وفي **الصين**، يُعد مبنى مركز الطاقة المتجددة في الحديقة الأولمبية، مثالاً على تطبيق تقنيات الجيل الحديث من الخلايا الشمسية لتحقيق التوليد الذاتي للطاقة وتخزينها وتبادلها مع الشبكة القومية للكهرباء. وتم تشييد مجمع سكني يعتمد على شبكة ألواح شمسية في مدينة Freiburg **الألمانية**، كأول المباني الإيجابية للطاقة التي تولد طاقة تزيد عن ما تستهلكه. و في **النرويج** يستخدم مبنى "Powerhouse Brattørkaia" نحو 2000 متر مربع من الألواح الشمسية على السطح و500 متر مربع على الواجهات، مع مضخة حرارية بحرية، لإنتاج ضـعف ما يحتاجه من الكهرباء، ويغذي الطاقة الفائضـة إلى المباني المجاورة ووسائط النقل الكهربائية.

أما فيما يخص مشـروعات المباني المنتجة للطاقة في الدول العربية، فعلى سـبيل المثال وليس الحصـر، يمثل مشـروع مدينة "The Line" في **المملكة العربية السـعودية** أحد أبرز النماذج العالمية في مفهوم المدن المنتجة للطاقة والمستدامة بيئياً، حيث صُمم ليكون مدينة خطية بطول 170 كيلومتر، خالية تماماً من المركبات والانبعاثات الكربونية، يتم تشـغيلها بنسـبة تبلغ 100% من مصـادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشـمسـية وطاقة الرياح والهيدروجين الأخضـر، ما يجعلها نموذجاً في كفاءة استخدام الموارد وتقليل البصمة الكربونية. وحقق مبنى "NZ1" بمدينة "مصدر" في **دولة الإمارات العربية المتحدة** هدفه بأن يكون أول مبنى تجاري في المنطقة يُنتج طاقة صافية صفرية، حيث يستهلك

طاقة أقل بنسبة 53% من المباني التقليدية المماثلة، وتُولد الألواح الشمسية في المبنى نسبة 100% من احتياجاته السنوية من الطاقة، مع مساهمة أي فائض من الطاقة في شبكة كهرباء مدينة أبو ظبي، وهو ما يُعد مثالاً على التطوير الحضري المُبتكر والمستدام في المنطقة. كما تم الإعلان عن إنشاء أول مسجد صفري الطاقة في العالم بمدينة أبو ظبي في شهر سبتمبر 2025، يولد 100% من احتياجاته من الطاقة من خلال الألواح الشمسية، ويستخدم تقنيات متقدمة لتقليل استهلاك الطاقة التشغيلية بمقدار الثلث واستهلاك المياه بأكثر من النصف. وسيكون برج "Forbes International" المكون من 50 طابق بالعاصمة الإدارية الجديدة في **جمهورية مصر العربية**، أول ناطحة سحاب في المنطقة محايدة الكربون، تعتمد على توليد 25% من طاقتها من الألواح الشمسية و75% من الهيدروجين النظيف، ويتوقع اكتماله بحلول عام 2030، ويهدف إلى ترسيخ معايير البناء المستدام.

ختاماً، يمكن النظر إلى المباني المنتجة للطاقة بوصفها ليست مجرد هياكل معمارية موفرة للطاقة، بل محطات صغيرة للإنتاج تسهم في بناء مدن قادرة على تلبية احتياجاتها من مصادر الطاقة المتجددة. ومع تنامي التوجه العالمي نحو خفض الانبعاثات وتحقيق الحياد الكربوني بحلول منتصف القرن الحالي، يظهر الدور المحوري لهذه المباني في دعم أهداف التنمية المستدامة. ويعكس توسع مشروعات المباني المنتجة للطاقة في الدول العربية وعياً متنامياً بأهمية تلك المشروعات كركيزة رئيسية لتعزيز مستقبل أمن الطاقة النظيفة والمستدامة، خاصة في ظل ما تمتلكه دولنا العربية من إمكانات كبيرة من مصادر الطاقة المتجددة.

- **الطاقة اللامركزية: تحول استراتيجي في بنية منظومات الطاقة الحديثة**

الطاقة اللامركزية تُعد أحد أبرز الاتجاهات الحديثة في قطاع الطاقة، وهي تعتمد على فكرة توليد الكهرباء بالقرب من مواقع الاستهلاك بدلاً من الاعتماد الكامل على محطات مركزية ضخمة بعيدة، حيث تعمل في وضعين، الوضع المتصل بالشبكة (Grid-connected) والوضع المنعزل (Islanded mode)، أي أنه يمكن تزويد المستخدمين بالكهرباء حتى في حال انقطاع الشبكة العامة. وتستخدم تقنيات متنوعة مثل الألواح الشمسية وتوربينات الرياح الصغيرة وأنظمة التوليد المشترك للحرارة والكهرباء وخلايا الوقود لتوليد الطاقة، مما يساهم في وصول الطاقة النظيفة والموثوقة مباشرة إلى المستهلكين. وتمثل الطاقة اللامركزية تحولاً من نموذج "المستهلك فقط" إلى نموذج

"المستهلك المنتج"، حيث يصبح الأفراد والمجتمعات جزءاً فاعلاً في منظومة إنتاج الطاقة، ما يوفر بيئة أكثر استقلالية وابتكاراً في قطاع الطاقة.

من **الناحية التقنية**، تتميز الطاقة اللامركزية بمرونتها العالية وقدرتها على ضمان استمرار الإمدادات حتى في حالات الطوارئ، حيث يمكن تعويض أي نقص ناتج عن انقطاع الشبكة العامة. كما أن قرب مواقع الإنتاج من المستهلكين يقلل من فقدان الطاقة أثناء عملية النقل، وهو ما يمثل نسبة معتبرة في بعض دول العالم مثل الولايات المتحدة الأمريكية التي تُقدر خسائرها بنحو 5% من إجمالي الكهرباء المنقولة. ومن **الناحية الاقتصادية**، تسهم الطاقة اللامركزية في خفض التكلفة، حيث إن إنتاج الكهرباء محلياً يقلل الاعتماد على الوقود المستورد، مما يعزز استقلالية الطاقة ويدعم الاقتصاد الوطني من خلال استقطاب الاستثمارات في مشروعات جديدة. أما من **الناحية البيئية**، تُعد الطاقة اللامركزية ركيزة هامة للحد من الانبعاثات الكربونية وتعزيز التحول نحو الطاقة النظيفة، حيث يمكن الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، كما أن الاعتماد على أنظمة التوليد المشترك التي يتم فيها استغلال الوقود لإنتاج الحرارة والكهرباء في نفس الوقت، يرفع كفاءة استهلاك الطاقة من نحو 35% في الأنظمة التقليدية إلى ما يتجاوز 80% في بعض تطبيقات التوليد المشترك، ويسهم بشكل ملحوظ في خفض التأثير البيئي.

وعلى الرغم من تلك المميزات، تواجه الطاقة اللامركزية العديد من التحديات من أهمها، **أولاً، التحديات الفنية**، تتأثر استمرارية الإمدادات بإنتاج الطاقة المتجددة المتقطع بطبيعته، مما يتطلب حلول تخزين متطورة مثل البطاريات. كما أن دمج مصادر مختلفة من الطاقة وإدارة تدفقاتها يحتاج إلى أنظمة تحكم متقدمة لتجنب حدوث اضطرابات في الجهد والتردد. **ثانياً، التحديات الاقتصادية**، تظل التكلفة الأولية مرتفعة نسبياً رغم انخفاض أسعار الألواح الشمسية والبطاريات، كما أن المؤسسات التمويلية تحاول تجنب دعم المشروعات الصغيرة بسبب محدودية الضمانات وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، وهو ما يستدعي وجود برامج دعم حكومية للتغلب على تلك التحديات خاصة في المناطق النائية. **ثالثاً، التحديات التشريعية**، لا تزال الأطر القانونية المعمول بها في الكثير من الدول، تميل إلى تفضيل أنظمة الطاقة المركزية التقليدية، مما يعقد عملية ربط مشروعات الطاقة

اللامركزية بالشبكات الوطنية، كما أن نقص الحوافز الحكومية مثل الإعفاءات الضريبية أو الأسعار التشجيعية لشراء الكهرباء يحد من انتشار هذه المشروعات.

وعلى الصعيد العالمي، تشهد **الولايات المتحدة الأمريكية** نمواً كبيراً في مشروعات الطاقة اللامركزية، من خلال دعم برامج ومبادرات متنوعة لتطبيق أنظمة "Microgrid"[6]، مثل برنامج " Energy Improvements in Rural or Remote Areas" الذي خصص عام 2024 أكثر من 366 مليون دولار لتمويل 17 مشروع عبر 20 ولاية أمريكية. وتوسعت **الصين** في إنشاء أنظمة "Microgrid" صناعية ضخمة، مثل مجمع مدينة "Xuzhou" الذي يولد أكثر من 7 مليون كيلوواط ساعة سنوياً ويوفر نحو 20% من تكاليف الطاقة، مع استهداف بناء مئات المشروعات المماثلة بحلول نهاية عام 2027 كجزء من خطة الصين للتحول الطاقي. وفي **أوروبا**، تسمح التشريعات للأفراد والشركات الصغيرة بإنتاج الكهرباء وتبادلها ضمن مجتمعات محلية، وقد أثبتت التجارب في هولندا قدرة أنظمة الطاقة الصغيرة الذكية اللامركزية على تغطية نحو 90% من احتياجات الطاقة المحلية، بينما تسعى مبادرة "RePowerEU" إلى توسيع نشر هذه الأنظمة. وتبنت **اليابان** الطاقة اللامركزية بعد كارثة "فوكوشيما"، حيث أنشأت في عام 2015 أول مجتمع يعتمد على نظام "Microgrid" يعمل بالطاقة الشمسية والديزل الحيوي والبطاريات، ويتيح العمل بشكل مستقل في حالة الطوارئ.

وقد برزت مشروعات طموحة للطاقة اللامركزية في الدول العربية، فعلى سبيل المثال، يمثل مشروع البحر الأحمر في **المملكة العربية السعودية** نموذجاً عالمياً، بالتعاون مع شركة "Huawei"، وهو أكبر نظام "Microgrid" لتوليد الطاقة في العالم بقدرة تبلغ 1 مليار كيلوواط ساعة سنوياً. وفي **الإمارات العربية المتحدة**، تُعد مدينة مصدر من أوائل المشروعات الرائدة التي تطبق مبادئ الطاقة اللامركزية الذكية، حيث تنتج أكثر من 17 ألف ميجاواط ساعة سنوياً من الطاقة الشمسية، وتخفض الانبعاثات بنحو 15 ألف طن. وفي **دولة الكويت**، تعاونت جامعة الكويت مع شركة "Siemens" لتطوير نموذج "Microgrid" يضم ألواحاً شمسية وشواحن للسيارات الكهربائية وأنظمة إدارة ذكية للطاقة. وفي **جمهورية مصر العربية**، توسعت مشروعات الطاقة اللامركزية عبر القطاع الخاص، مثل مشروع شركة "KarmSolar" في واحة الفرافرة الذي يجمع بين الطاقة

[6] نظام طاقة صغير ومتكامل قادر على توليد وتخزين وتوزيع الكهرباء في نطاق محدد، مثل حي سكني أو منشأة صناعية.

الشـــمســـية والديزل والبطاريات لتزويد المزارع والمجتمعات البعيدة بالكهرباء. وفي **دولة قطر**، أطلق معهد بحوث البيئة والطاقة مشروع "Microgrid" في مزرعة صحراوية مزودة بطاقة شمسية تبلغ 35 كيلوواط وببطارية بقدرة تبلغ 82 كيلوواط ســـاعة، ومصـــدر احتياطي لتوليد الطاقة بالديزل لتلبية احتياجاتها من الطاقة. وأكملت هيئة الكهرباء والماء في **مملكة البحرين** 323 مشـــروع للطاقة اللامركزية، منها 47 مشـروع قيد التشـغيل، بقدرة بلغت 90 ميجاواط حتى منتصـف سـبتمبر 2025. وتم تدشـين أول محطة طاقة شـمسـية لامركزية في **دولة ليبيا** بمدينة الكفرة مطلع يوليو 2025 بقدرة 1.14 ميجاواط، توفر 545 ألف لتر من وقود الديزل، مع تقليل الانبعاثات بنحو 1300 طن سنوياً.

خلاصـة القول، تمثل الطاقة اللامركزية أحد الركائز الأسـاسـية للتحول نحو أنظمة طاقة أكثر اسـتدامة ومرونة، حيث تجمع بين الجدوى الاقتصـادية والكفاءة البيئية والاسـتقلالية في إنتاج الطاقة، ومن ثم فهي ليســت مجرد تطور تقني فقط، بل تحول اســتراتيجي في بنية منظومات الطاقة الحديثة. ومع تســارع الابتكارات في التخزين وأنظمة الإدارة الذكية، تزداد فرص دمج الطاقة اللامركزية في الشـبكات الوطنية بشـكل آمن وفعال. وبالتالي، فإن تعزيز الأطر التشـريعية، وتوسـيع آليات التمويل، والاسـتثمار في البحث والتطوير، تمثل عناصـر حاسـمة لضـمان تنويع مصـادر الإمدادات، وتعزيز المرونة، وخفض الانبعاثات بهدف تحقيق التنمية المســتدامة في ظل التحديات المتزايدة التي تواجه قطاع الطاقة العالمي.

المحور الرابع

التطورات المتعلقة بتغير المناخ

المحور الرابع: التطورات المتعلقة بتغير المناخ

أصبح موضوع تغير المناخ من أبرز التحديات التي تتطلب استجابة منسقة وعاجلة من كافة دول العالم، لا سيما وأنه يمثل تهديداً كبيراً للأمن الاقتصادي والبيئي. ومع سعي دول العالم إلى الامتثال بالاتفاقيات المناخية وتحقيق أهداف الحياد الكربوني، أصبحت سياسات التخفيف من الآثار السلبية لتغير المناخ من الركائز الأساسية في خطط النمو الاقتصادي المستقبلي. وفي هذا السياق، يظل الهدف المناخي العالمي المتمثل في الحد من ارتفاع درجات الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعية، هو المحور الرئيسي لكافة الجهود المناخية، وتحقيق ذلك الهدف يتطلب تقليص الانبعاثات بشكل حاد خلال العقود القادمة. هذا وتشير التوقعات إلى أن الاستثمارات العالمية في تقنيات خفض انبعاثات الكربون ستشهد نمواً كبيراً خلال الأعوام القادمة. **وفيما يلي استعراض لأهم التطورات المتعلقة بتغير المناخ التي قد يكون لها انعكاسات على بعض القطاعات.**

▪ أهم مُخرجات مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP30"

عُقد مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP30" في مدينة "Belém" البرازيلية خلال الفترة (10 – 21) نوفمبر 2025، بحضور مكثف بلغ حوالي 56 ألف مشارك من 194 دولة، يمثلون مختلف فئات المجتمع الدولي، بما في ذلك الحكومات، والمنظمات الدولية، والمؤسسات البحثية، والمنظمات غير الحكومية، وممثلين عن المجتمع المدني، والعلماء والنشطاء البيئيين، بالإضافة إلى القطاع الخاص، ومنظمات الأعمال، ومؤسسات التمويل. وقد جاء هذا المؤتمر في لحظة فارقة من مسار العمل المناخي العالمي، حيث أصبح الانتقال من التعهُد إلى التنفيذ ضرورة لا خياراً.

ومن أبرز المخرجات التي تم التوصل إليها فيما يخص تحولات الطاقة:

- زيادة استثمارات تحالف المرافق من أجل صافي انبعاثات صفرية وهو تحالف يضم شركات المرافق الرائدة في العالم تأسس في مؤتمر الأطراف الثامن والعشرين "COP28"، بنسبة 30% لتصل إلى 148 مليار دولار سنوياً (66 مليار دولار في مصادر الطاقة المتجددة و82 مليار دولار في الشبكات والتخزين)، مما يفتح المجال أمام تكامل الطاقة المتجددة ومرونتها وموثوقيتها، مع معالجة عوائق التصاريح والتمويل التي تؤخر الربط البيني والتحديثات. ويدعم هذا التسريع بشكل مباشر التعهد العالمي للشبكات والتخزين الذي تم التوصل إليه في مؤتمر الأطراف التاسع

والعشرين "COP 29" والحاجة إلى مضاعفة الطاقة المتجددة ثلاث مرات، وهو ما تم تحديده في أول تقييم عالمي في مؤتمر الأطراف الثامن والعشرين "COP 28". كما يستثمر أعضاء التحالف حوالي 1 تريليون دولار لتوسيع نطاق الطاقة النظيفة وتحديث شبكات الطاقة العالمية ونشر تخزين الطاقة بحلول عام 2030.

- أطلق مركز "WRI Polsky" للتحول العالمي في مجال الطاقة، بالشراكة مع التحالف العالمي للطاقة المتجددة، والمجلس العالمي لطاقة الرياح، ومبادرة "RE100" التابعة لمجموعة المناخ، تحالف أمريكا اللاتينية للطاقة النظيفة، وهي مبادرة رئيسية تهدف إلى تسريع وتيرة تبني الطاقة النظيفة وتسريع انتقال أمريكا اللاتينية إلى اقتصاد منخفض الكربون.
- أطلق المجلس العالمي للأبنية الخضراء بالتعاون مع وكالة الطاقة الدولية، برنامج كفاءة البناء والكهربة وتكامل الطاقة المتجددة الذي يشجع على اعتماد معايير الأداء الأدنى للطاقة، ومتطلبات الكهربة، ومتطلبات تكامل الطاقة المتجددة. وبحلول عام 2028، يتوقع البرنامج تعزيز اعتماد إرشاداته من خلال برنامج "إنجازات المباني" وبطاقة أداء المساهمات المحددة وطنياً.
- أعلن المجلس الدولي للطاقة المستدامة عن تعهُده بمضاعفة كفاءة الطاقة.
- التوصل إلى تعهُد (Belém 4x) الذي يهدف إلى رفع استخدام الوقود المستدام بمقدار أربعة أضعاف على الأقل بحلول عام 2035 مقارنة بعام 2024، مع مراعاة اختلاف الظروف الوطنية، من خلال تنفيذ السياسات القائمة أو المعلنة. وتشمل أنواع الوقود المستهدف إنتاجها بكميات كبيرة وأسعار تنافسية: الهيدروجين ومشتقاته، والغازات الحيوية، والوقود الحيوي، بهدف التحول إلى الاعتماد على الطاقة الكهربائية في قطاعات النقل والصناعة. ومن المتوقع أن تقوم وكالة الطاقة الدولية بمتابعة التقدم استناداً إلى تقريرها "توفير الوقود المستدام – مسارات نحو عام 2035" الذي يدعم هذا التعهد. وقد أكد ممثلو حكومات البرازيل واليابان وإيطاليا والإمارات العربية المتحدة ودول أخرى على التزاماتهم الوطنية، وأعلنت 23 دولة التزامها الرسمي بهذا التعهُد.
- خصص مرفق البيئة العالمية 15.8 مليون دولار لمنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية لبرنامج الهيدروجين النظيف العالمي، مع التزامات تمويل مشترك بقيمة 213.5 مليون دولار من شركاء من القطاعين العام والخاص في الجزائر والإكوادور ومصر وماليزيا وناميبيا ونيجيريا وباكستان والفلبين وجنوب أفريقيا، لتسريع إنتاج الهيدروجين.

- أطلق منتدى التجارة الدولية للهيدروجين بيان التنفيذ بين القطاعين العام والخاص لتعزيز تطوير أسواق الرصاص للمنتجات المستدامة المنتجة باستخدام الهيدروجين منخفض الانبعاثات ومشتقاته، بما في ذلك الصلب والأسمنت والأسمدة.
- إطلاق تحالف مشتري الطيران المستدام، بالشراكة مع SkyNRG وAirbus، حملة "COP 30" لوقود الطيران المستدام، مما يُمكن المشاركين من تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن رحلاتهم الجوية من خلال شراء شهادات وقود الطيران المستدام، مما يوفر إيرادات فورية للمنتجين، ويعزز ثقة المستثمرين، ويُسرع من تطوير سوق وقود الطيران المستدام.
- تأكيد التحالف العالمي للوقود الحيوي على أن الوقود الحيوي المستدام هو الحل الأمثل والفوري للطيران لتحقيق هدفه المتمثل في صافي انبعاثات صفري بحلول عام 2050. ورغم مساهمته في خفض الانبعاثات بنحو ثلثي المطلوب، إلا أن هناك تحديات رئيسية أهمها ارتفاع تكلفة إنتاج الوقود الحيوي (يُعادل ضعفي إلى خمسة أضعاف تكلفة إنتاج وقود الطائرات التقليدي)، ومحدودية الإمدادات على المدى البعيد.
- أعلنت شركة الشحن العملاقة "Maersk" عن خطط لتشغيل 41 سفينة تعمل بالميثانول بحلول عام 2027، بما في ذلك أول عملية تحديث كبيرة للوقود المزدوج، مع اتفاقيات شراء بقيمة تصل إلى 500 ألف طن من الميثانول الأخضر سنوياً اعتباراً من عام 2026.
- أعلنت شبكة المدن "C40"، بدعم من مؤسسة التمويل الدولية والرابطة الدولية للموانئ والمرافئ، عن مبادرة قرض عالمي جديد مرتبط بالاستدامة في الموانئ، تستهدف استثمار 1 مليار دولار في البنية التحتية البحرية الخضراء في غضون ثلاثة أعوام.
- التزام الاتحاد الدولي للنقل العام بمضاعفة جهوده التدريبية العالمية وإطلاق أول يوم سنوي "للنقل العام العالمي" ابتداء من عام 2026، لبناء القدرات المهنية والدعم العام اللازمين لتوسيع نطاق التنقل المستدام في 100 دولة، حيث تم التوصل إلى أن استخدام النقل العام، والمشي، وركوب الدراجات، والشحن بالسكك الحديدية، والاعتماد على الكهرباء، يُمكن أن يخفض انبعاثات قطاع النقل إلى النصف بحلول عام 2030.

- الدعوة إلى بذل جهود عالمية في مجال النقل لتحقيق انخفاض بنسبة 25% في إجمالي الطلب على الطاقة من قطاع النقل بحلول عام 2035، وتحويل ثلث طاقة النقل إلى الوقود الحيوي المستدام ومصادر الطاقة المتجددة، مع اتباع مسارات متمايزة تعكس الظروف الوطنية.
- إطلاق إعلان Belém للتصنيع الأخضر، بقيادة مجموعة أساسية من الدول، بما في ذلك البرازيل والمملكة المتحدة وجنوب أفريقيا، بدعم من منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية. كما يضع هذا الإعلان الدول النامية في طليعة بناء الصناعات النظيفة – من الفولاذ الأخضر إلى الخلايا الشمسية الكهروضوئية.
- إطلاق برنامج "اختراق الصلب" بهدف جعل الصلب منخفض الانبعاثات تقريباً هو المعيار العالمي بحلول عام 2030، من خلال تنسيق الجهود الدولية في مجالات المعايير، والتمويل، والطلب، والابتكار، ودعم الاقتصادات الناشئة والنامية.
- إطلاق استراتيجية تطوير الأسمنت الهادفة إلى جعل الأسمنت منخفض الانبعاثات وشبه المعدوم الخيار الأمثل في الأسواق العالمية بحلول عام 2030، لا سيما في الدول النامية التي تستحوذ على حصة 80% من الاستهلاك العالمي من الأسمنت.
- أطلق التحالف العالمي للطاقة النظيفة وتحالف مستقبل التعدين ووكالة الطاقة الدولية خطة تهدف إلى التغلب على التحديات الرئيسية أمام تحولات الطاقة النظيفة، من خلال تحسين جودة بيانات سلسلة التوريد، والتنسيق لتوسيع شبكات الكهرباء، والمرونة في سلاسل التوريد، وتمكين الاقتصادات النامية من الارتقاء بسلسلة قيمة الطاقة النظيفة عبر شراكات الاستثمار.
- أعلنت كوريا الجنوبية والبحرين التزامهما باتخاذ إجراءات طموحة لوقف التوسع في استخدام الفحم والتخلص التدريجي من محطات الطاقة القائمة عليه.

كما حقق مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP30" نجاحات أخرى، من أهمها: **أولاً**، أنهى المؤتمر خارطة طريق "Baku-Belem" لتنفيذ هدف التمويل المناخي الجديد، حيث تحدد خارطة الطريق مساراً لتعزيز تمويل المناخ إلى 1.3 تريليون دولار سنوياً بحلول عام 2035، مع الاتفاق على مضاعفة تمويل التكيف ثلاث مرات، حيث يرفع الهدف الجديد تمويل التكيف إلى 120 مليار دولار سنوياً، كجزء من مبلغ 300 مليار دولار سنوياً لتمويل المناخ (المعروف بأسم الهدف الكمي الجماعي الجديد، أو NCQG، المتفق عليه في مؤتمر الأطراف التاسع والعشرين).

ثانياً، دخلت التجارة الدولية المفاوضات للمرة الأولى، بما في ذلك تدابير تجارة الكربون، مثل آلية الاتحاد الأوروبي لتعديل حدود الكربون في إطار المفاوضات الرسمية. وأُطلق أول مسار عمل على الإطلاق بشأن التجارة، مما يُشير إلى الأهمية المتزايدة للتجارة في أجندة المناخ. **ثالثاً**، شهد صندوق الاستجابة للخسائر والأضرار، الذي تم تفعيله في مؤتمر "COP29" تقدماً كبيراً، حيث حصلت الأطراف على تعهدات أولية بلغت 12 مليار دولار، مع الاتفاق على تبسيط إجراءات الوصول للدول الأكثر ضعفاً. **رابعاً**، الاتفاق على ميثاق "Belem" الذي يربط رسمياً بين الحفاظ على الغابات الاستوائية وتمويل المناخ، حيث تؤسس آلية جديدة للتحقق والتمويل، تعترف بالدور الحاسم للغابات كأصول مناخية عالمية، وتخلق مساراً منظماً لمكافأة حمايتها.

وفي المقابل، شهد مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP30" العديد من التحديات، من أهمها: **اولاً**، عدم نجاح المفاوضات حول الجوانب الرئيسية لأسواق الكربون العالمية بموجب المادة "6"، حيث لم يتفق الأطراف على قواعد المادة "6.2" أو "6.4"، مما أدى إلى تأجيل جميع القرارات الرئيسية إلى المؤتمر القادم "COP31". **ثانياً**، عدم التوصل إلى اتفاق بشأن مؤشرات مالية جديدة، حيث أعربت العديد من الدول النامية عن قلقها بشأن "الوضوح" والعبء المحتمل للمؤشرات المقترحة، وعارضت الدول الأفريقية، بشكل خاص، المؤشرات التي تتبع تخصيصات الميزانية المحلية، كونها تحول مسؤولية تمويل التكيف من الدول المتقدمة إلى الدول النامية. **ثالثاً**، استمرار الخلاف الجوهري حول تمويل المناخ، حيث تغطي الالتزامات الثابتة من الدول المتقدمة حالياً حوالي 40% فقط من الهدف السنوي، مما يبرز فجوة كبيرة في التنفيذ. **رابعاً**، كان من المفترض أن يكون مؤتمر "COP30" فرصة لتعزيز طموحات الدول بشكل كبير من خلال تقديم مساهمات محددة وطنياً جديدة ومنقحة للأعوام العشرة القادمة، غير أن لم تقدم سوى 121 دولة مساهمات محددة وطنياً جديدة، بينما لا تزال 76 دولة أخرى تتخلف عن تحقيق الأهداف، مما يمثل نحو 26% من الانبعاثات العالمية، مما دفع الدول إلى الاعتراف للمرة الأولى باحتمالية تجاوز حرارة الأرض مستوى 1.5 درجة مئوية خلال القرن الحالي.

هذا وقد تم الاتفاق على استضافة تركيا لمؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ "COP31" بالشراكة مع أستراليا، كما تم تأكيد استضافة إثيوبيا لمؤتمر "COP32"، الذي سيكون أول مرة تستضيف فيها دولة أقل نمواً المؤتمر.

▪ التبريد العالمي وأثره على الطاقة والانبعاثات

يتجه العالم نحو مرحلة غير مسبوقة من الارتفاع في الطلب على التبريد، مدفوعاً بتزايد موجات الحر، وارتفاع متوسط درجات الحرارة، والتوسع العمراني، والنمو السكاني. وبناء على ذلك، أصبح التبريد في الوقت الحالي ضرورة أساسية لحماية الأرواح وضمان الأمن الصحي والغذائي ورفع الإنتاجية ودعم استدامة المدن، ولم يُعد رفاهية كما كان في العقود الماضية. حيث يُحذر تقرير "Global Cooling Watch 2025" الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) من أن الطلب العالمي على التبريد – من مكيفات الهواء إلى سلاسل التبريد – مرشح لأن يتضاعف ثلاث مرات بحلول عام 2050، وهو ما يضع ضغطاً هائلاً على شبكات الطاقة العالمية، ويرفع من استهلاك الكهرباء والانبعاثات المرتبطة بإنتاجها. ويتسق هذا الاتجاه مع مسار أزمة المناخ، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة الاعتماد على أجهزة التبريد، مما يضيف بدوره المزيد من الانبعاثات ويقوض جهود خفض الاحترار العالمي.

هذا ويُعد الطلب على التبريد أحد أسرع القطاعات نمواً فيما يتعلق بالطلب على الطاقة، حيث تشير التقديرات إلى أن القدرة العالمية المُركبة لمعدات التبريد قد ترتفع من 22 تيراواط في عام 2022 إلى نحو 68 تيراواط بحلول عام 2050، مما يعكس تضاعفاً بنحو ثلاث مرات خلال أقل من ثلاثة عقود. ومن المتوقع أن يحدث النمو بالرغم من وجود تحسينات في كفاءة الطاقة، أي أنه يصعب الحد من تسارعه بدون تدخل مبكر وواسع النطاق. وهذا التوسع الهائل في التبريد سيؤدي إلى زيادة كبيرة في انبعاثات الغازات الدفيئة ما لم يتم تبني حلول تبريد مستدامة، حيث تُظهر التقديرات أن الانبعاثات المرتبطة بقطاع التبريد قد ترتفع إلى 7.2 مليار طن مكافئ ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2050، رغم التحسينات في كفاءة الأجهزة وتخفيض استخدام غازات التبريد عالية القدرة على الاحترار، مما يُحول التبريد إلى أحد أبرز القطاعات المساهمة في الانبعاثات العالمية. وبمعنى آخر، ستنشأ دائرة تضخمية حرارية، من خلال العلاقة المتبادلة بين ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الطلب على التبريد، ثم زيادة الانبعاثات التي تؤدي لاحقاً إلى ارتفاع إضافي في درجات الحرارة، وبذلك يصبح التبريد – إن لم يكن مستداماً – جزء من المشكلة بدلاً من أن يكون جزء من الحل.

وفي حال عدم التحول إلى أنظمة تبريد مستدامة وفعالة، فإن الاعتماد المتزايد على أجهزة التبريد التقليدية سيؤدي إلى ارتفاع استهلاك الكهرباء بشكل حاد، ما سيزيد الضغط على شبكات الطاقة، ويزيد من مخاطر انقطاعات الكهرباء في أوقات الذروة، لا سيما في المناطق التي تتعرض لموجات حر طويلة أو متكررة. هذا وقد شهدت بالفعل العديد من الدول حول العالم أعطالاً في شبكات الكهرباء خلال فترات الحر الشديد، ناجمة بشكل أساسي عن ارتفاع مفاجئ في الطلب على التبريد.

وبناء على ما تقدم، وضع برنامج الأمم المتحدة للبيئة سيناريو بديل بعنوان **"مسار التبريد المستدام"** يمكنه خفض الانبعاثات بنسبة 64% بحلول عام 2050 مقارنة بمسار الأعمال كالمعتاد، حيث سينخفض من 7.2 مليار طن إلى 2.6 مليار طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون – مع توفير إمكانية وصول التبريد إلى ثلاثة مليار شخص. ويتضمن هذا المسار تطبيق استراتيجيات تبريد سلبية في البناء، واستخدام أجهزة عالية الكفاءة، والاعتماد على حلول هجينة تجمع بين أنظمة التبريد منخفضة الطاقة، إضافة إلى التخلص المتسارع من غازات التبريد ذات القدرة العالية على الاحترار. غير أن مثل هذه الحلول المستدامة ليست تقنية فحسب، بل تتطلب كذلك سياسات حكومية قوية، واستثمارات كبيرة، وتحولات في معايير البناء، وتطوير مدن أكثر قدرة على تبديد الحرارة من خلال المساحات الخضراء، والتهوية الطبيعية، والمواد العاكسة لأشعة الشمس. وفي الوقت ذاته، تبرُز ضرورة تضمين التبريد في خطط المناخ الوطنية، نظراً لارتباطه الوثيق بأهداف الأمن الغذائي والصحي والاقتصادي.

مراجع التقرير:

المحور الأول: التطورات في الطاقات المتجددة

النمو المتسارع في الطاقات المتجددة

- Aljazeera, Qatar Energy signs contract to build a huge solar power plant, 16 September 2025.
- Bluebridge, Research & Consulting, Libya Partners with Germany's H2 Global to Launch a Major Green Hydrogen Project, 20 August 2025.
- China Energy Storage Alliance, China’s Newly Installed Renewable Energy Capacity Up 47.7% Year-on-Year in First Three Quarters, 4 November 2025.
- CNBC Arabia, Egypt: Contract signed to establish an industrial complex for solar cells and panels with investments of $220 million, 27 August 2025.
- Eco Gen Arabia, The biggest renewable energy deals in October, 2 November 2025.
- Egypt State Information Service, The Minister of Electricity and Renewable Energy reviews the latest developments in the implementation of renewable energy projects, 2 September 2025.
- Eia, Fewer U.S. solar projects are reporting delays in their expected online date, 10 November 2025.
- Eia, U.S. developers report half of new electric generating capacity will come from solar, 20 August 2025.
- Libyan News Agency, Libya and EU agree to support renewable energy, 28 September 2025.
- Masdar, EWEC Announces Partners to Develop 1.5GW Khazna Solar Photovoltaic Project in Abu Dhabi, 10 October 2025.
- Ministry of energy for Saudi Arabia, Principal Buyer Awards Five Renewable Energy Projects with a Total Capacity of 4,500 Megawatts, Al-Dawadmi Sets a New Global Record in Wind Energy, and Najran Ranks Second Worldwide in Solar Energy, 27 October 2025.
- Misurata Free Zone Libya, Partnership with Penta to implement a 25 MW solar power plant in the Misurata Free Zone, 25 August 2025.
- PVTECH, Solar corporate funding sees uptick in Q3 2025 with US$6.5 billion, 27 October 2025.
- PVTECH, Solar India adds 11GW solar PV in Q3 2025 – IEEFA, 26 Nov. 2025.
- PVTECH, PowerChina and Energy China sign Saudi PV and wind contracts totaling 7GW, 13 October 2025.
- Reuters, Kuwait signs contracts for $3.27 billion power plant project, 10 Aug. 2025.
- Reuters, China planning renewable energy expansion beyond power sector, 12 November 2025.

- Solar Power Europe, New analysis reveals that EU solar stalls, 2025 projected to mark first year of market decline in a decade, 24 July 2025.
- Solarquarter, Libya Commissions Its First 1 MW Solar Power Plant in Kufra, Developed by Infinity Libya and Al-Jouf Free Zone, 29 July 2025.
- White House, ending market distorting subsidies for unreliable, foreign controlled energy sources, 7 July 2025.
- Wind Europe, Latest wind energy data for Europe, Autumn 2025.

طاقة الرياح العائمة: الطاقة النظيفة من أعماق البحار

- Breakbulk, kingdom of Saudi Arabia Gears Up for Gigawatts of Renewable Power, 21 December 2023.
- CRRC, The "Qihang" 20MW Floating Offshore Wind Turbine Successfully Installed, 14 January 2025.
- Global Wind Energy Council, Global Offshore Wind Report 2025.
- Interesting Engineering, 20 MW: World’s largest floating wind turbine spanning 7 soccer fields tested by China, 21 January 2025.
- Kapsarc, Assessment of the Potential of Floating Offshore Wind Turbines in the Red Sea, 5 May 2024.
- KISR, Shagaya Wind Project.
- Masdar, UAE Wind Program.
- Ministry of Energy, Saudi Arabia, Dumat Aljandal Wind Power Plant.
- NREL, What Will It Take To Unlock U.S. Floating Offshore Wind Energy?, 26 September 2023.
- Ocean Engineering (Volume 304), Floating offshore wind farm installation, challenges and opportunities: A comprehensive survey, 15 July 2024.
- Offshore wind Scotland, Floating Wind in Scotland, Information on floating wind projects, and their developers, in Scottish waters.
- Power Technology, Power plant profile: Saudi Arabia Offshore Wind Farm_Plambeck, Saudi Arabia, 21 October 2024.
- Power technology, Wind Power in Egypt.
- Reuters, Equinor starts production at Norwegian floating wind farm, 14 November 2022.
- Siemens Gamesa renewable energy, Hywind Tampen: the World’s largest floating wind farm and the first for oil platforms, 25 September 2024.

الطاقة الحرارية الجوفية: من باطن الأرض إلى الطاقة المستدامة

- ADNOC, ADNOC and Tabreed Commence Operations at Region's First Geothermal Cooling Plant in Masdar City, 4 December 2023.
- Egyptian center for strategic studies, The Future of Energy: Geothermal Energy in Egypt, Challenges and Opportunities, 20 April 2024.
- IEA, The Future of Geothermal Energy, December 2024.
- king Abdullah university of science and technology, Powering geothermal in Saudi Arabia, 29 May 2025.
- kAPSARC, What Role Will Geothermal Play in the Energy Transition of Saudi Arabia? , 4 March 2025.
- mdpi, Heat Transfer Performance Factors in a Vertical Ground Heat Exchanger for a Geothermal Heat Pump System, 4 October 2024.
- Suez Canal University, Geothermal Energy Capacity Building in Egypt (GEB).
- Think Geoenergy, Top 10 Geothermal Countries 2024, 20 January 2025.

طاقة المد والجزر: مصدر واعد لمستقبل الطاقة المتجددة

- Astute Analytica, Wave and Tidal Energy Market Valuation is Projected to Hit USD 14,391.8 Million by 2032 | Astute Analytica, 29 July 2024.
- AP news, Underwater turbine spinning for 6 years off Scotland's coast is a breakthrough for tidal energy, 7 July 2025.
- CMS, Law – Now, COP28 Ahead: Wave Energy - The Next Wave of Renewable Energy, 22 November 2023.
- Emirati Journal of Environment, Sustainability, and Climate Change, Tidal Energy as a Sustainable Source of Power for Marine Transport Stations in Dubai Creek & Water Canal, Vol 2 Issue 1 (2024).
- International Journal of Advances in scientific Research and Engineering, Perspective and Prospect of Tidal Electricity Generation in Iraq, July 2019.
- INSPENET, The AR1500 turbine breaks generation record at the MeyGen project, 16 April 2025.
- IRENA, Renewable Energy Statistics 2025.
- Journal of Mechanical Engineering and Technology, The Performance of Tidal Energy in State of Kuwait, Volume 6, Issue 1, Jan-June 2018.
- Pacific Northwest, Explainer Articles, Tidal Energy.
- Power Technology, Tidal power's position in the global energy transition, 6 June 2025.
- REN21, Renewables 2024 Global Status Report.
- Research and Markets, Saudi Arabia Wave and Tidal Energy Market: Prospects, Trends Analysis, Market Size and Forecasts up to 2030, January 2024.

- ScienceDirect, A large-scale review of wave and tidal energy research over the last 20 years, 15 August 2023.
- Zawya, Oman's revived Masirah sea bridge project to tap tidal energy, 2 March 2023.
- 6wresearch, Kuwait Tidal Energy Market (2025-2031) Outlook, Aug 2022.
- مستقبل طاقة المد في الخليج العربي، تكنولوجيا الطاقة البديلة (د. سعود يوسف عياش، 2021).

المحور الثاني: الهيدروجين كوقود للمستقبل

- Baker McKenzie, Global Hydrogen Policy Tracker, Egypt.
- Carbon Credits, China's Envision Energy Launches World's Largest Green Hydrogen and Ammonia Plant, 14 July 2025.
- Carbon Credits, U.S. Green Hydrogen Cuts Give China an Edge in the Clean Energy Race, 13 October 2025.
- CGTN, China uses green ammonia to fuel seafaring vessel for first time, 25 July 2025.
- Egypt oil & gas group, Destiny Commits $210 Mn Investment to Egypt's Green Hydrogen, Ammonia Output, 12 November 2025.
- European Commission, European Hydrogen Bank.
- Global Hydrogen Hub, China launches its first national green hydrogen subsidy framework, 24 October 2025.
- Government of Dubai, DEWA's Green Hydrogen project surpasses 100 tonnes in output since 2021 launch, 26 August 2025.
- Imarc, Hydrogen Price Update - Q3 2025: Regional Divergence Amid Infrastructure Development, 24 October 2025.
- JMK Research & Analysis, quarterly green hydrogen India market update, Q3 2025.
- Larsen & Toubro, ACWA Power and L&T Sign Memorandum of Understanding (MOU) for Renewables & Grid Scope of Yanbu Green Hydrogen Hub, 22 September 2025.
- MEED, Acwa Power picks contractors for Yanbu Green Hydrogen Project, 5 August 2025.
- Neom Green Hydrogen Company, World's Largest Green Hydrogen Plant release first-ever footage after achieving more than 80% Construction Completion across all sites, 9 September 2025.
- Offshore Energy, Air Liquide reaches FID on 200 MW electrolyzer project at Port of Rotterdam, 25 July 2025.
- OMV, OMV and Masdar sign binding agreement to develop and operate new 140 MW green hydrogen plant in Austria, 6 November 2025.

- PR Newswire, Envision Delivers On World's Largest Green Hydrogen And Ammonia Plant With Off-Grid Renewable System, 10 July 2025.
- PR Newswire, Oman announces new fiscal incentives to ensure delivery-readiness of green hydrogen projects under third auction round, 13 August 2025.
- Reuters, Green hydrogen retreat poses threat to emissions targets, 23 July 2025.

المحور الثالث: تحولات الطاقة

تحولات الطاقة العالمية بين صعود الصين وتراجع الهيمنة الأمريكية

- BloombergNEF, Global Investment in the Energy Transition Exceeded $2 Trillion for the First Time in 2024, 30 January 2025.
- Brookings, How do China and America think about the energy transition?, 13 January 2025.
- Enar data, China installs record capacity for solar and wind in 2024, 22 January 2025.
- IEA, Global EV Outlook 2025, Trends in the electric car industry.
- IRENA, Renewable energy statistics 2025, July 2025.
- Reuters, China embarks on world's largest hydropower dam, capital markets cheer, 21 July 2025.
- Reuters, Clean-energy backers blast US budget bill as a setback, 4 July 2025.
- Reuters, House budget bill effectively halts US clean energy boom, 22 May 2025.
- ts2.tech, Global Renewable Energy Developments (May–June 2025).

التطورات في الطاقة النووية

- Emirates New Agency, UAE’s Barakah Plant delivers first year of full-fleet operations, 8 September 2025.
- International Atomic Energy Agency, IAEA Bulletin, September 2020.
- JDSUPRA, Unlocking the maritime frontier of nuclear energy: Floating nuclear power plants and merchant nuclear propelled ships, 21 July 2025.
- NUSCALE, NuScale Power and Prodigy Clean Energy Advance SMR Marine Facility Design, 26 October 2022.
- Offshore Energy, core power announces US-anchored maritime civil nuclear program, 17 February 2025.
- The Washington Post, U.S. officials wary of Chinese plans for floating nuclear plants, 2 May 2024.

- PG&E, Diablo Canyon Enters Full Extended Operations, 27 Aug. 2025.
- WION, Russia floating nuclear power plant 'Akademik Lomonosov' caters to energy in Russia's far east, 14 June 2024.
- World nuclear news, ABS approves second Korean floating SMR plant design, 25 June 2025.
- World nuclear news, Q&A: The prospects for floating nuclear power plants, 24 May 2024.
- World Nuclear Association, World Nuclear Outlook Report Preview 2025.
- World Nuclear news, Presidents launch El Dabaa reactor pressure vessel installation, 19 November 2025.
- World Nuclear Association, Nuclear Power in Saudi Arabia, 28 Nov. 2025.
- World Nuclear Association, Nuclear Power in China, 24 October 2025.
- World nuclear news, Netherlands aims to extend operation of Borssele plant, 20 October 2025.

التطورات في المعادن الحرجة

- ACWA power, NEOM Green Hydrogen Project.
- Australian Strategic Policy Institute, US and Australia deepen critical-minerals engagement to counter China, 5 November 2025.
- Center for Strategic and International Studies, China’s New Rare Earth and Magnet Restrictions Threaten U.S. Defense Supply Chains, 9 October 2025.
- Egypt Oil & Gas Group, Egypt to Launch its First Aerial Mineral Survey in Decades, 17 July 2025.
- Eye of Riyadh, Saudi Arabia values REE discoveries at SAR 375B, 23 Nov. 2025.
- Gulf News, US launches $1.8 billion fund with ADQ and Orion to secure critical minerals, 24 October 2025.
- International Resources Holding, International Resources Holding Advances UAE–Egypt Strategic Energy and Minerals Partnership, 1 September 2025.
- S&P Global, Oman signs three mineral exploration deals worth $500 million, 13 August 2025.
- USGS, Science for a Changing World, Interior Department Release Final 2025 List of Critical Minerals, 14 November 2025.
- The Guardian, Quad countries agree to diversify critical mineral supplies amid China concerns, 2 July 2025.

الطاقة الهجينة كحل مبتكر لمستقبل الطاقة المستدامة

- ACWA power, NEOM Green Hydrogen Project.
- Alternative Energy Projects Company, Bobyan Hybrid PV-GenSet Plant.
- Cofides, The Hassi r´mel Solar-Gas Hybrid Power Plant Officially Inaugurated in Algeria, 15 July 2011.
- Diversegy, Optimizing Power with Hybrid Energy Solutions: Merging Renewables, Storage, and Traditional Sources for Reliability, 19 December 2024.
- EDP Global, Hybrid Power Plants Gain Momentum in the Race Against Carbon Emissions, 5 December 2024.
- Emirates News Agency (WAM), ADNOC Drilling kickstarts 2024 operations with 2 hybrid rigs, 24 January 2024.
- Emirates News Agency (WAM),UAE President witnesses launch of world's first 24/7 Solar PV, Battery Storage giga scale project to be built in Abu Dhabi, January 2025.
- NEOM Green Hydrogen Company, World’s Largest Green Hydrogen Plant release first-ever footage after achieving more than 80% Construction, 9 September 2025.
- Power technology, EDPRNA opens 200MW solar energy park in California, 7 May 2025.
- PVTECH, installation milestone for ‘world first’ offshore PV+wind system, 21 May 2025.
- QatarEnergy signs contract with Samsung to build Dukhan Solar Power Plant, one of the world’s largest, 16 September 2025.
- Reglobal, MingYang starts construction of 2 GW hybrid renewable project in China, 17 November 2020.
- Renewables Now, Voltalia, TAQA to set up 3-GW wind-solar complex in Egypt, 15 November 2024.
- Scatec, Scatec starts construction of large scale first solar and battery storage project in Egypt, 5 May 2025.
- Shagaya, Shagaya Renewable Energy Park.
- Solar Power Europe, Embracing the benefits of hybrid PV systems, 26 March 2025.
- South China Morning Post, In China, world’s largest hybrid solar-hydro plant produces electricity on Tibetan Plateau, 26 June 2023.
- Transformer Magazine, China completes world’s first hybrid offshore wind-solar power plant, 7 November 2022.

الأمن السيبراني كركيزة لدعم التحول الرقمي في أنظمة الطاقة

- American Security Project, China’s Unseen Cyber Threat to Energy Security, 21 May 2025.
- BBC, US fuel pipeline 'paid hackers $5m in ransom', 14 May 2021.
- European Commission, Critical infrastructure and cybersecurity.
- European Commission, EU Preparedness Union Strategy to prevent and react to emerging threats and crises, 26 March 2025Wired, Inside the Cunning, Unprecedented Hack of Ukraine's Power Grid, 3 March 2016.
- Industrial Cyber, New US cybersecurity implementation plan for energy modernization rolled out, 2 January 2025.
- Mdpi Jornal, Digital Transformation in Energy Sector: Cybersecurity Challenges and Implications, 2024.
- Reuters, Saudi Aramco repairing damage from computer attack, 26 August 2012.
- The new York times, A Cyberattack in Saudi Arabia Had a Deadly Goal. Experts Fear Another Try, 15 March 2018.
- U.S. Department of Energy, Cybersecurity, The U.S. Department of Energy's 2024 Cybersecurity Strategy.
- العين الإخبارية، الإمارات تعتمد الاستراتيجية الوطنية للأمن السيبراني وسياسة واجهات التطبيقات الرقمية، 3 فبراير 2025.
- المنصة الوطنية، الأمن السيبراني في المملكة العربية السعودية.
- الهيئة العامة للاستعلامات المصرية، مصر والأمن السيبراني.
- الهيئة العامة للاتصالات وتقنية المعلومات – دولة الكويت، الأمن السيبراني والاستجابة للطوارئ.
- جريدة الرياض، فكر استراتيجي أمني متطور مرتبط بالتنمية، 17 ابريل 2023.
- سكاي نيوز عربية، الإمارات تطلق مركزا للتميز في الأمن السيبراني، 10 أبريل 2025.
- وكالة أنباء الامارات، الإمارات في الفئة الأعلى عالمياً للأمن السيبراني وفق تصنيف الاتحاد الدولي للاتصالات، 13 سبتمبر 2024.
- وكالة أنباء البحرين، مملكة البحرين ضمن المجموعة الأولى والأعلى عالمياً في مؤشر الأمن السيبراني العالمي (GCI) للعام 2024، 13 سبتمبر 2024.
- وكالة الأنباء القطرية، قطر في صدارة الدول في مؤشر الأمن السيبراني العالمي 2024، 13 سبتمبر 2024.
- وكالة الأنباء الكويتية، مجلس عربي يقرر مشروع استراتيجية للأمن السيبراني، 16 سبتمبر 2025.

المباني المنتجة للطاقة: حجر الأساس في منظومة الطاقة النظيفة والمستدامة

- ACEEE, Zero-Energy Buildings Are Focus of Growing Number of Energy Efficiency Programs, 30 September 2020.
- Bullitt Center, Net Positive Energy Over First Decade, 20 April 2023.
- Business Norway, Norway is pioneering energy-positive buildings, 27 March 2023.
- Clean Technica, Energy-Positive Buildings Give More Than They Take, Leaving The Planet Better Than Before Construction, December 2024.
- Egypt Independent, World's first net-zero energy mosque' is made with mud and solar panels, 29 September 2025.
- Egyptian Streets, Egypt to House the Middle East's First Net-Carbon Zero Skyscraper, 19 August 2024.
- gd&p magazine, 10 Net Zero Energy Building Examples Worth Emulating, 23 August 2024.
- gdn, NZ1, Masdar City, United Arab Emirates.
- GRESB, Net Zero Buildings: Leaders in Energy, Carbon, Water and Waste, 20 October 2020.
- Neom, The Line, The Future of Urban Living.
- Rolfdisch Solar Architektur.
- US. Department of Energy, A Common Definition for Zero Energy Buildings, 16 September 2015.
- Whole building design Guide, Net Zero Energy Buildings.
- World Resources Institute, 4 Levers to Help Scale Net-Zero Carbon and Resilient Housing, 24 September 2025.

الطاقة اللامركزية: تحول استراتيجي في بنية منظومات الطاقة الحديثة

- China Daily, Microgrids power China green energy transition, 20 May 2025.
- Clean Coalition, Microgrids across the United States.
- Egypt oil & gas, From Benban to Obelisk: Western Desert Fuels Egypt's Renewable Revolution, 22 October 2025.
- Electricity and Water Authority of Bahrain, Distributed Renewable Energy, 15 September 2025.
- Energy Capital and Power, Libya Commissions 1 MW Solar Power Plant in Kufra, 15 August 2025.

- Energy sustainability-directory, What Are the Key Challenges of Decentralized Energy Systems? 7 March 2025.
- Environmental and Energy Study Institute (EESI), The Department of Energy's Energy Improvements in Rural or Remote Areas (ERA) Program Supports Clean Energy Investments, 23 July 2024.
- European Commission, Energy communities enable collective and citizen-driven energy actions to support the clean energy transition.
- HOMER Microgrid News, Qatar Desert Farm is Powered by Renewable Energy Microgrid, 30 May 2023.
- International District Energy Association, Kuwait University and Siemens AG Partner to Launch Advanced Renewable Energy and Smart Technology Labs, 6 May 2024.
- Just Energy, Decentralization and Energy: What It Means for Our Future, 12 December 2023.
- Power Technology, Huawei completes construction of microgrid power station in Saudi Arabia, 11 September 2024.
- Price water house Coopers (PWC), Masdar City: The eco-oasis blueprint for sustainable cities, 10 November 2023.
- Renewable Energy World, Born from Disaster: Japan Establishes First Microgrid Community, 18 May 2015.
- united states environmental protection agency (EPA), Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts.
- World Economic Forum, These Dutch microgrid communities can supply 90% of their energy needs, 14 September 2018.

المحور الرابع: التطورات المتعلقة بتغير المناخ

- Centre for Environment and Development for the Arab Region and Europe (CEDARE), Analysis of the Key Outcomes of the United Nations Climate Change Conference – COP30, 1 December 2025.
- United Nations Climate Change, Outcomes Report of the Global Climate Action Agenda at COP 30, 21 November 2025, Advanced Unedited Version.
- UN Environment Programme, Global Colling Watch 2025, 11 November 2025.
- World Resources Institute, Beyond the Headlines: COP30's Outcomes and Disappointments, 25 November 2025.
- World Economic Forum, What happened at COP30 – and what comes next?, 2 December 2025.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)