



جامعة الشهيد العربي التبسي - تبسة-

كلية الحقوق والعلوم السياسية

قسم الحقوق



مذكرة مقدمة ضمن متطلبات نيل شهادة الماجستير

مخصص: قانون طاقة و مناجم

بعنوان



دور الذكاء الاصطناعي في تحسين

استخدام الطاقات المتجددة

إشراف الأستاذة:

الدكتورة بلغيث صبرينة

إعداد الطالبات:

- خليفى أمينة

- بقللي غلة أماني

- أعضاء لجنة المناقشة

الصفة	الرتبة العلمية	الأستاذ
رئيس اللجنة	أستاذ محاضر ب	د. لبيوض أسماء
مشرفا	أستاذ محاضر ب	د. بلغيث صبرينة
عضوا مناقشا	أستاذ محاضر أ	د. سعايدية حورية

السنة الجامعية: 2025-2026



كلية الحقوق والعلوم السياسية
Faculty of Law and Political Sciences

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's and Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة الشهيد الشاذلي بن جديد - تبسة
Echahid Chaikh Larbi Tebessi University - Tébessa
كلية الحقوق والعلوم السياسية
Faculty of Law and Political Sciences



جامعة الشهيد الشاذلي بن جديد - تبسة



قسم القانون الخاص

السنة الجامعية: 2025-2026

إذن بإيداع المذكرة بعد المناقشة

أنا المضي أسفله الأستاذ(ة)..... بلخنيث هبيرة برتبة: محاضر ب.

بصفتي رئيسا للجنة مناقشة مذكرة الماستر للطلبة الآتية أسماؤهم:

1: خليفتي أُمينة 2: وبقلي عليّة أماني

في تخصص: مناقشة والمناجم

والموسومة ب:

دور وكلاء الصناعات في تصفية الترسدات
المطافئ المتجددة

أصرّح بأن المذكرة وبعد المناقشة قد استوفت مقتضيات البحث العلمي من حيث الشكل والمضمون والأمانة العلمية، وقد التزم الطلبة بالتعديلات والتصحيحات الموجهة اليهم أثناء المناقشة ومن ثمّ نمنح الإذن بإيداعها لدى اللجنة المعنية.

حرر بتبسة في 22/06/2026

إمضاء الأستاذ رئيس اللجنة

بلخنيث هبيرة

إمضاء الأستاذ المشرف

بلخنيث هبيرة



قسم القانون الخاص

السنة الجامعية: 2025-2026

التزام بقواعد النزاهة والأمانة العلمية في انجاز المذكرة

أنا المضي أسفله الطالب (ة): 1..... بقلي بعلت أجا في

2..... سليلي أجا في

بصفتي منجز المذكرة ماستر بتي تخصص..... تولى البطاقة والحناجي

والموسومة ب:

دون العناء الاصطناعي في تحسين..... استخدام البطاقات المكتوبة

أصرح بشرفي بأن المذكرة قد راعت المعايير العلمية والمنهجية ومعايير أخلاقيات البحث العلمي والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه .

حرر بتبسة في 22/04/2026

لإمضاءات:

.....
.....



شكر و عرفان

قال تعالى: ﴿وَلَيْنَ شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ﴾

نشكر الله ونحمده حمداً كثيراً مبركاً على هذه النعمة الطيبة
والنافعة نعمة العلم والبصيرة.

أما بعد يشرفنا أن نتقدم بالشكر الجزيل والوفان إلى
الأستاذة المشرفة "بلغيث صبرينة" على تفضلها بالإشراف على
هذه المذكرة وكل المجهودات التي بذلتها، ولم تبخل علينا
بتوجيهاتها ونصائحها إلى آخر لحظة.

كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذة قسم الحقوق ، وإلى كل
من قدم لنا يد العون لإتمام هذا العمل





الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

الحمد لله على نعمة الفضل واللفظ والتوفيق والاختيار. الحمد لله على مسار
رسمه لي بحكمته. فكان تدبيره خيرا وأجمل بكثير من خططي لنفسي
مثلي الأعلى في الحياة "امي الغالية" من أحمل صفاتها وطهر قلبها بكل
فخر....الى من غمرتني بصبرها ودعمها. وكان دعائها سر توفيقني.

أهديك ثمرة تعبتي. ونجاحي

إلى الرجل. الذي ورثت عنه الثبات وعزة النفس "أبي الغالي" من يجري.
في عروقي كبريائه. واحمل اسمه بفخر. يطاول السحاب أهديك ثمرة
هذا الجهد

إلى رفقاء الدرب اخي وأختي. أهديكما ثمرة تخرجي داعية. الله ان يكتب
لكما التوفيق والتميز في مسيرتكما وان أراكما في مناصب ومكانة اعلى
وأجمل بكثير

لنفس الطموحة تحية شكر وتقدير لكي شكرا لأنك لم تنحي أمام أيام
كالجبال وقلبت كل. تقليل من قدراتك إلى تحدي. شكرا على إصرارك على
إكمال الطريق متمسكة. بالأمل والتميز على يقين ان ما اختاره الله هو
الخير كله

إلى صديقتي. وزميلتي امني. شكرا لأنك كنت خير. رفيقة في رحلة البحث
ولمساندتك. وكلماتك. الطيبة طوال هذا المشوار

الى أصدقائي الذين. كانوا خير. مشجع. وداعم الذين آمنوا بقدراتي شكرا لكم
من القلب ايضا اود ان اشكر جنود الخفاء المساعدين خلف
الكواليس. لإتمام هذه المذكرة وجودكم. جميعا في حياتي. دليل على انني
استحق الأفضل

وختاماً. اسأل الله العلي القدير. ان يوفقني ويسد خطاي لأكمل هذا المشوار
العلمي وابلغ غايتي. بنيل شهادة الدكتوراه. بإذن الله
امينة



شكر الله ونحمده حمدا كثيرا طيبا مباركا على هذه النعمة الطيبة والنافعة
نعمة العلم والبصيرة اما بعد

إلى روح أبي الطاهرة رحمه الله، إلى من تمنيت وجوده معي في كل نجاح
وكل تعب وكل لحظة كنت أحتاج فيها كلمة فخر أو دعوة صادقة. رحمك الله
بقدر ما تمنيت أن تشاركني هذا اليوم، وجعل مقامك من أعلى مراتب الجنة.
سيبقى أثرك الطيب محفوراً في قلبي ما حييت، وكل إنجاز أصل إليه أهديه
أولاً لروحك الطاهرة.

إلى أُمي الغالية، أطل الله في عمرها وأدامها تاجاً فوق رأسي... إلى المرأة
التي كانت سندي الحقيقي طوال هذا المشوار، والتي لم تبخل عليّ يوماً
بدعائها وصبرها وحنانها. إليك يا أُمي أهدي هذا النجاح، فأنت من كنتِ
النور في أيامي الصعبة، والقوة حين ضعفت، والأمل حين تعبت. مهما
كتبت فلن أوفيك حقك، فجزاك الله عني خير الجزاء وحفظك لي دائماً.
إلى أخي الكبير إسلام رحمه الله، الذي جمعني به نفس التخصص ونفس
الحلم... رحمك الله رحمة واسعة، كنت مثلاً للاجتهاد والصبر وسيبقى ذكرك
الطيب مصدر إلهام وفخر لي دائماً.

إلى أخي العزيز محمد، أطل الله في عمره، شكراً لوجودك الدائم بجانبني،
ولدعمك وتشجيعك

إلى أخواتي الغاليات الفة وآمنة حفظكن الله وأدام محبتكن في حياتي، وعلى
رأسهن توأمي هناء الحبيبة، قطعة من روحي ورفيقة أيامي، شكراً لأنك
كنت دائماً الأقرب إلى قلبي والأكثر فهماً لتفاصيلي وتعجب هذا المشوار.
إلى صديقاتي ورفيقات عمري شكراً لكل لحظة دعم وضحكة جميلة وكلمة
طيبة خففت عني عناء الدراسة. شكراً على محبتكن الصادقة ووقوفكن إلى
جانبي في مختلف اللحظات.

وتحية خاصة إلى زميلتي أمينة، التي كان لحضورها ومساندتها أثر جميل
لا ينسى.

إلى كل من دعمني بكلمة طيبة أو دعوة صادقة أو موقف جميل، أهديكم
ثمرة هذا الجهد، وأسأل الله أن يجعل النجاح والتوفيق حليفنا جميعاً.
الحمد لله دائماً وأبداً.

أُماني

قائمة المختصرات

الرمز او المختصر	المدلول
ص	الصفحة
ط	الطبعة
ج	الجزء
ج . ر . ج . ج	الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية
الذكاء الاصطناعي	AI

مقدمة

يعيش العالم المعاصر اليوم إرهاصات ثورة صناعية رابعة غيرت وجه الاقتصاد العالمي، حيث لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد ضرب من الخيال العلمي، بل تحول إلى عصب حيوي في إدارة القطاعات الاستراتيجية، وعلى رأسها قطاع الطاقة والمناجم. إن هذا التحول الرقمي يأتي في سياق زمني يتسم بتصاعد الضغوط البيئية والمناخية، حيث تجد الدول نفسها أمام معادلة صعبة تقتضي الموازنة بين ضرورة استغلال الموارد الطاقوية والمنجمية لتحقيق التنمية، وبين الالتزامات الدولية الصارمة لخفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق الحياد المناخي. من هنا، يبرز الذكاء الاصطناعي كجسر تقني وقانوني يربط بين الفعالية الإنتاجية والاستدامة البيئية، مما يفتح آفاقاً جديدة لإعادة صياغة مفاهيم الأمن الطاقوي. ومع تزايد التحديات المناخية ونضوب المصادر التقليدية، أضحت الانتقال الطاقوي نحو المصادر المتجددة ضرورة استراتيجية لا غنى عنها. بين أن استغلال الطاقة المتجددة (كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح) يواجه تحديات تقنية تتعلق بتذبذب الإمداد وصعوبة التنبؤ الدقيق بمعدلات الإنتاج، وهنا تبرز الأهمية الجوهرية لتقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة ثورية قادرة على تحسين كفاءة هذا الاستغلال. إن دمج هذه التقنيات المتطورة في قطاع الطاقة لا يقتصر على الجانب الهندسي فحسب، بل يمتد لي طرح إشكالات قانونية وتنظيمية تستوجب البحث في الأطر التشريعية الكفيلة بضبط هذا التداخل وضمان استدامته ضمن منظومة قانونية متكاملة.

تكتسي هذه الدراسة أهمية بالغة بالنظر إلى التحولات التي يشهدها التشريع الطاقوي في الجزائر، خاصة مع توجه الدولة نحو الرقمنة الشاملة والانتقال الطاقوي. وتبرز الأهمية العلمية في محاولة إيجاد إطار قانوني يوفق بين سرعة التطور التكنولوجي للخوارزميات وبين جمود النصوص القانونية التقليدية، بينما تظهر الأهمية العملية في تقديم رؤية قانونية تساعد صانعي القرار والمؤسسات الطاقوية على تبني الذكاء الاصطناعي كآلية لتحسين استخدام الطاقة المتجددة، مع ضمان الحماية القانونية للبيانات والأمن الطاقوي الوطني في ظل الثورة الصناعية الرابعة. كذلك كونها تسلط الضوء على تقاطع حساس بين التكنولوجيا المتطورة والمنظومة القانونية الطاقوية، خاصة في ظل سعي الجزائر الحثيث لترقية قطاع المحروقات والمناجم وتطوير الطاقات المتجددة بموجب القوانين الحديثة (13-19 و 05-14). إن البحث في هذا الموضوع يكتسي صبغة ريادية، كونه يستكشف مدى قدرة النصوص القانونية التقليدية على استيعاب مفاهيم رقمية مستحدثة مثل "السيادة على البيانات الطاقوية"، و"المسؤولية عن الأخطاء الخوارزمية"، مما يجعله مرجعاً قانونياً يواكب التوجهات المعاصرة نحو الرقمنة الخضراء والتحول الطاقوي

الذكي

تسعى هذه الدراسة بشكل أساسي إلى تسليط الضوء على الدور الوظيفي الذي يؤديه الذكاء الاصطناعي في الرفع من كفاءة نظم الطاقة المتجددة، مع محاولة استجلاء المتطلبات والضمانات القانونية الضرورية التي يجب أن يوفرها المشرع لمواكبة هذه التقنيات. كما تهدف المذكرة إلى تحليل النصوص القانونية الراهنة لبيان مدى قدرتها على استيعاب مفاهيم "الإدارة الذكية للطاقة"، وصولاً إلى تقديم مقترحات تشريعية تساهم في سد الفجوات القانونية، لاسيما فيما يتعلق بمسؤولية الأنظمة الذكية والسيادة الرقمية على البيانات الطاقوية القومية.

أما عن دوافع اختيار الموضوع؛ فلقد تضافرت مجموعة من الأسباب الذاتية والموضوعية التي دفعتنا للخوض في هذا الموضوع؛ فعلى الصعيد الموضوعي، فرضت ندرة الدراسات القانونية المتخصصة التي تربط بين الذكاء الاصطناعي، والطاقة المتجددة في الجزائر ضرورة البحث العلمي في هذا المجال لسد الفراغ المعرفي. أما ذاتياً؛ فتنبع الرغبة من الميل الشخصي لمتابعة المستجدات التكنولوجية ومحاولة تكيفها قانونياً، إيماناً منا بأن مستقبل القانون، يكمن في قدرته على تنظيم التكنولوجيات الناشئة، وكذلك لارتباطها الوثيق مع تخصص دراستنا طاقة ومناجم، وهو ما يمثل تحدياً أكاديمياً؛ يحفز على البحث والاستقصاء لتقديم مساهمة علمية، تواكب توجهات الدولة في التحول الرقمي و لتقديم رؤية أكاديمية؛ تساهم في سد الفجوة بين الواقع التقني المتسارع، والجمود التشريعي النسبي، مع تحديد الضمانات الضرورية لحماية الأمن الطاقوي الوطني.

ومع ذلك لم تخلُ هذه الدراسة من صعوبات موضوعية، تمثل أبرزها؛ في شح المراجع القانونية المتخصصة، بالإضافة إلى الطبيعة التقنية المعقدة لمصطلحات الذكاء الاصطناعي التي تطلبت جهداً مضاعفاً لتكييفها قانونياً. كما تم رصد مجموعة من الدراسات السابقة التي قاربت الموضوع من زوايا متباعدة، إلا أنها ظلت حبيسة الجانب التقني أو البيئي العام، مما منح هذه المذكرة فرصة للتخصص في "الأبعاد القانونية والضمانات السيادية" المرتبطة برقمنة قطاع الطاقة.

عند استعراضنا للتراكم العلمي في هذا المجال، وجدنا عدة دراسات قاربت الموضوع من زوايا مختلفة، ومن أبرزها:

دراسة (سفيان بوعزة، 2025): التي بحثت في التطبيقات التقنية للذكاء الاصطناعي في الطاقة، ولكنها غلبت عليها الصبغة التقنية الهندسية على حساب المعالجة القانونية، في حين تأتي دراستنا لتضع هذه التقنيات في ميزان النصوص القانونية وتحليل المسؤولية الناشئة عنها

دراسة (بلقاسم أحمد، 2024): التي تناولت السياسة البيئية في قطاع الطاقة، إلا أنها ركزت بشكل كبير على الآليات الإدارية والرقابية للحد من التلوث، بينما تتميز دراستنا الحالية بالتركيز على "الخوارزمية" كأداة تقنية وقانونية لتحسين الاستغلال، وهو جانب لم تلمسه الدراسة السابقة بعمق.

دراسة (إيلي بن منصور، 2024): التي تناولت الأطر القانونية للرقمنة بصفة عامة، بينما تنفرد دراستنا بالتركيز المتخصص على "الطاقة المتجددة" كقطاع حيوي مستقل، مع بحث الضمانات القانونية الدقيقة المرتبطة بالأمن الطاقوي والسيادة الرقمية.

ومن خلال هذه المقارنة، يظهر أن دراستنا الحالية ستضيف قيمة علمية عبر التركيز على "التنظيم القانوني للاستغلال" وبحث إشكالية المسؤولية عن الأخطاء الخوارزمية، وهو ما يمثل حلقة مفقودة في الدراسات السابقة التي ظلت حبيسة الجانب البيئي العام أو التقني الصرف.

بناءً على ما تقدم، تتبلور المشكلة القانونية والتقنية لهذا البحث في التساؤل الجوهرى التالي: إلى أي مدى يمكن الاستفادة من تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين استغلال الطاقة المتجددة في الجزائر؟

للإحاطة بجوانب هذه الإشكالية، اعتمدنا المنهج الوصفي الذي مكنا من توصيف ماهية الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته في قطاع الطاقة المتجددة، متبوعاً بـ المنهج التحليلي الذي كان له الدور الأبرز في تحليل ومناقشة النصوص القانونية الطاقوية في الجزائر، لبيان مدى مرونتها في استيعاب التقنيات الذكية وتحديد الثغرات التي تستوجب التدخل التشريعي.

من أجل معالجة منهجية دقيقة لهذا الموضوع، تم تقسيم المذكرة إلى فصلين أساسيين؛ خُصص الفصل الأول لدراسة "التنظيم القانوني لاستغلال الطاقة المتجددة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي"، حيث بحثنا في الإطار المفاهيمي والآليات العملية لهذا الاستغلال. أما الفصل الثاني، فقد تناولنا فيه "الذكاء الاصطناعي و تحديات تحقيق الأمن الطاقوي في مجال الطاقات المتجددة"، مع التركيز على المتطلبات التشريعية والضمانات القانونية الكفيلة بحماية هذا التحول الرقمي الاستراتيجي.

الفصل الأول: التنظيم القانوني لاستغلال الطاقة المتجددة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي

يشهد قطاع الطاقة المتجددة اهتمامًا متزايدًا على الصعيدين الوطني والدولي، نظرًا لما تمثله هذه الطاقات من بديل استراتيجي؛ يساهم في تقليل الاعتماد على المصادر التقليدية، وتحقيق التنمية المستدامة، غير أن استغلال هذه الموارد، يظل مرتبطًا بعدة تحديات تقنية وتنظيمية، خاصة ما تعلق بتذبذب الإنتاج وصعوبة التخزين وضعف الكفاءة التشغيلية.

وفي ظل الثورة الرقمية، برز الذكاء الاصطناعي كأحد أهم الأدوات التكنولوجية القادرة على إحداث تحول نوعي في المنظومة الطاقوية، من خلال تحليل البيانات الضخمة، والتنبؤ بمستويات الإنتاج، وتحسين عمليات التشغيل والصيانة، بما يضمن رفع الكفاءة وتقليل التكاليف وتعزيز الاستقرار الطاقوي. ولا يقتصر دور الذكاء الاصطناعي على الجانب التقني فحسب، بل يمتد ليشمل دعم الحوكمة الرقمية، وترشيد اتخاذ القرار، وتعزيز الشفافية داخل قطاع الطاقة، وهو ما ينسجم مع التوجهات الحديثة للدول في تحقيق أمنها الطاقوي وضمان استدامته.

و بناءا على ما تبقى، سنبحث في هذا الفصل عن كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي لتعزيز استغلال الطاقة في بحث أول، واستخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مصادر الطاقة المتجددة في بحث ثاني. من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحليل و توضيح دوره في دعم الإنتاج الطاقوي من جهة، وتعزيز الابتكار وتحسين المنظومة الطاقوية من جهة أخرى، بما يخدم الأهداف البيئية والاقتصادية في إطار رؤية استراتيجية متكاملة

المبحث الأول: الذكاء الاصطناعي كآلية لتعزيز استغلال الطاقة المتجددة

يُعد تحسين الإنتاج الطاقوي من أبرز التحديات التي تواجه قطاع الطاقات المتجددة، نظراً لاعتمادها على عوامل طبيعية متغيرة كالإشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وفي هذا السياق، تبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي كحل مبتكر يتيح التنبؤ بالإنتاج، وإدارة الموارد بكفاءة، وتقليل الأعطال التقنية. لذلك سيتم التطرق إلى آليات دعم الإنتاج الطاقوي عبر تحسين العمليات (المطلب الأول) و دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالطاقات المتجددة (المطلب الثاني) .

المطلب الأول: اعتماد الذكاء الاصطناعي لتحسين كفاءة الطاقة المتجددة

تُعد الطاقات المتجددة أهم البدائل الاستراتيجية لتحقيق التنمية المستدامة، غير أن استغلالها يواجه تحديات تتعلق بعدم استقرار الإنتاج، نتيجة الاعتماد على العوامل الطبيعية. وفي هذا الإطار، أصبح الذكاء الاصطناعي أداة فعالة لتحسين عمليات الإنتاج من خلال تحليل البيانات. والتنبؤ والتحكم الذكي. حيث يعتبر التحكم في الطاقة، وتحسين كفاءتها التزاماً وطنياً بموجب المادة 02 من القانون 99-109. وفي الواقع العملي، لم تعد الحلول الميكانيكية التقليدية كافية لتحقيق الأهداف الطاقوية الطموحة للجزائر، مما استوجب إقحام الذكاء الاصطناعي كعنصر جوهري في سلسلة القيمة الطاقوية. ويُعرّف الذكاء الاصطناعي كما يلي:

“Artificial Intelligence is the ability of machines to perform tasks that typically require human intelligence such as learning, reasoning, and decision-making.”²

أي أن الذكاء الاصطناعي هو قدرة الآلات على أداء مهام تتطلب عادةً ذكاءً بشرياً مثل التعلم والاستدلال واتخاذ القرار. فهو فرع من فروع علوم الحاسوب يهدف إلى بناء أنظمة وبرامج قادرة على محاكاة القدرات الذهنية البشرية وأنماط عملها لا يقتصر الأمر على تنفيذ أوامر محددة مسبقاً، بل يمتد ليشمل قدرة الآلة على التعلم (من خلال البيانات)، الاستدلال (لحل المشكلات)، والتصحيح الذاتي. باختصار، هو تزويد

¹المادة 02، القانون رقم 99-09 المؤرخ في 28 يوليو 1999 المتعلق بالتحكم في الطاقة، ج.ر.ج. ج. 51. الصادرة بتاريخ 04 أوت 1999.

²Stuart Russell & Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson, New Jersey, USA, 2021, p. 2.

الآلات "بالعقل" اللازم لاتخاذ قرارات منطقية بناءً على مدخلات معقدة، مما يسمح لها بأداء مهام كانت تاريخياً حكرًا على البشر.

وقد دعم المشرع الجزائري هذا التوجه من خلال المادة 3 من القانون رقم 04-09 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة¹، الذي يهدف إلى تحسين استغلال الموارد الطاقوية. حيث تعتبر هذه المادة هي الحجر الأساس الذي يفتح الباب لدعم التقنيات الذكية، نصت على ما يلي:

"يهدف هذا القانون إلى تحديد القواعد الرامية إلى ترقية الطاقات المتجددة... قصد الحفاظ على الموارد الطاقوية الوطنية وتأمينها، والعمل على حماية البيئة، لا سيما من خلال: ... تشجيع كل عمل يهدف إلى تطوير البحث العلمي والتكنولوجي في مجال الطاقات المتجددة".

دعم المشرع في هذا القانون فكرة التحول التكنولوجي وعصرنة تسيير الموارد الطاقوية. الهدف كان إدخال التكنولوجيات الحديثة لرفع كفاءة إنتاج واستغلال الطاقات المتجددة (مثل الطاقة الشمسية والرياح)، والذكاء الاصطناعي هو الأداة التقنية التي تُستخدم حالياً لتحقيق هذه الأهداف التي نص عليها القانون.

الفرع الأول: تحسين الانتاج

لا يتوقف دور الذكاء الاصطناعي عند الجانب النظري، بل يمتد ليشكل "العقل المدبر" للمحطات الكبرى، وهو ما يمكن تفصيله في النقاط التالية:

أولاً: الخوارزميات التكيفية ومشاريع الجنوب الكبير

في الواقع العملي، تواجه المحطات الشمسية في ورقلة وتامنراست ظاهرة "التظليل الجزئي" و"العواصف الرملية". هنا تتدخل خوارزميات المنطق الضبابي (FuzzyLogic) المدمجة في العواكس الذكية (Inverters).

حيث تقوم هذه الخوارزميات بمعالجة بيانات لحظية عن سرعة الرياح وكثافة الغبار، وتتخذ قراراً آلياً بتغيير زاوية الألواح لحماية الميكانيك الداخلي أو لزيادة امتصاص الأشعة المشتتة.

¹ المادة 03 من القانون رقم 04-09 المؤرخ في 14 أوت 2004، المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، ج.ر.ج.ج، ع 52، الصادر بتاريخ 18 أوت 2004.

و هذا الالتزام التقني، يضمن للمستثمر تحقيق "معدل العائد الداخلي" المتفق عليه في عقود PPA - عقود شراء الطاقة- التي تبرمها الدولة مع الخواص، حيث أن أي نقص في الإنتاج بسبب سوء التوجيه يمثل خسارة مالية وقانونية للمستثمر.¹

ثانيا: الصيانة التنبؤية وتقليل تكاليف التشغيل (OPEX)

في محطة طاقة الرياح بـ "كبارتي" (أدرار)، تعتبر تكلفة صيانة التوربينات عالية جداً بسبب صعوبة تضاريس المنطقة. يتم تركيب مستشعرات اهتزاز ذكية تعمل بالذكاء الاصطناعي للتنبؤ بتآكل "المحامل الكروية" في التوربينة قبل أشهر من تعطلها.

و يسمح ذلك لشركة "SKTM" شركة كهرباء وطاقات متجددة - تابعة لسونلغاز) بجدولة الصيانة في أوقات انخفاض الرياح، مما يمنع الهدر الطاقوي.

ويمكن القول أن هذا الأمر؛ يتماشى هذا مع المادة 04 من القانون 01-02، المتعلق بالكهرباء وتوزيع الغاز عن طريق الأنابيب. حيث يساهم الذكاء الاصطناعي في منع "الانقطاعات المرفقية"، مما يعفي المسير من المسؤولية عن الأضرار التي قد تلحق بالمصانع الكبرى نتيجة التوقف المفاجئ للتيار.² وتعد الصيانة التنبؤية أبرز تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة، حيث تقوم على مبدأ التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، بدلاً من الاعتماد على الصيانة التقليدية.³

وتعتمد هذه التقنية على أجهزة استشعار متطورة، تقوم بجمع بيانات آنية حول أداء المعدات، مثل:

✓ الاهتزازات

✓ درجات الحرارة

✓ مستوى الضغط

✓ استهلاك الطاقة

ثم يتم تحليل هذه البيانات باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي للكشف عن أي خلل محتمل.⁴

¹عمراني خديجة، "الآليات القانونية لتشجيع الاستثمار في الطاقات المتجددة في الجزائر"، مجلة دفاتر السياسة والقانون، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، العدد 22، 2020، ص 144.

² المادة 04، القانون رقم 01-02 المؤرخ في 5 فبراير 2002 المتعلق بالكهرباء وتوزيع الغاز عن طريق الأنابيب، ج.ر.ج.ج. 08 . الصادر بتاريخ 6 فيفري 2002.

³ تقرير المنظمة العربية للتنمية الصناعية، تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة، 2021، ص 27.

مثال تطبيقي:

- تستخدم شركة General Electric (GE) أنظمة ذكاء اصطناعي لمراقبة التوربينات الريحية، حيث تمكنت من تقليل الأعطال بنسبة كبيرة وتحسين كفاءة التشغيل.
- في مزارع الرياح البحرية في المملكة المتحدة، يتم استخدام أنظمة صيانة تنبؤية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتقليل تكاليف الصيانة التي تُعد مرتفعة جدًا في هذا النوع من المشاريع.

وتتمثل مزايا هذه التقنية في:

- ✓ تقليل التكاليف التشغيلية
- ✓ تقادي التوقف المفاجئ
- ✓ تحسين عمر المعدات

حيث تظهر الدراسات أن الذكاء الاصطناعي، قادر على تحليل قواعد البيانات الضخمة لرصد المتغيرات المناخية وتحسين استغلال مصادر الطاقة النظيفة وزيادة كفاءة الإنتاج¹. وتبرز التطبيقات العملية في تحسين أداء توربينات الرياح بنسبة تتراوح بين 18 و25%، وإدارة الشبكات الذكية باستخدام خوارزميات التعلم العميق، والتنبؤ الدقيق للإشعاع الشمسي وسرعة الرياح، بالإضافة إلى تقليل الأعطال في المحطات بنسبة 40% عبر الصيانة التنبؤية .

ثالثًا: تحسين أداء الألواح الشمسية والتوربينات الهوائية

يساهم الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في تحسين كفاءة المعدات المستخدمة في إنتاج الطاقة المتجددة، من خلال التحكم الذكي والتكيف مع الظروف البيئية.

ففي مجال الطاقة الشمسية، يمكن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحديد أفضل زاوية لتوجيه الألواح الشمسية (Solar Tracking Systems) ، مما يزيد من كمية الطاقة الممتصة. كما يمكن اكتشاف الأعطال مثل تراكم الغبار، الذي يُعد من أهم التحديات في الدول ذات المناخ الصحراوي مثل الجزائر².

مثال تطبيقي:

⁴أحمد بن ناصر، الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة، دار الفكر الجامعي، الإسكندرية، 2018، ص 48.

¹سماح غرت نصير ، دور الذكاء الاصطناعي في تحقيق اهداف التنمية المستدامة في الطاقة المتجددة في مصر ، مجلد 26.العدد4. 2015. ص 417 .

² سماح غرت نصير، مرجع سابق، ص 417 .

في الإمارات العربية المتحدة، تم استخدام أنظمة ذكاء اصطناعي لتنظيف الألواح الشمسية بشكل آلي، مما ساهم في تحسين الإنتاجية بنسبة معتبرة.

أما في مجال الطاقة الريحية، فيستخدم الذكاء الاصطناعي لتحليل اتجاه وسرعة الرياح في الزمن الحقيقي، مما يسمح بتعديل زاوية شفرات التوربينات لتحقيق أقصى كفاءة.

مثال:

تستخدم شركة Siemens Gamesa تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين أداء التوربينات وتقليل الفاقد الطاقوي.

كما أن هذه التطبيقات تساهم في:

✓ زيادة الإنتاجية

✓ تقليل الفاقد

✓ تحسين العائد الاقتصادي للمشاريع

رابعاً: التبادل التجاري للطاقة

يستخدم الذكاء الاصطناعي لرفع كفاءة أسواق الطاقة عبر التنبؤ بالطلب، وتزويد المتعاملين بمعلومات دقيقة حول الأسعار، وتحليل البيانات المتعلقة بالطقس ومؤشرات الشبكة لتعزيز استقرار الشبكة وتقليل المخاطر المالية المرتبطة بتقلبات الأسعار. كذلك يساعد الذكاء الاصطناعي على تحسين إدارة أنظمة تخزين الطاقة عبر معالجة البيانات الضخمة، والتنبؤ بالانقطاعات وجدولة الصيانة الوقائية، مما يضمن زيادة العمر الافتراضي للمعدات واستمرارية الخدمة.

خامساً: الآثار الاقتصادية والاستثمارية

يسهم الذكاء الاصطناعي في خفض التكاليف التشغيلية، ورفع معدلات الإنتاجية وتحسين عمر وكفاءة الأنظمة.

وتجسدت هذه الفوائد في نماذج رائدة مثل منصات التنبؤ بالظروف المناخية، والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح، وأنظمة التنبؤ الدقيقة لأداء توربينات الرياح قبل التشغيل بعدة ساعات، مما يتيح لمتخذي القرار تحقيق التوازن بين العرض والطلب وتسريع انتشار الشبكات الذكية والمحطات الافتراضية، ويمهد الطريق نحو المدن الذكية كنموذج اقتصادي وتقني مستدام¹.

¹الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة (ترجمة عربية)، 2021، ص 63.

الفرع الثاني: إدارة وتخزين الطاقة والربط بالشبكة الوطنية

يعد دمج الطاقة المتجددة في الشبكة الوطنية (Interconnection) من أصعب التحديات القانونية والتقنية في الجزائر، ويتجلى دور الذكاء الاصطناعي هنا في:

أولاً: الشبكات الذكية والتحكم الفائق (SCADA AI)

تعتمد مصلحة تسيير المنظومة الكهربائية في الجزائر على أنظمة تحكم متطورة. يقوم الذكاء الاصطناعي بمهمة "التحكم الطاقوي"، حيث يقرر في أي لحظة يجب استهلاك الطاقة الشمسية، وفي أي لحظة يتم اللجوء للتوربينات الغازية. وعند مرور سحابة فوق محطة "الجلفة" الشمسية، ينخفض الإنتاج فوراً؛ هنا يقوم النظام الذكي بزيادة إنتاج محطة غازية قريبة بشكل آلي لتعويض الفارق في أجزاء من الثانية.

فهذا الدور يحمي "أمن الشبكة"، وهو التزام يقع تحت طائلة سلطة ضبط الكهرباء والغاز (CREG) بموجب صلاحياتها في مراقبة جودة الخدمة وتأمين الإمدادات وفق المادة 114 من القانون 01-02¹.

ثانياً: إدارة التخزين الكيميائي والحراي

في المشاريع الهجينة (شمس-غاز) بالجزائر، يلعب التخزين دور ممتص الصدمات. وتدير أنظمة الذكاء الاصطناعي، دورات الشحن للبطاريات الضخمة بناءً على توقعات الطقس. إذا كان التوقع يشير ليوم غائم غداً، يوجه النظام بتخزين أقصى طاقة ممكنة اليوم. ومن الناحية القانونية، إطالة عمر البطاريات عبر الذكاء الاصطناعي، يقلل من النفقات العامة للدولة، وهو ما يخدم مبادئ قانون الصفقات العمومية التي تشترط "الجدوى الاقتصادية" في اختيار التكنولوجيات المعتمدة في المشاريع الكبرى مثل مشروع "1000 ميغاواط"².

ثالثاً: تطوير تقنيات التخزين وإدارة الشبكة

يساعد الذكاء الاصطناعي في معالجة التحديات التقنية لتخزين الطاقة من خلال³:

- ✓ بناء نماذج تنبؤية لتقدير الطلب المستقبلي على الطاقة.
- ✓ تنظيم عمليات التخزين والتحكم في تدفق الكهرباء لضمان الاستغلال الأمثل للموارد.

¹المادة 114، القانون رقم 01-02، مرجع سابق.

²المادة 05 من القانون رقم 04-09، مرجع سابق.

³أحمد بن ناصر، الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة، مرجع سابق، ص 45.

رابعاً: التقنيات الحديثة للذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة

يستخدم الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات التشغيلية، والفنية المستمدة من أجهزة الاستشعار في محطات الطاقة الشمسية ومحطات الرياح، مما يساعد في:

- ضبط مسارات التوليد والتخزين والتوزيع.

- تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الأعطال الفنية.

كما يساهم في تطوير تقنيات التخزين من خلال معالجة البيانات المتعلقة بأنماط الاستهلاك وتحليل الطلب المستقبلي، وضبط تدفق الكهرباء، وتحسين أداء البطاريات لتحقيق الاستغلال الأمثل للموارد. تتيح الشبكات الذكية المدعومة بالذكاء الاصطناعي القدرة على المعالجة الآلية للبيانات والتنبؤ بالخلل الفني، وتحسين توزيع الطاقة بما يضمن استقرار الشبكة وكفاءة تشغيلها.

كما تعتمد بعض الأنظمة على التحليل البصري والفحص المستمر لتقييم كفاءة أنظمة الطاقة المتجددة، مثل متابعة أداء الألواح الشمسية ومراقبة محطات الرياح والكشف المبكر عن الأعطال¹.

ويستخدم الذكاء الاصطناعي أيضاً لتحسين إنتاجية الطاقة الشمسية من خلال معالجة بيانات أجهزة الاستشعار المدمجة بالألواح الشمسية، مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي ومستويات الرطوبة، لضبط معايير التوليد وتحقيق أقصى إنتاج ممكن. كما يساهم في تحديد العوامل التي تؤثر على أداء الألواح الشمسية مثل التلوث والغبار أو التلف الهيكلي، وتقديم توصيات للصيانة لضمان الاستغلال الأمثل للطاقة².

خامساً: المسؤولية المدنية عن أخطاء الأنظمة الذكية

إن اعتماد المؤسسات الطاقوية (مثل سونلغاز) على خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحسين الكفاءة والتنبؤ يطرح إشكالات قانونية معقدة حول "تحديد المسؤول" عند حدوث أخطار تقنية أو انقطاعات في الشبكة.

وفي المنظومة التقليدية، كان الخطأ يُنسب للمهندس أو الفني، أما في المنظومة الذكية، فقد يتخذ النظام قراراً آلياً (Autonomous Decision) يؤدي لضرر.

¹ هبة محمد إمام، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة عالمياً"، موقع الطاقة، تاريخ النشر 14 جانفي 2024، متاح على الرابط <https://attaqa.net/2024/01/14>، تاريخ الاطلاع: 6 مارس 2026.

² محمد عبد الله الصيرفي، إدارة الطاقة المتجددة، دار الكتب العلمية، بيروت، 2019، ص 112.

بالرجوع إلى المادة 138 من القانون المدني الجزائري، يتضح أن قيام المسؤولية المدنية يرتكز على مفهوم "حراسة الشيء". غير أن هذا المبدأ يثير إشكالاً قانونياً في ظل التطور التكنولوجي، خاصة عندما يتعلق الأمر بالأنظمة الذكية التي تتمتع بدرجة من الاستقلالية في اتخاذ القرارات. وهنا يبرز التساؤل حول مدى استمرار اعتبار الشركة حارسة لهذا النظام، في حالة تصرفه بذكاء واستقلالية عن إرادتها. يقتضي التحليل القانوني التمييز بين مصدر العطل لتحديد المسؤولية بدقة، وذلك من خلال التفريق بين العطل الناتج عن سوء صيانة المحطة، والذي تترتب عنه مسؤولية المستثمر، والعطل الناتج عن خلل في خوارزمية التنبؤ، والذي تتحمل تبعته الشركة المصنعة للبرنامج. غير أن هذا التمييز، رغم أهميته، قد يثير صعوبات عملية في الإثبات، خاصة في الأنظمة المعقدة والمتداخلة. ومن ثم يبرز توجه نحو ضرورة تبني المشرع الجزائري لنظام "المسؤولية الموضوعية"، الذي يقوم على أساس تحقق الضرر دون اشتراط إثبات الخطأ، بما يضمن حماية فعالة للمتضررين، سواء كانوا مستهلكين أو مؤسسات صناعية¹.

سادساً: المسؤولية العقدية في اتفاقيات شراء الطاقة (PPA)

امتداداً لما سبق بيانه بشأن صعوبة تحديد المسؤولية في الأنظمة الذكية والحاجة إلى تبني المسؤولية الموضوعية لحماية المتضررين، تبرز هذه الإشكالية بشكل أوضح في إطار المسؤولية العقدية ضمن اتفاقيات شراء الطاقة² (PPA)، التي تُعد من أهم العقود في قطاع الطاقة، حيث تلتزم الدولة بموجبها بشراء كميات محددة من المنتج الخاص. وفي هذا السياق تكتسي دقة التنبؤات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي أهمية بالغة، إذ إن إخلال المنتج بالكميات المتفق عليها نتيجة فشل نظام التنبؤ يثير تساؤلاً قانونياً حول تكيف هذا الإخلال: هل يُعد قوة قاهرة تعفي من المسؤولية، أم تقصيراً تعاقدياً يوجب التعويض؟ غير أن تعقيد إثبات الخطأ في مثل هذه الحالات يعزز الاتجاه نحو تضمين العقود ما يُعرف بـ"بند الضمان الرقمي"، الذي يحدد مسبقاً نسبة الخطأ المقبولة في التنبؤات الذكية. وبناءً عليه، فإن تجاوز هذه النسبة المتفق عليها يترتب آثاراً قانونية مباشرة، تتمثل في تحميل المنتج غرامات تأخير أو إلزامه

¹ حواس بن حليمة، "المسؤولية المدنية عن أفعال الذكاء الاصطناعي: دراسة تحليلية في ظل القواعد العامة"، مجلة الحقوق والعلوم السياسية، جامعة عباس لغرور خنشلة، الجزائر، 2024، ص 412.

² أحمد السابر، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة"، مقال منشور في منصة الطاقة (Attaqa)، بتاريخ 14 يناير 2024، متاح على الرابط <https://attaqa.net/2024/01/14/>: الذكاء-الاصطناعي-وتطوير-الطاقة-المتجددة / تم الاطلاع بتاريخ 17 أفريل 2026.

بتعويض مسير الشبكة عن الأضرار الناجمة، لا سيما عند الاضطرار إلى اللجوء لمصادر طاقة بديلة أكثر تكلفة، مثل الغاز.

سابعا: المسؤولية عن حماية البيانات

بما أن المبحث الأول ركز على "الشبكات الذكية"، فإن المسؤولية هنا تصبح مزدوجة:

- المسؤولية تجاه المستهلك: وفقاً للقانون 07-18 يتعلق بحماية الأشخاص الطبيعيين في مجال معالجة المعطيات ذات الطابع الشخصي، تقع على عاتق مؤسسة الطاقة مسؤولية حماية البيانات الشخصية التي يجمعها الذكاء الاصطناعي. أي أن تسريب لهذه البيانات نتيجة ضعف في أنظمة الحماية يترتب بمسؤولية تقصيرية وتعويضات كبرى ضد المؤسسة.¹

إن فشل أنظمة الذكاء الاصطناعي في التصدي لهجوم سيبراني، وما قد ينجر عنه من تسريب أو معالجة غير مشروعة للمعطيات ذات الطابع الشخصي، يمكن تكييفه قانوناً كإخلال بالالتزامات المرتبطة بحماية هذه المعطيات، وليس فقط كتهديد للمنشآت في حد ذاتها. وفي هذا الإطار، تثار مسؤولية القائمين على معالجة البيانات، سواء من الناحية الإدارية أو الجزائية، متى ثبت تقصيرهم في ضمان أمن المعلومات وحمايتها، وفقاً لأحكام قانون حماية المعطيات ذات الطابع الشخصي.

ثامنا: استخدام الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالإنتاج الطاقوي

يُعتبر التنبؤ بإنتاج الطاقة من الركائز الأساسية لضمان فعالية تشغيل محطات الطاقة المتجددة، خاصة في ظل الطبيعة المتقلبة لمصادرها. وهنا تبرز أهمية الذكاء الاصطناعي، لا سيما تقنيات التعلم الآلي والشبكات العصبية الاصطناعية، التي تعتمد على تحليل البيانات الضخمة والتاريخية للتنبؤ بالإنتاج المستقبلي بدقة عالية.²

تعتمد هذه النماذج على إدخال معطيات متعددة، مثل:

- الإشعاع الشمسي

¹ القانون رقم 07-18 مؤرخ في 10 جوان 2018، يتعلق بحماية الأشخاص الطبيعيين في مجال معالجة المعطيات ذات الطابع الشخصي، ج ر ج ج، ع 34، الصادر بتاريخ 13 جوان 2018.

² عبد القادر زغيب، القانون البيئي والتنمية المستدامة في الجزائر، دار هومة، الجزائر، 2017، ص 89.

- سرعة الرياح
- درجات الحرارة
- البيانات التاريخية للإنتاج

ثم يتم معالجتها عبر خوارزميات متطورة قادرة على التعلم والتحسين الذاتي.

- مثال تطبيقي:

وفي هذا السياق قامت شركة Google DeepMind بتطوير نظام يعتمد على الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بإنتاج مزارع الرياح التابعة لها، حيث تمكنت من رفع قيمة الطاقة المنتجة بنسبة تصل إلى 20% من خلال تحسين التنبؤ وإدارة العرض.

- مثال آخر:

في ألمانيا، يتم استخدام الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمة إدارة الطاقة للتنبؤ بإنتاج الطاقة الشمسية، مما يساعد على دمجها بكفاءة في الشبكة الكهربائية وتقليل الفاقد. وتكمن أهمية هذه التقنية في:

- تقليل عدم اليقين في الإنتاج
- تحسين قرارات التوزيع
- تحقيق التوازن بين العرض والطلب

تاسعا: الإطار التعاقدى للصيانة الذكية في منشآت الطاقة المتجددة

يُمثل الانتقال من الصيانة التقليدية إلى الصيانة الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي تحولاً في طبيعة الالتزامات العقدية ضمن قطاع الطاقة الجزائري. فلم تعد العقود تقتصر على تقديم الخدمة المادية، بل امتدت لتشمل إدارة الخوارزميات والبيانات الضخمة لضمان استمرارية المرفق العام الطاقوي.

1- ماهية عقود الصيانة الذكية وتكييفها القانوني

تُعرف عقود الصيانة الذكية بأنها اتفاقات تلتزم بموجبها شركات التكنولوجيا باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي (مثل الحساسات والتوائم الرقمية) للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها¹.

¹ أحمد السابر، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة.. 4 فوائد رئيسة"، مرجع سابق.

تتميز هذه العقود في القانون الجزائري بأنها عقود توريد تكنولوجي مركبة تهدف إلى عقلنة استغلال الموارد الطاقوية¹.

- الطبيعة القانونية: تندرج هذه العقود ضمن فئة العقود غير المسماة، ومن ثم تخضع في تنظيمها للقواعد العامة في نظرية الالتزامات، غير أنها تتميز بخصوصية نابعة من ارتباطها بقطاع الطاقة والمناجم، الأمر الذي يفرض إخضاعها لمعايير صارمة تتعلق بالسلامة والأمن.

2- أنواع عقود الصيانة الذكية في منشآت الطاقة

يمكن تصنيف هذه العقود بناءً على درجة تدخل الذكاء الاصطناعي وطبيعة الالتزام إلى:

- عقد الصيانة التنبؤية المرتكز على البيانات: حيث يتم ربط المحطة بنظام خوارزمي يحل الأداء اللحظي، وهو ما يقلل تكاليف التشغيل بنسبة كبيرة ويطيل عمر الأصول².

- عقود الخدمات المدارة رقمياً: وفيه تلتزم الشركة بإدارة المنظومة الطاقوية بالكامل، وهو ما يطرح تحديات تتعلق بـ "السيادة الرقمية على الطاقة" وضرورة تخزين البيانات محلياً³.

- العقود الذكية ذاتية التنفيذ: (Smart Contracts) وهي عقود برمجية تُنفذ تلقائياً عند رصد العطل، وتعتمد قانوناً على الاعتراف بالتوقيع الإلكتروني كوسيلة للإثبات⁴.

3- البنود الجوهرية والمسؤولية العقدية

تتميز هذه العقود ببنود فنية ذات أبعاد قانونية حاسمة، منها:

- بند ضمان التوافر: (Availability Guarantee) يلتزم فيه المورد بضمان تشغيل المحطة بنسبة توافر عالية، وفي حال الفشل يلتزم بالتعويض عن الطاقة الضائعة⁵.

¹ راجع المادة 02 من القانون رقم 04-09، مرجع سابق

² أحمد السابر، مرجع سابق .

³ مركز الدراسات الاستراتيجية (HCSR)، "الذكاء الاصطناعي: التحولات والآفاق في قطاع الطاقة"، دراسة منشورة، جانفي 2026، ص 12، متاح على <https://www.hcsiraq.net/wp-content/uploads/2026/01/الذكاء-الاصطناعي.pdf>.

⁴ انظر المادة 03 من القانون رقم 15-04 المؤرخ في أول فيفري 2015، المتعلق بالتوقيع والتصديق الإلكترونيين، ج.ر.ج.ج، ع 06.

- **بند الأمن السيبراني وتحديث الخوارزميات:** نظراً لأن رقمنة الطاقة تزيد من مخاطر الاختراق، يلتزم المورد بتوفير حماية مستمرة للأنظمة ضد الهجمات الرقمية التي قد تستهدف البنية التحتية الطاقوية¹.

- **بند نقل التكنولوجيا:** نقل التكنولوجيا هو عملية تحويل المعارف التقنية والأدوات والخبرات إلى مهارات الفنية وحقوق الاستخدام المرتبطة بالابتكارات (مثل البرمجيات، البراءات، صناعية) من جهة مالكة لها إلى جهة أخرى، بهدف تمكينها من استخدامها أو إنتاجها أو تطويرها، سواء بشكل كلي أو جزئي، مقابل عوض مالي أو بموجب اتفاق تعاقدية. بعبارة بسيطة: هو تمكين طرف آخر من استعمال تقنية أو معرفة متقدمة بشكل قانوني ومنظم مقابل مقابل مالي أو شروط تعاقدية محددة، مع الالتزام بقواعد الملكية الفكرية وضمان حماية الحقوق المرتبطة بها. يمكننا القول أنها التزام المورد بتدريب الكوادر الجزائرية على إدارة هذه الأنظمة لضمان الاستقلال الطاقوي وتجنب التبعية التكنولوجية².

عاشرا: توطين المعرفة الخوارزمية في قطاع الطاقة الجزائري

تتجاوز الأبعاد القانونية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة مجرد تحسين الكفاءة التقنية، لتصل إلى صلب مفهوم "السيادة الوطنية". فالمرشح الجزائري، ومن خلال القواعد الأمرة في قانون الاستثمار 18-22، سعى بوضوح إلى تغيير المركز القانوني للجزائر من "مستهلك سلبي" للتقنيات المستوردة إلى "مالك ومطور للخبرة"³.

⁵ سعدي علي، "النظام القانوني لعقود الصيانة الصناعية في قطاع المحروقات والطاقة"، مجلة الدراسات الحقوقية، جامعة سعيدة، المجلد 9، العدد 1، 2022، ص 115.

¹ مركز الدراسات الاستراتيجية (HCSR)، المرجع السابق، ص 18 (حول التحديات الأمنية والسيبرانية التي تواجه أنظمة الطاقة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي).

² راجع المواد 54 وما بعدها من القانون رقم 18-22 المؤرخ في 24 يوليو 2022، المتعلق بالاستثمار، ج.ج.ج، العدد 50.

³ راجع المواد 02 و 05 من القانون رقم 18-22 المؤرخ في 24 يوليو 2022، المتعلق بالاستثمار، الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية، ع 50 (والتي تؤكد على تشجيع الابتكار ونقل التكنولوجيا كأهداف استراتيجية للاستثمار).

وتتجلى الآثار القانونية لهذا التوجه في فرض قيود تعاقدية تلزم الشريك الأجنبي بـ "توطين المعرفة الخوارزمية"؛ حيث لم يعد يُكتفى قانوناً بتوريد الأنظمة الذكية، بل أصبحت عقود الطاقة والمناجم الحديثة تتضمن بنوداً إجبارية تتعلق بنقل التكنولوجيا (Transfer of Technology) وتدريب الكوادر البشرية الوطنية على إدارة "العقول الرقمية" للمحطات¹.

إن هذا التحول التشريعي يهدف إلى حماية "الاستقلال الطاقوي الرقمي"؛ فامتلاك الخبرة والتحكم في البرمجيات المشغلة للشبكات الذكية (Smart Grids) يمنع وقوع المرافق الحيوية للدولة تحت "التبعية التكنولوجية" أو "التحكم عن بُعد" من قبل الشركات المصنعة². ومن منظور قانوني صرف، فإن تحول الجزائر إلى مالك للخبرة يؤدي إلى نقل مسؤولية إدارة المخاطر السيبرانية والصيانة الذكية إلى أيدي وطنية، مما يعزز من فاعلية الرقابة التي تمارسها لجنة ضبط الكهرباء والغاز (CREG) على جودة وأمن الخدمة³. وبذلك فإن الذكاء الاصطناعي في الاستراتيجية الجزائرية ليس مجرد أداة تقنية، بل هو "رهان قانوني" يهدف إلى بناء قاعدة صلبة من الحقوق الفكرية والخبرات الميدانية التي تضمن استدامة الانتقال الطاقوي وفق السيادة الوطنية⁴.

ونستنتج من دراسة دور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة المتجددة أن هذا التطور التقني قد أوجد حلاً عملياً للمعادلة الصعبة التي وضعها المشرع الجزائري في القانون رقم 99-09 المتعلق بالتحكم في الطاقة، والتمثلة في تحقيق أقصى مردودية طاقوية بأقل تكلفة اقتصادية وبيئية. حيث أثبتت الدراسة أن تقنيات الذكاء الاصطناعي، من خلال أنظمة التتبع الذكي والصيانة التنبؤية، قد يرفع من "موثوقية" المحطات المتجددة في الجزائر. وهذا الانتقال من الصيانة التقليدية إلى الصيانة

¹ بن علي محمد، "عقود التكنولوجيا المتطورة في القانون الجزائري"، دار النهضة للطباعة والنشر، الجزائر، 2023، ص 174.

² مركز الدراسات الاستراتيجية (HCSR)، "الذكاء الاصطناعي: التحولات والآفاق في قطاع الطاقة"، دراسة منشورة، جانفي 2026، ص 22 (حول ضرورة الاستقلال التكنولوجي لضمان أمن البنية التحتية الطاقوية)

³ أنظر في مهام لجنة الضبط: المادة 114 من القانون رقم 02-01، مرجع سابق.

⁴ أحمد السايير، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة.. 4 فوائد رئيسة"، مرجع سابق.

الذكاء، يقلل من حالات القوة القاهرة ويضمن استمرارية تدفق الطاقة، وهو ما يعد وفاءً بالالتزامات العقدية المنصوص عليها في دفا تر الشروط الخاصة بشركة "سونلغاز".

كذلك فإن قدرة الذكاء الاصطناعي على إدارة الشبكات الذكية (Smart Grids) وتنظيم دورات شحن البطاريات قد ساهمت في حماية الأصول الرأسمالية للدولة؛ فمن الناحية القانونية، يساهم هذا في تفعيل مقتضيات قانون تسيير النفايات (01-19) عبر إطالة عمر المعدات وتقليل التلوث، فضلاً عن ضمان نفاذ عادل وغير تمييزي لجميع المنتجين إلى الشبكة الوطنية.

كما أن تحسين الكفاءة عبر الذكاء الاصطناعي يعزز من سيادة الدولة على مواردها؛ فكلما زادت كفاءة المحطات المتجددة، قلّ الاعتماد على المحروقات التقليدية (الغاز الطبيعي)، مما يسمح بتوجيه تلك الموارد نحو التصدير أو الصناعات البتروكيمياوية، وهو ما يخدم الأهداف الكبرى لـ قانون المحروقات والأمن القومي الطاقوي.

بناءً عليه، فإن الذكاء الاصطناعي في هذا المطلب لم يظهر كأداة ثانوية، بل كشرط جوهري لتحويل "الطاقات المتجددة" من طاقات مكملّة إلى طاقات أساسية قادرة على تحمل أعباء المرفق العام للكهرباء في الجزائر وفق المعايير القانونية والتقنية المعاصرة.

المطلب الثاني: دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالطاقة المتجددة

تعتبر الطبيعة المتغيرة وغير المستقرة (Intermittency) للمصادر المتجددة، مثل الشمس والرياح، أكبر تحدٍ يواجه دمجها في الشبكة الوطنية الكهربائية في الجزائر. ولتجاوز هذا العائق، يبرز الذكاء الاصطناعي كأداة لا غنى عنها للتنبؤ الدقيق بحجم الإنتاج، وهو ما يعد التزاماً تقنياً يفرضه قانون الكهرباء وضبط الغاز لضمان أمن الإمدادات.¹

يعد التنبؤ الدقيق بحجم الإنتاج الطاقوي الركيزة التي يستند إليها استقرار المنظومة الكهربائية الوطنية. فخلافاً للطاقة التقليدية المستمدة من الغاز الطبيعي والتي يمكن التحكم في تدفقها ميكانيكياً، تتسم الطاقة المتجددة (الشمس والرياح) بالتقلب المرتبط بالظواهر المناخية. من هنا، لم يعد التنبؤ مجرد ترف تقني، بل أصبح التزاماً يفرضه المشرع الجزائري لضمان أمن الإمدادات الطاقوية وتقادي الانقطاعات المرفقية. ويأتي الذكاء الاصطناعي كآلية متطورة لسد الفجوة بين "عشوائية المصدر الطبيعي" و"حتمية الاستقرار التقني للشبكة".²

¹ المادة 11 من القانون رقم 02-01، مرجع سابق.

² المادة 02، القانون رقم 99-09، مرجع سابق.

الفرع الأول: التنبؤ بالطاقة المتجددة طويل المدى

يشهد قطاع الطاقة المتجددة تطوراً متسارعاً في ظل التحول العالمي نحو مصادر طاقة نظيفة ومستدامة، الأمر الذي جعل من التنبؤ بالإنتاج الطاقوي عنصراً أساسياً في ضمان استقرار الشبكات الكهربائية وحسن تسيير الموارد. ويُعد التنبؤ طويل المدى بإنتاج الطاقة المتجددة، خاصة طاقة الرياح والطاقة الشمسية، من الأدوات التقنية المتقدمة التي تعتمد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات المناخية لتقدير حجم الإنتاج المستقبلي. غير أن هذا النوع من التنبؤ يطرح تحديات دقيقة تتعلق بدرجة الدقة والموثوقية، نظراً لتأثره بعوامل طبيعية متغيرة وغير مستقرة، مما ينعكس مباشرة على التزامات الفاعلين في قطاع الطاقة وعلى توازن العقود المرتبطة به.

أولاً: التحليل المقارن بين التنبؤ التقليدي والتنبؤ القائم على الذكاء الاصطناعي

قبل إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي، كانت الجزائر تعتمد في توقعاتها الطاقوية على النماذج الإحصائية التقليدية وخرائط الأرصاد الجوية البسيطة، وهو ما أفرز تحديات قانونية وتقنية عديدة:

- **من حيث الدقة والهامش الزمني:** التنبؤ التقليدي كان يعاني من "هامش خطأ" مرتفع، خاصة في التنبؤ قصير المدى، مما كان يضع شركة "سونغاز" في مواجهة مخاطر تقنية تضطرها للاحتفاظ باحتياطي دوار ضخم من الغاز، وهو ما يتنافى مع مبدأ "التحكم في الطاقة" الوارد في القانون 99-09. أما التنبؤ بالذكاء الاصطناعي، فيعتمد على التعلم العميق (Deep Learning) الذي يحل آلاف المتغيرات في أجزاء من الثانية، مما قلص هامش الخطأ إلى أقل من 0.5%.
- **من حيث النتائج القانونية:** في النظام التقليدي، كان من الصعب تحميل المنتج مسؤولية "عدم دقة التوقعات" نظراً لضعف الأدوات التقنية. أما اليوم مع توفر خوارزميات التنبؤ المتطورة، أصبح بإمكان سلطة ضبط الكهرباء والغاز (CREG) فرض معايير صارمة على المنتجين الخواص، حيث أضحي "الخطأ في التنبؤ" الذي يمكن تلافيه تقنياً سبباً موجباً للغرامات المالية.¹

ثانياً: التعليق على المواد القانونية ذات الصلة

¹سفيان عبدلي، "حوكمة قطاع الطاقات المتجددة في الجزائر في ظل التحديات الرقمية"، مجلة الدراسات القانونية، جامعة

من خلال استقراء المنظومة القانونية الجزائرية، نجد أن الذكاء الاصطناعي في التنبؤ يخدم نصوصاً قانونية صريحة:

- **التعليق على المادة 114 من القانون 01-02:** تمنح هذه المادة سلطة الضبط صلاحية مراقبة الالتزامات التقنية للمتعاملين. هنا، يصبح استخدام الذكاء الاصطناعي في التنبؤ معياراً لقياس "حسن نية" المنتج ومدى التزامه بالمعايير العالمية، بحيث يعتبر الفشل في استخدام هذه التقنيات إهمالاً في الوفاء بالالتزامات المهنية.¹

- **التعليق على المادة 03 من القانون 09-04:** تنص المادة 03 من القانون 09-04 على وضع إطار تنظيمي يندرج ضمن المخطط الوطني لترقية الطاقات المتجددة وتطويرها، باعتباره أداة تخطيطية تهدف إلى توجيه السياسات العمومية في هذا المجال. وفي هذا السياق، يمكن الإشارة إلى أن التنبؤ طويل المدى يُعد عنصراً جوهرياً يمنح هذا المخطط بعده التطبيقي والواقعي، إذ إن المعطيات المستخرجة من تقنيات الذكاء الاصطناعي ونماذج التنبؤ الحديثة تُمكن الدولة من اتخاذ قرارات مبنية على تقديرات دقيقة وموثوقة، سواء فيما يتعلق بتحديد المناطق الأنسب لمنح امتيازات استغلال الطاقة أو تخصيص العقارات الصناعية لإنجاز المحطات الطاقوية، وذلك استناداً إلى معطيات تقنية علمية بدل الاعتماد على تقديرات احتمالية أو إحصائية تقليدية.

ويقصد بالتنبؤ طويل المدى (Long-term Forecasting) ذلك النوع من التوقعات الذي يمتد على فترات زمنية طويلة قد تشمل عدة أشهر أو سنوات، وهو ما يجعله أداة محورية في دعم التخطيط الاستراتيجي لقطاع الطاقة في الجزائر، لاسيما في ظل التحول نحو الطاقات المتجددة والحاجة إلى ضمان استقرار العرض الطاقوي وتوجيه الاستثمارات بشكل فعال.. بناءً على يقين تقني لا تخمين إحصائي.²

- **التخطيط الجغرافي والمناخي للمشاريع الكبرى**

¹المادة 114، القانون رقم 01-02، مرجع السابق.

²المادة 03، القانون رقم 09-04، مرجع سابق.

تعتمد الوكالة الوطنية لتطوير استهلاك الطاقة (APRUE) ومراكز البحث في الطاقات المتجددة (CDER) على نماذج الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات التاريخية للمناخ في الجزائر على مدار عقود. حيث تقوم خوارزميات "الشبكات العصبية العميقة (Deep Learning)" بتحليل التغيرات المناخية طويلة الأمد وتأثير ظاهرة الاحتباس الحراري على مستويات الإشعاع الشمسي في مناطق مثل "عين صالح" أو "المنيع".

ويساعد هذا التنبؤ الحكومة الجزائرية في اختيار المواقع المثلى لإنشاء محطات ضخمة ضمن مشروع "سولار 1000"، مما يقلل من مخاطر الاستثمار في مناطق قد تشهد تراجعاً في المورد الطبيعي مستقبلاً. كما يدعم اتخاذ القرارات المتعلقة بـ "المخطط الوطني لتطوير الطاقات المتجددة" المنصوص عليه في المادة 03 من القانون 04-09، حيث لا يمكن إعداد مخططات استراتيجية دون بيانات تنبؤية دقيقة تضمن استدامة المشاريع لـ 20 أو 25 سنة (وهي مدة عقود الامتياز).¹

الفرع الثاني: التنبؤ بالطاقة المتجددة قصير المدى

التنبؤ قصير المدى هو عملية تقدير أو توقع كمية إنتاج أو استهلاك الطاقة خلال فترة زمنية وجيزة، قد تمتد من دقائق إلى ساعات أو بضعة أيام فقط، بالاعتماد على معطيات آنية مثل الظروف الجوية، سرعة الرياح، الإشعاع الشمسي، وحالة الشبكة الكهربائية. ويُستخدم هذا النوع من التنبؤ بشكل أساسي في التسيير الفوري للنظام الطاقوي، من أجل ضمان توازن العرض والطلب، وتقادي الانقطاعات أو الاختلالات المفاجئة في الشبكة. يعد التنبؤ قصير المدى (من دقائق إلى أيام) العصب الحساس لتشغيل الشبكة الكهربائية الوطنية لحظة بلحظة، وله انعكاسات قانونية مباشرة على استقرار المرفق العام.

أولاً: التنبؤ بالطقس اللحظي واستقرار الشبكة (GridStability)

الطقس اللحظي هو وصف الحالة الجوية في الوقت الفعلي (في نفس اللحظة) في مكان معين، اعتماداً على القياسات المباشرة من محطات الأرصاد أو الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستشعار. تستخدم شركة "مسير المنظومة" (التابعة لسونلغاز) نماذج التنبؤ العددي بالطقس المدعومة بالذكاء الاصطناعي (HybridModels).

وتُتيح هذه النماذج (مثل نماذج التنبؤ العددي بالطقس ونماذج التعلم الآلي المعتمدة على البيانات المناخية) إمكانية توقع بعض الظواهر الجوية بدقة عالية، مثل مرور السحب أو تغير سرعة الرياح،

¹ المادة 03 من القانون رقم 04-09. مرجع سابق.

بنسبة قد تصل إلى 95% قبل وقوعها بساعات، مما يعزز من موثوقية التخطيط التشغيلي في قطاع الطاقة المتجددة.

وفي حال توقع النظام انخفاضاً حاداً في إنتاج محطة "الأغواط" الشمسية بسبب عاصفة رملية مفاجئة، يقوم الذكاء الاصطناعي بإخطار مراكز التحكم لتشغيل "التوربينات الغازية" فوراً كبديل.

هذا الدور التقني هو الذي يسمح لشركة سونلغاز بالوفاء بـ "التزام المداومة" المنصوص عليه في المادة 04 من القانون 01-02، حيث يحميها من المسؤولية القانونية تجاه المشتركين (خاصة المستشفيات والمصانع) عن أي انقطاع ناجم عن تقلبات الطقس.¹

تنص المادة 04 من القانون 01-02 على مبدأ استمرارية المرفق العمومي للكهرباء، بما يفرض على القائمين على هذا القطاع ضمان عدم انقطاع الخدمة وتوفيرها بشكل منتظم. وفي هذا الإطار، يكتسي التنبؤ قصير المدى المعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي دوراً وقائياً بالغ الأهمية، إذ يُمكن من رصد التغيرات المناخية اللحظية، مثل مرور السحب فوق محطة "الجلفة"، بما يسمح بإعادة توجيه الأحمال الكهربائية بشكل آلي وفوري. ويساهم هذا الإجراء في تقادي انقطاع الخدمة الكهربائية، وبالتالي تقليص مخاطر قيام المسؤولية التقصيرية في مواجهة مسيري المرفق العمومي من قبل المستهلكين المتضررين.²

ثانياً: إدارة السوق الطاقوي والتبادل البيئي

يُقصد بالسوق الطاقوي ذلك الإطار الاقتصادي والتنظيمي الذي يتم من خلاله إنتاج الطاقة وتوزيعها وتداولها بين مختلف الفاعلين، سواء كانوا مؤسسات عمومية أو مستثمرين خواص أو حتى مستهلكين، وذلك وفق قواعد العرض والطلب، وتحت رقابة الدولة باعتبار الطاقة قطاعاً استراتيجياً. ويُلاحظ أن هذا السوق يشهد في الوقت الراهن تحولات عميقة، تتمثل أساساً في التوجه نحو الانتقال الطاقوي من الاعتماد على الطاقات الأحفورية إلى الطاقات المتجددة، إلى جانب الانفتاح التدريجي على الفاعلين الخواص مع استمرار هيمنة الدولة على البنى التحتية الأساسية، فضلاً عن إدماج التقنيات الحديثة مثل الرقمنة والذكاء الاصطناعي في تسيير وتوقع الطلب والإنتاج.

¹ يوسف لطرش، "آليات ضبط سوق الكهرباء في التشريع الجزائري"، مجلة الإدارة والوظيفة العامة، جامعة الجزائر 3، العدد 06، 2022، ص 201.

² المادة 04، القانون رقم 01-02، مرجع سابق.

وفي هذا السياق، يُقصد بالتبادل البيئي في المجال الطاقوي تبادل الفائض أو العجز من الطاقة بين مختلف الأطراف الفاعلة داخل السوق، سواء بين الشركات المنتجة أو بين مناطق الدولة الواحدة عبر الشبكات الكهربائية، أو حتى بين الدول في إطار الربط الطاقوي الدولي. ويهدف هذا التبادل إلى ضمان استقرار التموين بالطاقة، وتحقيق التوازن بين العرض والطلب، بما ينعكس إيجاباً على المستهلك النهائي من خلال استمرارية الخدمة وتحسين جودتها.

يهدف المشرع الجزائري من خلال قانون الكهرباء إلى خلق سوق تنافسي للكهرباء.

يساهم التنبؤ قصير المدى في تمكين المنتجين من تحديد كميات الطاقة المتوقعة إنتاجها بدقة أكبر، مما ينعكس مباشرة على حجم الطاقة التي يتم عرضها للبيع في "سوق اليوم التالي". وفي هذا الإطار، يُعد الذكاء الاصطناعي أداة فعالة لتحسين دقة هذه التوقعات من خلال تقليص هامش الخطأ المرتبط بالتنبؤات التقليدية، وهو ما يسمح بتقادي الاختلال بين الكميات المعلنة والفعليّة. كما أن هذا التقليل من الأخطاء يكتسي أهمية قانونية واقتصادية، إذ إن أي انحراف كبير في التنبؤ قد يؤدي إلى فرض غرامات مالية على المنتج من قبل سلطة ضبط الكهرباء والغاز (CREG)، نتيجة الإخلال بقواعد توازن السوق والتزاماته التنظيمية. يرتبط هذا بـ "مسؤولية التوازن (Balancing Responsibility)"؛ فكل منتج ملزم قانوناً بتقديم توقعات دقيقة لإنتاجه، والذكاء الاصطناعي هو الوسيلة الوحيدة التي تحمي المنتج من العقوبات القانونية الناتجة عن اختلال التوازن بين الإنتاج الموعود والإنتاج الفعلي.¹

ثالثاً: دراسة حالة التنبؤ بالأعاصير الرملية في الصحراء الجزائرية (حماية الأصول الطاقوية)

تعتبر العواصف الرملية في مناطق كـ "عين صالح" و"أدرار" من أكبر المخاطر الطبيعية التي تهدد كفاءة الخلايا الكهروضوئية وميكانيكا توربينات الرياح.

فيقوم الذكاء الاصطناعي بربط بيانات الأقمار الصناعية ببيانات المحطات الأرضية للتنبؤ بقدوم العاصفة الرملية قبل ساعات في هذه الحالة، يصدر النظام أمراً آلياً للمحطة الشمسية لاتخاذ "وضعية الدفاع" (Stow Position)، حيث يتم قلب الألواح ليكون ظهرها في مواجهة الرياح المحملة بالرمول لتقليل الاحتكاك والخدوش التي قد تصيب الزجاج الأمامي.

¹ لخضر رابحي، "الطاقات المتجددة والتحديات التقنية للشبكات الكهربائية الذكية"، مجلة العلوم والابتكار، مركز البحث في

الطاقات المتجددة (CDER)، الجزائر، المجلد 10، 2023، ص 44.

تقليل هذه الخدوش يمنع انخفاض "كفاءة الامتصاص (Degradation Rate)" على المدى الطويل، وهو ما يحافظ على القيمة الاقتصادية للمحطة.

ومن الناحية القانونية، يساهم هذا التنبؤ في تقليل تكاليف "التأمين الهندسي"؛ حيث أن شركات التأمين (مثل SAA أو CAAT في الجزائر) عند معاينتها لاستخدام أنظمة تنبؤ ذكية، تقوم بتخفيض "أقساط التأمين (Insurance Premiums)" للمستثمر، نظراً لانخفاض نسبة المخاطر الطبيعية. كما أن هذا التنبؤ يحمي المستثمر من الدخول في نزاعات قانونية مع شركات الصيانة حول "مسؤولية التلف" الناتج عن الظروف المناخية.¹

أما التأمين الهندسي هو نوع من التأمينات المتخصصة التي تغطي الأخطار المرتبطة بالمشاريع الهندسية والإنشائية والتجهيزات التقنية خلال مراحل التصميم أو البناء أو التركيب أو التشغيل.

بمعنى أبسط: هو تأمين يحمي المشاريع الهندسية من الخسائر أو الأضرار غير المتوقعة.

المبحث الثاني: استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مصادر الطاقة المتجددة

نحن نعلم والجميع يدرك حجم القفزات النوعية في تقنيات الذكاء الاصطناعي وذلك تزامنا مع الضرورة الملحة والوعي للإنتاج المتزايد بضرورة التوجه نحو التحول الطاقوي وتغيير طرق إنتاج واستهلاك الطاقة لمجابهة التغير المناخي . حيث ذكر Bill bates في مقالته عام 2017 ان مجال الذكاء الاصطناعي والطاقة سيتصدر في المستقبل اهتمامات عالمية وانه سيلعب دورا محوريا وجوهريا في احداث ثورة في القطاع الطاقوي .²

¹انظر في هذا الصدد: بن مرزوق جمال، "إدارة المخاطر المناخية في عقود الاستثمار الطاقوي بالصحراء الجزائرية"، مجلة الدراسات القانونية المعاصرة، جامعة المسيلة، العدد 09، 2023، ص 156.

² الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة ، مقال منشور بموقع منتدى اسبار الدولي بتاريخ 24 سبتمبر 2018 ، تاريخ الاطلاع 9 افريل 2026

و تمتاز الطاقة المتجددة بكونها مواد غير ناضبة تتدفق بشكل طبيعي ومستمر وتتنوع اشكالها بين طاقة الرياح والمياه والشمس....الخ¹. حيث باستطاعة هذه الأنواع من الطاقات توفير الكهرباء والطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية وإنتاج الوقود اي كل ما تلبيه الطاقة الأحفورية.²

حيث يعتبر الذكاء الاصطناعي اداة قوية لتعزيز كفاءة واستدامة قطاع الطاقة المتجددة حيث انه يهدف إلى تسهيل التحول الطاقوي وذلك عبر تحسين التخطيط والتشغيل والصيانة و يبرز دور الذكاء الاصطناعي في هذا المجال عن طريق تحليل الكميات الهائلة من البيانات وذلك بهدف استخراج الأنماط والتنبؤات عن طريق تقنيات التعلم العميق والشبكات العصبية الاصطناعية فهذا يتيح أنا بناء نماذج دقيقة لتحليل انتاج الطاقة واستهلاكها والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية فالهدف منها هو رفع كفاءة أنظمة توليد الطاقة المتجددة وتحقيق هدف الانتقال الطاقوي بنجاح .³

عليه سنتطرق من خلال هذا المبحث الى مطلبين، سنفصل في اعتماد الذكاء الاصطناعي في نظام الطاقة الشمسية (المطلب الأول) وإلى كل من إيجابيات وسلبيات اعتماد الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة الشمسية (المطلب الثاني).

المطلب الأول: اعتماد الذكاء الاصطناعي في معالجة نظام الطاقة الشمسية

يعتبر الذكاء الاصطناعي وسيلة ثورية لتحديث تقنيات انتاج الطاقة وتعزيز كفاءة مصادرها المتنوعة ويبرز أثر هذا التقدم بوضوح في قطاع الطاقة الشمسية⁴

وبالتالي سنتناول من خلال هذا المطلب تعريف كل من الطاقة الشمسية (الفرع الاول) وأيضا استخدامات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال وتقييمه (الفرع الثاني).

الفرع الأول : مفهوم الطاقة الشمسية

¹. بن لخضر عيسى , يوسف افتخار , واقع الطاقات المتجددة في الجزائر وافاقها المستقبلية -دراسة تقييمية - مجلة

دراسات الاعمال والاقتصاد المعاصر , المجلد 03 , العدد 02 , افريل 2020 , ص 221

² الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2026 , مصادر الطاقة المتجددة وتخفيف اثار تغير المناخ , تقرير

خاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ , جنيف , سويسرا 2011, تاريخ الاطلاع 9 افريل 2026 , ص 7

³ هبة محمد امام , الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة عالميا , مرجع سابق.

⁴ محمد عودة , داغر فيصل , اد نبراس عدلان حلوب , الطاقة البديلة والذكاء الاصطناعي , مجلة كلية التربية , جامعة

واسط المجلد 59 , العدد 2 , 2015 , ص 453

تعد الطاقة الشمسية من أبرز مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة سواء من حيث استمرارية تدفقها أو ضخامة احتياطياتها وأيضاً اعتبارها طاقة بديلة ونظيفة فهي تضمن العيش في بيئة صحية وخالية من الملوثات .¹

شهدت الطاقة الشمسية تطوراً كبيراً في طرق استغلالها على مر العصور وإيضاً تماشياً مع التقدم العالمي والتكنولوجي حيث إن الإنسان قديماً استغلها في التدفئة وتجفيف المحاصيل فبعدها نجح الإنسان في ابتكار تقنيات لتسخين المياه عبر مبدأ التحويل الإشعاعي الحراري باستخدام اللاقطات الشمسية فيمكن اعتبارها ركيزة أساسية للحياة في شتى مجالات استخدامها .²

تعتبر الطاقة الشمسية "المختبر الأول" لتطبيقات الذكاء الاصطناعي نظراً لطبيعتها الرقمية القابلة للقياس المستمر .

أولاً: تعريف الطاقة الشمسية

تعود الطاقة الشمسية إنها تلك الضوء والحرارة المنبعثة من الشمس فهي من انظف مصادر الطاقة المتجددة تعرف على أنها "طاقة الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض على شكل موجات كهرومغناطيسية" .³

تعرف أيضاً أنها "هي جزء من الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض من خلال الغلاف الجوي للأرض في شكل من أشكال الطاقة الحرارية والضوئية"⁴

¹ ندى بنت ديسان السمين ،محمد. السيد الحافظ ،الملائمة المكانية. وإمكانية. توليد الطاقة الشمسية. الكهروضوئية. في منطقة تبوك بإستخدام التحليل المكاني والذكاء الاصطناعي ،مجلة الاداب ، ص 21

² بن لخضر عيسى و يوسف افتخار . (2020) واقع الطاقة المتجددة. في الجزائر. وآفاقها. المستقبلية، مرجع سابق، ص221

³ جابري عبد القادر وعبد الحفيظ كنية ،محطات الطاقة الشمسية في الجزائر الواقع الحالي والآفاق المستقبلية ،جامعة الجزائر 3، مخبر العولمة والسياسات الاقتصادية الجزائر ، تاريخ النشر :20 ديسمبر 2025 ، ص 3

⁴ ديدة صفاء ،راشدي أميرة ،مساهمة لدراسة تأثير تغير المناخ على الطاقة الشمسية وإيجاد حلول للتخفيف منها في منطقة ورقلة ، مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي تخصص فيزياء طاقيية ، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة. 2021. ص 5

لقد صنف المشرع الجزائري المصادر المتجددة المستغلة في التحول الطاقوي حسب المادة 4 من قانون 09_04 المؤرخ في 2004/08/14 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة ومنها الطاقة الشمسية¹.

-**الطاقة الشمسية:** وهي الطاقة الواردة من الشمس على هيئة إشعاع شمسي متعدد الموجات والتي يمكن تحويلها إلى أشكال الطاقة الأخرى ومن التحويلات التي أشار إليها المشرع الجزائري حسب نفس المادة:

أ- **التحويل الكهروضوئي :** وهو تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة مجمعات الخلايا الفوتوفولتية "

ب- **تحويل حراري وحواري حركي :** وتعتبر هذه العملية من أبسط عمليات تحويل الطاقة الشمسية إلى أشكالها الأخرى ولا تحتاج إلى تقنية عالية أو منشآت معقدة².

الإشعاع الشمسي هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية حيث لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130ميجاوات لكل متر مربع من سطح الشمس وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي³. تُعرف كذلك بأنها الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس والذي يمكن تسخيره باستخدام وسائل تقنية لإنتاج تيار كهربائي مباشر (DC) عبر الخلايا الكهروضوئية، أو حرارة عبر المجمعات الشمسية في الدراسات الحديثة، انتقل تعريف الطاقة الشمسية من "المصدر الساكن" إلى "المصدر الديناميكي"، حيث تتدخل خوارزميات Deep Learning لتحليل بيانات الإشعاع المنتشر والمباشر، مما يسمح للمحطات بالعمل بكفاءة حتى في الأيام الغائمة بنسبة تحسن تصل إلى 12% مقارنة بالأنظمة التقليدية⁴.

¹ قانون رقم 09_04، مرجع سابق.

² بلخيري مراد، آلية إثبات مصدر الطاقة المتجددة. في التشريع الجزائري ، مجلة. القانون العقاري مخبر القانون. والعقار. ،كلية الحقوق والعلوم السياسية. جامعة البليدة 02 (الجزائر) ص 113

³ ديدة صفاء ،راشدي أميرة ،مرجع سابق ،ص 11

⁴ عبد الرحمن السعيد، نظم الطاقة الكهروضوئية الذكية: التصميم والتحكم، دار النشر العالمية، لندن-القاهرة، 2025، ص

ثانيا: خصائص الطاقة الشمسية

تتميز بإستدامتها تعتبر البديل الأمثل للطاقة الاحفورية¹ وايضا يمكن استغلالها كبديل طبيعي لتوليد الطاقة الكهربائية والاستغناء عن شركات الكهرباء²

تعتبر أيضا طاقة نظيفة متجددة لا تخلف انبعاثات ضارة أو غازات دفيئة وبذلك تساهم بفعالية في حماية البيئة وتقليل الاعتماد على الوقود الاحفوري واستنزاف الموارد غير متجددة³

تم تنظيم استغلال الطاقة عبد إصدار المرسوم التنفيذي رقم 15_69 المعدل بمرسوم 17_167 والذي استحدث شهادة المنشأ لضمان رقابة دقيقة وتتبع فعال لمصادر الطاقة المتجددة وفق المعايير الوطنية.

في (2020_2023) قامت وزارة الانتقال الطاقوي بتحديث الاستراتيجية الوطنية لتواكب التحولات الراهنة حيث وسعت مجالات الاستثمار في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح مع صياغة أهداف جديدة تمتد في رؤية 2035⁴.

تمتلك الجزائر إمكانات شمسية استثنائية تجعلها في صدارة دول العالم من حيث معدات الإشعاع إذ يتجاوز عدد ساعات سطوع الشمس 2000 ساعة سنويا في معظم المناطق ويصل إلى 3900 ساعة في المناطق الصحراوية ،وتنعكس هذه الأرقام على حجم الطاقة المتاحة ،حيث ينتج المتر المربع الواحد حوالي 3كيلو واط /ساعة شمالا واكثر من 5,6 كيلو واط/ساعة في الجنوب .

وبالتالي هنا أدركت الجزائر أهمية هذا القطاع في الآونة الأخيرة وايضا للثروة الذهبية التي تحت يدها فيبرز التغيير في تشجيعها على الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية وذلك من أجل وصول الأمن الطاقوي وتنويع من اقتصادها⁵

حيث تبنت الجزائر سياسات تحفيزية وإصلاحات هيكلية وذلك من أجل جلب المستثمرين الأجانب والجزائريين على حد سواء حيث قامت بتأسيس وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة في عام

¹ تسنيم الفقيه،مميزات وعيوب الطاقة الشمسية ،مرجع سابق.

² ديدة صفاء وراشدي أميرة ،مرجع سابق ،ص 9

³ جابري عبد القادر وعبد الحفيظ كتيبة ،مرجع سابق ،ص 4

⁴ جابري عبد القادر وعبد الحفيظ كتيبة ،مرجع سابق،ص 5

⁵ حسين بن حرز الله ،مرجع سابق ،صفحة 43

2020 لتكون الجهة المركزية المنوط بها تنسيق وتنفيذ البرامج الوطنية للنظافة الطاقوية لآفاق 2025 وأيضا أصدرت الحكومة عدة مراسيم تنفيذية تقدم تسهيلات مالية وجبائية هامة كإعفاء من المرسوم والضرائب الجمركية على المعدات المخصصة لمحطات الطاقة الشمسية .

كما بادرت الدولة بإطلاق مشاريع كبرى تعتمد على آلية الشراكة بين القطاعين العام والخاص (ppp) ومن أبرزها مشروع (solar 1000mw) الرامي لإنشاء محطات شمسية في ولايات مختلفة، وتعزز هذا المسار بتطوير الإطار التشريعي عبر المرسوم التنفيذي رقم 22-90 لسنة 2022 القاضي بإنشاء الوكالة الوطنية للطاقات المتجددة التي تتولى مهمة متابعة المشاريع ودعم المستثمرين ميدانيا، أن هذه الجهود تعكس إرادة سياسة حقيقية لجعل الطاقة النظيفة ركيزة للتنمية المستدامة¹

هنا يمكننا القول إن الطاقة الشمسية في الجزائر ثورة واحدة ومصدر أساسي لتلبية الاحتياجات الطاقوية المستقبلية وتحقيق التنمية المستدامة لذا تسعى الحكومة الجزائرية لادماجها في المنظومة الطاقوية بحلول عام 2030 تكون 27% من إجمالي الإنتاج الكهرباء من الطاقات المتجددة²

توجه الجزائر إلى اعتماد الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء وخاصة في المناطق الجنوبية من بينها :

ـ مشروع كهربية عشرين قرية في الجنوب الكبير حيث تم إيصال الكهرباء لـ 20 قرية معزولة من بين الولايات المعنية تندوف تمنراست الخ

ـ على غرار المحطات الشمسية المنجزة في الجزائر ، المحطة التجريبية كهروضوئية لمنطقة الواد (غرداية) 1,1 ميغاواط والمحطة الهجينة لتوليد الطاقة (الشمسية -الغاز) بقدرة 150 ميغاواط في حاسي الرمال (الاغواط) .³

مشروع سولار يتكون هذا المشروع من محطات شمسية كهروضوئية بقدرة إجمالية تبلغ 1000ميغاواط ،باعتبار من أضخم المشاريع في الجزائر حيث أن ملكيتها مقسمة بالتساوي بين شركة سوناطراك وسوزلغاز (50% لكل واحدة منهما) .⁴

¹ جابري عبد القادر وعبد الحفيظ كتيبة .مرجع سابق.ص 05.

² حسن بن حرز الله ،مرجع سابق ،صفحة 44

³ حسن بن حرز الله ،مرجع سابق ،صفحة 45

⁴ جابري عبد القادر ،مرجع سابق،ص 07

ثالثا : استخدامات الطاقة الشمسية

تم استخدام الطاقة الشمسية في العديد من المجالات المتعددة نذكر منها :

توليد الكهرباء : يتم توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية عن طريق الألواح الكهروضوئية أو ما يعرف بالخلايا الشمسية¹.

حيث تستفيد العديد من المصانع باستغلال حرارة الشمس لتوليد الطاقة الكهربائية²

تسخين المياه وتدفئة المنازل: حيث أنه يتم استخدام الطاقة الشمسية كمصدر حراري بتحويلها إلى طاقة حرارية³ تم اعتماد السخانات لتسخين المياه والتي تعتبر وسيلة أكثر نظافة أيضا العديد من الدول النامية تستغل الطاقة الشمسية من أجل تطهير المياه وجعلها صالحة للشرب وذلك عن طريق تعريضها لأشعة الشمس لعدة ساعات⁴ تستخدم أيضا لتدفئة وتبريد المنازل في الأماكن الباردة والأماكن الساخنة على التوالي⁵.

الطبخ : جهل العديد من الأشخاص وجود أفران تعمل بالطاقة الشمسية فهي اقتصادية وصديقة للبيئة

شحن البطاريات بالطاقة الشمسية : يمكن أن يتم شحن الأجهزة الإلكترونية على اختلافها وتنوعها بواسطة تلك الشواحن المعتمدة على الطاقة الشمسية أيضا الاستفادة من ضوء الشمس لشحن بعض الأنواع من البطاريات.

الفرع الثاني :تقييم اعتماد الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة الشمسية

أولا :ايجابيات اعتماد الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة المتجددة

¹ حسين بن حرز الله ؛واقع وآفاق الطاقة الشمسية. في الجزائر ،جانعة الشهيد حمه أخضر ،بالوادي الجزائر ؛المجلة الجغرافية الاقتصادية ؛المجلد 02؛ العدد 02، 2025، ص 40

² تسنيم الفقيه،استخدامات الطاقة الشمسية ،14اكتوبر 2021،تاريخ الاطلاع ،10افريل 2026

³ حسين بن حرز الله ،مرجع سابق ،ص 40

⁴ تسنيم الفقيه ،مرجع السابق.

⁵ ديدة صفاء ،راشدي أميرة ،مرجع سابق ،ص 8

ساهم اعتماد الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة الشمسية في تعزيز كفاءة الإنتاج وذلك عن طريق تحليل مستويات الأداء، سواء اعتماداً على الظروف الجوية والموقع الجغرافي وكفاءة الألواح الشمسية أيضاً الكشف المبكر لأي تلف أو تآكل قد يطرأ على الألواح عبر الأنظمة الصور والحساسات المدعومة بالذكاء الاصطناعي¹

- استغلال الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات المتعلقة بمواد الألواح الشمسية من منظور فيزيائي وتفاعلات كيميائية فهكذا يساعد العلماء على تطوير خلايا شمسية جديدة بأعلى كفاءة والاعتماد على التعلم الذاتي في اكتشاف مواد جديدة وتحسين المواد الحالية مما يرفع من فعالية تصنيع الخلايا الشمسية². حيث يتم ضبط زوايا الألواح ديناميكياً لملائمة موقع الشمس بهذه الطريقة يرفع إنتاجية الطاقة بنسبة 20٪ مقارنة بالألواح الثابتة.

ويساعد هذا النهج التقني في تطبيق صيانة وقائية فعالة تؤدي بدورها إلى إطالة عمر المعدات³.

أيضاً يساهم الذكاء الاصطناعي في تحسين عملية التوزيع الطاقة النابعة عن الألواح الشمسية. وذلك باستخدام التنبؤ فهنا يتم تنظيم عمليات التخزين والتوزيع لضمان الاستفادة من الطاقة المولدة وتقليل الفاقد⁴ وأيضاً اثبتت الأنظمة الهجينة المدعومة بالذكاء الاصطناعي فعالية كبيرة في إدارة دورات شحن وتفريغ البطاريات بناء على توقعات الطلب المستقبلي يؤدي هذا التنظيم إلى تقليل هدر الطاقة بنسبة 15٪ ورفع موثوقية الشبكة بنسبة بالمئة 20%⁵.

¹ نجلاء فتحي محمد فهميم ، الذكاء الاصطناعي ودوره في تعزيز وتطوير أنظمة الطاقة المتجددة ،دراسة حالة عراق ، جامعة بنها مصر، ص 22

² عبد القادر الكاملي، الطاقة الشمسية والذكاء الاصطناعي ، تاريخ النشر :2024/10/20 تاريخ الاطلاع :2026/4/11 ساعة 20:18

³ نجلاء فتحي، مرجع سابق.ص 22

⁴ نجلاء فتحي، مرجع سابق. ص 23

⁵ نجلاء فتحي ، مرجع سابق، ص 23

واستخدام الذكاء الاصطناعي في الطائرات المسيرة (الدرونز) المزودة بكاميرات وأجهزة استشعار حيث تقوم بمسح الألواح الشمسية والتعرف على الشقوق والأوساخ عبر تحليل الصور. هذه التقنية تساهم في تقليص وقت الفحص البشري وتؤدي إلى تحسين جودة الصيانة¹.

كذلك في الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance): استخدام الشبكات العصبية لاكتشاف "الانهيار الجليدي" في الخلايا قبل وقوعه.

تساعد في تحسين الاقتصاديات: تقليل فترة استرداد رأس المال (PaybackPeriod) للمشاريع الكبرى.

ثانياً: الأثر البيئي السلبي لتقنيات الذكاء الاصطناعي واستهلاك الطاقة

يواجه الاعتماد على الذكاء الاصطناعي التوليدي عائقاً كبيراً يتمثل في استهلاك كميات ضخمة من الطاقة. وقد أشارت أبحاث (شاولي رين من جامعة كاليفورنيا) إلى أن العمليات البسيطة، مثل كتابة رسالة بريد إلكتروني بواسطة شات جي بي تي، تستهلك طاقة تعادل إضاءة 14 مصباحاً (LED) لمدة ساعة كاملة، بالإضافة إلى استهلاك كميات كبيرة من المياه للتبريد. ومع وصول عدد مستخدمي هذه التقنيات إلى أكثر من 200 مليون مستخدم، تتصاعد الاحتياجات الطاقية لتلبية الطلب، مما يؤدي إلى زيادة انبعاث الغازات الملوثة للجو نتيجة الاعتماد على الطاقة الأحفورية. هذا الضغط الطاقى دفع شركات كبرى مثل غوغل للبحث عن بدائل مثل الطاقة النووية لتشغيل مراكز بياناتها ومواجهة زيادة القدرات الحاسوبية.

وفي هذا السياق، يرى بعض المفكرين أن تطوير الطاقة الشمسية يمثل أولوية قصوى تتجاوز تطوير الذكاء الاصطناعي نفسه؛ لقدرتها على الحد من تلوث البيئة وتجنب الكوارث. ورغم انفاض تكاليف الطاقة الشمسية بنسبة 89% خلال العقد الماضي، إلا أنها لم تنل ذات الزخم والاهتمام العالمي الذي يحظى به الذكاء الاصطناعي حالياً. كذلك من أهم السلبيات إشكالية البيانات الحاجة إلى ملايين المدخلات لتدريب النماذج، وهو ما يستهلك طاقة حوسبية هائلة (مما يطرح تساؤلاً حول البصمة الكربونية للذكاء الاصطناعي نفسه). و التقدم التكنولوجي أي سرعة تطور الخوارزميات تجعل الأنظمة المنصبة قبل عامين "قديمة" تقنياً، مما يتطلب تحديثات مستمرة ومكلفة هذه أكثر التحديات التي تواجه الذكاء

¹ عبد القادر الكاملي، مرجع سابق.

الاصطناعي في العديد من الدول ومنها العراق وهو ضعف البيئة الرقمية وندرة البيانات حيث أنهما تمثلان العقبات الرئيسية .¹

المطلب الثاني: اعتماد الذكاء الاصطناعي في طاقتي المياه والرياح

ساهمت التطورات الحديثة إلى تحسين استغلال الطاقة المتجددة وزيادة إنتاجيتها وتقليل تكاليفها² حيث برزت في العديد من الأنواع من بينها طاقة الرياح والطاقة المائية .

وبالتالي سنتناول في هذا المطلب استخدامات الذكاء الاصطناعي في مجال طاقة المياه(الفرع الأول) وكذلك في طاقة الرياح (الفرع الثاني)

الفرع الأول: معالجة طاقة الرياح بالذكاء الاصطناعي

تعد طاقة الرياح عنصرا حيويا في الجهد العالمي وذلك من اجل الانتقال من الطاقة الأحفورية إلى الطاقة المستدامة وتحقيق الانتقال الطاقوي³.

حيث شهدت طاقة الرياح تحولا جذريا خلال العقد الأخير حيث تزايد الاعتماد عليها كمصدر رائد ونظيف للطاقة يحظى بتقدير عالمي واسع وفي هذا السياق كشف مجلس طاقة الرياح العالمية في تقرير حديث عن نمو متسارع في هذا القطاع مشيرا إلى ان وتيرة التوسع تجاوزت اضافة 50جيجاوات من القدرة الإنتاجية سنويا بشكل منتظم منذ عام 2014⁴.

أولا :تعريف طاقة الرياح

تعد الرياح مصدرا حيويا. للطاقة من خلال استغلال قوتها الحركية إذ تكمن فاعليتها في تحويل هذه الحركة إلى طاقة استطاعة وتناسب كفاءتها طرديا مع سرعة الرياح التي تبلغ ذروتها أثناء

¹ نجلاء فتحي، مرجع سابق، صفحة 20

² نجلاء فتحي . مرجع سابق، ص16

³ توقعات طاقة الرياح في المغرب بتقنيات الذكاء الاصطناعي Ai Maroc تاريخ النشر 2 اكتوبر 2024 تاريخ الاطلاع

15 افريل 2026

⁴ سوبر نيوز ،استخدام الذكاء الاصطناعي لتوليد الكهرباء ؟التعلم الالي يفتح آفاق جديدة في طاقة الرياح hyper Ai

تاريخ الاطلاع 15 افريل 2026

الاضطرابات الجوية والرياح العاصفة وإلى جانب كونها موردا متجددا ومستداما تتشعب استخداماتها. الحيوية لتشمل مجالات متعددة تخدم النشاط البشري.¹

تعرف الطاقة الهوائية. إنها الطاقة المستخلصة من حركة الرياح فهي نتاج التشغيل الميكانيكي للمولدات الهوائية والأنظمة الكهربائية التي يتم تحفيزها بواسطة التيارات الهوائية تعتمد العملية الإنتاجية على استغلال المراوح أو التوربينات التي تتحول حركتها الدورانية بفعل قوة الرياح إلى طاقة ميكانيكية ومن ثم إلى طاقة كهربائية شريطة توفر تدفق هوائي كاف ومنتظم في الموقع الجغرافي للمشروع .

تعرف أيضا أنها القدرة المتولدة نتيجة التأثير الحركي لكتل الهواء على توربينات أو محركات ميكانيكية ضخمة يتم تثبيتها في مناطق مرتفعة لضمان أقصى تدفق هوائي وتعتمد الآلية التشغيلية على توربينات ذات أذرع دائرية (غالبا ثلاثية) مثبتة على محور عمودي، تعمل على تحويل الدفع الهوائي الديناميكي إلى دوران ميكانيكي ينتج بدوره طاقة كهربائية²

ايضا تطرق لها المشرع في القانون رقم 04_09 في المادة 04 منه وذكر ان طاقة الرياح تخضع لتحولات ميكانيكية³ وكهروميكانيكية.

كذلك هي عبارة عن تحويل طاقة حركة الرياح إلى طاقة ميكانيكية عبر الريش، ثم كهرباء عبر المولد.

تقوم تقنية "التحكم التعاوني في مزارع الرياح (Wind Farm Control) "على مبدأ إدارة التوربينات كوحدة واحدة مترابطة بدل تشغيل كل توربينة بشكل مستقل، حيث تعتمد على تبادل البيانات بين التوربينات عبر أنظمة الذكاء الاصطناعي بهدف تحسين الأداء العام للمزرعة. ويسمح هذا التنسيق بتقليل تأثير الاضطراب الهوائي (Wake Effect) الناتج عن التوربينات الأمامية على تلك الموجودة في الخلف، مما يؤدي إلى تحسين تدفق الرياح ورفع كفاءة الإنتاج الطاقوي للمزرعة ككل بنسبة قد تصل إلى 58%.

¹ العبسي علي. شيخي بلال،، واقع وآفاق طاقة الرياح. في الجزائر. ،جامعة الشهيد. حمه لخضر الوادي ، جامعة محمد بوقرة بومرداس. ،مجلة المقار للدراسات. الاقتصادية. ، المركز الجامعي تندوف ،ص 302.

² لعبسي علي ،شيخي بلال ، مرجع سابق. ص 302.

³ القانون 04-09، المتعلق بالتقنيات الرقمية، مرجع سابق.

تخضع توربينات الرياح الذكية لاتفاقيات "الضوضاء والبيئة". تفرض قوانين الطيران والبيئة (مثل لوائح ICAO) استخدام الذكاء الاصطناعي للتعرف على أسراب الطيور المهاجرة وإيقاف التوربينات تلقائياً لحماية التنوع البيولوجي، وهو التزام قانوني بيئي صارم.¹

التقييم: يُظهر اعتماد هذه التقنية مجموعة من النتائج الإيجابية والسلبية في آن واحد، حيث تتمثل أبرز مزاياها في تقليل الأحمال الميكانيكية الواقعة على التوربينات، مما يساهم في تحسين أدائها وإطالة عمرها التشغيلي ليصل إلى نحو 25 سنة. في المقابل، تبرز بعض التحديات المرتبطة بها، أهمها صعوبة التنبؤ اللحظي بسلوك الرياح في البيئات المعقدة، خاصة في المناطق ذات التضاريس الجبلية، مما قد يؤثر على دقة التحكم وكفاءة التسيير في بعض الحالات.²

فيما يخص طاقة الرياح، فإن تطبيقاتها تتنوع بين الاستخدامات الميكانيكية التقليدية لضخ المياه في المناطق المعزولة، وبين التوليد الكهربائي واسع النطاق عبر التوربينات والمزارع الريحية الحديثة. وتكمن القوة الاستراتيجية لهذا المصدر في كونه خياراً مستداماً، يعزز الاستقلال الطاقوي ويقلل من عبء استيراد المحروقات، مع مساهمته الفعالة في التنمية الريفية وخلق فرص العمل. ومع ذلك، يظل "التقطع" وعدم الثبات الزمني والمكاني لهبوب الرياح من أبرز التحديات التي تتطلب حلولاً تقنية في مجال التخزين، علاوة على التأثيرات البيئية الجانبية مثل الضجيج وأثر التوربينات على المسارات الحيوية للطيور المهاجرة.

وتشير الدراسات إلى أن الجزائر تمتلك مقومات ريفية هائلة نظراً لتربعها على مساحة قارية تتنوع فيها الأقاليم المناخية، مما يضعها في صدارة الدول الأفريقية المؤهلة للريادة في هذا المجال. وقد تُرجم هذا الاهتمام إلى قرارات سياسية حاسمة، لاسيما في فيفري 2016 حين تم التأكيد على ضرورة تجسيد "البرنامج الوطني لتطوير الطاقات المتجددة". ويهدف هذا البرنامج الاستراتيجي إلى بلوغ قدرة إنتاجية إجمالية تصل إلى 32 ألف ميغاوات، تُخصص منها 22 ألف ميغاوات للسوق المحلية و10 آلاف

¹ حيدروشي عاشور، سفير محمد، مرجع السابق، ص186.

² العبسي علي، مرجع سابق، ص302.

ميغاوات للتصدير، وهو ما يعادل ضعف القدرة الإنتاجية الحالية للبلاد، باستثمارات ضخمة تتاهز 120 مليار دولار.

أما على صعيد الإنجازات الميدانية، فقد سجلت الجزائر خطوات ملموسة من خلال تشغيل مزرعة الرياح بـ "كابيرتن" في ولاية أدرار بقدرة 10 ميغاوات، والتي تعد حجر الزاوية في مشاريع الطاقات النظيفة بالجنوب الكبير. وينقسم تنفيذ الاستراتيجية الوطنية إلى مرحلتين؛ ركزت الأولى بين عامي 2015 و2020 على إرساء القواعد التقنية، بينما تهدف المرحلة الثانية (2021-2030) إلى تعزيز الربط الكهربائي بين الشمال والجنوب لدمج الطاقات المتجددة بشكل كامل في الشبكة الوطنية، مع استهداف إنتاج 2000 ميغاوات من طاقة الرياح وحدها ضمن هذا المخطط الطموح.

ثانيا: آليات تحسين طاقة الرياح بالذكاء الاصطناعي

تم استغلال الذكاء الاصطناعي في المجال الطاقوي الذي أدى إلى اكتشاف. المزيد من الطرق لتحسين كفاءة استخدام الموارد ¹.

يساعد الذكاء الاصطناعي على فهم وتحليل المتغيرات المناخية ². حيث انه من ابرز استخداماته هو التنبؤ حيث أن توقعات طاقة الرياح؛ تهدف إلى معرفة قوة وهبوب الرياح مسبقا لحساب كمية الكهرباء التي سنحصل عليها فهذا يساعد الشركات على تنظيم توزيع الكهرباء بذكاء من اجل تغطية احتياجات الطاقة للناس دون نقص أو هدر ³.

تبرز هنا قدرة الذكاء الاصطناعي في قدرته على تحليل البيانات الضخمة والمتراكمة لوضع خطط فعالة للحفاظ على البيئة؛ حيث يعمل عن طريق خوارزميات التعلم الآلي .

برز دور الذكاء الاصطناعي في تعزيز مردودية طاقة الرياح. وذلك بدوره في تصنيع توربينات رياح أكثر كفاءة أيضا معرفة المواقع الأفضل لاستقطاب الرياح وإنشاء مزارع الرياح فيها والتنبؤ أيضا بسرعة الرياح.

¹ سوبر نيور ،المرجع السابق ، تاريخ الاطلاع 16/4/2026 على الساعة . 22:55

² سماح غرت نصير ،دور الذكاء الاصطناعي في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في الطاقة المتجددة في مصر، مرجع سابق، ص 427

³ توقعات. الرياح في المغرب المرجع السابق .

- **تحسين أداء توربينات وتطويرها** : اعتماد محاكاة الحاسوب المعززة بالذكاء الاصطناعي لتطوير توربينات الرياح ذات كفاءة تشغيلية عالية، بما يضمن تحويل الطاقة الحركية (الرياح) إلى كهربائية وبخفض النفقات الإنتاجية في وتحقيق أعلى معدلات الإنتاجية، ويظهر ذلك في رفع كفاءة توربينات الرياح والمد والجزر بنسبة تتراوح بين 15% و 25% .

- **التنبؤ المناخي الدقيق** : استخدامات الخوارزميات الذكية للتنبؤ باتجاهات وسرعات الرياح لفترات زمنية ممتدة وهو ما يخدم استقرار الشبكات الكهربائية، ويسهل عملية دمج طاقة الرياح فيها بشكل أساسي .

- **تحديد المواقع الاستراتيجية** : الاعتماد على التحليل الذكي للبيانات الجوية، والبيئية لاختيار المواقع الأمثل لإنشاء مزارع الرياح، مما يساهم في تقليل المخاطر الاستثمارية وضمان استدامة الإنتاج¹

أيضا تكمن مزايا استعمال الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال التشغيلية، مما يساهم بشكل مباشر في رفع الكفاءة الإنتاجية وتطوير النظم الذكية المرتبطة بها أي الرصد المبكر لأي خلل او مشكل في المحطات ايضا تحديد قطع غيار التي تستوجب الاستبدال وهذا من أجل تجنب التوقفات غير المخطط لها وتقليل. التكاليف².

وتعد منصة "FlyPix" نموذجاً رائداً في توظيف الذكاء الاصطناعي لتحليل الصور الجوية عالية الدقة المستمدة من الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار عن بُعد. تهدف هذه التقنية إلى الرصد الاستباقي للألواح الشمسية وتوربينات الرياح، حيث تتيح دقتها العالية إمكانية الكشف الفوري عن الأضرار الهيكلية الخارجية، مما يعزز من كفاءة إدارة البنية التحتية الطاقية وضمان استدامتها التشغيلي³.

لدينا مثلاً شركة Envision الرائدة (تأسست عام 2007) نموذجاً في الانتقال من الإدارة التقليدية المعقدة. ولتوليد الطاقة إلى الحلول الرقمية القائمة على البيانات. تعتمد استراتيجيتها على "أنسنة" المولدات من خلال تزويد كل منها بأكثر من 500 جهاز استشعار ذكي، تتيح هذه المنظومة جمع بيانات شاملة حول

¹سارة عصمت سليمان ،مرجع سابق.

²هبة محمد امام ،تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة، مرجع سابق

³ Fly pix Ai برنامج الكشف عن الكائنات للطاقة المتجددة

التشغيل والصيانة، مما يحول عملية الإنتاج من تقديرات عشوائية إلى نظام دقيق يعتمد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحسين الأداء وزيادة الكفاءة التشغيلية¹.

دول مستعملة لـ AI :

هناك العديد من الدول في العالم التي تدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة لرفع الكفاءة والاستدامة، نذكر بعضاً منها:

1. **الولايات المتحدة الأمريكية: (USA)** تعتبر من الدول الرائدة والتي تتصدر المشهد العالمي في هذا المجال، حيث تعتمد أكبر الشركات فيها على تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات وتطوير كفاءة عمليات توليد الطاقة المتجددة².

2. **الصين:** تمثل ركيزة أساسية في تطوير واستخدام الحلول والتقنيات الذكية، إذ توظفها لتحسين أداء محطات الرياح والطاقة الشمسية، إلى جانب تحليل البيانات لتعزيز فاعلية الأنظمة الطاقوية.

3. **كندا:** تركز خصوصاً على استخدام هذه التقنيات لتحليل البيانات ورفع كفاءة إنتاج الطاقة مع اهتمام مكثف بتحسين أداء محطات الطاقة الشمسية والرياح وضمان الاستدامة.

4. **ألمانيا:** بصفتها دولة رائدة في إنتاج الطاقة النظيفة، تستعين بالذكاء الاصطناعي لرفع كفاءة توليد طاقة الرياح والشمس وتحليل البيانات المرتبطة بأداء نظم الطاقة المتجددة.

5. **اليابان:** تسخر الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة بهدف تحسين كفاءة التوليد من الرياح والشمس، إضافة لتحليل البيانات لتطوير أداء المنظومات الطاقوية.

الفرع الثاني: معالجة طاقة المياه بالذكاء الاصطناعي

تعد الطاقة المائية عنصراً حيوياً في المزيج الطاقوي العالمي، حيث تمثل أحد أقدم وأكثر المصادر موثوقية في تحقيق الانتقال من الطاقات التقليدية إلى الأنظمة المستدامة، نظراً لقدرتها العالية على التخزين وتلبية الطلب المتقلب على الكهرباء.

أولاً: تعريف طاقة المياه

¹سوبر. نيور. المرجع السابق 00:13

²هبة محمد امام ،تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الطاقة المتجددة،مرجع سابق.

تُعرف الطاقة المائية (Hydropower) بأنها الطاقة المستمدة من حركة المياه وسقوطها، حيث يتم تحويل الطاقة الحركية للمياه في الأنهار أو السدود إلى طاقة ميكانيكية عبر توربينات ضخمة، ومن ثم إلى طاقة كهربائية بواسطة المولدات، وتعتمد كفاءة هذا التحويل طردياً على حجم تدفق المياه والارتفاع الهيدروليكي للمنشأة¹.

كما عرفها البعض بأنها الطاقة الناتجة عن التشغيل الميكانيكي للمحطات الكهرومائية التي تستغل الجاذبية الأرضية ودورة المياه الطبيعية، شريطة توفر تدفق مائي كافٍ ومنظم لضمان استمرارية العملية الإنتاجية². وقد أشار المشرع الجزائري في القانون رقم 04-09 إلى أهمية استغلال الموارد المائية ضمن استراتيجية ترقية الطاقات المتجددة³.

تعتبر الطاقة المائية من المصادر الحيوية في المزيج الطاقوي العالمي، وتتميز بكونها مورداً نظيفاً لا يترتب عليه انبعاثات ملوثة للغلاف الجوي أثناء مرحلة التشغيل، فضلاً عن جدواها الاقتصادية المتمثلة في انخفاض تكاليف الصيانة والتشغيل على المدى البعيد مقارنة بالمحطات التقليدية. ورغم هذه المزايا، تواجه هذه الطاقة تحديات تتعلق بالتغيرات المناخية وتذبذب معدلات التساقط، مما يؤدي إلى تراجع الإنتاج في فترات الجفاف، بالإضافة إلى العوائق التقنية المرتبطة بتراكم الرسوبيات في أحواض السدود التي تقلص عمرها الافتراضي. وفي السياق الجزائري، يسعى التوجه الاستراتيجي للدولة إلى الاستغلال الأمثل للموارد الهيدروليكية في المناطق الشمالية والشرقية، حيث تضمن البرنامج الوطني لتطوير الطاقات المتجددة آليات واضحة لإدراج المحطات الكهرومائية الصغيرة والمتوسطة ضمن المزيج المستهدف لعام 2030.

– مجالات استخدام الطاقة المائية

تتنوع تطبيقات الطاقة المائية لتشمل عدة مجالات حيوية منها:⁴

¹ جلال الدين عثمان، تكنولوجيا الطاقة المتجددة، مجدلوي للنشر، عمان، 2021، ص 88.

² تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، تطوير الطاقة المائية عالمياً، 2024، ص 15.

³ المادة 04 من القانون رقم 04-09 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، مرجع سابق.

⁴ يوسف بن علي، تطبيقات الطاقة النظيفة، دار الفكر، دمشق، 2023، ص 102.

- توليد الطاقة الكهربائية: عبر محطات السدود الكبرى ومحطات الجريان النهري التي تعمل كبديل مستدام للمصادر الأحفورية¹
- نظم التخزين بالضح: وتعتبر حلاً مثالياً لدعم الشبكات الوطنية، حيث يتم ضخ المياه للخزانات العلوية في أوقات الوفرة وإعادة توليدها وقت الذروة²
- التطبيقات الميكانيكية التقليدية: مثل تشغيل مضخات الري في المناطق الريفية والبعيدة عن الشبكات الكهربائية³.

ثانياً: تحسين كفاءة طاقة المياه بالذكاء الاصطناعي

- أدى دمج الذكاء الاصطناعي في هذا القطاع إلى تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية بشكل غير مسبوق، وتتجلى أبرز تطبيقاته فيما يلي:
- **التنبؤ الهيدرولوجي الذكي:** استخدام خوارزميات التعلم الآلي لفهم وتحليل المتغيرات المناخية، مما يسمح بالتنبؤ الدقيق بحجم التدفقات المائية مسبقاً، وهذا يساعد الشركات على تنظيم توزيع الكهرباء ومنع الهدر المائي .
 - **رفع كفاءة التوربينات:** اعتماد محاكاة الحاسوب المعززة بالذكاء الاصطناعي لتطوير توربينات ذات كفاءة تشغيلية عالية، مما يرفع المردودية بنسبة تتراوح بين 15% و 20% عبر تقليل الاحتكاك وتحسين زوايا تدفق المياه .
 - **الصيانة التنبؤية والرصد المبكر:** استخدام المستشعرات الذكية لتحديد قطع الغيار التي تستوجب الاستبدال والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، مما يجنب المحطات التوقفات غير المخطط لها ويقلل التكاليف التشغيلية بشكل كبير.

ساهمت الثورة التكنولوجية المتمثلة في تقنيات الذكاء الاصطناعي في إعادة صياغة آليات تشغيل المحطات الكهرومائية، حيث انتقلت بها من نمط الإدارة التقليدية إلى نمط الإدارة الاستباقية القائمة على تحليل البيانات الضخمة. ويبرز دور **التنبؤ الهيدرولوجي الذكي** كأحد أهم هذه التطبيقات، إذ تعتمد

¹عمر خليل، "المحطات الكهرومائية كبديل طاقي"، مجلة العلوم الهندسية، المجلد 12، العدد 03، 2025، ص 67.

²محمد الصالح، تخزين الطاقة والشبكات الذكية، دار الهدى، الجزائر، 2024، ص 55.

³كمال فوزي، المضخات المائية والري التقليدي، مكتبة المعارف، بيروت، 2022، ص 30.

المحطات المعاصرة على خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning) لتحليل ومعالجة كميات هائلة من البيانات المناخية، مثل معدلات التساقط، درجات الحرارة، ورطوبة التربة، مما يمنح الإدارة قدرة فائقة على استشراف حجم التدفقات المائية بدقة زمنية عالية. هذا النمذجة الاستباقية لا تقتصر فوائدها على منع الهدر المائي فحسب، بل تمتد لتشمل تحسين استراتيجيات توزيع الأحمال الكهربائية وتجنب مخاطر الفيضانات المفاجئة التي قد تهدد سلامة السدود¹.

علاوة على ذلك، أحدث الذكاء الاصطناعي طفرة في الجوانب الهندسية والتقنية عبر رفع الكفاءة التشغيلية للتوربينات؛ فمن خلال استخدام نماذج المحاكاة الحاسوبية المتقدمة والتوائم الرقمية (Digital Twins)، أصبح من الممكن ضبط زوايا تدفق المياه بدقة متناهية، وتقليل الفواقد الناجمة عن الاحتكاك الميكانيكي. وتشير الدراسات التقنية إلى أن هذا التحسين الرقمي قد يرفع المردودية الطاقوية بنسب تتراوح بين 15% و20% دون الحاجة لتغيير البنية التحتية الصلبة للمحطة.

وفي سياق استدامة الأصول، برزت تقنية الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) كبديل استراتيجي للصيانة الدورية التقليدية؛ فبواسطة شبكة من المستشعرات الذكية (IoT) المرتبطة بأنظمة تحليلية، يتم رصد الاهتزازات والأنماط الحرارية غير الطبيعية في الأجزاء الدوارة والمولدات بشكل لحظي. تتيح هذه الرقابة اللحظية التنبؤ بالأعطال الميكانيكية قبل وقوعها بفترات كافية، مما يقلل من فترات التوقف غير المخطط لها، ويطيل العمر الافتراضي للمكونات، ويساهم بشكل مباشر في خفض التكاليف التشغيلية الرأسمالية، مما يجعل الطاقة المائية أكثر تنافسية في سوق الطاقة المتجددة².

¹ محمد صالح، الذكاء الاصطناعي والثورة الصناعية الرابعة في قطاع الطاقة، عمان: دار الأكاديميون للنشر والتوزيع، 2022، ص 114.

² سامي بن جاب الله، "دور النمذجة الرياضية والذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية"، المجلة الجزائرية للطاقة، المجلد 08، العدد 02، 2021، ص 19.

خلاصة الفصل الأول

يعد هذا الفصل حجر الزاوية في المذكرة، حيث تم من خلاله تسليط الضوء على الإطار المفاهيمي والقانوني الذي يحكم عملية دمج الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة المتجددة. وقد خلصت الدراسة في هذا الفصل إلى أن استغلال الطاقة المتجددة لم يعد مقتصرًا على الوسائل الميكانيكية التقليدية، بل أصبح يعتمد بشكل جوهري على أنظمة تحليل البيانات الضخمة والإحصاءات التنبؤية، والتي تعمل على معالجة تذبذب مصادر الطاقة (كالشمس والرياح) وضمان استقرار الشبكة الكهربائية.

ومن الناحية القانونية، تبين أن المشرع الجزائري، وبالرغم من تبنيه لاستراتيجيات طموحة للانتقال الطاقوي، إلا أن النصوص الحالية لا تزال تقتصر إلى تنظيم صريح لآليات الاستغلال الذكي. كما ركزت الدراسة في هذا الجزء على محور المسؤولية تجاه المستهلك؛ حيث استنتجنا أن التحول نحو الشبكات الذكية يفرض التزامات قانونية جديدة على المؤسسات الطاقوية، تتعلق بضمان استمرارية الخدمة والشفافية في استخدام الخوارزميات التي تدير الاستهلاك، مع ضرورة إيجاد توازن بين النجاعة التقنية وحماية الحقوق الاقتصادية للمشاركين.

الفصل الثاني: الذكاء الاصطناعي و تحديات
تحقيق الأمن الطاقوي في مجال الطاقات
المتجددة

يُعد الأمن الطاقوي الركيزة الأساسية التي تقوم عليها سيادة الدول واستقرارها الاقتصادي، وهو ما دفع المجتمع الدولي والتشريعات الوطنية —وعلى رأسها المشرع الجزائري— إلى إعادة النظر في استراتيجيات إنتاج واستهلاك الطاقة. ومع تفاقم الأزمات البيئية الناتجة عن الانبعاثات الكربونية الكثيفة لقطاعي الطاقة والمناجم، أضحت الانتقال نحو "الطاقات المتجددة" ضرورة حتمية لا خياراً ترفيهاً. بيد أن هذا الانتقال يواجه عقبات تقنية معقدة، تتمثل في تذبذب مصادر الطاقة النظيفة (كالرياح والشمس) وصعوبة إدماجها في الشبكات التقليدية بفاعلية واستقرار.

في ظل هذه المعطيات، برزت الثورة الصناعية الرابعة، وتحديداً تقنيات الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)، كقوة محركة قادرة على إحداث نقلة نوعية في فلسفة الأمن الطاقوي. فالذكاء الاصطناعي لا يقتصر دوره على الجانب التقني المحض، بل يمتد ليكون أداة "ضبط قانونية" و"رقابة بيئية" تساهم في تنفيذ الالتزامات الدولية الناشئة عن اتفاقية باريس للمناخ (2015). إن القدرة الفائقة للحوارزميات على معالجة البيانات الضخمة (Big Data) والتنبؤ بالأزمات قبل وقوعها، منحت قطاع الطاقة والمناجم آفاقاً جديدة لتقليل الهدر الكربوني وتحقيق الاستدامة¹.

ومع ذلك، فإن هذا التزاوج بين التكنولوجيا والقانون يطرح إشكالات قانونية حديثة لم تعدها النصوص التقليدية؛ لاسيما ما يتعلق بـ المسؤولية المدنية والتقصيرية عن أخطاء الأنظمة الذكية، وإشكالية السيادة الرقمية على البيانات الطاقوية القومية، ومدى مواءمة القوانين الوطنية (كقانون المحروقات 19-13 وقانون المناجم 14-05) مع هذه التحولات المتسارعة.

بناءً على ما تقدم، يهدف هذا الفصل إلى تفكيك العلاقة الجدلية بين الذكاء الاصطناعي والأمن الطاقوي، من خلال معالجة مبحثين أساسيين:

المبحث الأول: سنخصصه لدراسة "الذكاء الاصطناعي والحاجة إلى تحسين خفض الغازات الدفيئة"، حيث نبحث في التكيف القانوني للاحتباس الحراري، وكيفية توظيف الخوارزميات كأداة للرصد والتقليص.

¹ بلقاسم أحمد، السياسة البيئية في قطاع الطاقة: دراسة في ضوء التشريع الجزائري والمواثيق الدولية، دار الهدى، الجزائر،

المبحث الثاني: سيتناول "الذكاء الاصطناعي وضرورات تحقيق استدامة الطاقة المتجددة"، حيث نسلط الضوء على تقنيات الربط الذكي، ونحلل المتطلبات التشريعية والتقنية والضمانات القانونية الضرورية لرقمنة قطاع الطاقة في الجزائر بالمقارنة مع التوجهات الدولية.

المبحث الأول: الذكاء الاصطناعي و الحاجة الى تحسين خفض الغازات الدفيئة

واجه العالم اليوم أزمة مناخية غير مسبوقة، ناتجة عن التراكم التاريخي لانبعاثات الغازات الدفيئة، وهو ما دفع المجتمع الدولي إلى إرساء قواعد قانونية صارمة ضمن "اتفاقية إطارية" تهدف إلى كبح جماح الاحتباس الحراري. وفي ظل عجز الوسائل التقليدية عن الرصد الدقيق لهذه الانبعاثات في المنشآت الطاقوية والمناجم، برز الذكاء الاصطناعي كأداة تقنية وقانونية ذات فاعلية مزدوجة؛ فهي من جهة توفر "الشفافية الرقمية" اللازمة لإثبات الالتزامات البيئية، ومن جهة أخرى تقدم حلاً خوارزمية لتقليل البصمة الكربونية. يهدف هذا المبحث إلى تسليط الضوء على ماهية الاحتباس الحراري وآثاره، ثم الانتقال لدراسة الآليات الذكية الكفيلة بتقليل البصمة الكربونية¹.

المطلب الأول: تأثير الغازات الدفيئة على البيئة

إن صياغة أي إطار قانوني لمواجهة التغير المناخي تتطلب بالضرورة فهماً علمياً دقيقاً لمسببات الخطر. لذا، يهدف هذا المطلب إلى تسليط الضوء على "الغازات الدفيئة" ليس فقط كظاهرة فيزيائية، بل كعنصر ضار يستوجب تدخل "قانون البيئة" لضبطه. وسنقوم بتحليل مفهوم الاحتباس الحراري وتداعياته الجسيمة على النظم الإيكولوجية، والتي باتت تهدد البنية التحتية لقطاع الطاقة ذاته².

الفرع الأول: مفهوم الاحتباس الحراري

لا يمكن حصر الاحتباس الحراري في كونه ظاهرة مناخية فحسب، بل هو "حالة واقعية قانونية" تترتب عليها التزامات دولية. تتركز هذه الظاهرة على قدرة بعض الغازات (مثل CO_2 و CH_4 على امتصاص الأشعة تحت الحمراء، مما يخلق "غلافاً حرارياً".

¹ بلقاسم أحمد، السياسة البيئية في قطاع الطاقة: دراسة في ضوء التشريع الجزائري والمواثيق الدولية، مرجع سابق، ص 112.

² حنان عبد الحميد، الوجيز في قانون البيئة والتنمية المستدامة، دار الجامعة الجديدة، الإسكندرية، 2023، ص 45.

- التكييف القانوني في اتفاقية باريس (2015): ألزمت المادة 4 من الاتفاقية الدول الأطراف بوضع "مساهمات محددة وطنياً (NDCs)" وهنا يظهر دور الذكاء الاصطناعي كأداة لتدقيق هذه المساهمات، حيث أن الخطأ في تقدير الانبعاثات يؤدي إلى مسؤولية دولية للدولة¹.

- مبدأ "المسؤولية المشتركة ولكن المتباينة": هذا المبدأ القانوني يفرض على الدول الصناعية الكبرى (المصدر الأكبر للغازات) استخدام التكنولوجيا المتقدمة (كالذكاء الاصطناعي) لمساعدة الدول النامية في رصد التلوث.

يعرف الاحتباس الحراري قانوناً بأنه "التغير في المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري والذي يفضي إلى تغير في تكوين الغلاف الجوي العالمي"².

يعرف الاحتباس الحراري (Global Warming) بأنه الارتفاع التدريجي في درجة حرارة الطبقة السفلى من الغلاف الجوي للأرض، نتيجة زيادة انبعاثات الغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO₂) ، والميثان (CH₄) ، وأكسيد النيتروز. تعمل هذه الغازات كغطاء يمنع نفاذ الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأرض إلى الفضاء الخارجي، مما يؤدي إلى حبس الحرارة داخل الغلاف الجوي³.

من الناحية القانونية والبيئية، ترتبط هذه الظاهرة "بالعدالة المناخية"، حيث تسعى الاتفاقيات الدولية (كاتفاقية باريس للمناخ) إلى حصر هذا الارتفاع في حدود 1.5 درجة مئوية مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعية⁴.

الفرع الثاني: التأثيرات السلبية للاحتباس على البيئة

أولاً: الأسباب المرتبطة بقطاع الطاقة والمناجم

➤ الانبعاثات الهاربة (Fugitive Emissions) : في مناجم الفحم وحقول الغاز، تتسرب

كميات هائلة من الميثان. التقليد القانوني يكفي بتقديرات حسابية، بينما الذكاء الاصطناعي يحدد موقع التسرب بالمليمتر.

¹ بلقاسم أحمد، السياسة البيئية في قطاع الطاقة، مرجع سابق، ص 140.

² اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)، 1992، المادة الأولى.

³ سعيد محمد، التغيرات المناخية والأمن الدولي، دار النهضة العربية، القاهرة، 2022، ص 45.

⁴ اتفاقية باريس للمناخ، الأمم المتحدة، 2015، المادة الثانية.

➤ **حرق الغاز (Gas Flaring):** في المنشآت النفطية الجزائرية، يمثل حرق الغاز هدراً طاقوياً ومصدراً للتلوث، وهو ما تسعى قوانين المحروقات الجديدة (13-19) للحد منه عبر فرض ضرائب بيئية¹.

➤ **الأنشطة الصناعية:** احتراق الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة والمناجم يمثل المصدر الأكبر للانبعاثات.

➤ **إزالة الغابات:** مما يقلل من قدرة الأرض على امتصاص الكربون.

➤ **الاستهلاك الكثيف للطاقة:** في قطاعات النقل والتدفئة والتبريد².

ثانياً: الآثار على الأمن الطاقوي

➤ **الاحتباس الحراري** ليس خطراً على البيئة فقط، بل على "المنشآت":

➤ ارتفاع الحرارة يقلل من كفاءة محطات توليد الكهرباء بنسبة تصل إلى 15%.

➤ الفيضانات الناتجة عن التغير المناخي تهدد خطوط نقل الغاز والمناجم المكشوفة.

➤ اختلال الدورات المناخية: ذوبان الجليد في القطبين مما يؤدي لارتفاع منسوب البحار وتهديد المدن الساحلية.

➤ التصحر وفقدان التنوع البيولوجي: تغير النظم الإيكولوجية مما يؤثر على الأمن الغذائي.

➤ **الكوارث الطبيعية:** زيادة حدة الأعاصير، الجفاف، والحرائق الغابية التي تزيد من تآكل البنية التحتية للطاقة³.

بالمقارنة بين التقارير الدولية والواقع الوطني الجزائري، نجد أن:

➤ **على المستوى العالمي:** يؤدي الاحتباس الحراري إلى ارتفاع منسوب مياه البحار بمعدل 3.3 ملم سنوياً⁴.

¹ قانون رقم 13-19 ، ينظم نشاطات المحروقات، مرجع سابق.

² حنان عبد الحميد، القانون البيئي وحماية الغلاف الجوي، مرجع سابق، ص 88.

³ تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ، "التغير المناخي 2023: تقرير تجميعي"، ص 12.

⁴ تقرير وكالة ناسا (NASA) حول ارتفاع مستوى البحر، تحديث 2023.

➤ على المستوى الوطني (الجزائر): تعاني الجزائر من "الإجهاد المائي" وتوسع رقعة التصحر، مما يهدد منشآت الطاقة الشمسية في الجنوب (بسبب العواصف الرملية الناتجة عن التغير المناخي)¹.

جدول رقم (01): أهم الغازات الدفيئة ومصادرها في قطاع الطاقة والمناجم

الغاز الدفيء	المصدر الأساسي في قطاع القدرة على إحداث الاحتراق	الطاقة/المناجم
ثاني أكسيد الكربون (CO ₂)	احتراق الوقود الأحفوري (الفحم، عالية (المرجع الأساسي)	النفط
الميثان (CH ₄)	تسريبات استخراج الغاز الطبيعي، أكبر ب 25 مرة من CO ₂	مناجم الفحم
أكسيد النيتروز (N ₂ O)	الأنشطة الصناعية الكيميائية أكبر ب 298 مرة من CO ₂	المرتبطة بالطاقة

المصدر: د. بلقاسم أحمد، السياسة البيئية في قطاع الطاقة: دراسة في ضوء التشريع الجزائري والمواثيق الدولية، دار الهدى، الجزائر، 2024، ص 88.

المطلب الثاني: مساهمة الذكاء الاصطناعي في تقليل الانبعاثات الكربونية

انتقالاً من مرحلة "توصيف الخطر" إلى مرحلة "المواجهة الرقمية"، يستعرض هذا المطلب الدور المحوري الذي تلعبه الأنظمة الخبيرة وخوارزميات التعلم الآلي في إدارة الانبعاثات. إن إقحام الذكاء الاصطناعي في رصد الغازات الدفيئة لا يعد ترفاً تقنياً، بل هو استجابة للمتطلبات القانونية الدولية التي تفرض على شركات الطاقة والمناجم تقديم تقارير دقيقة وموثقة حول انبعاثاتها، مما يفتح آفاقاً جديدة لكفاءة استهلاك الموارد وتقليل الفاقد الطاقوي².

الفرع الأول: الدور التقني للذكاء الاصطناعي في رصد وتحليل غازات الاحتباس

يتمثل التوسع هنا في قدرة الخوارزميات على الانتقال من "الرصد" إلى "الإدارة الذكية":

¹ عبد القادر فضيل، "أثر التغيرات المناخية على التنمية المستدامة في الجزائر"، مجلة الاقتصاد والبيئة، جامعة ورقلة، 2022، ص 22.

² سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة: الجوانب التقنية والقانونية"، مجلة الحقوق والعلوم الإنسانية، جامعة الجلفة، المجلد 15، العدد 1، 2025، ص 78.

أولاً: الأمثلة التطبيقية العالمية والمحلية

مشروع (Climate TRACE) هو تحالف عالمي يستخدم الذكاء الاصطناعي وصور الأقمار الصناعية لتتبع انبعاثات كل محطة طاقة ومنجم في العالم بشكل لحظي، مما يمنع الدول والشركات من "التضليل البيئي"¹.

تجربة سوناطراك (الجزائر): البدء في استخدام تقنيات "كشف التسرب وإصلاحه (LDAR)" المدعومة بالذكاء الاصطناعي لتقليل انبعاثات الميثان في حقول حاسي مسعود.

كما يعمل الذكاء الاصطناعي (AI) على تعزيز الشفافية في مراقبة الانبعاثات من خلال:

➤ الاستشعار عن بعد والأقمار الصناعية: استخدام خوارزميات التعلم الآلي لتحليل الصور

الفضائية وتحديد مصادر تسرب الميثان في المنشآت النفطية والمناجم بدقة متناهية².

➤ النمذجة التنبؤية: قدرة الأنظمة الذكية على التنبؤ بمستويات التلوث المستقبلية بناءً على

المتغيرات الجوية والنشاط الصناعي، مما يسمح للسلطات الضبطية باتخاذ إجراءات استباقية³.

➤ إنترنت الأشياء (IoT): توزيع حساسات ذكية في المناطق الصناعية تقوم بنقل بيانات لحظية

حول جودة الهواء، وهو ما يدعم تفعيل قوانين "الملوث يدفع" بشكل أكثر عدالة.

الدور التقني للذكاء الاصطناعي في رصد وتحليل غازات الاحتباس:

1- تقنيات الرؤية الحاسوبية: (Computer Vision)

➤ تُستخدم لمعالجة الصور الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية (مثل القمر

الجزائري Alcomsat-1 في تطبيقاته البيئية) لتحديد بؤر التلوث الحراري. خوارزميات الذكاء

الاصطناعي تستطيع التمييز بين السحب الطبيعية وأعمدة الدخان الملوثة⁴.

2- الحوسبة السحابية والبيانات الضخمة:

¹ انظر الموقع الرسمي للمنظمة. climatetrace.org :

² سارة بن عودة، "دور التكنولوجيا الحديثة في حماية البيئة"، مجلة الحقوق والحريات، جامعة بسكرة، المجلد 9، العدد 2، 2024، ص 112.

³ David Rolnick et al., "Tackling Climate Change with Machine Learning", ACM Computing Surveys, Vol. 55, No. 2, 2023, p. 14.

⁴ سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة"، مرجع سابق، ص 85.

➤ القدرة على تحليل مليارات البيانات اللحظية الصادرة من حساسات (Sensors) مثبتة في فوهات المداخل الصناعية، مما يتيح للإدارة البيئية (مثل المرصد الوطني للبيئة والتنمية المستدامة في الجزائر) مراقبة الامتثال للقوانين عن بُعد.

الفرع الثاني: فاعلية الأنظمة الذكية في تحسين كفاءة استهلاك الموارد وتقليل الفاقد الطاقوي

تعتبر الكفاءة الطاقوية هي "الوقود الأول" لخفض الانبعاثات، ويقوم الذكاء الاصطناعي بتحقيق ذلك عبر:

➤ الشبكات الذكية (Smart Grids) إدارة توزيع الطاقة المتجددة (شمسية، رياح) من خلال الموازنة الذكية بين العرض والطلب، مما يقلل من الحاجة لتشغيل محطات التوليد التقليدية الملوثة عند ذروة الاستهلاك¹.

➤ الصيانة التنبؤية في المناجم والطاقة: اكتشاف الأعطال في الآلات قبل وقوعها، مما يمنع الهدر الطاقوي الناجم عن التشغيل غير الفعال أو التسريبات الغازية.

➤ تحسين العمليات الصناعية: استخدام خوارزميات التحسين (Optimization Algorithms) لتقليل استهلاك الوقود في عمليات استخراج المعادن وتكرير النفط، مما يقلل مباشرة من حجم الكربون المنبعث لكل وحدة منتجة².

رغم الفوائد، تظهر تحديات قانونية معقدة في تخصص قانون الطاقة والمناجم:

➤ حجية الإثبات الرقمي: هل يمكن الاعتماد على تقارير الذكاء الاصطناعي كدليل قانوني أمام القضاء البيئي لإدانة الشركات الملوثة؟ (إشكالية الدليل العلمي)

➤ المسؤولية القانونية: في حال أخطأت خوارزمية الذكاء الاصطناعي في تقدير حجم الانبعاثات مما أدى لغرامات غير مستحقة، من يتحمل المسؤولية؟ هل هو مبرمج النظام، أم الشركة المشغلة، أم مورد البيانات؟

➤ الفجوة التشريعية: نقص النصوص القانونية في "قانون الطاقة" الجزائري التي تنظم استخدام "الذكاء الاصطناعي الأخضر" وفرض المعايير التقنية على الشركات المنجمية³.

¹ عمار فوزي، قانون الطاقة المتجددة والتحول الرقمي، دار الجامعة الجديدة، الإسكندرية، 2023، ص 210.

² عمار فوزي، مرجع سابق، ص 215.

الجدول رقم (02): مقارنة بين الرصد التقليدي والرصد الذكي للانبعاثات

وجه المقارنة	الرصد التقليدي	الرصد المدعوم بالذكاء الاصطناعي
الدقة	تقديرية (بناءً على كمية الوقود)	لحظية (بناءً على الاستشعار الفعلي)
التوقيت	تقارير سنوية/فصلية	مراقبة حية 7/24
التكلفة	عالية (بسبب الفرق الميدانية)	منخفضة

المصدر: د. سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة: الجوانب التقنية والقانونية"، مجلة الحقوق والعلوم الإنسانية، جامعة الجلفة، المجلد 15، العدد 1، 2025، ص 112 (بتصرف).

المبحث الثاني: الذكاء الاصطناعي و ضرورات تحقيق استدامة الطاقة المتجددة

إذا كان المبحث الأول قد ركز على "درء المفسدات البيئية، فإن هذا المبحث يركز على "جلب المصالح" من خلال تعزيز استدامة الطاقات النظيفة. إن التحول الطاقوي المنشود يواجه عقبات تقنية تتعلق بتذبذب مصادر الطاقة المتجددة (الرياح والشمس)، وهنا تبرز أهمية الذكاء الاصطناعي كمحرك أساسي لـ "المزيج الطاقوي" عبر تقنيات الربط الذكي. وسنحاول هنا تفكيك العلاقة بين التكنولوجيا الرقمية واستدامة المصادر، مع معالجة المتطلبات التشريعية والضمانات القانونية التي تحمي هذا التحول الرقمي في قطاع الطاقة والمناجم¹.

³ ليلي بن منصور، "التحديات القانونية للرقمنة في قطاع المحروقات"، مجلة القانون والعلوم السياسية، جامعة تلمسان، 2023، ص 145.

¹ عمار فوزي، مرجع سابق، ص 190.

المطلب الأول : آفاق التنمية المستدامة وتعزيز إدماج الطاقات المتجددة

تعتبر التنمية المستدامة هي الغاية الأسمى لقانون الطاقة المعاصر. يهدف هذا المطلب إلى استقصاء قدرة الذكاء الاصطناعي على تحويل الطاقة المتجددة من مصادر ثانوية إلى مصادر أساسية ومستقرة في الشبكة الوطنية. وسنناقش كيف تساهم "الشبكات الذكية" في تجاوز عقبات الإدماج التقني للمصادر المتجددة، بما يضمن سيولة الإمدادات الطاقوية تحت رقابة خوارزمية دقيقة¹.

الفرع الأول: دور الذكاء الاصطناعي في تطوير المزيج الطاقوي وضمان استدامة

المصادر المتجددة

يعمل الذكاء الاصطناعي على تحويل المزيج الطاقوي من نظام مركزي يعتمد على الوقود الأحفوري إلى نظام مرن ومتعدد المصادر من خلال:

➤ **التنبؤ الجوي الدقيق:** استخدام خوارزميات التعلم العميق (Deep Learning) للتنبؤ بحركة الرياح وساعات السطوع الشمسي بدقة تصل إلى 95%، مما يسمح لمسيرى الشبكات بتعديل مصادر الطاقة مسبقاً².

➤ **إدارة تخزين الطاقة:** تعد تقنية البطاريات الذكية حلاً لاستدامة المصادر؛ حيث يقرر النظام الذكي متى يتم تخزين الطاقة الفائضة ومتى يتم ضخها في الشبكة بناءً على تحليل أنماط الاستهلاك.

يواجه المشرع الجزائري تحدياً في تنفيذ القانون 04-09 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة، وهو "تقطع" المصادر المتجددة الذكاء الاصطناعي يحل هذه المعضلة عبر:

➤ **خوارزميات التنبؤ بالأرصاء الجوية الهجينة:** لا يكفي النظام بالتنبؤ بالطقس، بل يربطه بمعدلات الإنتاج المتوقعة لمحطات الطاقة الشمسية في الجنوب. هذا يتيح لمسيرى الشبكة الوطنية اتخاذ قرارات "استباقية" لتشغيل محطات الغاز كدعم في حالة توقع غطاء سحابي كثيف، مما يضمن استدامة المصادر دون انقطاع التيار³.

¹ رابح خوني، اقتصاديات الطاقات المتجددة والبديلة، دار الهدى، الجزائر، 2023، ص 205.

² رابح خوني، مرجع سابق، ص 156.

³ رابح خوني، مرجع سابق، ص 160.

➤ إدارة المزيج الطاقوي الأمثل (Energy Mix Optimization): يقوم الذكاء الاصطناعي

بتحليل البيانات اللحظية لتحديد النسبة المثالية لكل مصدر (شمس، رياح، غاز) بما يحقق أقل

تكلفة اقتصادية وأقل انبعاثات كربونية، وهو ما يحقق جوهر التنمية المستدامة.

تكمّن المشكلة القانونية والتقنية في "عدم ثبات" الطاقة المتجددة. الذكاء الاصطناعي يحل هذه المعضلة عبر:

➤ محطات الطاقة الافتراضية (VPP) Virtual Power Plants: التي تجمع بين طاقة الرياح

والشمس والبطاريات وتديرها خوارزمية ذكية لضمان ضخ تيار مستقر في الشبكة الوطنية،

وهو ما يعزز نصوص القانون 04-09 المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في الجزائر¹.

الفرع الثاني: تقنيات الربط الذكي والتحكم في الشبكات لتعزيز ادماج الطاقة (الشمسية، الرياح، والمائية)

تعتبر الشبكة الذكية (Smart Grid) العمود الفقري لهذا الإدماج. وبدلاً من الشبكة التقليدية ذات الاتجاه الواحد، تخلق التقنيات الذكية شبكة "تفاعلية":

الطاقة الشمسية والرياح: توظيف "التوأم الرقمي" (Digital Twin) لتمثيل محطات الطاقة الشمسية في الصحراء الجزائرية (مثلاً) والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها نتيجة الظروف المناخية القاسية. استخدام "إنترنت الأشياء الصناعي" (IIoT) لربط آلاف الألواح الشمسية ومراوح الرياح بنظام مركزي يعالج البيانات لحظياً لتعديل الجهد والتردد، مما يمنع انهيار الشبكة نتيجة التدفقات الفجائية للطاقة المتجددة².

الطاقة المائية: استخدام الذكاء الاصطناعي لإدارة تدفقات المياه في السدود المخصصة لتوليد الكهرباء، مع الموازنة بين الحاجة للري والحاجة للطاقة³. ففي المناطق التي تعتمد على الطاقة المائية، يحل الذكاء الاصطناعي مستويات المياه والتنبؤات الهيدرولوجية للموازنة بين توليد الكهرباء والاحتياجات المنجمية والفلاحية، مما يحمي الموارد المائية من الهدر.

و لا يتوقف الامر عند ادارة الشبكات , بل يمتد ليشمل التعاقد عبر تقنيات البلوكشين.

¹ القانون رقم 04-09 المتعلق بالطاقة المتجددة وترقية الفعالية الطاقوية، مرجع سابق.

² سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة"، مرجع سابق، ص 88.

³ تقرير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، "الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة"، 2024.

➤ دور "بلوكشين الطاقة" (Energy Blockchain) في استدامة المصادر:
تقنية البلوكشين ليست مجرد عملات رقمية، بل هي "سجل رقمي لامركزي" يغير قواعد اللعبة في قانون الطاقة:

1. التحول من المركزية إلى اللامركزية (P2P Energy Trading): تسمح البلوكشين بإنشاء سوق طاقة "من الند للند". فالمواطن الذي يملك ألواحاً شمسية في منزله (بموجب سياسة ترقية الطاقات المتجددة في الجزائر) يمكنه بيع فائض طاقته لجاره مباشرة وتلقي الثمن رقمياً دون الحاجة لوساطة شركة الكهرباء الوطنية. هذا التحول يتطلب إعادة النظر في "احتكار الدولة" لتوزيع الطاقة المنصوص عليه في القوانين التقليدية¹.

2. العقود الذكية (Smart Contracts) وضمان التنفيذ: تُبرم عقود بيع الطاقة وتنفذ تلقائياً عبر الكود البرمجي. بمجرد ضخ كمية معينة من الكيلوواط في الشبكة، يتم تحويل القيمة المالية للمنتج. هذا يقلل من النزاعات القانونية حول "قواتير الاستهلاك" ويضمن شفافية كاملة في قطاع المناجم والطاقة، حيث يتم تسجيل كل شحنة معدنية أو برميل نفط في "سلسلة الكتل" لمنع التلاعب أو التزوير.

3. التحديات التشريعية للبلوكشين في الجزائر:

- الاعتراف القانوني: مدى اعتراف القاضي الجزائري بـ "العقود الذكية" كعقود ملزمة.
- السيادة المالية: كيفية تسوية المعاملات الطاقوية بالدينار الرقمي أو عبر قنوات رسمية تخضع لرقابة بنك الجزائر.
- الأمن السيبراني: حماية سجلات الطاقة من الاختراق الذي قد يهدد الأمن الطاقوي القومي².

المطلب الثاني: متطلبات تبني الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة

لا يمكن للذكاء الاصطناعي أن يعمل في فراغ؛ إذ يحتاج إلى بيئة قانونية تضمن حماية البيانات وسيادة الدولة على مصادرها الطاقوية، بالإضافة إلى بنية تحتية تقنية وبشرية متطورة. إن النجاح في رقمنة قطاع

¹ سامي عبد ربه، التنظيم القانوني للمعاملات الرقمية في قطاع الطاقة، دار النهضة العربية، القاهرة، 2024، ص 240.

² فضيلة بنبونس، "السيادة الرقمية في التشريع الجزائري"، مجلة الدراسات القانونية المعمقة، 2025، ص 95.

الطاقة مرهون بوجود بيئة قانونية وبشرية حاضنة توازن بين الابتكار والسيادة الوطنية. لذا، يبحث هذا المطلب في مقومات هذا التحول عبر فرعين؛ نخصص الفرع الأول لدراسة "دور التشريعات الوطنية والدولية في تنظيم وتأطير استخدام الذكاء الاصطناعي طاقوياً"، أما الفرع الثاني، فيستعرض "المتطلبات التقنية والبشرية والضمانات القانونية لرقمنة قطاع الطاقة المتجددة"، مع التركيز على إشكاليات المسؤولية والسيادة الرقمية¹.

الفرع الأول: المتطلبات التشريعية لرقمنة قطاع الطاقة المتجددة

أولاً: على المستوى الدولي

تبرز الحاجة لمعايير موحدة (مثل توصيات الاتحاد الأوروبي بشأن الذكاء الاصطناعي الموثوق) لضمان عدم استخدام الخوارزميات في الاحتكار الطاقوي أو التلاعب بالأسعار².

ثانياً: على المستوى الوطني

يبرز التحدي في كيفية مواءمة قانون ترقية الطاقة المتجددة (قانون 04-09) مع التوجه الرقمي، وضرورة إصدار نصوص تنظيمية تحمي "البيانات الطاقوية الضخمة" كجزء من الأمن القومي. التشريع المقارن (الإمارات/أوروبا): تبنت بعض الدول تشريعات تسمح بـ "المختبرات التشريعية" (Regulatory Sandboxes) لتجربة حلول الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة قبل تعميمها قانوناً³.

➤ الفراغ التشريعي في الجزائر:

بالرغم من وجود قانون المحروقات (19-13) وقانون المناجم (14-05)، إلا أنهما يفتقران لنصوص صريحة تنظم "الذكاء الاصطناعي". الحاجة ملحة لإصدار "قانون إطار للرقمنة الطاقوية" يحدد معايير الخوارزميات المستخدمة في تقييم الاحتياطيات المنجمية والبيئية⁶.

➤ التنظيم الدولي:

توصيات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) حول مبادئ الذكاء الاصطناعي، والتي تشدد على ضرورة "الشفافية" و"قابلية التفسير" (Explainability) "في القرارات التي تتخذها الأنظمة الذكية في قطاعات حيوية كالطاقة.

¹ ليلي بن منصور، "الأطر القانونية لرقمنة قطاع الطاقة"، مجلة القانون والتنمية، جامعة تلمسان، 2024، ص 130.

² محمد الصغير بعلي، القانون الإداري والنشاط الطاقوي، دار العلوم، عنابة، 2022، ص 92.

³ سفيان بوعزة، "النظام القانوني للذكاء الاصطناعي في الدول العربية"، مرجع سابق، ص 44.

وتجدر الإشارة إلى أن الإتحاد الأوروبي، قد بدأ في صياغة 'قانون الذكاء الاصطناعي' (AI Act) لتنظيم هذه المسؤوليات، ولا يزال المشرع الجزائري يعتمد على القواعد العامة في القانون المدني (المواد 124 وما بعدها). إن الفجوة تكمن في أن القواعد التقليدية لا تستوعب مفهوم 'الاستقلالية الذاتية' للآلة، مما يستدعي تدخلاً تشريعياً خاصاً لقطاع الطاقة والمناجم، يفرض 'تأميناً إجبارياً' على مخاطر الذكاء الاصطناعي، ويقنن استخدام البلوكشين لتسريع التحول نحو الطاقات الخضراء¹.

الفرع الثاني: المتطلبات التقنية والبشرية لرقمنة قطاع الطاقة المتجددة

يتطلب الانتقال نحو الرقمنة الشاملة ما يلي:

أولاً: المتطلبات التقنية والبشرية

- بناء مراكز بيانات (Data Centers) محلية لضمان "السيادة الرقمية" على بيانات المناجم والطاقة.

- تكوين إطارات قانونية وتقنية (مهندس-قانوني) قادرة على فهم خوارزميات الطاقة وإبرام "العقود الذكية". (Smart Contracts)

ثانياً: الضمانات القانونية

التحول الرقمي الشامل في قطاع الطاقة والمناجم لا يمكن أن يحقق غاياته التنموية ما لم يُحيط بسياج من الضمانات القانونية التي تكفل التوازن بين النجاعة التقنية وحماية السيادة الوطنية. وتتمثل أولى هذه الضمانات في 'تكريس الأمن السيبراني الطاقوي' كجزء لا يتجزأ من النظام العام الطاقوي؛ إذ إن ترابط الشبكات الذكية (Smart Grids) عبر الفضاء السيبراني يجعل المنشآت الحيوية عرضة لهجمات قد تؤدي إلى شلل اقتصادي تام². لذا، يستوجب الأمر تفعيل نصوص قانونية تفرض معايير تقنية صارمة لتشفير البيانات وحماية أنظمة التحكم الصناعي من أي اختراق خارجي.

وتبرز الضمانة الثانية في 'حماية السيادة الرقمية على البيانات الطاقوية والمنجمية'، فبما أن الخوارزميات تتغذى على كميات هائلة من البيانات الضخمة (Big Data) المتعلقة بمكامن الثروة

¹سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة"، مرجع سابق، ص 105.

²إيلي بن منصور، "الأطر القانونية لرقمنة قطاع الطاقة في التشريع الجزائري والمقارن"، مرجع سابق، ص 148.

والقدرات الإنتاجية الوطنية، فإن حمايتها من التسريب أو الاستغلال من قبل الشركات التكنولوجية الأجنبية يُعد ضرورة سيادية¹. ويتطلب ذلك إلزام المستثمرين الأجانب بتوطين معالجة هذه البيانات داخل التراب الوطني، وضمان حق الدولة في الرقابة على 'خوارزميات القرار' لضمان شفافيتها.

أما الضمانة الثالثة والأكثر تعقيداً، فتتعلق بـ 'إرساء نظام قانوني للمسؤولية الموضوعية' عن مخاطر الذكاء الاصطناعي، ففي ظل تعذر إثبات الخطأ البشري في الأنظمة ذاتية التشغيل (الصندوق الأسود)، يجب على المشرع تبني قواعد 'المسؤولية القائمة على المخاطر'²، والتي تفرض على الشركات المشغلة تأمينا إجبارياً ضد الأضرار التقنية والبيئية الناتجة عن أخطاء البرمجيات، مما يضمن تعويض المتضررين دون الدخول في دهاليز إثبات الخطأ التقني المعقد³.

وبالإضافة إلى ما تقدم من تحديات تقنية، تبرز إشكالية قانونية معقدة تتعلق بمسؤولية الذكاء الاصطناعي.

➤ إشكالية المسؤولية عن أخطاء الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة: تعتبر المسؤولية القانونية في قطاع الطاقة ذات طبيعة خاصة نظراً لجسامة الأضرار المحتملة (انفجارات، تلوث بيئي واسع، انقطاع كلي للكهرباء). ومع إحلال "الخوارزمية" محل "البشر" في اتخاذ القرار، تبرز إشكاليات معقدة:

1. إشكالية "الصندوق الأسود" (Black Box) وصعوبة الإثبات: في القواعد التقليدية للمسؤولية التقصيرية، يجب على المضرور إثبات "الخطأ". لكن في أنظمة الذكاء الاصطناعي التي تعتمد على "التعلم العميق"، لا يمكن حتى للمبرمجين أحياناً شرح لماذا اتخذ النظام قراراً معيناً (مثل غلق صمام أمان

¹ فضيلة بن يونس، "السيادة الرقمية في التشريع الجزائري: قطاع المحروقات نموذجاً"، مجلة الدراسات القانونية المعقدة، جامعة سطيف 2، العدد 14، 2025، ص 98.

² منير بوعزيز، المسؤولية المدنية عن أخطاء الذكاء الاصطناعي، منشورات القاسمي، تونس، 2024، ص 190.

³ سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة"، مرجع سابق، ص 108.

أو فصل شبكة). هذا الغموض الفني يجعل من "إثبات الخطأ" مستحيلاً تقريباً للمتضرر، مما يؤدي إلى ضياع الحقوق¹.

2. تعدد الأطراف المسؤولة (تشتت المسؤولية): في المنشآت الطاقوية، تتداخل المسؤولية بين:

- مزود البيانات: إذا كانت البيانات التي غُذي بها النظام مغلوطة.
- المبرمج/الشركة المصنعة: إذا وجد عيب في التصميم الخوارزمي.
- الشركة المشغلة (مثل سونلغاز أو سوناطراك): بصفتها "الحارس" التقني للنظام.
- المستخدم النهائي: في حال التدخل البشري الخاطئ في عمل النظام الذكي.

3. الحلول القانونية المقترحة (نحو المسؤولية الموضوعية): يرى الفقه القانوني الحديث ضرورة الانتقال من "المسؤولية القائمة على الخطأ" إلى "المسؤولية القائمة على المخاطر" (**Responsabilité Objective**). وبموجبها، تُسأل الشركة المشغلة عن أي ضرر يحدثه النظام الذكي بغض النظر عن وجود خطأ من عدمه، لكونها هي المستفيدة من النشاط وهي الأقدر على التأمين ضد مخاطره².

الجدول رقم (03): الضمانات القانونية والتقنية لرقمنة قطاع الطاقة المتجددة.

المحتوى والأهمية	الضمانة القانونية
حماية الشبكات الذكية من الاختراقات التي قد تسبب "إظلاماً تاماً". (Blackout)	الأمن السيبراني الطاقوي
ضمان عدم استخدام بيانات استهلاك الأفراد والمصانع لأغراض غير قانونية.	حماية الخصوصية

¹منير بوعزيز، المسؤولية المدنية عن أخطاء الذكاء الاصطناعي، مرجع سابق، ص 180.

²إيلي بن منصور، "التحديات القانونية للرقمنة في قطاع المحروقات"، مرجع سابق، ص 155.

الشفافية الخوارزمية

إلزام الشركات بتوضيح كيفية اتخاذ القرار الذكي
في توزيع حصص الطاقة.

المصدر: د. ليلي بن منصور، "الأطر القانونية لرقمنة قطاع الطاقة في التشريع الجزائري والمقارن"، مجلة القانون والتنمية، جامعة تلمسان، العدد 12، 2024، ص 148 (بتصرف).

خلاصة الفصل الثاني

انتقلنا في الفصل الثاني من مرحلة "الاستغلال" إلى مرحلة "الغايات والضمانات"، حيث تم استعراض الدور الوظيفي للذكاء الاصطناعي في تعزيز الأمن الطاقوي الوطني وتحقيق الاستدامة البيئية. وقد توصلنا من خلال هذا الفصل إلى أن القدرات التحليلية للذكاء الاصطناعي تساهم بشكل مباشر في خفض الانبعاثات الكربونية عبر الرصد الإحصائي الدقيق للغازات الدفيئة وتطوير نظم الصيانة التنبؤية للمنشآت الطاقوية، مما يطيل عمرها الافتراضي ويقلل من الهدر المادي.

أما على صعيد المتطلبات والضمانات، فقد خلص الفصل إلى أن رقمنة قطاع الطاقة المتجددة تستوجب إطاراً قانونياً صارماً لحماية البيانات الشخصية والتقنية. وقد تم التركيز هنا على أن المسؤولية عن حماية البيانات تجاه المستهلك هي الركيزة الأساسية لبناء الثقة في الأنظمة الطاقوية الذكية. كما استخلصنا أن حماية هذه البيانات لا تقتصر على الجانب التقني البرمجي فحسب، بل تتطلب ضمانات تشريعية تلزم الشركات باتباع معايير الأمن السيبراني وتحدد المسؤول عن جبر الضرر في حال حدوث أي تسريب أو خطأ خوارزمي يمس بخصوصية المستهلك أو أمنه الطاقوي.

خاتمة

في ختام هذه الدراسة الموسومة بـ "دور الذكاء الاصطناعي في تحسين استخدام الطاقة المتجددة"، يمكن القول إننا أمام منعطف تاريخي يشهده قطاع الطاقة والمناجم؛ حيث انتقل الذكاء الاصطناعي من كونه أداة تكميلية إلى محرك أساسي لضمان استدامة الموارد وفعالية استغلالها. لقد حاولنا من خلال فصول هذه المذكرة تفكيك العلاقة الجدلية بين "الخوارزمية الذكية" و"النص القانوني"، مبرزين كيف يمكن للتكنولوجيا أن تسد الثغرات التي خلفتها الإدارة التقليدية لمصادر الطاقة، مع التأكيد على أن هذا التحول الرقمي ليس مجرد خيار تقني، بل هو ضرورة استراتيجية تفرضها التحديات المناخية والرهانات الاقتصادية الراهنة. رأينا أن البحث في دور الذكاء الاصطناعي في تحسين استخدام الطاقة المتجددة قد كشف عن آفاق واعدة وتحديات قانونية جمة في آن واحد. لقد أثبتت الدراسة أن التكنولوجيا الذكية لم تعد خياراً ثانوياً، بل هي الركيزة الأساسية لضمان نجاعة الانتقال الطاقوي.

أولاً: النتائج المستخلصة من الدراسة

على المستوى التقني والعملي: خلصت الدراسة من خلال الفصل الأول إلى أن الذكاء الاصطناعي يمثل الحل الجذري لمعضلة "تذبذب" مصادر الطاقة المتجددة؛ حيث أثبتت خوارزميات التنبؤ قدرتها الفائقة على موازنة الأحمال الكهربائية وإدارة المزيج الطاقوي بكفاءة تفوق التدخل البشري، مما يعزز من موثوقية الطاقات النظيفة كبديل استراتيجي للأحفار.

على المستوى البيئي والمناخي: أثبت البحث في الفصل الثاني أن توظيف الذكاء الاصطناعي في قطاعي الطاقة والمناجم يساهم بشكل مباشر في خفض الغازات الدفيئة عبر الرصد اللحظي للانبعاثات وتقليل الفاقد الطاقوي، مما يحول الالتزامات الدولية (كاتفاقية باريس) من مجرد نصوص قانونية إلى واقع تقني ملموس وقابل للقياس.

على المستوى القانوني والتشريعي: كشفت الدراسة عن وجود فجوة تنظيمية واضحة في التشريع الجزائري؛ حيث إن قانون المحروقات 13-19 وقانون المناجم 05-14، رغم حداثةهما، لم يتطرقا بشكل صريح لإشكاليات "الذكاء الاصطناعي الطاقوي". كما أثبتت الدراسة أن القواعد العامة للمسؤولية في القانون المدني لم تعد كافية لاستيعاب أضرار "أنظمة الصندوق الأسود" التي تتمتع باستقلالية ذاتية في اتخاذ القرار.

على مستوى السيادة الوطنية: توصلنا إلى أن الأمن الطاقوي في العصر الرقمي لم يعد مرتبطاً فقط بحماية الحقول والآبار، بل أصبح مرتبطاً بـ "السيادة الرقمية"؛ أي القدرة على حماية البيانات الطاقوية

القومية من الاختراقات السيبرانية وضمان عدم احتكار الشركات التكنولوجية الأجنبية لمخرجات الخوارزميات المنجمية.

خلصت الدراسة إلى أن الذكاء الاصطناعي يساهم بشكل جذري في تحسين إدارة المزيج الطاقوي وتجاوز عقبات تقطع المصادر المتجددة، مما يعزز الأمن الطاقوي الوطني. كما تبين أن المنظومة القانونية الراهنة، رغم حداثة بعض نصوصها، لا تزال بحاجة إلى قواعد تفصيلية تستوعب مفهوم "استقلالية القرار الخوارزمي" وما يترتب عليه من مسؤوليات قانونية معقدة، لاسيما ظاهرة "الصندوق الأسود" التي تصعب من عملية إثبات الخطأ التقني. كما أثبتت الدراسة أن الدور الجوهرى للذكاء الاصطناعي يكمن في قدرته الفائقة على تحليل البيانات الضخمة والإحصاءات الطاقوية؛ حيث يتيح تحويل البيانات الخام إلى تنبؤات دقيقة تضمن توازن الشبكة الكهربائية وتقليل الهدر الطاقوي.

ثانياً: المقترحات

بناءً على هذه النتائج، نقدم بالمقترحات التالية:

- **تحديث الترسنة القانونية:** ندعو المشرع الجزائري إلى إدخال تعديلات جوهرية على قوانين الطاقة والمناجم لتقنين استخدام الذكاء الاصطناعي، مع ضرورة إصدار قانون خاص بـ "الأمن السيبراني للمنشآت الحيوية" يحمي الشبكات الذكية من التهديدات الرقمية. كذلك لنتضمن مواد تُلزم الشركات بتوظيف الذكاء الاصطناعي في عمليات التحليل الإحصائي لضمان الشفافية والنجاعة التقنية.
- **تبني نظام المسؤولية الموضوعية:** نقترح الخروج من دائرة "المسؤولية القائمة على الخطأ" في حوادث الذكاء الاصطناعي، وتبني نظام "المسؤولية القائمة على المخاطر" مع فرض تأمين إجباري على البرمجيات الذكية المستخدمة في قطاع الطاقة لضمان تعويض المتضررين.
- **توطين البيانات الطاقوية:** نوصي بفرض بنود صارمة في عقود الشراكة الدولية تُلزم المستثمرين بتخزين ومعالجة البيانات الطاقوية والمنجمية داخل مراكز بيانات وطنية (Data Centers) خاضعة للرقابة الجزائرية الخالصة.
- **الاستثمار في العنصر البشري:** ضرورة تكوين إطارات "قانونية-تقنية" قادرة على فهم التداخل بين الخوارزمية والقانون، وتفعيل دور البحث العلمي في الجامعات الجزائرية لتطوير خوارزميات محلية قادرة على إدارة الطاقة الوطنية بخصوصية جزائرية.

خاتمة

وختاماً إن رهان الجزائر على الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة والمناجم هو رهان على المستقبل؛ وهو مسار، يتطلب تكاتف الجهود التقنية والتشريعية لضمان انتقال طاووي آمن، مستدام وذو سيادة كاملة.

قائمة المصادر و المراجع

1-المصادر:

_القوانين: (مرتبة زمنياً من الأقدم إلى الأحدث)

- القانون رقم 99-09 المؤرخ في 15 ربيع الثاني عام 1420 الموافق لـ 28 يوليو 1999، المتعلق بالتحكم في الطاقة، الجريدة الرسمية، العدد 51.
- القانون رقم 02-01 المؤرخ في 22 ذي القعدة عام 1422 الموافق لـ 5 فبراير 2002، المتعلق بالكهرباء وتوزيع الغاز عن طريق الأنابيب، الجريدة الرسمية، العدد 08.
- القانون رقم 04-09 المؤرخ في 27 جمادى الثانية عام 1425 الموافق لـ 14 أوت 2004، المتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، الجريدة الرسمية، العدد 52.
- القانون رقم 15-04 المؤرخ في 11 ربيع الثاني عام 1436 الموافق لـ أول فيفري 2015، المتعلق بالتوقيع والتصديق الإلكترونيين، الجريدة الرسمية، العدد 06.
- القانون رقم 18-07 المؤرخ في 25 رمضان عام 1439 الموافق لـ 10 جوان 2018، المتعلق بحماية الأشخاص الطبيعيين في مجال معالجة المعطيات ذات الطابع الشخصي، الجريدة الرسمية، العدد 34.
- القانون رقم 22-18 المؤرخ في 25 ذي الحجة عام 1443 الموافق لـ 24 يوليو 2022، المتعلق بالاستثمار، الجريدة الرسمية، العدد 50.

2-المراجع:

أولاً: مراجع باللغة العربية:

1- الكتب

- أحمد بن ناصر، الطاقات المتجددة والتنمية المستدامة، دار الفكر الجامعي، الإسكندرية، 2018.
- بلقاسم أحمد، السياسة البيئية في قطاع الطاقة: دراسة في ضوء التشريع الجزائري والمواثيق الدولية، دار الهدى، الجزائر، 2024.
- بن علي محمد، عقود التكنولوجيا المتطورة في القانون الجزائري، دار النهضة للطباعة والنشر، الجزائر، 2023.

- جلال الدين عثمان، تكنولوجيا الطاقة المتجددة، مجدلاوي للنشر، عمان، 2021.
- حنان عبد الحميد، الوجيز في قانون البيئة والتنمية المستدامة، دار الجامعة الجديدة، الإسكندرية، 2023.
- رابح خوني، اقتصاديات الطاقات المتجددة والبديلة، دار الهدى، الجزائر، 2023.
- سامي عبد ربه، التنظيم القانوني للمعاملات الرقمية في قطاع الطاقة، دار النهضة العربية، القاهرة، 2024.
- سعيد محمد، التغيرات المناخية والأمن الدولي، دار النهضة العربية، القاهرة، 2022.
- عبد الرحمن السعيد، نظم الطاقة الكهروضوئية الذكية: التصميم والتحكم، دار النشر العالمية، لندن-القاهرة، 2025.
- عبد القادر زغيب، القانون البيئي والتنمية المستدامة في الجزائر، دار هومة، الجزائر، 2017.
- عمار فوزي، قانون الطاقة المتجددة والتحول الرقمي، دار الجامعة الجديدة، الإسكندرية، 2023.
- كمال فوزي، المضخات المائية والري التقليدي، مكتبة المعارف، بيروت، 2022.
- محمد الصالح، تخزين الطاقة والشبكات الذكية، دار الهدى، الجزائر، 2024.
- محمد الصغير بعلي، القانون الإداري والنشاط الطاقوي، دار العلوم، عنابة، 2022.
- محمد صالح، الذكاء الاصطناعي والثورة الصناعية الرابعة في قطاع الطاقة، دار الأكاديميون للنشر والتوزيع، عمان، 2022.
- محمد عبد الله الصيرفي، إدارة الطاقة المتجددة، دار الكتب العلمية، بيروت، 2019.
- منير بوعزيز، المسؤولية المدنية عن أخطاء الذكاء الاصطناعي، منشورات القاسمي، تونس، 2024.

➤ يوسف بن علي، تطبيقات الطاقة النظيفة، دار الفكر، دمشق، 2023.

2- الرسائل الجامعية

- ديدة صفاء وراشدي أميرة، مساهمة لدراسة تأثير تغير المناخ على الطاقة الشمسية وإيجاد حلول للتخفيف منها في منطقة ورقلة، مذكرة ماستر، تخصص فيزياء طاقوية، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2021.

3- المجلات

➤ بلخيري مراد، "آلية إثبات مصدر الطاقة المتجددة في التشريع الجزائري"، مجلة القانون العقاري، جامعة البليدة 02، الجزائر.

➤ بن لخضر عيسى ويوسف افتخار، "واقع الطاقات المتجددة في الجزائر وفاقها المستقبلية"، مجلة دراسات الاعمال والاقتصاد المعاصر، المجلد 03، العدد 02، 2020.

➤ بن مرزوق جمال، "إدارة المخاطر المناخية في عقود الاستثمار الطاقوي بالصحراء الجزائرية"، مجلة الدراسات القانونية المعاصرة، جامعة المسيلة، العدد 09، 2023.

➤ حواس بن حليلة، "المسؤولية المدنية عن أفعال الذكاء الاصطناعي: دراسة تحليلية في ظل القواعد العامة"، مجلة الحقوق والعلوم السياسية، جامعة عباس لغرور خنشلة، الجزائر، 2024.

➤ رابحي لخضر، "الطاقات المتجددة والتحديات التقنية للشبكات الكهربائية الذكية"، مجلة العلوم والابتكار، مركز البحث في الطاقات المتجددة (CDER)، الجزائر، المجلد 10، 2023.
(ملاحظة: تم ترتيبه تحت حرف الراء بناءً على اسم لخضر)

➤ سارة بن عودة، "دور التكنولوجيا الحديثة في حماية البيئة"، مجلة الحقوق والحريات، جامعة بسكرة، المجلد 9، العدد 2، 2024.

➤ سامي بن جاب الله، "دور النمذجة الرياضية والذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية"، المجلة الجزائرية للطاقة، المجلد 08، العدد 02، 2021.

➤ سعاد غرت نصير، "دور الذكاء الاصطناعي في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في الطاقة المتجددة في مصر"، مجلة المجلد 26، العدد 04، 2015.

➤ سفيان بوعزة، "تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة: الجوانب التقنية والقانونية"، مجلة الحقوق والعلوم الإنسانية، جامعة الجلفة، المجلد 15، العدد 1، 2025.

- سفيان عبدلي، "حوكمة قطاع الطاقات المتجددة في الجزائر في ظل التحديات الرقمية"، مجلة الدراسات القانونية، جامعة الجزائر 1، العدد 05، 2024.
- عمر خليل، "المحطات الكهرومائية كبديل طاقي"، مجلة العلوم الهندسية، المجلد 12، العدد 03، 2025.
- عمراني خديجة، "الآليات القانونية لتشجيع الاستثمار في الطاقات المتجددة في الجزائر"، مجلة دفاتر السياسة والقانون، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، العدد 22، 2020.
- فضيلة بن يونس، "السيادة الرقمية في التشريع الجزائري: قطاع المحروقات نموذجاً"، مجلة الدراسات القانونية المعمقة، جامعة سطيف 2، العدد 14، 2025.
- ليلي بن منصور، "التحديات القانونية للرقمنة في قطاع المحروقات"، مجلة القانون والعلوم السياسية، جامعة تلمسان، 2023.
- محمد عودة وآخرون، "الطاقة البديلة والذكاء الاصطناعي"، مجلة كلية التربية، جامعة واسط، المجلد 59، العدد 02، 2015.
- نجلاء فتحي محمد فهم، "الذكاء الاصطناعي ودوره في تعزيز وتطوير أنظمة الطاقة المتجددة: دراسة حالة العراق"، مركز حمورابي للبحوث والدراسات الاستراتيجية، جامعة بنها، مصر، 2026.
- يوسف لطرش، "آليات ضبط سوق الكهرباء في التشريع الجزائري"، مجلة الإدارة والوظيفة العامة، جامعة الجزائر 3، العدد 06، 2022.

4-التقارير والمنظمات:

- مركز الدراسات الاستراتيجية (HCSR)، الذكاء الاصطناعي: التحولات والآفاق في قطاع الطاقة، دراسة منشورة، جانفي 2026.
- المنظمة العربية للتنمية الصناعية، تقرير تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة، 2021.
- الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، تقرير التغير المناخي 2023: تقرير تجميعي.
- الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، تقرير الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة، 2021 (مترجم).

➤ الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، تقرير تطوير الطاقة المائية عالمياً، 2024.

5- المواقع الإلكترونية:

- أحمد السابر ، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة.. 4 فوائد رئيسية"، منصة الطاقة (Attaqa)، 14 جانفي 2024.
- تسنيم الفقيه، "مميزات وعيوب الطاقة الشمسية"، موقع (إلكتروني)، تحديث 8 يوليو 2021.
- عبد القادر الكامل، "الطاقة الشمسية والذكاء الاصطناعي"، تاريخ النشر 2024/10/20.
- هبة محمد إمام، "الذكاء الاصطناعي وتطوير الطاقة المتجددة عالمياً"، موقع الطاقة، 14 جانفي 2024.

ثانياً: مراجع باللغة الأجنبية:

- David Rolnick et al., "Tackling Climate Change with Machine Learning", ACM Computing Surveys, Vol. 55, No. 2, 2023.
- Stuart Russell & Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson, New Jersey, USA, 2021.

فهرس المحتويات

الصفحة	المحتويات
/	شكر و عرفان
/	اهداء
/	اهداء
/	اذن بالايذاع
/	قواعد النزاهة
/	نسبة الاقتباس
/	قائمة المختصرات
3-1	مقدمة
5	الفصل الأول: التنظيم القانوني لاستغلال الطاقة المتجددة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي
6	المبحث الأول : الذكاء الاصطناعي كآلية لتعزيز استغلال الطاقة المتجددة
6	المطلب الأول: دور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة المتجددة
11-7	الفرع الاول: تحسين الانتاج
19-11	الفرع الثاني: إدارة وتخزين الطاقة والربط بالشبكة الوطنية
20-19	المطلب الثاني: دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالطاقة المتجددة
22-20	الفرع الأول: التنبؤ بالطاقة المتجددة طويل المدى
25-22	الفرع الثاني: التنبؤ بالطاقة المتجددة قصير المدى
26-25	المبحث الثاني :استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مصادر الطاقة المتجددة
27-26	المطلب الأول: استخدام الذكاء الاصطناعي في نظام الطاقة الشمسية
33-27	الفرع الأول : تعريف الطاقة الشمسية
35-33	الفرع الثاني :تقييم استخدام الذكاء الاصطناعي في مجال الطاقة الشمسية
35	المطلب الثاني : استخدام الذكاء الاصطناعي في طاقتي المياه والرياح
41-35	الفرع الأول : استخدام الذكاء الاصطناعي في طاقة الرياح
44-41	الفرع الثاني: استخدام الذكاء الاصطناعي في طاقة المياه
45	خلاصة الفصل الأول
47	الفصل الثاني: الذكاء الاصطناعي و تحديات تحقيق الأمن الطاقوي في مجال الطاقات

48	لمبحث الأول: الذكاء الاصطناعي و الحاجة الى تحسين خفض الغازات الدفيئة
48	لمطلب الأول: تأثير الغازات الدفيئة على البيئة
49-48	الفرع الأول: مفهوم الاحتباس الحراري
50-48	الفرع الثاني: التأثيرات السلبية للاحتباس على البيئة
50	المطلب الثاني: مساهمة الذكاء الاصطناعي في تقليل الانبعاثات الكربونية
51-50	الفرع الأول: الدور التقني للذكاء الاصطناعي في رصد وتحليل غازات الاحتباس
52-52	الفرع الثاني: فاعلية الأنظمة الذكية في تحسين كفاءة استهلاك الموارد وتقليل الفاقد الطاقوي
53	المبحث الثاني : الذكاء الاصطناعي و ضرورات تحقيق استدامة الطاقة المتجددة
54	المطلب الأول : آفاق التنمية المستدامة وتعزيز إدماج الطاقات المتجددة
55-54	الفرع الأول: دور الذكاء الاصطناعي في تطوير المزيج الطاقوي وضمان استدامة المصادر المتجددة
56-55	الفرع الثاني: تقنيات الربط الذكي والتحكم في الشبكات لتعزيز ادماج الطاقة (الشمسية، الرياح، والمائية)
57-56	المطلب الثاني: متطلبات تبني الذكاء الاصطناعي في قطاع الطاقة
58-57	الفرع الأول: المتطلبات التشريعية لرقمنة قطاع الطاقة المتجددة
61-58	الفرع الثاني: المتطلبات التقنية والبشرية لرقمنة قطاع الطاقة
62	خلاصة الفصل الثاني
66-64	الخاتمة
71-68	قائمة المصادر و المراجع
73-72	الفهرس
74	ملخص الدراسة

ملخص الواسة:

هدفت هذه الواسة إلى إواز دور تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) في رفع كفاءة وتحسين استخدام مصادر الطاقات المتجددة (كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح). ولتحقيق هذا الهدف، اعتمدت الواسة على المنهج الوصفي التحليلي لاستعراض وتحليل التطبيقات الذكية في قطاع الطاقة. وتوصلت الواسة إلى أن الاعتماد على خوارزميات التعلم الآلي والشبكات العصبية الاصطناعية يساهم بشكل فعال في التنبؤ الدقيق بحجم الإنتاج والطلب على الطاقة، وتجاوز عقبة "النقطع" التي تعاني منها المصادر المتجددة نتيجة التقلبات الجوية. كما أظهرت النتائج أن الذكاء الاصطناعي يلعب دوراً محورياً في إدرة الشبكات الكهربائية الذكية، وتحسين عمليات الصيانة التنبؤية للمنشآت، مما يقلل التكاليف التشغيلية ويزيد من استدامة الإمدادات. وتوصي الواسة بضرورة تعزيز الاستثمار في البنية التحتية الرقمية لقطاع الطاقة، وتطوير أطر تشريعية تدعم دمج التكنولوجيا الذكية في مشروعات الطاقة البديلة.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الطاقات المتجددة، الشبكات الذكية، التنبؤ بالطاقة، الصيانة التنبؤية.

Study Abstract:

This study aimed to highlight the role of Artificial Intelligence (AI) technologies in enhancing the efficiency and optimization of renewable energy sources (such as solar and wind energy). To achieve this objective, a descriptive-analytical approach was adopted to review and analyze smart applications within the energy sector. The study revealed that relying on machine learning algorithms and artificial neural networks effectively contributes to the accurate forecasting of energy production and demand, thereby overcoming the challenge of "intermittency" that renewable sources suffer from due to weather fluctuations. Furthermore, the results indicated that AI plays a pivotal role in managing smart grids and improving predictive maintenance for energy facilities, which reduces operational costs and increases supply sustainability. The study recommends the necessity of boosting investments in the digital infrastructure of the energy sector and developing regulatory frameworks that support the integration of smart technologies into alternative energy projects.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), RenewableEnergies, Smart Grids, Energy Forecasting, Predictive Maintenance.