دور الذكاء الاصطناعي في استدامة الطاقة المتجددة

ا.م.د جاسم وحواح شاتي الجياشي
قسم الجغرافية / كلية التربية للعلوم الانسانية / جامعة المثنى
jasim.aljayshi@mu.edu.iq

المستخلص

يهدف البحث الى اعتماد تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تطوير واستدامة الطاقة المتجددة وزيادة انتاجها من الطاقة الكهربائية والتنبؤ بحوث الاعطال او الظروف الجوية واجراء الصيانة الدورية والتخزين للطاقة المتولدة والزائدة عن الحاجة ، وشمل البحث بعض انواع الطاقة المتجددة لاسيما الطاقة (الشمسية ، الريحية ، المائية ، الجيوحرارية) ؛ كونها الطاقات الاكثر استخداماً في اماكن كثيرة متباينة جغرافياً من دول العالم ، واظهر البحث ان هناك تزايد نسبي لمؤشرات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقات المتجددة وصلت الى نسبة بلغت (22%)، وزيادة في الاستثمارات العالمية وصلت الى نسبة بلغت (1.34 تريليون دولار) في عام (2024) مع انخفاض تكاليف الصيانة بنسبة بلغت (40%)، ويتوقع ان يصل معدل النمو السنوي الى (25.6%) في سوق الذكاء الاصطناعي للمدة الزمنية (2024–2034) ، وان نسبة التطور نتيجة تطبيق الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة (الشمسية ، الريحية ، المائية ، الحيوية ، الجيوحرارية) وصلت الى (12% ، 15% ، 6% ، 14% ، 11%) لعام (2024) على التتالي ، واتضح اعتماد تطبيقات الذكاء الاصطناعي في العديد من البرامج التي لها صلة مباشرة بالدراسات الجغرافية في مجال الطاقة بصورة عامة والطاقة المتجددة بصورة خاصة ، وهذا بدوره يزيد من الانتاجية ، ويقلل التكاليف ويحافظ على موارد الطاقة المعتمدة ، وان نسبة اعتماده تزداد سنوياً ، وهذا بدوره يحقق التنمية المستدامة في مشاريع الطاقة المتجددة .

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي ، الشبكات الذكية ، الاستدامة ، الكفاءة ، الطاقة المتجددة .

The role of artificial intelligence in the sustainability of renewable energy

Jasim Wihoah Shati Aljayshi
Al-Muthanna University, College of Education for Humanities, Department of Geography, Iraq

Abstract

The research aims to adopt artificial intelligence applications in developing and sustaining renewable energy, increasing its production of electrical energy, predicting the occurrence of malfunctions or weather conditions, carrying out periodic maintenance, and storing the generated and surplus energy. The research included some types of renewable energy, especially solar, wind, water, and geothermal energy. Being the most widely used energy source in many geographically diverse countries around the world, research has shown a relative increase in the use of artificial intelligence in improving the efficiency of renewable energy, reaching a rate of (22%), and an increase in global investments reaching a rate of (1.34 trillion dollars) in (2024), with a decrease in maintenance costs of (40%). The annual growth rate is expected to reach (25.6%) in the artificial intelligence market for the period (2024-2034), and the rate of development resulting from the application of artificial intelligence in renewable energy (solar, wind, hydro, bio, geothermal) reached (12%, 15%, 6%, 14%, 11%) for the year (2024) respectively. It has become clear that artificial intelligence applications are being adopted in many programs that are directly related to geographical studies in the field of energy in general and renewable energy in particular. This, in turn, increases productivity, reduces costs and preserves the energy resources that are relied upon, and its adoption rate is increasing annually. This, in turn, achieves sustainable development in renewable energy projects.

Keywords: Artificial intelligence, smart grids , sustainability, efficiency, renewable energy.

التطور التاريخي للذكاء الاصطناعي

تطور الذكاء الاصطناعي تطوراً كبيراً منذ نشأته منتصف القرن العشرين، وانتقل من مرحلة البحث النظري الى التطبيق العملي في مجالات مختلفة ، ومع تزايد الآثار السلبية للتغير المناخي، وانعكاسها على تزايد استعمال الطاقة ، برزت الحاجة الى استثمار الذكاء الاصطناعي في استدامة مصادر الطاقة المتجددة ، وتعود فكرة الذكاء الاصطناعي إلى الحضارات القديمة ، اذ فكر الفلاسفة والحرفيون بإنشاء كائنات اصطناعية قادرة على محاكاة الذكاء البشري، وظهرت اولى الافكار عن الذكاء الاصطناعي ، عندما قدم ارسطو واقليدس اسساً للتفكير المنطقي الشكلي من خلال وصف عملية التفكير البشري كتلاعب ميكانيكي بالرموز[1: 22] ، واستخدم الاغريق والرومان المرايا الشمسية الحارقة لإضاءة المشاعل ، مما يمثل احد اقدم اشكال تسخير الطاقة المتجددة [2: 84] ، وبنى العالم الياباني ماكوتو نيشيمورا في عام(1929) اول روبوت يدعى Gakutensoku ، له القدرة على تحريك رأسه ويديه وتغيير تعبيرات وجهه[3: 133] ، ظهر اول برنامج للذكاء الاصطناعي Logic Theorist عام (1955) ، ومن ثم طوّره الين نيوهيل وهربرت سيمون عام (1929) ، بدأ اول روبوت صناعي Animate العمل في خط التجميع لشركة General Motors مما مثل بداية استخدام الذكاء الاصطناعي في البيئات الصناعية[4: 24] ، شهدت التسعينيات تقدم كبير في الذكاء الاصطناعي ؛ بفضل التطورات التكنولوجية وزيادة القدرة الحاسوبية وظهور تعلم الآلة كمجال فرعي للذكاء الاصطناعي، اذ طوّر آرثر صموئيل مصطلح تعلم الآلة عام(1929) اثناء العمل على برنامج للشطرنج ، زاد الاهتمام والاستثمار بالذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في العقد الاول من القرن الحادي والعشرين ؛ بسبب تطور اساليب تعلم الآلة ، وظهور اجهزة حاسوب فائقة القوة لها القدرة على توفر بيانات ضخمة ، واطلقت شركة Apple المساعد الافتراضي Siri عام(1929)[5: 20] ، وفي الوقت الحاضر اصبح الذكاء الاصطناعي جزءً اساسياً من حياتنا اليومية ، وركيزة اساسية لاستدامة الطاقة المتجددة .

يعرف الذكاء الاصطناعي(Artificial Intelligence ويرمز له AI) بأنه تطوير انظمة قادرة على محاكاة القدرات العقلية البشرية ، مثل التعلم ، وحل المشكلات ، واتخاذ القرارات ، بمعنى اخر تصميم آلات ذكية قادرة على اداء المهام التي تتطلب عادة ذكاء بشري ، ويستخدم في مجالات عديدة ومنها في جغرافية الطاقة .

مشكلة البحث: تتمحور بالتساؤلات الاتية :

1- هل للذكاء الاصطناعي دوراً في تطوير واستدامة الطاقة المتجددة ؟

2- كيف يمكن الاستفادة من الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة المتجددة ؟

3- ما التحديات التي تواجه الذكاء الاصطناعي في استدامة الطاقة المتجددة ؟

فرضية البحث: جاءت من خلال الاطلاع على بعض الدراسات والاحصائيات والمواقع الالكترونية كالاتي:

1- يُسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة المتجددة ؛ فعند تجميع كمية كبيرة من البيانات المتعلقة بإنتاج الطاقة ، يمكنه تحليل هذه البيانات واستخلاص المعلومات القيمة منها على سبيل المثال ، يمكن استعماله لتحليل بيانات الشمس والرياح ، وتحديد افضل الأماكن، والأوقات لتوليد الطاقة مما يُسهم في زيادة كفاءة واستدامة الموارد الطبيعية ، وتقليل التكاليف المرتبطة بإنتاج الطاقة .

2- يساعد الذكاء الاصطناعي في تطوير تقنيات تخزين بطريقة فعالة وآمنة للطاقة والتي تواجه تحدياً كبيراً ؛ من خلال تطوير نماذج تنبؤيه لتوقع الطلب على الطاقة ، وتنظيم عملية التخزين بشكل جيد ، فضلاً عن ذلك يمكنه تحسين تقنيات تخزين البطاريات للطاقة المتجددة ، والتحكم في انتاج الكهرباء .

3- يعزز الذكاء الاصطناعي الأمان والصيانة في تشغيل منظومات الطاقة المتجددة ، التي تحتاج لمراقبة وتحسين مستمرة ؛ لضمان السلامة ، وعدم حدوث أي اعطال ، ويمكن استعماله لتحليل بيانات اجهزة الاستشعار، ومراقبة اداء المنظومات ، والكشف المبكر عن أي مشكلات قد تحدث ، وهذا يُسهم في تقليل تكاليف الصيانة ، وزيادة كفاءة منظومات الطاقة المتجددة .

4- يحلل الذكاء الاصطناعي التوازن بين العرض والطلب على الطاقة المتجددة ، وتوقع الطلب المستقبلي لها ؛ فعند توليد الكميات الكبيرة من الطاقة المتجددة ، يمكن ان يتجاوز العرض الطلب عليها ؛ مما يقلل الهدر ويُسهم في تحسين استدامة نظم الطاقة ، **وهذا يسهم في تحقيق الهدف السابع من اهداف التنمية المستدامة (طاقة نظيفة ويأسعار مناسبة)** .

اهمية البحث: وتمثلت على النحو الاتي:

1- يعزز الاستدامة البيئية ، ويسهم في خفض تكاليف انتاج الكهرباء ، والوقود وتحسين الكفاءة ، وزيادة الانتاجية بشكل كبير .

2- معرفة اهم التطبيقات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، والتي لها دور كبير في استدامة الطاقة المتجددة.

3- يُسهم في تحويل الصناعة التقليدية للطاقة المتجددة الى صناعات متطورة مع تطور الذكاء الاصطناعي، الذي يساعد في تحسين الكفاءة التشغيلية ، والتنبؤ بالاستهلاك ، والادارة الفعالة لموارد الطاقة .

4- تحسين كفاءة نظم الطاقة المتجددة ، والتنبؤ بتقدير تكلفة استهلاكها ، مما يساعد على تقدير الطاقة المطلوبة ، وتخصيص الموارد اللازمة لها .

منهج البحث

اعتمد البحث على المنهج الاستقرائي في جانبه النظري من اجل استنتاج المفاهيم الاساسية والملاحظات الجزئية من خلال الاطلاع على الابحاث والدراسات والاحصائيات التي تفسر علاقة الذكاء الاصطناعي بالطاقة المتجددة ، ومن ثم بناء تصور عام ومتكامل عن استدامة الطاقة المتجددة ، فضلا عن المنهج التاريخي والمنهج التحليلي لبيانات ومعطيات البحث بما يحقق تكامل موضوع البحث مع النتائج .

حدود البحث

تضمنت حدود البحث المكانية دراسة انواع الطاقة المتجددة على مستوى العالم لا سيما بعض الدول الرائدة في انتاجها وتوزيعها الجغرافي واعتماد المعدل السنوي لأنتاج الطاقة المتجددة للمدة الزمنية من(2014-2024) مع التوقعات المستقبلية لزيادة الانتاج لعام (2034) بفعل استثمار تطبيقات الذكاء الاصطناعي.

علاقة الذكاء الاصطناعي بالطاقة المتجددة

اصبح الذكاء الاصطناعي اداة قوية لتعزيز كفاءة واستدامة قطاع الطاقة المتجددة ؛ ويمكن اعتبار الطاقة المتجددة متغيرا تابعاً والذكاء الاصطناعي متغيراً مستقلاً[6: 440] ، وشهد قطاع الطاقة المتجددة تحولاً كبيراً مع تطور الذكاء الاصطناعي، الذي اصبح عنصراً اساسياً في تحسين الكفاءة التشغيلية ، والتنبؤ بالاستهلاك والانتاج ، وتتيح تقنيات الذكاء الاصطناعي ، معالجة كميات هائلة من البيانات ، مما يمكن ان يساعد في تطوير حلول مستدامة وذكية لمشكلات الطاقة ، إذ يُسهم في تحويل الصناعة التقليدية للطاقة المتجددة الى صناعات متطورة ، عبر تحسين تخطيط انظمة الطاقة وتشغيلها وصيانتها ، يتضح من جدول(1) ، ان اجمالي الاستثمارات عالمياً في انواع الطاقات المتجددة بلغ(1.8) تريليون دولار، وبلغ سوق الذكاء الاصطناعي العالمي في الطاقة المتجددة الى (20.63) مليار دولار، وبنسبة اعتماد للذكاء الاصطناعي بلغت(42%) في مشاريع الطاقة المتجددة في العالم من قبل(52%) من الشركات الكبرى للطاقة المتجددة ، مما ادى الى زيادة كفاءة الطاقة المتولدة من(10–25)% ؛ بفعل استعمال الذكاء الاصطناعي ، مما اسهم بانخفاض تكاليف الصيانة الى(40%) ، فضلاً عن ذلك اسهم استخدام الذكاء الاصطناعي في ادارة الشبكات الذكية وزيادة كفاءتها الى اكثر من(55%) ، ويتوقع ان يصل معدل النمو السنوي الى(25.62%) لسوق الذكاء الاصطناعي من عام(2024) حتى عام (2034) .

جدول(1) المؤشرات والقيمة التقديرية لجهات الاستثمار المنفذة لمشاريع الطاقة المتجددة في العالم باستخدام الذكاء الاصطناعي لعام(2024)

المؤشر	القيمة التقديرية	مصدر الاستثمار
اجمالي الاستثمارات العالمية في الطاقة المتجددة	1.34 تريليون دولار	وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2024)
حجم سوق الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة العالمي	20.63 مليار دولار	International Energy Agency, 2024
الزيادة في كفاءة توليد الطاقة بفعل الذكاء الاصطناعي	%10– %25	MIT Energy Initiative, 2024
الانخفاض في تكاليف الصيانة عبر التنبؤ بالأعطال والصيانة	يصل الى 40 %	Siemens Energy AI Report, 2024
نسبة استخدام الذكاء الاصطناعي في ادارة شبكات الطاقة المتجددة الذكية	اكثر من55 %	World Economic Forum, 2024
معدل النمو السنوي المتوقع لسوق الذكاء الاصطناعي من 2024 -2034	% 25.65	International Energy Agency, 2024
نسبة شركات الطاقة المتجددة التي اعتمدت الذكاء الاصطناعي	% 52	ZIPDO Education Report, 2024
نسبة استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع الطاقة المتجددة من الشركات الكبرى	% 42	PwC Energy Report, 2024

المصدر: اعتماداً على International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Energy Statistics, 2024 ,Abu Dhabi: IRENA, 2025, P.296 .

وحسب المؤشرات المعتمدة من قبل الوكالة الدولية للطاقة في مجال الاستدامة والتنمية، يتضح من جدول(2)، ان هناك تحسن تدريجي في كفاءة الطاقات المتجددة ؛ نتيجة اعتماد تطبيقات الذكاء الاصطناعي ، اذ بلغت اعلى نسبة (22%) عام (2024) وبمؤشر اعتماد بلغ (81) مقارنة بعام (2020) والبالغة (7%) وبمؤشر اعتماد بلغ (48) .

جدول(2) مؤشرات الذكاء الاصطناعي ونسبة تحسين كفاءة الطاقة المتجددة في العالم للمدة(2020–2024)

السنة	مؤشر اعتماد الذكاء الاصطناعي من(0-100)	نسبة تحسين كفاءة الطاقات المتجددة%
2020	48	7
2021	55	10
2022	63	13
2023	72	18
2024	81	22

المصدر: اعتماداً على World Economic Forum, Smart grids and AI integration: Energy resilience for the future, Geneva WEFM, 2024 .

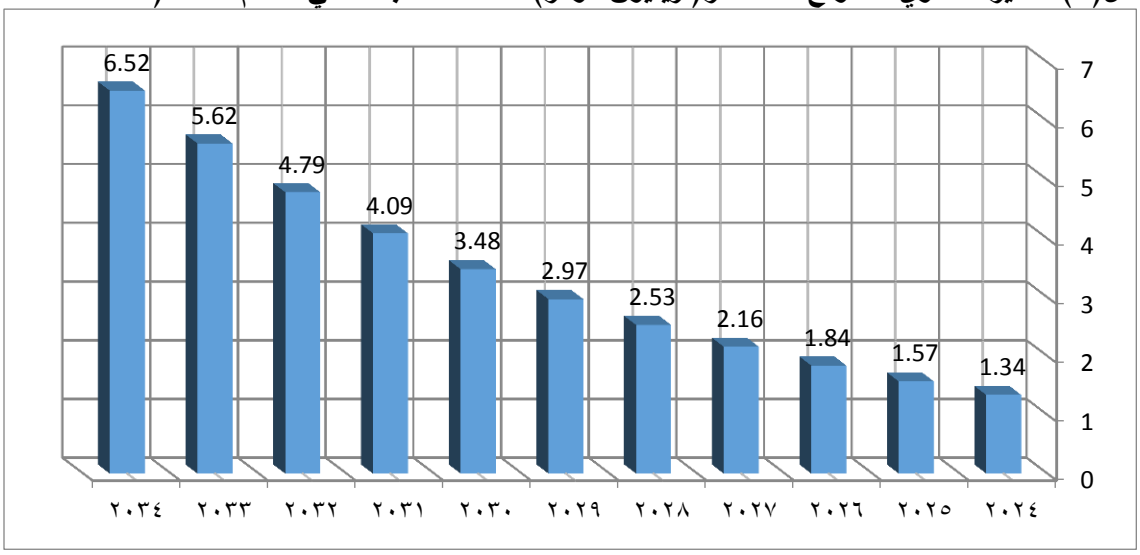
يتوقع للذكاء الاصطناعي ان يسهم في خفض استهلاك الطاقة العالمي بنسبة(10%) لعام(2034)، مما يحقق وفورات كبيرة في التكاليف ويقلل من انبعاثات الكربون ، ومن خلال تطبيق تقنيات مدعومة بالذكاء الاصطناعي، يمكن للشبكات الذكية تحسين كفاءة توزيع الطاقة بنسبة تتراوح بين(5–10%) ، مما يقلل من الفاقد ، ويعزز ادارة الموارد ، ومن المتوقع ان يلعب الذكاء الاصطناعي دورا كبيراً في تزايد سوق الطاقة المتجددة من(1.34) تريليون دولار في عام(2024) الى (6.52) تريليون دولار بحلول عام(2034) ، وبنسبة تغير سنوي بلغت(14.80%) ، اذ بلغ معدل التزايد السنوي العام (3.03) تريليون دولار، ومعدل نسبة التغير السنوي(14.72) ، جدول(3) ، شكل(1).

جدول(3) التزايد السنوي ونسبة التغير المتوقع لأنتاج الطاقة المتجددة في العالم للمدة (2024–2034)

السنة	التزايد السنوي تريليون دولار	نسبة التغير السنوي %
2024	1.34	-
2025	1.57	14.64
2026	1.84	14.67
2027	2.16	14.81
2028	2.53	14.62
2029	2.97	14.82
2030	3.48	14.65
2031	4.09	14.91
2032	4.79	14.61
2033	5.62	14.76
2034	6.52	14.80
المعدل السنوي	3.03	14.72

, p.294 .4Source : BP Statistical Review, of World Energy, 202

شكل(1) التغير السنوي المتوقع لأستثمار(تريليون دولار) الطاقة المتجددة في العالم للمدة (2024-2033)



المصدر: اعتماداً على جدول(3) .

اظهرت الابحاث امكانية استخدام الذكاء الاصطناعي في انظمة الطاقة المتجددة وزيادة فعاليتها وكفاءتها كما هو الحال مع تقنيات الواح الطاقة الكهروشمسية وتوربينات الطاقة الريحية والمائية ، مما يجعلها اكثر استخداماً واستداماً والتخفيف من تلوث محطات الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري ، ومن المتوقع ان يسهم الذكاء الاصطناعي بـ(15.7) تريليون دولار في الاقتصاد العالمي بحلول عام(2030) منها(320) مليار دولار من منطقة الشرق الأوسط وشمال افريقيا، و(135.2)مليار دولار من السعودية تحديداً بحسب شركة ماكنزي، ويعكس هذا النمو الاقتصادي قدرة الذكاء الاصطناعي على تحسين ادارة الموارد ، وتعزيز الكفاءة التشغيلية ، وفتح فرص جديدة في مختلف القطاعات[7: 2024] .

يعزز الذكاء الاصطناعي كفاءة الطاقة الشمسية بنسبة (20%) من خلال تحسين وتركيب الالواح المتتبعة لحركة الشمس، وتجاوز الاستثمارات في الطاقة الشمسية (200) مليار دولار في عام (2024)، واصبحت حصة الطاقة الشمسية (2.5%) من اجمالي الطاقة المستخدمة عالمياً ، وازدادت كفاءة الخلايا الشمسية السليكونية الى 27.1%، وبلغ انتاج الطاقة الشمسية في الصين ما يزيد على(610) كيكاواط عام(2023) [8: 204]، أي ما يقرب من(43%) من اجمالي الإنتاج العالمي للطاقة الشمسية ، وبفارق كبير عن الطاقة الإنتاجية التي سجلتها الولايات المتحدة الأميركية في نفس العام والبالغة(129 كيكاواط) ، بلغت تكلفة صناعة الالواح الشمسية في الصين ما يتراوح بين(16-18.9)سنت/واط من قدرة التوليد ، مقابل(24.3-30) سنت للشركات الاوروبية ونحو(28) سنتا للشركات الأميركية[9: 440] ، فضلاً عن ذلك اسهم الذكاء الاصطناعي في تطوير بعض البرامج المهمة في مجال الطاقة المتجددة ، ويوضح تقرير وكالة الطاقة الدولية ان الذكاء الاصطناعي يقدم لقطاع الطاقة حالياً اكثر من(50) برنامج وتطبيق بقيمة(13) مليار دولار اغلبها تعمل على تحسين التنبؤ بالعرض والطلب ، واغلب هذه البرامج ترتبط بالدراسات والابحاث الجغرافية[10: 2025] ، جدول(4) .

جدول(4) بعض البرامج التي تعمل بالذكاء الاصطناعي ولها صلة بالدراسات الجغرافية

ت	اسم البرنامج	وظيفته
1	برنامج Solar GIS	يساعد على تحديد المواقع المثالية لمحطات الطاقة الشمسية ، بالاعتماد على بيانات الإشعاع من الأقمار الصناعية مع معلومات التضاريس ، ربط المعلومات المكانية بالتوزيع الامثل للمواقع المختارة والنمذجة المكانية لها
2	برنامج FlyPix AI	برنامج مدعوم بالكامل بالذكاء الاصطناعي ؛لاختيار مواقع الطاقة المتجددة بالاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية ، والطائرات بدون طيار، وأنظمة تحديد الرؤية بدقة، ويوفر حلول سريعة ، وقابلة للتنفيذ ؛ لتحديد المواقع الأمثل لمشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية
3	برنامج PVsyst	النمذجة المكانية للطاقة ، وعرض النتائج لمحطة الطاقة الشمسية من الطاقة المتولدة ، والخسائر الناتجة ، وضبط زاوية ميل الخلايا الشمسية ، وزاوية سمت الرأس ، واعطاء تفاصيل العاكس
4	برنامج Enercast Wind Site	يختار مواقع طاقة الرياح بالاعتماد على بيانات الأرصاد الجوية ، والتحليلات التنبؤية لتحديد المواقع ذات الإمكانات العالية للطاقة الريحية ، ويحلل سرعات الرياح، والظروف الجوية، وسهولة الوصول إلى الموقع، مع التركيز على الجدوى الفنية والتشغيلية
5	برنامج Resift Wind Farm	متخصص في اختيار مواقع طاقة الرياح ، ويستخدم بيانات سرعة الرياح ، والتحليل الطبوغرافي، والقيود البيئية ؛ لتقييم المواقع المحتملة، مما يضمن جدوى المشاريع من الناحية الفنية ، ومطابقتها للمعايير البيئية ؛ لإنتاج الطاقة والجدوى المالية
6	برنامج Envision Digital SiteSuit	يصمم ويختار مواقع الطاقة المتجددة ، تستخدم الذكاء الاصطناعي ، والتحليلات الجغرافية المكانية ؛ لتقييم مواقع مشاريع الطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، ويوفر نمذجة تنبؤيه ؛ لإنتاج الطاقة ، والمخاطر الخاصة بالموقع، مثل الاضطرابات المتعلقة بالطقس ، أو استعمالات الارض
7	برنامج DNV Renewables Siting	يدعم اختيار مواقع مشاريع الطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، والطاقة الهجينة المتجددة ، ويقوم بالنمذجة المتقدمة وبيانات جغرافية مكانية لتقييم إمكانات الموارد، والقيود البيئية، والجدوى الفنية
8	برنامج AWS Truepower	يصمم مواقع الطاقة المتجددة لا سيما مشاريع طاقة الرياح ، والطاقة الشمسية ، ويوفر خرائط مفصلة ، ويقدر الطاقة المنتجة ، ويقيم المخاطر وتقييمات للمخاطر، ويساعد على تحديد المواقع التي ؛ تحقق أفضل توازن بين الإنتاجية والتطبيق العملي
9	برنامج Energy 3D programme	تحليل الطاقة ، ومحاكة الأحمال الحرارية لواجهات الخلايا الشمسية ، واستخرج الزوايا المحددة لموقع قرص الشمس (زاوية ارتفاع الشمس وزاوية سمت الرأس وزاوية البعد الافقي) ، واستخراج المدة الزمنية للسطوع الشمسي النظري خلال ايام الرصد ، ولجميع فصول السنة ، وبناء قاعدة بيانات للسطوع ، والزوايا الشمسية
10	برنامج NearMap Solar	يهتم باختيار المواقع اعتماداً على الصور الجوية عالية الدقة ، وتحليلات متقدمة لتحديد المواقع المثالية لمشاريع الطاقة الشمسية ، ويوفر أدوات لتحليل الاشعاع الشمسي ، والظلال وخصائص التضاريس، مما يساعد المستخدمين على تحسين تصميمات المواقع؛ لتحقيق أقصى إنتاج للطاقة، ويدعم التكامل مع برامج التصميم، ويوفر تقارير قابلة للتصدير توضح ظروف الموقع بالتفصيل
11	برنامج SWOT	تحليل الطاقة الكهروشمسية ، وبيان نقاط القوة ، والضعف في النظام الايكولوجي ، ومواقع الطاقة النظيفة لاسيما الشمسية والريحية
12	برنامج GPS	تحديد المواقع الجغرافية العالمية لأبراج الطاقة الريحية ، او مواقع المنظومات الشمسية ، واعداد نماذج مرتبطة بالصور ، والخرائط ، والمعلومات المناخية
13	برنامج Autodesk Ecotect Analysis	اداة تحليلية تسمح بمحاكاة المباني ، ويقدم تحليلات الطاقة ، والحرارة ، والاضاءة ، والضلال ، تتضمن واجهة البرنامج ادوات إدخال المعلومات ، ويتم تصدير ملفات ، او مخرجات البرنامج إلى برامج اخرى ، ويعطي إمكانات تحليلية ، وحسابية هائلة ، وخاصة في مجال دراسة الإشعاع الشمسي ، ويحتوي على ادوات تحليلية خاصة به ، وعن طريقه يمكن دراسة مسار حركة الشمس الظاهرية بالنسبة للمبنى ، وتصميم واجهاته ؛ وفقاً لهذه الحركة

14	برنامج LandGate Solar Siting	يساعد على تحديد المواقع المثلى للطاقة الشمسية ، من خلال دمج تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، مع بيانات استخدامات الارض ، ويقدم صورة واضحة عن جدوى الموقع
15	برنامج Prospect PVcase	يختار مواقع الطاقة الشمسية ، وتقييم إمكانات موارد الطاقة الشمسية ،والظروف الخاصة بالموقع

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على الموقع الالكتروني https://flypix.ai/ar/renewable-energy-site-selection-tools

فوائد الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة

يمثل الذكاء الاصطناعي ثورة معرفية ، وتقنية اثرت بشكل مباشر في جميع انواع الطاقة المتجددة ؛ كونها اكثر القطاعات حاجة إلى التطوير والتحسين المستمر؛ نتيجة الطلب المتنامي على الطاقة ، ويقدم الذكاء الاصطناعي فوائد عديدة في تطوير واستدامة الطاقة المتجددة ، جدول(5) ، ويمكن استعراض اهمها كالاتي:

جدول(5) اهم مجالات وفوائد تطبيق الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة

مجال الطاقة	نوع الذكاء الاصطناعي المستخدم	الميزة	الفائدة الاساسية
التنبؤ بإنتاج الطاقة الشمسية	الشبكات العصبية العميقة (Deep Learning)	الاستدامة والكفاءة	زيادة دقة التنبؤ بنسبة20%–30% ويسهل تكامل مصادر الطاقة المتجددة
ادارة الطاقة الريحية واتجاهاتها	خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning)	التحسين	يسهل توجيه التوربينات لرفع الإنتاج
صيانة انظمة الطاقة	الذكاء التنبؤي (Predictive AI)	وفورات التكاليف	تقليل تكاليف الأعطال وهدر الطاقة
ادارة الأحمال الكهربائية	الذكاء المعرفي (Cognitive AI)	الموثوقية	تحسين استقرار الشبكة وموازنة العرض والطلب في الشبكات الذكية
التخزين الذكي للطاقة المتجددة	الخوارزميات التطورية (Evolutionary algorithms)	الكفاءة والتطوير	تحسين عمر البطاريات وكفاءتها

المصدر: اعتماداً على Ahmed, M., & Lee, J. , Optimizing renewable energy systems through artificial intelligence, A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 181, 2023, p.113–129.

1- زيادة كفاءة الانتاج وتوفير التكاليف

تشكل معالجة الكميات الهائلة من البيانات الحالية ، او السابقة تحدياً لقطاع الطاقة ، اذ يُسهل الذكاء الاصطناعي تحليل بيانات الموقع ، والطقس بشكل مستمر واسرع من العقل البشري ، او تخطيط واختيار افضل المواقع لنصب محطات الطاقة المتجددة، التي تحقق اعلى معدلات الاستفادة من الطاقة الشمسية والطاقة الريحية وتحديد افضل الاستراتيجيات ، والطرق لتوليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية المنتجة ، ويعمل الذكاء الاصطناعي على زيادة كفاءة انتاج الطاقة المتجددة بنسبة تصل الى(20–25%)[345:11]، وتستخدم خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بالإشعاع الشمسي، وسرعات الرياح بدقة عالية ، مما يمكن مشغلي المحطات من تحسين الانتاج ، اما خفض النفقات التشغيلية ، فهي ميزة رئيسة اخرى لحلول الطاقة المتجددة المرتبطة بالذكاء الاصطناعي القادر على الكشف المبكر عن الاضرار، او الاعطال ، ومعالجة المشكلات قبل تفاقمها ، وتقليل فترات التوقف ، واجراء الصيانة الوقائية التي تقلل من تكاليف الصيانة بنسبة (30–35%) وفقا لدراسة مركز ترينذز[35:12] ، مما يطيل عمر البنى التحتية ، ومن ثم يجعل الطاقة المتجددة اكثر جدوى اقتصادية للمنتجين والمستهلكين .

2- تحسين توقعات انتاج الطاقة واستقرار الشبكة

تلعب تقنيات الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في تعزيز دقة توقعات انتاج الطاقة المتجددة ذات المصادر المتقطعة ، مثل: الطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، فعند تحليل بيانات الطقس والظروف البيئية لمكان المحطة ، وتاريخ الطلب على الطاقة ، يمكن للذكاء الاصطناعي التنبؤ بمستويات الانتاج بدقة اكبر تصل الى(92%) في بعض مشاريع الطاقة الشمسية ، والريحية عن طريق تحليل البيانات المناخية القديمة ، والحديثة للموقع الجغرافي المطلوب[202:13] .

3- تقليل المخاطر التشغيلية وزمن التوقف

يتطلب الحفاظ على سلامة الاشخاص والمنشأة مراقبة مستمرة ، اذ تركز تطبيقات الذكاء الاصطناعي للطاقة المتجددة على سلامة مكان العمل من خلال ، التحليل الفوري لبيانات المستشعرات ، ورصد اي خلل قد يؤدي الى اعطال في الاوقات العادية ، او ظروف خطرة ، ثم تترجم التنبيهات الآلية ، وتقييمات المخاطر التنبؤية الى تدابير استباقية ، مما يقلل الحوادث ، واوقات التوقف بنسبة تصل الى(70%)[453:14] .

4- تخصيص واستدامة موارد الطاقة المتجددة واعتمادها بشكل أفضل

ان تخطيط موارد الطاقة غير المتجددة ، والاستخدام الامثل لها ؛ تساعد خفض انبعاثات الكربون ، وتقليل الأثر البيئي ، ويتم ذلك من خلال اتمته القرارات ، وخفض الانتاج خلال فترات انخفاض الطلب ، وفي الوقت نفسه تعطي الأولوية ؛ لمصادر الطاقة النظيفة في خلق منظومة طاقة اكثر استدامة مع فرصة لزيادة الإنتاجية بنسبة تصل الى(25%) ، ويتطلب توسيع نطاق الطاقة المتجددة ؛ عملية دمجها في منظومات الطاقة المعتمدة حالياً ، اذ يسهم الذكاء الاصطناعي في هذا التحول والتسارع ، ويحسن ادارة الشبكة ، ويُؤتمت تداول الطاقة ، ويحسن اداء الشبكات الصغيرة ، وتخزين الطاقة بطرق مختلفة .

5- التنبؤ بالصيانة

يعد التنبؤ بمواعيد الصيانة احد التطبيقات الرئيسة في مجال الذكاء الاصطناعي ، التي تقوم بمراقبة اداء محطات الطاقة ، وتحليلها باستمرار؛ لتحديد الأخطاء المحتملة في وقت مبكر، وتعمل برامج الذكاء الاصطناعي على تحديد الوقت المناسب لصيانة محطات الطاقة الشمسية ، والريحية ، والمائية عن طريق مواجهة المشكلات الناتجة في تطبيق جدول زمني منتظم ؛ لغرض تنفيذ الصيانة في وقت مبكر جداً ، او وقت متأخر.

6- ادارة وتطوير الشبكات الذكية

يؤدي الذكاء الاصطناعي دوراً حيوياً في تطوير الشبكات الذكية (استخدام التقنيات لإدارة واستهلاك الطاقة بكفاءة واستدامة كبيرة) ؛ وتستعمل الشركات في الوقت الحالي لوغاريتمات ، ونماذج تنبؤيه للذكاء الاصطناعي لتقدير آثار تغيرات الطقس على احمال الشبكة الكهربائية ؛ لتحديد حجم الإنتاج والاستهلاك ، لا سيما في مواسم ذروة الطلب على الطاقة الكهربائية (الصيف والشتاء) ، ومنع انقطاعها او حصول نقص فيها، او الانتاج المتذبذب من الطاقة (الشمسية او الريحية او المائية) ، وتحقيق التوازن بين توليد الطاقة والطلب عليها ، ويعد اساسياً لدمج مصادر الطاقة المتجددة مثل: الطاقة الشمسية ، والطاقة الريحية في البنية التحتية للطاقة ، ويقلل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري ، ويخفض انبعاثات الملوثات الغازية .

7- تعزيز تخزين الطاقة وادارة البطاريات

يعد تخزين الطاقة احد التحديات الرئيسة للطاقة المتجددة ؛ بسبب تقلب الإنتاج ، اذ يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة تخزين الطاقة عبر النمذجة التنبؤية ، اي توقع الطلب على الطاقة ، وتحديد اوقات الشحن ، والتفريغ الأمثل وادارة البطاريات ، وتقوم تطبيقات الذكاء الاصطناعي على قراءة ، وتحليل حجم كبير من البيانات في وقت قصير وتكلفة منخفضة ؛ ويوازن الاحمال في اوقات الذروة ، وخارج اوقات الذروة ، خلال ساعات اليوم او الموسم ؛ للحصول على نتيجة تنبؤيه للانقطاعات المحتملة للطاقة الكهربائية ، واجراء الصيانة ، ومما يزيد عمر البطاريات[89:15] ، وتستخدم شركة تسلا(Tesla Power wall) انظمة مدعومة بخوارزميات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالطلب على الطاقة، وتحديد اوقات الشحن المناسبة والتفريغ الأمثل لها ، مما يحسن كفاءة عمل البطاريات بنسبة تصل الى(30%) [211:16] .

دور الذكاء الاصطناعي في استدامة الطاقة المتجددة

تسهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجال التصميم ، والتحسين والإدارة والتقدير والتوزيع وصنع السياسات واجراء الصيانة التنبؤية ، ويتم تطبيقها في اغلب انواع الطاقة المتجددة ، ويتم التركيز في هذا البحث على بعض انواع الطاقة المتجددة وهي (الطاقة الشمسية وتقنيات الخلايا الكهروضوئية ، تحسين توربينات الطاقة الريحية ، الطاقة الكهرومائية ، طاقة الحرارة الارضية) ، ويتضح من جدول(6) ، ان هناك تحسن نسبي في بعض انواع الطاقة المتجددة حسب مؤشرات الذكاء الاصطناعي لعام(2024) ، اذ بلغت نسبة التحسن(12%، 15 % ، 6%، 15%، 12%) في الطاقة (الشمسية ، الريحية ، المائية ، الحيوية ، الجيوحرارية) على التتالي بعد استخدام الذكاء الاصطناعي وبمؤشر كفاءة ارتفع الى(90 ، 85 ، 88 ، 80 ، 87) على التتالي ، وتعد الصين من ابرز الدول التي دمجت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مشاريع الطاقة المتجددة لاسيما الطاقة الشمسية بنسبة (60%) ، اما امريكا فكانت نسبتها (55%) في مشاريع الطاقة الريحية ، والمانيا بنسبة (55%) والامارات بنسبة (48%) ، والهند بنسبة (43%) ، جدول(7) .

جدول(6) نسبة تحسين كفاءة الطاقات المتجددة في العالم قبل وبعد استخدام الذكاء الاصطناعي لعام(2024)

نوع الطاقة المتجددة	مؤشر كفاءة الطاقة قبل استخدام الذكاء الاصطناعي من(0-100)	مؤشر كفاءة الطاقة بعد استخدام الذكاء الاصطناعي من(0-100)	نسبة التحسن %
الطاقة الشمسية	78	90	12
الطاقة الريحية	70	85	15
الطاقة المائية	82	88	6
الطاقة الجيوحرارية	75	87	12
الكتلة الحيوية	65	80	15

المصدر : اعتماداً International Energy Agency, World Energy organization 2025, Paris: IEA. , Retrieved from https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025

جدول(7) التوزيع الجغرافي لأبرز الدول التي تستخدم الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة لعام(2024)

اسم الدولة	نسبة استخدام الذكاء الاصطناعي%	ابرز المشاريع
الصين	60	مشروع State Grid الذكي لإدارة الطاقة الشمسية
الولايات المتحدة	55	Google Deep Mind لإدارة مزارع الرياح
المانيا	52	مشروع Siemens Smart Grid System
الهند	43	مشروع مبادرة AI4Energy
الامارات	48	مشروع نور للطاقة الشمسية

المصدر: اعتماداً على International Energy Agency, Energy and AI: Executive Summary, Paris IEA. 2024, Retrieved from: https://www.iea.org/reports/energy-and-ai

اولاً:- الطاقة الشمسية

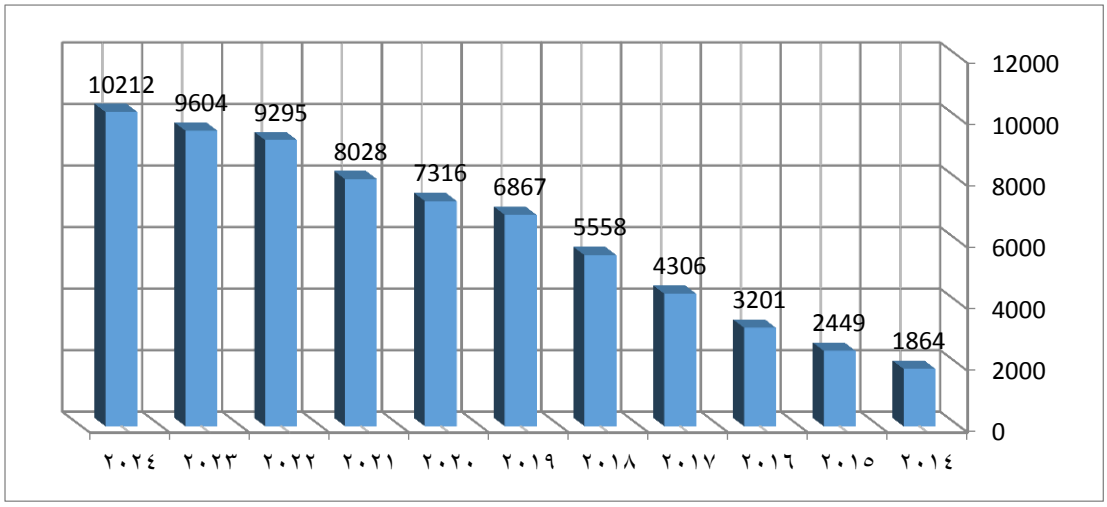
تساهم الطاقة الشمسية بنسبة(2.5%) من الانتاج الطاقة العالمي الكلي ، وبمعدل سنوي بلغ (6048.8 كيكاواط) وبمعدل نسبة تغير سنوي(15.21%) ، ويزداد انتاج الطاقة الكهروشمسية(1864 كيكاواط) من عام (2014) ولغاية عام (2024) والبالغة (10212 كيكاواط) وبنسبة تغير سنوي (5.95%) ، جدول(8) ، شكل(2) ، اما اعلى دول العالم انتاجاً للطاقة الكهروشمسية الصين بلغ (254.4 ميكاواط/ساعة) ، وتليها الولايات المتحدة واليابان بكمية انتاج بلغت (75.6 ، 67) ميكاواط/ساعة على التتالي، جدول(9) ، ويمكن ان يعزز الذكاء الاصطناعي زيادة الانتاج ، واستدامة كفاءة محطات الطاقة الشمسية ، وعلى النحو الاتي[2024:17] :

8) انتاج العالم من الطاقة الشمسية للمدة (2014-2024)

السنة	الانتاج (كيكاواط)	نسبة التغير السنوي%
2014	1864	-
2015	2449	23.88
2016	3201	23.49
2017	4306	25.66
2018	5558	22.25
2019	6867	19.06
2020	7316	6.13
2021	8028	8.86
2022	9295	13.63
2023	9604	3.21
2024	10212	5.95
المعدل السنوي	6048.8	15.21

المصدر: اعتماداً على الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser

شكل(2) انتاج العالم من الطاقة الشمسية للمدة (2014-2024)



المصدر: اعتماداً على جدول(8) .

جدول(9) التوزيع الجغرافي لأهم دول العالم في انتاج الطاقة الشمسية لعام(2024)

ت	اسم الدولة	الانتاج بالالف (ميكاواط/ساعة)
1	الصين	254.4
2	الولايات المتحدة	75.6
3	اليابان	67
4	المانيا	53.8
5	الهند	39.2
6	ايطاليا	21.6
7	استراليا	17.6
8	فيتنام	16.5
9	كوريا الجنوبية	14.6
10	اسبانيا	14.1
المجموع		574.4

المصدر: اعتماداً على احصاءات الطاقة التابعة لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://data.albankaldawli.org/indicator/EG.ELC.RNWX.KH

1- تعزيز كفاءة الالواح الشمسية وزيادة انتاجها

يتفوق الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات المعقدة لزيادة انتاج الطاقة الشمسية ، اذ يأخذ بالاعتبار عوامل مختلفة، مثل تقلبات الطقس، وكميات الطاقة المستهلكة، وحتى البيانات اللحظية ، لتحقيق افضل اداء للمنظومات الشمسية ، اذ قامت شركة جنرال الكتريك الرائدة في قطاع الطاقة الشمسية ، بدمج انظمة مراقبة الطاقة المتجددة بالذكاء الاصطناعي ، وتقدير الطلب على الطاقة ، وزيادة كفاءة عمل الالواح ، وكفاءة العاكس وتحسين التصميم الهيكلي للمنظومات الشمسية ، ويمكن لمنظومات الطاقة الشمسية التي تستخدم الذكاء الاصطناعي، ضبط اتجاهات الالواح ، وتتبع ضوء الشمس لتحقيق اقصى قدر من الكفاءة تصل الى(20%) .

2- التحليلات التنبؤية

يعزز الذكاء الاصطناعي كمية الطاقة الكهروشمسية عبر تقنية التحليلات التنبؤية لتقلبات الطقس ، اذ يمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي استخدام الصور للتحقق من كمية الغيوم فوق مزرعة شمسية وجمع البيانات الحالية او

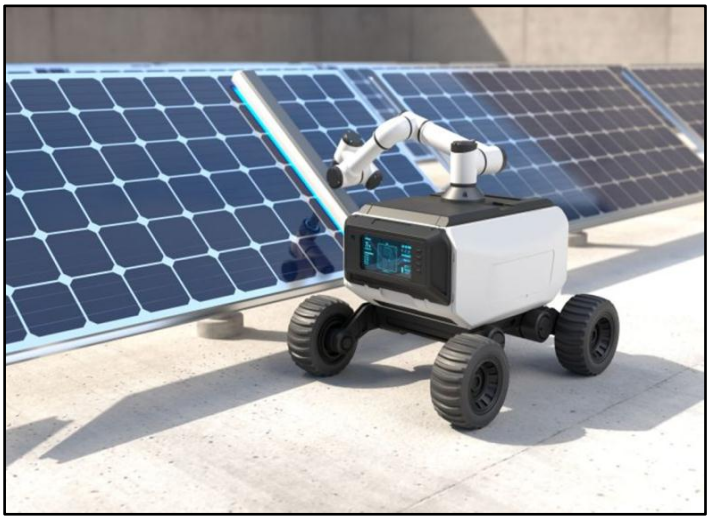
السابقة لدرجة الحرارة والامطار والرطوبة ، للتنبؤ بكمية الطاقة التي ستنتجها مزرعة الطاقة الشمسية ، ويساعد في تخطيط وادارة امدادات الطاقة لجعل مزرعة الطاقة الشمسية اكثر كفاءة وموثوقية في توليد الطاقة على اساس تحليل تأثير عناصر الطقس .

3- الصيانة التنبؤية

يمثل دور الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية نقلة نوعية ، اذ تستطيع خوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال المحتملة او احتياجات الصيانة ، ولا يقتصر هذا النهج الاستباقي على توفير الوقت، بل يمكن ان يطيل عمر وكفاءة المنظومات الشمسية ، ويمكن الاعتماد على صور الاقمار الصناعية وتحليلها باستخدام الرؤية الحاسوبية ومعالجة المشاكل بشكل صحيح ، وكذلك يمكن للطائرات المسيرة المزودة بكاميرات ذات دقة تصوير عالية والمزودة ببرامج العاملة بالذكاء الاصطناعي ، ان تحدد العيوب او الأعطال التي تلحق بالألواح الشمسية ، مثل الشقوق او تراكم الغبار والاعشاب والرواسب وكشف الألواح غير المتناسقة او اسلاك الربط غير الصحيحة في وقت مبكر، مما يوفر الوقت والجهد والمال بما يضمن استمرار قدرتها التوليدية بأقصى كفاءة وفاعلية ممكنة ، صورة (1) ، في حين يمكن استثمار الروبوتات الالية في مراقبة عمل وتنظيف الالواح الشمسية ، مثلا في استراليا ، ساهمت الروبوتات في خفض تكاليف تركيب الالواح الشمسية الى(1 دولار/ واط) بعد التركيب الكامل ، مقارنة بـ(1.5-2 دولار) في الطرق التقليدية ، فضلاً عن ذلك تستخدم الروبوتات لأتمته عمليات الترتيب ، التركيب ، والتوصيل ، مما يقلل الاعتماد على العمالة البشرية ويزيد الدقة ، صورة (2) .

صورة(1) الطائرات المسيرة بالذكاء الاصطناعي

صورة(2) الربورتات الالية تعمل بالذكاء الاصطناعي



المصدر: اعتمادا على الموقع الالكتروني https://arabic.alibaba.com/g/solar-panel-cleaning-drone.html

4- تحسين اداء بطاريات خزن الطاقة الشمسية

يُستعمل الذكاء الاصطناعي كذلك في تحسين حلول تخزين الطاقة الشمسية ؛ لمواجهة النقص في الطاقة الكهربائية ، اذ يُحسن الذكاء الاصطناعي عمر بطارية الليثيوم من خلال تحليل دورات الشحن ، والتفريغ ، وتقلبات الطقس، مما يُعزز كفاءة بطاريات الخزن وعمرها الافتراضي ، عن طريق تحليل البيانات ذات الصلة بإنتاج الطاقة الشمسية واستهلاكها ، والوقوف على افضل السبل واكثرها ملائمة في التخزين، واتاحتها عند الحاجة ، وخفض الحاجة

لوجود كهرباء احتياطية مولدة من المصادر غير المتجددة ، وهذا بدوره يساعد على استدامة الطاقة المتجددة ، وتنافسها مع مصادر الطاقة التقليدية ، ويسرع اكثر وتيرة التحول نحو اعتمادها بشكل رئيس .

5- ادارة ومراقبة والتحكم الالي في المزارع الشمسية والتغلب على التحديات واغتنام الفرص

يتحكم الذكاء الاصطناعي في عمل منظومات الطاقة الشمسية ، بدءاً من ضبط زوايا الألواح والتحرك المحوري والعمودي للمنظومة الشمسية ، والتتبع لحركة الشمس الظاهرية ، ووصولاً الى مراقبة سلامة المنظومة الياً وآنياً والتحكم عن بعد ، اذ يمكن للمستخدمين تلقي تحديثات فورية حول اداء المنظومة الشمسية ، مما يضمن التشغيل الأمثل وترشيد الاستهلاك، واعتمادها على نطاق اوسع ، فضلاً عن الاتمتة في بعض العمليات الاساسية التي توفر تكاليف العمالة ، ويعزز الدقة والكفاءة في ادارة منظومات الطاقة ، كما هو الحال في مشروع محمد بن راشد ال مكتوم في الامارات المدعوم بالذكاء الاصطناعي لإدارة محطة الطاقة الشمسية ، صورة (3) ، او المدينة الشمسية الصينية في مقاطعة ديزو بمساحة (75000م^2) التي تعمل بالذكاء الاصطناعي، صورة (4) .

6- تصنيع وتصميم الالواح الشمسية

يشكل الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في صناعة الألواح الشمسية بدءً من تحسين خطوط الإنتاج ، وصولاً الى جودة المنتج ، وتضمن تطبيقات الذكاء الاصطناعي ؛ اقتراح تعديلات في تصميم الخلايا ؛ لغرض استلام وانتاج الطاقة ، وبمعايير وكفاءة اعلى ، وبتكلفة اقل .

صورة (3) مجمع شمسي يعمل بالذكاء الاصطناعي

صورة(4) مدينة ديزو الشمسية تعمل بالذكاء الاصطناعي

المصدر: اعتماداً على الموقع https://www.mbrsic.ae/ar والموقع https://arabic.rt.com/rtonline/video/1705244-%D8

7- تكامل الطاقة المتجددة مع الشبكات الذكية

يُعد دمج الطاقة الشمسية في الشبكات الذكية ؛ مجالاً يبرز فيه دور الذكاء الاصطناعي كثيراً ، اذ يسمح بتوزيع طاقة اكثر كفاءة ، ويوازن بين العرض والطلب ، ويضمن التكامل مع شبكات الطاقة الذكية ؛ بشكل اكثر استقراراً وموثوقية ، ويحلل اجمالي احتياجات الطاقة ، وامكانات انتاج الطاقة الشمسية ؛ لتصميم منظومات شمسية تلبي الحاجة المتزايدة من الطاقة الكهربائية .

8- توليد الطاقة الشمسية الفضائية

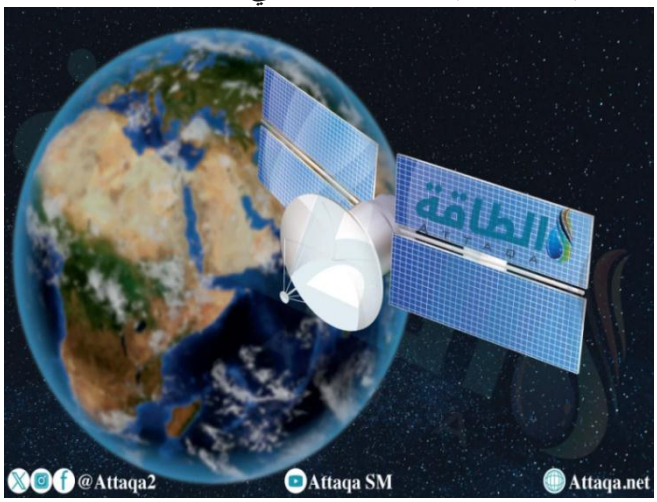
تعد فكرة ارسال مصفوفات شمسية الى الفضاء تولد الطاقة ، وترسلها الى الارض عبر موجات الميكروويف حاضرة منذ اكثر من(50) عاما ، اذ اعلنت وكالة الفضاء اليابانية جاكسا عن خطط ، لإنشاء مزرعة للطاقة الشمسية

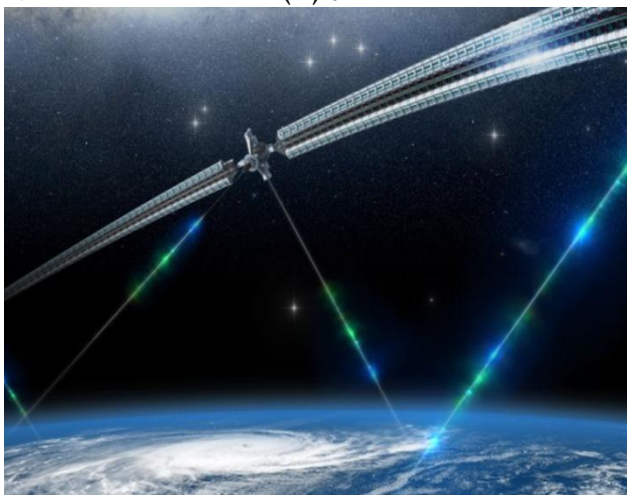
على نطاق تجاري في الفضاء بحلول عام(2028) ، وتسعى وكالة الفضاء الأوروبية الى تطوير مشروع مشابه من خلال برنامج سولاريس، ويمثل النجاح الاخير للمشروع الصيني التجريبي للطاقة الشمسية الفضائية عام (2019) اول نموذج ناجح على الاطلاق ، يعتمد تطبيقات الذكاء الاصطناعي ؛ لجمع الطاقة الشمسية من الخلايا الشمسية في الفضاء ، وارسالها مرة اخرى الى الارض وعلى ارتفاع (36000 كم) وبعرض (1كم) لتوليد (100) مليار كيلوواط من الطاقة سنوياً ، وتوضع في مدار جغرافي ثابت ، اي انها ستبقى دائماً فوق نفس النقطة على سطح الارض ، ما يضمن استمرارية استلام الاشعاع الشمسي دون انقطاع ، صورة (5) ؛ لتحقيق اهداف الحياد الكربوني بحلول عام (2060) ، وزيادة زيادة انتاج الطاقة الشمسية الفضائية بحلول عام (2030) الى (2.46) تيراواط ، اذ اكمل تنفيذ تصاميم نصف هذا المشروع في منتصف عام (2024)[225:18] .

9- البحث والتطوير والتمويل في مشاريع الطاقة الشمسية

يُسهم الذكاء الاصطناعي في تمويل مشاريع الطاقة الشمسية ، اذ يحلل اتجاهات طلبات السوق، والتنبؤ بفوائد الاستثمار المتوقعة ، وتقييم الخسائر الناتجة ، مما يُساعد المستثمرين والشركات في اتخاذ قرارات مفيدة لتطوير المشاريع الشمسية ، فضلاً عن ذلك يُسرّع الذكاء الاصطناعي اكتشاف ، ومحاكاة واختبار سيناريوهات وتقنيات ، ومواد جديدة تدخل في صناعة المنظومات الشمسية ؛ مما يُسرع عملية الابتكار في حلول الطاقة الشمسية .

صورة(5) محطات الطاقة الشمسية الفضائية العاملة بالذكاء الاصطناعي





المصدر: اعتماداً على الموقع الالكتروني https://attaqa.net/2025/07/18/%D8%A7%D9%84

ثانياً:- الطاقة الريحية

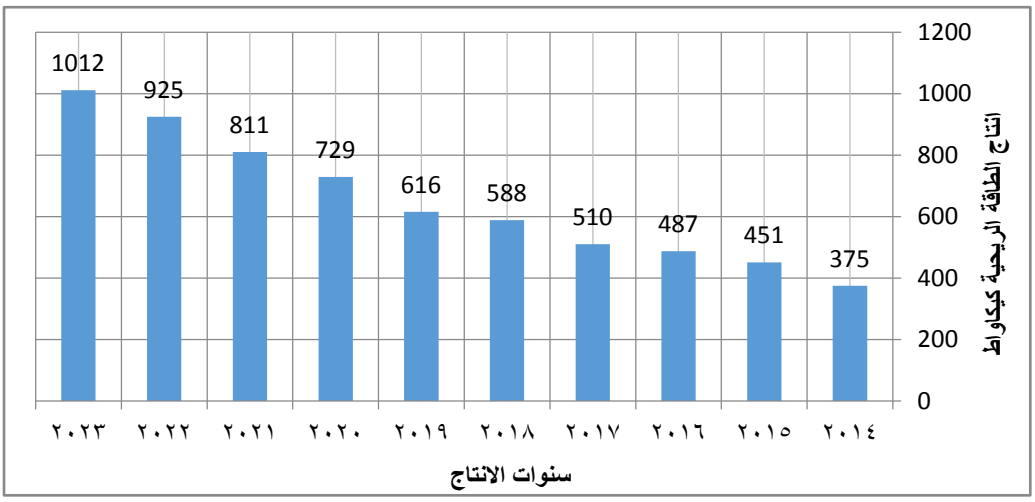
اسهم التغير المناخي العالمي في زيادة الطلب على الطاقة المتجددة ، ومنها الطاقة الريحية ، ووفقاً للتقرير السنوي لجمعية الطاقة الريحية العالمية (WWEA) لعام (2025) ، بلغت انتاج الطاقة الريحية (1134 كيكاواط) لعام (2024)، وبنسبة تغير سنوي (10.75%) ، جدول (10) ، شكل(3) ، في حين بلغ انتاج الكهرباء السنوي منها حوالي(2310) تيراواط/ساعة[15:19] اما اعلى دول العالم انتاجاً للطاقة الكهروشمسية الصين بلغ (188.3) كيلو واط ساعة ، وتليها الولايات المتحدة والمانيا بكمية انتاج بلغت(89.1 ، 56.1) كيكاواط/ساعة على التتالي، جدول(11) ، ومن خلال ادخال تطبيقات الذكاء الاصطناعي يمكن استدامتها على النحو الاتي:

جدول(10) المعدل السنوي للإنتاج العالمي من الطاقة الريحية للمدة(2014-2024)

السنة	معدل الانتاج العالمي/كيكاواط	نسبة التغير السنوي %
2014	375	-
2015	451	16.85
2016	487	7.39
2017	510	4.50
2018	588	13.26
2019	616	4.45
2020	729	15.50
2021	811	10.11
2022	925	12.32
2023	1012	8.59
2024	1134	10.75
المعدل العام	650.4	10.33

المصدر: من عمل الباحث واعتماداً على التقرير السنوي لجمعية الطاقة الريحية العالمية ، لعام 2025 ، متوفر على الرابط الالكتروني الاتي: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2443

شكل(3) المعدل السنوي للإنتاج العالمي من الطاقة الريحية للمدة(2014-2024)



المصدر: اعتماداً على جدول(10) .

1- تصميم التوربينات الريحية وتحليل ادائها

يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين عملية تصميم التوربينات الريحية ؛ بفاعلية وكفاءة عالية ، مما يؤدي الى توربينات رياح اكثر كفاءة ، وفعالية مثل: التصميم الديناميكي لشفرات التوربينات ، التي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة ، ونتاج الطاقة منه ، واثبتت الدراسات ان الشفرات المُحسنة بالذكاء الاصطناعي ؛ تنتج طاقة افضل بنسبة (15%) مقارنةً بالتصاميم التقليدية ، وهذا يؤدي إلى زيادة في الاداء بنسبة (12%) في ظروف الرياح العادية [139:20] ، يمكن للذكاء الاصطناعي تحليل اداء التوربينات بشكل مستمر، واكتشاف العطل ، او قلة كفاءتها ، او العلامات المبكرة للتآكل الميكانيكي من خلال معالجة معلومات المستشعر في الوقت المطلوب ، وتحديد انماط الاهتزاز غير الطبيعية للمراوح الريحية او التغير في الحرارة ومن ثم فشل محتمل في عمل التوربين الريحي.

2- الادارة الفعالة والمراقبة عن بعد

تستطيع نماذج الذكاء الاصطناعي مثل YOLOv8Ultralytics تحليل الصور، ومقاطع الفيديو الخاصة بشفرات التوربينات ، التي تم التقاطها باستخدام طائرات بدون طيار، او كاميرات ارضية عالية الوضوح ؛ لتحديد انواع

جدول(11) التوزيع الجغرافي لأهم دول العالم في انتاج الطاقة الريحية لعام (2024)

ت	اسم الدولة	الانتاج بالالف (كيكاواط/ساعة)
1	الصين	188.3
2	الولايات المتحدة	89.1
3	المانيا	56.1
4	الهند	32.8
5	اسبانيا	23.1
6	المملكة المتحدة	18.8
7	فرنسا	13.7
8	البرازيل	12.7
9	كندا	12.2
10	ايطاليا	9.4
المجموع		456.2

المصدر: اعتماداً على احصاءات الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://data.albankaldawli.org/indicator/EG.ELC.RNWX.KH

الاضرار، والاعطال على الشفرات ، مثل تآكل الحافة الأمامية ، والشقوق ، والاضرار الناجمة عن الصواعق ، والتفريغ الكهربائي ، ومراقبة تجمعات الطيور، وتحديد اتجاهاتها ، مما يمنع حدوث المزيد من الاضرار للمراوح الريحية ، وحماية الطيور.

3- تحسين دقة التنبؤ والانتاج والاستهلاك للطاقة الكهربائية

يمكن للذكاء الاصطناعي انتاج تنبؤات دقيقة للغاية لتوليد الطاقة الريحية ، بناءً على ظروف هبوب الرياح ، واتجاهاتها المتوقعة ، والظروف الجوية القاسية مثل: انخفاض درجات الحرارة ، او ارتفاعها ، والثلوج ، وسرعات الرياح العالية ، وهذا يتيح للمشغلين بتحسين استخدام الطاقة ، وادارة استقرار الشبكة بكفاءة عالية ، مما يقلل من مخاطر انقطاع الطاقة الكهربائية ، او عدم الكفاءة ؛ بسبب تباين التوازن بين العرض والطلب ، ويشكل التنبؤ الدقيق بالطاقة الريحية على المدى القصير، دور حاسم في التخفيف من التحديات المرتبطة بذروات الطلب على التيار الكهربائي داخل شبكة الطاقة ، فضلاً عن توصيل مزارع الطاقة الريحية بشبكة الكهرباء الرئيسة .

4- صيانة توربينات الطاقة الريحية

تتعرض التوربينات الريحية للتأكل والتلف مثل: أي آلات اخرى ، ويضمن الكشف ، والفحص على شفرات توربينات الرياح تحقيق الاداء الامثل ، ويمنع الاعطال المكلفة ، غالبا ما تتضمن طرق الفحص التقليدية ارسال شخص ما الى اعلى البرج ؛ لإجراء الفحص اليدوي ، وهو ما قد يكون خطير للغاية ، ويستغرق وقت طويل ومكلف مادياً ، وتستخدم الصيانة التنبؤية الذكاء الاصطناعي تحليل كميات كبيرة من بيانات الاستشعار وسجلات الصيانة التاريخية ؛ لتحديد الانماط ، والتنبؤ بأعطال التوربينات المحتملة قبل حدوثها ، وهذا يسهم في تقليل وقت التوقف من خلال كشف المشاكل مبكراً ، وتقليل الانقطاعات غير المخطط لها ، وتضمن تشغيل التوربينات بأقصى قدر من الكفاءة والانتاج ، فضلاً عن توفير التكاليف ، واجراء اصلاحات في الوقت المناسب ، ويمنع الاضرار المكلفة للتوربينات الريحية ، ومن خلال التنبؤ الدقيق باحتياجات الصيانة ، ففي مزرعة هورنسي البحرية في المملكة المتحدة

ساهم الذكاء الاصطناعي في خفض تكاليف الصيانة بنسبة(35%) وزيادة الانتاج بنسبة(18%) وزيادة عمر التوربينات الافتراضي[142:20] ، صورة(6) .

5- التكامل مع الشبكات الذكية

للذكاء الاصطناعي دور كبير في دمج مزارع الطاقة الريحية في الشبكات الذكية ، من خلال معالجة كميات كبيرة من البيانات من اجهزة الاستشعار، والمرئيات الفضائية، مما يسمح بمراقبة مستمرة لحالة الشبكة ، والتعديل المباشر للحفاظ على استقرارها ، ويمكن لنماذج الذكاء الاصطناعي ؛ التنبؤ بالانخفاض المفاجئ في سرعة الرياح او زيادتها ، او الطلب المرتفع على الطاقة الكهربائية ، مما يساعد على اتخاذ تدابير وقائية في الوقت المناسب ؛ للتقليل من مشاكل عدم الاستقرار الانتاج ، او تجنبها ، والكشف السريع عن الاعطال داخل الشبكة وعزلها ؛ وذلك لمنع الاعطال المتتالية التي تؤدي الى انخفاض الانتاج ، ويساعد الذكاء الاصطناعي تحسين تخزين الطاقة لتحقيق التوازن في الشبكة ، فعندما يكون انتاج الطاقة الريحية مرتفعاً ، يمكن تخزين الطاقة الفائضة في نظام التخزين ، وعند الانخفاض الانتاج ، يعاد تشغيل التوربينات الريحية ، او ربطها مع شبكة الكهرباء الرئيسة .

صورة (6) مزرعة هورنسي البحرية لطاقة الرياح تعتمد على تطبيقات الذكاء الاصطناعي

المصدر : اعتماداً على الموقع الالكتروني https://www.power-technology.com/projects/hornsea-project-one-north-sea/

ثالثاً:- الطاقة المائية

اسهمت الطاقة الكهرومائية بنسبة(17%) من الانتاج الطاقة العالمي الكلي، وبمعدل سنوي بلغ (4281.5كيكاواط) ونسبة تغير سنوي(2.03%) وبشكل متزايد من عام (2014) ولغاية عام (2019)، ويتذبذب الانتاج بين باقي السنوات ، وسجل اعلى انتاج(4485 كيكاواط)عام (2022) وبنسبة تغير سنوي(1.44%)، جدول(12) ، شكل(4) ، اما اعلى دول العالم انتاجاً للطاقة الكهرومائية الصين بلغ(1356 تيراواط/ساعة)، وتليها البرازيل وكندا بكمية انتاج بلغت (415 ، 347) تيراواط/ساعة على التتالي، جدول(13) ، ولغرض زيادة الانتاج ، وتقليل التذبذب يمكن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في استدامة مشاريع الطاقة الكهرومائية وعلى النحو الاتي:

1- تشغيل محطات الطاقة الكهرومائية وتحسين عمل التوربينات

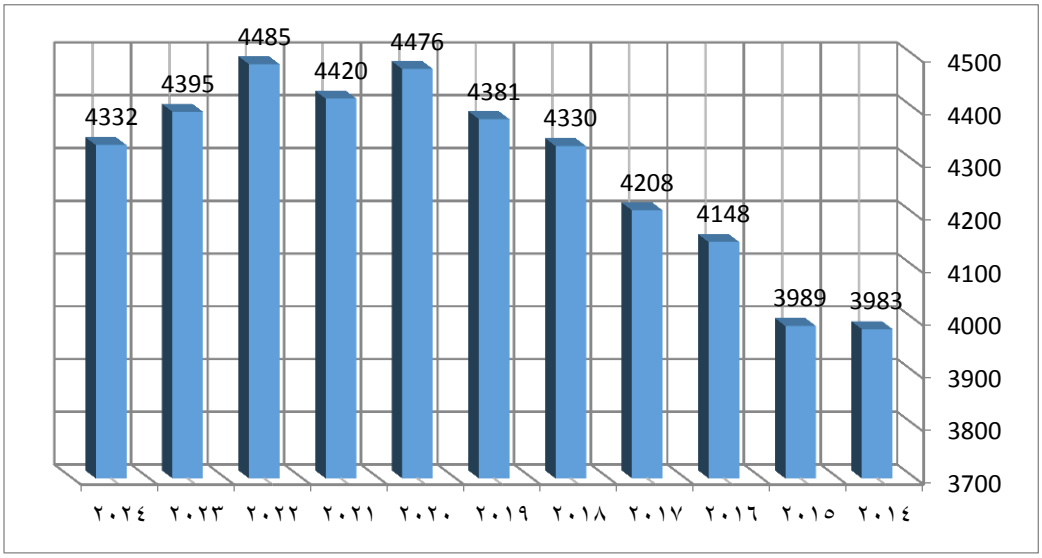
يعمل الذكاء الاصطناعي على تنظيم مرور المياه عبر التوربينات ، بشكل ديناميكي ، والتحكم الآلي في بوابات السدود ، اذ تحلل خوارزميات الذكاء الاصطناعي بيانات تدفق المياه خلال الفيضانات، او مواسم الصيهود وكميات الامطار الساقطة والثلوج الذائبة، وتنظيم كفاءة التوربينات ، وضبط تشغيلها لتحقيق اقصى انتاج للطاقة .

جدول(12) انتاج العالم من الطاقة الكهرومائية للمدة (2014-2024)

السنة	الانتاج (كيكاواط)	نسبة التغير السنوي%
2014	3983	-
2015	3989	1.27
2016	4148	3.83
2017	4208	1.42
2018	4330	2.81
2019	4381	2.16
2020	4476	2.12
2021	4420	1.26
2022	4485	1.44
2023	4395	2.02
2024	4332	1.45
المعدل السنوي	4281.5	2.03

المصدر: اعتماداً على الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser

شكل(4) انتاج العالم من الطاقة الكهرومائية للمدة (2014 -2024)



المصدر: اعتماداً على جدول(12) .

2- ادارة الموارد المائية واختيار مواقع ملائمة للسدود والخزانات

يسهم الذكاء الاصطناعي في اعطاء دراسة شاملة، ودقيقة لاختيار المواقع الملائمة ؛ لإقامة السدود وخزانات المياه ، وتحليل الخصائص الجيولوجية ، والمشاكل في ارضية السد من الشقوق ، والمسامات ، وكميات الضغط التي يولدها الماء المخزون ، والمساحات المطلوبة ، وكميات الرواسب المتراكمة بمرور الوقت ، ومن ثم يسهم في وضع المعايير الملائمة ؛ لإقامة موضع السد الملائم ؛ لأنتاج توليد الطاقة الكهرومائية .

جدول(13) التوزيع الجغرافي لأهم دول العالم انتاجاً للطاقة الكهرومائية لعام(2024)

ت	اسم الدولة	الانتاج (تيراواط/ساعة)
1	الصين	1356
2	البرازيل	415
3	كندا	347
4	الولايات المتحدة	236
5	روسيا	210
6	الهند	156
7	النرويج	139
8	فيتنام	93
9	ايطاليا	1356
10	فرنسا	415
المجموع		4723

المصدر: اعتماداً على احصاءات الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://data.albankaldawli.org/indicator/EG.ELC.RNWX.KH

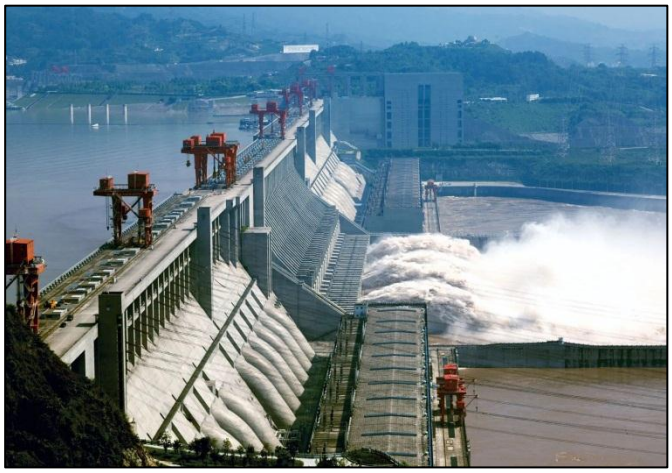
3- الصيانة التنبؤية

تستعمل تطبيقات الذكاء الاصطناعي اجهزة استشعار الاهتزازات والصوت ؛ للكشف عن الأعطال في التوربينات المائية، المولدات ، وانظمة التحكم، اذ تعتمد هذه التطبيقات على نماذج التعلم العميق لتحليل البيانات، والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها بدقة تصل الى(88%) ، مما يقلل وقت التوقف بنسبة(40)[2024:21] ، فضلاً عن تخطيط اعمال الصيانة ، وجدولتها على النحو الأمثل ؛ مما يقلل من خسائر الايرادات ، واتخاذ القرارات المناسبة وجدولة الصيانة بأوقات محددة ، ويستخدم مشروع سد الخوانق الثلاثة على نهر يارلونغ زانغبو في الصين تطبيقات الذكاء الاصطناعي في ادارتها ، وتشغيلها ، ومراقبتها ، صورة (7) ، صورة (8) .

4- المراقبة والتنبؤ والمحافظة على النظم البيئية

تسهل تطبيقات الذكاء الاصطناعي المراقبة ، والحفاظ على النظم البيئية ، بواسطة الربورتات المائية المجهزة بالكاميرات لتفتيش هياكل السدود ، الأنفاق ، والكشف عن الشقوق، التآكل ، او الترسبات ، وينجز هذا العمل بدقة تصل الى(92%) ، وكذلك الحال عند استعمال الطائرات المسيرة ؛ لمراقبة المناطق التي يصعب الوصول اليها في السدود والخزانات ، اذ تقوم تطبيقات الذكاء الاصطناعي ؛ بتحليل الصور للكشف عن اي تشققات ، او انهيارات محتملة في جسم السد ، فضلاً عن تنظيم عمليات التنظيف للممرات المائية من الطحالب ، والرواسب مما يحسن كفاءة تدفق المياه ، ويقلل تكاليف الصيانة بنسبة (30%)[28:22] ، ويسهم الذكاء الاصطناعي في مراقبة جودة المياه ، ومعرفة خصائصها الطبيعية ، او التغيرات التي تطرأ عليها ، وحماية الاحياء المائية من خلال تحليل بيانات اجهزة الاستشعار تحت الماء ، وكاميرات المراقبة ، ففي كندا مثلاً: ساهمت تقنيات الذكاء الاصطناعي في تقليل تأثير المحطات الكهرومائية على هجرة الأسماك بنسبة(35%)[2024:23] .

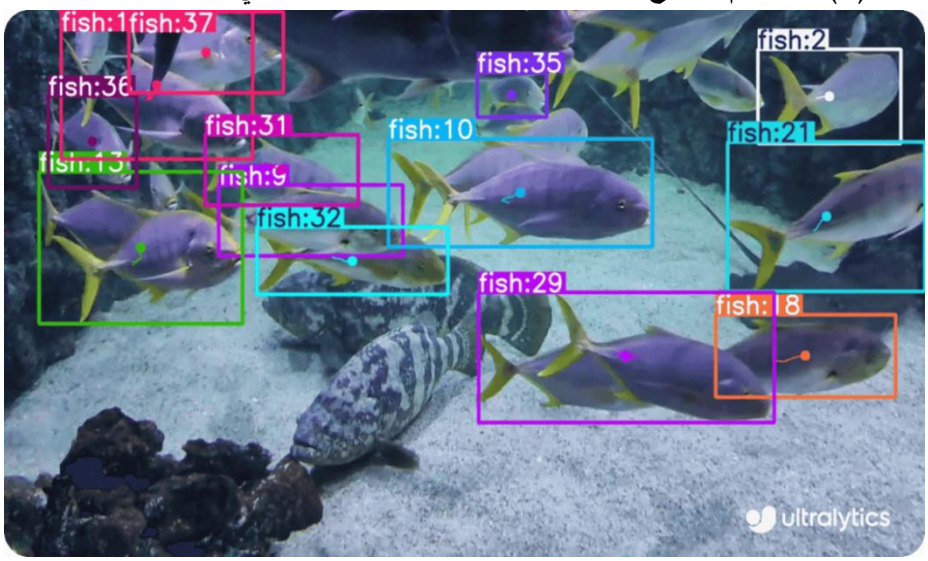
صورة(7) سدود الخوانق نهر يارلونغ في الصين **صورة(8) محطة كهرومائية في الصين**



المصدر: اعتماداً على الموقع https://attaqa.net/2024/12/26/%D8%A3%D9%83%D8%A8%D8%B1-%D9

ويمكن انشاء انظمة مراقبة بيئية قائمة على الذكاء الاصطناعي ، لتوربينات المد والجزر، ومحولات طاقة الامواج ، وتعتمد هذه الأنظمة احدث اجهزة الرؤية، والكاميرات تحت الماء ؛ لمعرفة حركة الاحياء المائية واعداها وانواعها ، واماكن تجمعاتها ، صورة(9) ، واستعمال الربورتات المزودة بكاميرات، واجهزة استشعار لتفتيش الهياكل وتحسين زوايا شفرات توربينات تلقائياً ؛ لتتكيف مع سرعات ، واتجاهات التيارات المائية المتغيرة وكميات الرواسب الملحية على المراوح المائية ، والتنبؤ، والتحليل بحركة الامواج العالية التي تسبب ضرراً على محطات التوليد العائمة على المياه البحرية ، والتقليل من اثار توربينات الطاقة على الحركة الملاحية ، واختيار الاماكن الساحلية والمواقع المناسبة ؛ لنصب محطات طاقة الامواج، فمثلاً: حققت محطة سيهوا ليك في كوريا الجنوبية لتوليد طاقة المد والجزر بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي الكفاءة بنسبة (28%) مقارنة بالطرق التقليدية [54:24] .

صورة(9) استخدام نموذج الرؤية الحاسوبية للذكاء الاصطناعي لرصد حركة واعداد الاسماك



المصدر: اعتماداً على https://www.ultralytics.com/ar/blog/using-computer-vision-for-underwater-detection

رابعاً:- الطاقة الجيوحرارية

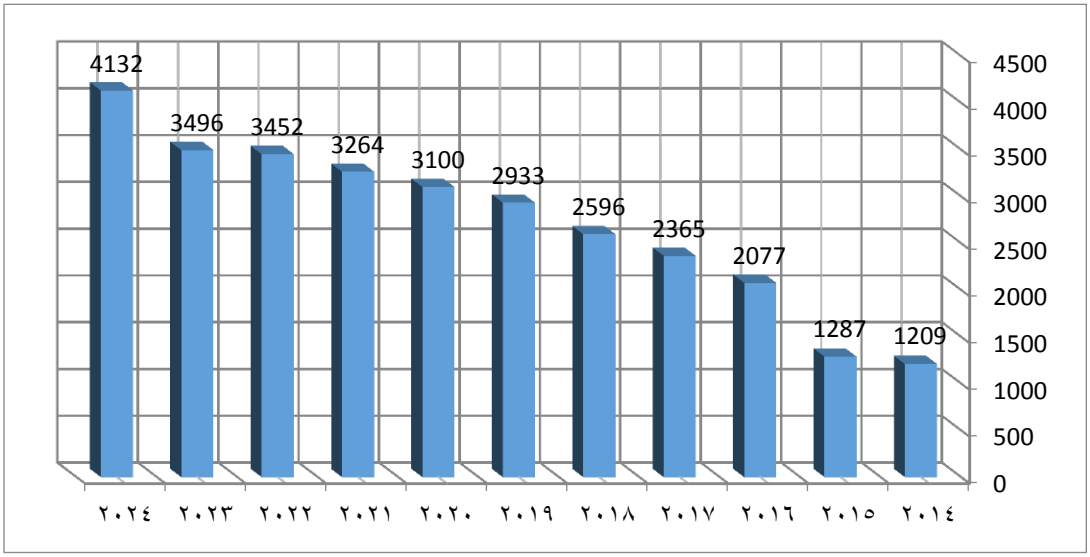
تطورت الطاقة الحرارية الأرضية على مدار القرن العشرين ؛ لتصبح واحدة من اكثر مصادر الكهرباء اعتمادية ، وتجدداً ، وتستخدم المحطات حرارة الأرض الطبيعية لتوليد الكهرباء ، وازداد انتاج الطاقة الجيوحرارية عالمياً بمعدل سنوي بلغ (2577.9 كيكاواط) ، وبمعدل تغير سنوي بلغ(10.41%) ، وبلغ الانتاج(1209 كيكاواط) عام(2014) ، ووصل الى (4132 كيكاواط) لعام(2024) وبنسبة تغير سنوي(15.39%) ، جدول(14) ، شكل(5) ، اما اعلى دول العالم انتاجاً للطاقة الجيوحرارية امريكا بلغ (2280 كيكاواط/ساعة) ، وتليها اندونيسيا والفلبين بكمية انتاج بلغت(1877 ، 1770) كيكاواط/ساعة على التتالي، جدول(15) ، وبدأت تظهر العديد من المشاكل في محطات الطاقة الحرارية الأرضية الأقدم عمراً ، والأكبر حجماً اثناء فترات ذروة توليد الطاقة ، اذ تواجه هذه المحطات تحديات مثل: الأعطال غير المتوقعة في المعدات ، والإصلاحات المكلفة، والصيانة المتكررة ، واختيار الموقع غير المناسب ،

دول(14) انتاج العالم من الطاقة الجيوحرارية للمدة (2014-2024)

السنة	الانتاج (كيكاواط)	نسبة التغير السنوي%
2014	1209	-
2015	1287	6.06
2016	2077	38.03
2017	2365	12.17
2018	2596	8.89
2019	2933	11.48
2020	3100	5.38
2021	3264	5.02
2022	3452	5.44
2023	3496	1.25
2024	4132	15.39
المعدل السنوي	2577.9	10.41

المصدر: اعتماداً على الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser

شكل(5) انتاج العالم من الطاقة الجيوحرارية للمدة (2014-2024)



المصدر: اعتماداً على جدول(14) .

واسهم الذكاء الاصطناعي بوظائف عديدة مرتبطة في استدامة الطاقة الجيوحرارية ، لاسيما محطة الطاقة الارضية في هيليسيد التي تعد من اكثر محطات العالم استخداماً ؛ لتقنيات الذكاء الاصطناعي، صورة (10) ، اما اهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي المرتبطة بالطاقة الجيوحرارية على النحو الاتي:

جدول(15) التوزيع الجغرافي لأهم دول العالم في انتاج الطاقة الجيوحرارية لعام (2024)

ت	اسم الدولة	الانتاج (كيكاواط/ساعة)
1	الولايات المتحدة	2580
2	اندونيسيا	1877
3	الفلبين	1770
4	تركيا	1450
5	نيوزيلندا	1126
6	المكسيك	978
7	ايطاليا	867
8	ايسلندا	811
9	كينيا	776
10	اليابان	492
المجموع		12727

المصدر: اعتماداً على احصاءات الطاقة التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) ، 2025 ، متوفرة على الرابط
https://data.albankaldawli.org/indicator/EG.ELC.RNWX.KH

صورة (10) محطة الطاقة الارضية هيليسيد في ايسلندا تعمل بالذكاء الاصطناعي

المصدر: اعتماداً على الموقع الالكتروني https://solarabic.com/learn/2019/05/geothermal-energy-explained/

1- تحليل كميات كبيرة من البيانات وتحديد العلاقة بينها ، والتنبؤ بالمشاكل قبل حدوثها ؛ مما يحافظ على تشغيل المحطة بانتظام ، ويساعد على تجنب الإصلاحات المكلفة .

2- استخدام الاقمار الصناعية الاشعة الرادارية تحت الحمراء ؛ لرسم خريطة للموارد الجيوحرارية المحتملة ، او استخدام مطياف الكتروني ؛ للتعرف على مؤشر معادن الحرارية الارضية وتقييمها .

3- اختيار مواقع محطات الطاقة الحرارية الأرضية باستخدام الذكاء الاصطناعي باستخدام صور الاقمار الصناعية ، والبيانات الجغرافية المتاحة ؛ لأختيار الموقع المناسب ، يمكن للذكاء الاصطناعي تحليل عوامل مختلفة مثل: التحليل الجيولوجي للطبقات الصخرية ، ودرجات الحرارة للسطح ، والاعماق ، وضغط المياه ؛ لتحديد اكثر المواقع المناسبة لمحطات الطاقة، وتقييم الأثر البيئي، وتحديد البنية التحتية، وتوقع المخاطر المحتملة ، مما يجعل عملية اختيار الموقع اكثر شمولاً ودقة .

4- اتمته عمليات الحفر من خلال تحليل البيانات في الوقت المطلوب ، وتعديل الحفر تلقائياً ، واستخدم الروبوتات المجهزة بأجهزة استشعار؛ لمعرفة الشقوق ، وتأكل الانابيب ، والمعدات تحت الارض وتعتمد هذه الروبوتات على نماذج الرؤية الحاسوبية ؛ للكشف عن العيوب بدقة تصل الى (92%)[2022:25].

التحديات التي تواجه استثمار الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة

1- **جودة البيانات:** يعتمد اداء تطبيقات الذكاء الاصطناعي على جودة البيانات المتاحة ، او المستعملة في التحليل ، وقد تواجه بعض الشركات تحديات في جمع البيانات ، وضمان دقتها ، واكتمالها .

2- **متطلبات الاستثمار وتكلفة البنية التحتية:** يتطلب تحديث البنية التحتية للطاقة المتجددة بصورة مستمرة، لاستيعاب تطبيقات الذكاء الاصطناعي ؛ استثمارات ضخمة في اجهزة الاستشعار، والحوسبة السحابية ، والانظمة عالية الأداء ، قد يكون تطبيقه مكلفاً ، وقد تحتاج الشركات الى استثمارات كبيرة في البنية التحتية ، والتكنولوجيا والتدريب ؛ لتطبيق الذكاء الاصطناعي بشكل فعال .

3- **التعقيد:** تطبيق التكنولوجيا المتقدمة ؛ يتطلب خبرة ومعرفة متخصصة ، قد تواجه الشركات صعوبة في تطوير، وتدريب فرق عمل متخصصة بالذكاء الاصطناعي، وماهرة قادرة على العمل بمهارة عالية .

4- **القوانين والتشريعات:** تواجه الشركات قيوداً قانونية ، وتشريعية في استعماله بقطاع الطاقة المتجددة ، وتلتزم الشركات بالقوانين والتشريعات المحلية ، والدولية المتعلقة بالخصوصية ، والأمن وحماية البيانات .

5- **القبول:** يواجه استعمال الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة تحديات من قبل المجتمع والمستعملين ، اذ يجب على الشركات التوعية ، وايضاح فوائد هذه التقنية ، وكيفية استعمالها بشكل فعال وآمن .

6- **تهديدات الامن السيبراني ومخاوف بشأن الأمان والخصوصية:** يتطلب ضمان ان البيانات الحساسة المتعلقة بالطاقة ، والبيئة محمية بشكل صحيح وتعامل بسرية تامة ، لاسيما من الهجمات السيبرانية مثل: حادثة عام(2023) التي تعرضت لها شبكة الكهرباء في تكساس ، ومرافق المياه في هاواي ، اذ تمكن المتسللون من الوصول الى اكثر من(20) قاعدة بيانات لهذه المنشأة .

7- **الاعتبارات الأخلاقية في قرارات الطاقة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي:** ضمان عدم تمييز تطبيقات الذكاء الاصطناعي، دون قصد ، ضد فئات ، او مناطق معينة ، على سبيل المثال: ينبغي الا تُفضل قرارات توزيع ، وانتاج الطاقة التي يتخذها الذكاء الاصطناعي ، للمناطق الغنية على حساب المجتمعات المحرومة ، وتحديد المسؤول في حال حدوث خطأ في تطبيق الذكاء الاصطناعي للطاقة المتجددة ، وتصحيح الوضع ، وكذلك تبرز مخاوف اخلاقية حول ؛ كيفية جمع هذه البيانات ، وتخزينها واستخدامها ، بما يضمن احترام خصوصية الأفراد .

النتائج

1- يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي ان تساهم في تطوير معظم انواع الطاقات المتجددة لاسيما الطاقة الشمسية والطاقة الريحية والطاقة المائية .

2- هناك تزايد نسبي في مؤشرات اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي في استدامة الطاقة المتجددة من عام (2020) وبنسبة (7%) الى عام (2024) وبنسبة (22%) .

3- تزداد الاستثمارات في مشاريع الطاقة المتجددة على مستوى العالم في غضون مدة الدراسة (2014-2024) اذ بلغت(1.34 تريليون دولار) عام (2014) ووصلت الى(6.52 تريليون دولار) عام (2024) وبنسبة تغير سنوي بلغت (14.80%) .

4- يساهم الذكاء الاصطناعي في خفض نسبة تكاليف الصيانة وبنسبة تصل الى(55%) كمعدل عام في مختلف انواع الطاقات المتجددة .

5- ان نسبة التحسن نتيجة تطبيق الذكاء الاصطناعي في الطاقة (الشمسية ، الريحية ، المائية ، الجيوحرارية) وصلت الى(12% ، 15% ، 6% ، 11%) لعام (2024) على التتالي .

6- اظهر البحث وجود تزايد نسبي في انتاج الطاقة المتجددة (الشمسي، الريحية ، المائية ، الجيوحرارية) على مدى (10) سنوات ، واكثرها اسهما الطاقة المائية والطاقة الشمسية مع وجود بعض التحديات والاعتبارات التي تحد من استعماله في ظل التطور التقني الكبير، الا اذا كان للعلم وتطوراته المستمرة قول اخر .

التوصيات

1- فتح كليات الذكاء الاصطناعي ، او انشاء مركز الذكاء الاصطناعي بأقسام متعددة ، او خاص للطاقة بالتعاون مع الوزارات المعنية .

2- تسهيل التبادل التجاري في اسواق الطاقة ، لاسيما ما يخص تقنيات الذكاء الاصطناعي .

3- يمكن لشركات الطاقة تطبيق بروتوكولات امن سيبراني متطورة ، تشمل تشفير البيانات ، وطريقة تبادلها، والكشف المبكر للتهديدات، والهجمات الالكترونية، كما ينبغي ان تكون عمليات التدقيق الأمني المجدولة، وفي الوقت المناسب ، وانشاء منصات الكترونية موثوقة تحتوي على البيانات اللازمة .

4- الاستثمار في تطوير برامج تدريبية متخصصة في كيفية توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة المتجددة من خلال التعاون بين شركات الطاقة ، والمؤسسات الاكاديمية .

5- يتطلب تحديث البنية التحتية للطاقة ؛ لاستيعاب الذكاء الاصطناعي؛ واعتماد اجهزة الاستشعار، والحوسبة السحابية ، والمتخصصون ، والسماح لشراكات القطاع العام ، والخاص بتقاسم التكاليف وتبادل الخبرات .

المصادر والمراجع

1- اسماعيل ، امل ، فرص وتحديات الذكاء الاصطناعي واعادة تشكيل قطاع الطاقة ، المركز المصري للفكر والدراسات الاستراتيجية ، 2024 ، ص22 .

2- امام ، هبه محمد ، الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة عالميا ، القاهرة ، مطبعة الامل ، 2023 ، ص84 .

3- جومستين ، اليس ، تاريخ الطاقة المتجددة ، مجلة صدى الهندسية ، جامعة بينزرت ، العدد(45) ، 2024 ، ص133 .

4- رمضان ، نسيم ، ما دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز الاستدامة بالشرق الاوسط ، مقال منشور في صحيفة الشرق الاوسط في 8 نوفمبر 2024 على الموقع الالكتروني: https://attaqa.net/2025/07/18/%D8%A7%D9%84

5- العلي، عزيز ، تاريخ الذكاء الاصطناعي ومراحل تطوره وأشهر علمائه ، مقال منشور بتاريخ 20 يونيو 2025 على الموقع الالكتروني: https://attaqa.net/2024/01/14

6- نصير ، سماح عزت ، دور الذكاء الاصطناعي في تحقيق اهداف التنمية المستدامة في الطاقة المتجددة في مصر، مجلة البحوث المالية والتجارية ، جامعة بور سعيد، المجلد (26) ، العدد (4) ، 2025 ، ص440 .

7- اعتماداً على الموقع الالكتروني https://www.aljazeera.net/science/2024/1/25/%D9

8- Energy Evolution Conference, (2024), The Role of AI in Solar Power Forecasting, Retrieved from: https://tamesol.com/en/artificial-intelligence-solar

9- نوار، صباح ، الروبوتات والذكاء الاصطناعي ودورهما في تخفض تكاليف الطاقة الشمسية في استراليا ، مقال منشور في تاريخ 11 حزيران 2025على الموقع الكتروني https://attaqa.net/2023/11/06/%D9%83

10- عمار، احمد ، كيف يدعم الذكاء الاصطناعي زيادة كفاءة الطاقة وتحقيق الاستدامة ، وحدة ابحاث الطاقة المصرية ، بحث منشور بتاريخ نوفمبر 12 2025 ، منشور على الموقع الالكتروني https://attaqa.net/2023/11/06/%D9%83

11- Aseel Bennagi, Obaida AlHousrya, Daniel T. Cotfas , Petru A. Cotfas, Comprehensive study of the artificial intelligence applied in renewable energy, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania,54 ,2024 , p.345 . https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101446

12- المدفع ، نجلاء ، الذكاء الاصطناعي في تحويل الطاقة وتعزيز الكفاءة والاستدامة في قطاع الطاقة المتجددة ، مركز ترينذز للبحوث والاستشارات ، 2024 ، ص35 .

13- عبود ، بسمة ، انظمة الطاقة المتصلة الذكاء الاصطناعي ، مقال منشور بتاريخ 14 اكتوبر 2022 على الموقع الالكتروني: https://solarabic.com/learn/2022/10/%D8

14- جلوب ، نبراس عدنان ، محمد عودة داغر، الطاقة البديلة والذكاء الاصطناعي ، مجلة كلية التربية ، جامعة واسط ، العدد (2) ، المجلد (59) ، 2025 ، ص453 . https://doi.org/10.31185/eduj.Vol59.Iss2.4259

15- Ran**e,** Nitin**,** Roles and Challenges and Similar Generative Artificial Intelligence Achieving the Sustainable Development Goals, vol.29,2023 ,p89. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4603244

16- Ren, S. , Water and Energy Consumption of AI Systems, University of California,,2024 , p.211 .

17- الذكاء الاصطناعي في الطاقة الشمسية عامل التغيير الذي لا يمكن تجاهله ، بحث منشور على الموقع الالكتروني (Tamesol) في 2024/2/8 ، وعلى الرابط الاتي: https://tamesol.com/artificial-intelligence-solar

18- السعداوي، اسماء ، الطاقة الشمسية في الصين تفوق عالمي يصل حدود الفضاء ، تقرير منشور في 2025/7/18 على الموقع الالكتروني https://attaqa.net/2025/07/18/%D8%A7%D9%84

19- ايفان ، برليتيش ماجورانيش وآخرون ، تطبيق الذكاء الاصطناعي في منظومة الطاقة الريحية ، مجلة العلوم التطبيقية ، جامعة سلافونسكي برود ، كرواتيا، المجلد(15)، العدد(5)، 2025 . https://doi.org/10.3390/app15052443

20- Wang, C. , AI in Clean Energy: Transforming Sustainability for the Future, Yale Clean Energy Forum 2024 , p.139 .

21- جوديناف ، جانيس ، رؤى حديثة لأستثمار الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة الكهرومائية ومعالجة التحديات الرئيسية وتعزيز الاستدامة ، تقرير منشور على موقع شركة هايدروغريد بتاريخ 8 نوفمبر 2024 ، على الرابط الالكتروني : https://www.waterpowermagazine.com/analysis/harnessing-ai-to-transform-hydropower/?cf-view

22- فينا ، ابيرامي ، كيف يدعم الذكاء الاصطناعي الطاقة المتجددة ، تقرير منشور في 28يونيو 2024، وعلى الموقع الالكتروني : https://www.ultralytics.com/ar/blog/how-ai-in-renewable-energy-supports-sustainability

23- الكاملي، عبد القادر، الطاقة الشمسية والذكاء الاصطناعي، تقرير منشور على موقع الجزيرة في 20 تشرين الاول 2024 وعلى الرابط الالكتروني : https://www.aljazeera.net/tech/2024/10/20

24- Ren, S. , Water and Energy Consumption of AI Systems, University of California, 2024 ,p.54 .

25- مختار، محمد ، زيود الله يوسوبوف ، توليد الطاقة الحرارية الارضية ، جامعة ليكهيد ، كندا ، 2202 ، متوفر على الرابط https://www.intechopen.com/chapters/76368