

The Role of Artificial Intelligence in Improving Climate Change Management

دور الذكاء الاصطناعي في تطوير آليات تحسين إدارة التغيرات المناخية

م. د فراس عباس هاشم

جامعة البصرة / كلية القانون

University of Basra / College of Law

firas.abas@uobasrah.edu.iq

07703135571

المستخلص

تركز هذه الدراسة عن التغيرات المناخية التي أصبحت موضع اهتمام الحكومات والمنظمات الدولية، فضلاً عن الباحثين والمختصين في ظل التحديات التي تواجه البشرية بفعل الآثار التي تفرزها تلك الظاهرة في المجالات المتعددة، كحالة الاحتباس الحراري، والفيضانات، وارتفاع نسبة الأراضي الصحراوية، ولمواجهة تلك التداعيات البيئية اتجهت الحكومات الى تسخير تقنيات الذكاء الاصطناعي كحاجة ملحة لمواجهة مخاطر المناخ باعتبارها أداة وظيفية فعالة لتحسين أدوات الابتكار والكشف عن حلول عملية لمعالجة تحديات التغير المناخي. كما تناقش الدراسة التحديات التي تواجه استخدام الذكاء الاصطناعي في مكافحة التغير المناخي وآثاره. وتوضح النتائج أن الذكاء الاصطناعي يمثل تحولاً مهماً في الجهود العالمية لمواجهة المخاطر المناخية والحفاظ على التنوع البيئي.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ ، الذكاء الاصطناعي ، الغازات الدفيئة ، المنظمات الدولية.

Abstract

This study focuses on climate change, which has become a matter of concern for governments and international organizations, as well as researchers and specialists, in light of the challenges facing humanity due to the effects of this phenomenon in various areas, such as global warming, floods, and the increase in desertification. To address these environmental repercussions, governments have turned to harnessing artificial intelligence technologies as an urgent need to address climate risks. This technology serves as an effective functional tool to enhance innovation

tools and uncover practical solutions to address the challenges of climate change. The study also discusses the challenges facing the use of artificial intelligence in combating climate change and its effects. The results demonstrate that artificial intelligence represents a significant shift in global efforts to address climate risks and preserve biodiversity.

Keywords: climate change, artificial intelligence, greenhouse gases, international organizations.

المقدمة :

تكشف ظاهرة التغيرات المناخية عن تحديات تواجه البشرية، مما أثار المخاوف العالمية بشكل واضح بالمخاطر المناخية وتداعياتها السلبية، وهو ما يدفع بالبلدان بتعزيز السياسات الوطنية للتخفيف من تلك التغيرات وتهديداتها المتعددة، وعليه تسعى الدول من خلال التحول نحو توظيف الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته ذات الصلة في مواجهة الظاهرة المناخية وتطبيق أدواته المختلفة التي يمكن الاتكاء عليها من أجل تحسين آليات تدابيرها لمواجهة مستويات التغيرات البيئة غير المسبوقة في النظام المناخي الناجم عن انبعاثات الغازات الدفيئة وارتفاع في درجات الحرارة عالمياً، إضافة إلى ذلك انخفاض معدلات سقوط الأمطار، وارتفاع نسبة الأراضي الصحراوية.

إلى جانب ذلك يسهل لنا الذكاء الاصطناعي فهم الظواهر المناخية وتحليلها، بالإضافة إلى توفير المعلومات عن المناخ، وبالتالي يساعد الدول على مواجهة التهديدات المتزايدة نتيجة تغيرات المناخ، كما يمثل الذكاء الاصطناعي أداة فعالة لتحسين أدوات الكشف عن حلول عملية ومعالجة تحديات التغير المناخي التي تكون مدعومة بالتعاون الإقليمي والدولي بما يحسن الوضع البيئي للبشرية، خصوصاً في تنفيذ سياسات فعالة مقترنه بالتنبؤ الذي يبرز في المساعدة على تحسين آليات التحكم أو تغيير التقنيات التقليدية في مواجهة التغيرات المناخية. كما يمكن من خلال التنبؤ معرفة أشكال التغيرات التي يكون عليها المناخ في السنوات القادمة وهو ما يؤدي إلى تحسين كفاءة الاستخدام للموارد ومصادر الطاقة المختلفة.

وفي سياق ما سبق، ورغم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في التعامل مع التحول المناخي، إلا أن هنالك العديد من التحديات التي برزت في الآونة الأخيرة تواجه التصدي لهذه الظاهرة، خاصة حالة التفاوت بين البلدان في القدرات التكنولوجية على مستوى العالم من جهة، ومن ناحية أخرى افتقار بعض الدول إلى مهارات استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مواجهة التحديات المترتبة بالتغير المناخي مما يزيد من تعميق التفاوت في استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي بين البلدان، بالإضافة إلى ذلك أن عمليات تخزين البيانات والمعالجة تتطلب موارد كبيرة

لأغراض التبريد، وبالتالي تزيد هذه العملية من استهلاك للطاقة الكهربائية الأمر الذي ستكون له انعكاساته السلبية التي تزيد من التأثير البيئي.

أولاً: أهمية الدراسة :

تنبع أهمية الموضوع من كونه يبحث في توظيف الذكاء الاصطناعي في تعزيز الجهود العالمية لمواجهة تغيرات المناخ من خلال ما يقدمه الذكاء الاصطناعي من الحلول اللازمة تتعلق بعملية تحسين إدارة عمليات مواجهة التدهور البيئي أو التكيف مع تغيرات المناخ.

ثانياً: مشكلة الدراسة :

تنطلق الدراسة من إشكالية مفادها: " شكلت التغيرات المناخية وما نتج عنها من ظواهر مرتبطة بها محفزاً يدفع بالدول نحو البحث عن سبل تؤدي إلى تحسين معايير إجراءات التخفيف من آثار تغيرات المناخ عبر التقنيات التي يقدمها الذكاء الاصطناعي".

ثالثاً: فراضية الدراسة :

وعليه جاءت فرضية الدراسة لتؤكد: " تعكس التوجهات العالمية نحو استخدام الذكاء الاصطناعي ومسارته المتعددة في تطوير اليات لمواجهة الظاهرة المناخية والتي تدفع باتجاه ابتكار الحلول التي تصب في دعم السياسات التي تعزز القدرات الحكومية للدول لمواجهة التغير المناخي".

رابعاً: منهجية الدراسة :

فقط تم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي من خلال بيان حجم التأثيرات التي نتج عنها التغير المناخي تجاه البشرية من خلال البيات التي تقدمها الهيئات الدولية، فضلاً عن بيان الاتجاه العالمي نحو استخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالتغيرات المتوقعة مستقبلاً لتغيرات المناخ، فضلاً عن حجم الاضرار الناجمة عن المخاطر المناخية وآثارها السلبية.

خامساً: هيكلية الدراسة :

وتم تقسيم البحث إلى ثلاث محاور : تناول المحور الأول: مدخل نظري لمفهومي الذكاء الاصطناعي والتغيرات المناخية. فيما تناول المحور الثاني: الذكاء الاصطناعي كأداة مبتكرة لأليات مواجهة تغيرات المناخ. فيما تناول المحور الثالث : تفاقم مسارات التحدي لتدابير الذكاء الاصطناعي وأنماطها.

المحور الأول

مدخل نظري لمفهوم الذكاء الاصطناعي والتغيرات المناخية

مما لا شك فيه أن المفهوم بصورة عامة يشير إلى نتاج الذهن الذي لا يكون له انعكاس مباشر في الواقع، بل يتمظهر من خلال عناصره المفردة، ويكون الهدف منه الإحاطة بالعناصر المشتتة في الواقع وتنظيمها ذهنياً، وبذلك، فالمفاهيم تساعد الذهن على تنظيم الواقع من خلال تنظيم نفسه، ربما نجد في هذه النقطة، من الضروري الإحاطة ببعض الجهاز المفاهيمي الذي ساهم في تطور المقاربة المعرفية للظاهرة المدروسة وتحليلها^(١)، وبالتالي يهدف الإطار النظري إلى توضيح الدلالات المعرفية لكل من مفهوم الذكاء الاصطناعي والتغيرات المناخية.

أولاً: مفهوم الذكاء الاصطناعي :

يشير الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence)، بوصفه حقلاً علمياً مستقلاً، إلى إعادة تنظيم العلاقة بين الإنسان ومختلف الحقول العلمية، حينما بدأت أولى المحاولات لتوفير قاعدة بيانات ومعلومات لتصميم أنظمة قادرة على محاكاة التفكير البشري باستخدام الحوسبة. إذ تبلور المصطلح، أول مرة، في عام (١٩٥٦) على يد الباحث الأمريكي "جون مكارثي" (John McCarthy) الذي قدمه مع مجموعة من رواد علوم الحوسبة في مؤتمر عقد في كلية دارتموث آنذاك، وهو ما اعتُبر نقطة الانطلاق لهذا المجال^(٢). أي بمعنى أن علم الذكاء الاصطناعي يهدف إلى فهم طبيعة الذكاء الإنساني عن طريق عمل برامج للحاسب الآلي قادرة على محاكاة السلوك الإنساني المتسم بالذكاء. وتعني قدرة برنامج الحاسب على حل مسألة ما أو اتخاذ قرار في موقف ما بناء على وصف لهذا الموقف^(٣).

وفي هذا السياق، مع تطور هذه الدينامية في التقنيات الناشئة والذكاء الاصطناعي، التي شهدت قفزة نوعية وفريدة في عالم البرمجيات في الستينيات من القرن الماضي وبداية السبعينيات بفضل التطورات في علوم الحوسبة، وتطوير خوارزميات لحل المشكلات وبناء آلات قادرة على إداء أدواراً متنوعة من الوظائف المعقدة، مما أدى إلى أن يشهد الذكاء الاصطناعي في بداية الثمانينيات انتعاشاً ملحوظاً بعد تطوير الأنظمة الذكية الخبيرة

(١) فراس عباس هاشم، عصف الجيوبوليتيكا: متزاخات المعرفة والنهوض والاندماج الفكري في ميادين المعرفة السياسية (أربيل: هاتريك للطباعة والنشر والتوزيع، ٢٠٢٥)، ص ١١١.

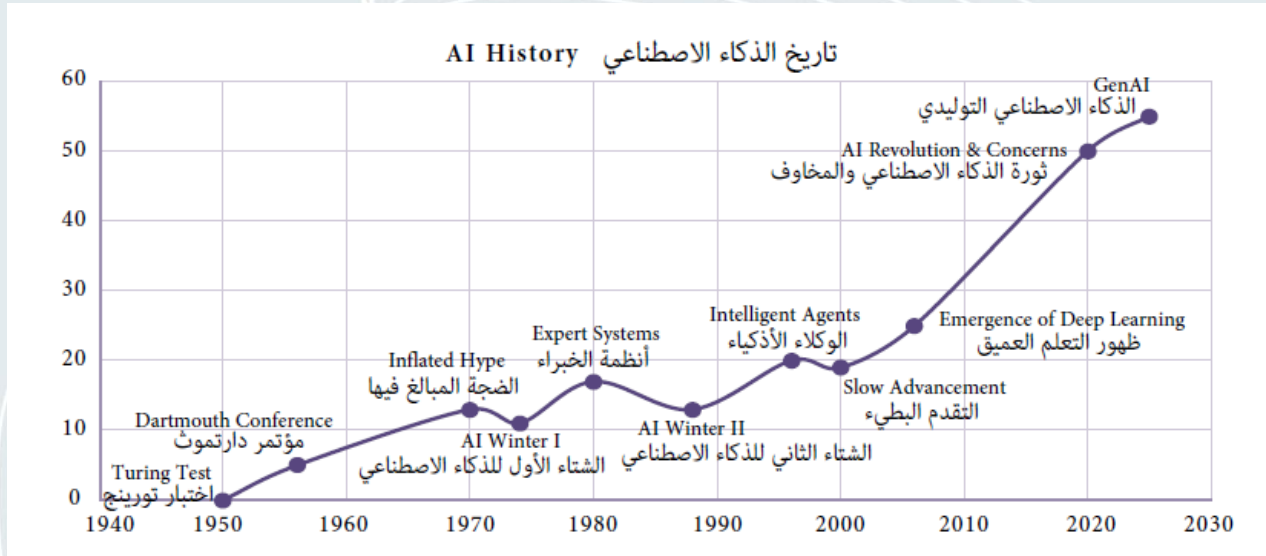
(٢) تهماني الخطيب، "الذكاء الاصطناعي في مقابل الذكاء البشري قراءة نقدية لتحديات محاكاة العقل البشري واستشراف مستقبلاته من منظور عربي"، مجلة استشراف، العدد (٩)، (٢٠٢٤)، ص ٤٦.

(٣) آلان بونيه، الذكاء الاصطناعي واقعه ومستقبله، ترجمة: علي صبري فرغلي، (الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، ١٩٩٣)، ص ١١. وللمزيد ينظر: مجاهد ناصر الجبر، الذكاء الاصطناعي، (صنعاء: الجامعة التخصصية الحديثة، ٢٠٢٤).

التي تتخصص بإنجاز ناجح لمهام محدودة (انظر الشكل رقم (١))، وتعتمد على مجال بحثي تطور كثيراً حينها، عرف باسم "تمثيل المعرفة" (Knowledge Representation) ^(١).

شكل (١)

المراحل التاريخية لتطور الذكاء الاصطناعي



المصدر: تهاني الخطيب، "الذكاء الاصطناعي في مقابل الذكاء البشري قراءة نقدية لتحديات محاكاة العقل البشري واستشراف مستقبلاته من منظور عربي"، مجلة استشراف، العدد (٩)، (٢٠٢٤)، ص ٤٧.

وفي هذا الصدد، عرف "مكارثي" مصطلح الذكاء الاصطناعي بأنه: "وسيلة لصنع جهاز كمبيوتر، أو روبوت يتم التحكم فيه عن طريق الكمبيوتر، أو برنامج يفكر بذكاء بالطريقة نفسها التي يفكر بها البشر الأذكاء، ويتم تحقيق الذكاء الاصطناعي من خلال دراسة كيف يفكر الدماغ البشري، وكيف يتعلم البشر ويقررون ويعملون أثناء محاولة حل مشكلة ما، ثم استخدام نتائج هذه الدراسة كأساس لتطوير برامج وأنظمة ذكية". وهناك من عرف الذكاء الاصطناعي بأنه: "مجموعة الجهود المبذولة لتطوير نظم المعلومات المحوسبة بطريقة تستطيع أن تتصرف فيها وتفكر بأسلوب مماثل للبشر، هذه النظم تستطيع أن تتعلم اللغات الطبيعية، وإنجاز مهام فعلية بتنسيق متكامل، أو استخدام صور وأشكال إدراكية لترشيد السلوك المادي، كما تستطيع في نفس الوقت تخزين الخبرات والمعارف الإنسانية المتراكمة واستخدامها في عملية اتخاذ القرارات" ^(٢).

^(١) تهاني الخطيب، مصدر سابق، ص ٤٦.

^(٢) نقلا عن : هاشمي رشيدة ، ملياني عبد الوهاب، "الإطار المفاهيمي للذكاء الاصطناعي"، مجلة التراث، المجلد (١٤)، العدد (٢)، (٢٠٢٤)، ص ٥٠.

وعلى هذا الأساس، تجتمع إذن تعريفات الذكاء الاصطناعي جلها بأنها محاكاة لعمليات الذكاء البشري باستخدام الآلات وتحديدًا أجهزة الكمبيوتر لتحسين أداء وعمليات المؤسسات على نحو أفضل من البشر بل وتتعداه في التمييز، لا سيما ما تعلق منها بالأعمال التفصيلية والتي غالباً ما ينجزها أدوات الذكاء الاصطناعي بوقت أقل، ما يعزز فتح مجالات أوسع أمام فرص عمل جديدة ووسع من دائرة الكفاءة والتنافس من خلال ربط برامج الكمبيوتر بالأعمال اليومية والروتينية لكن على نحو معقد وذلك بفضل البيانات الضخمة المتوفرة على الشبكات العالمية ومختلف المجالات والتطور الكبير الحاصل في مجال الأبحاث والبرمجيات المرتبطة بتطوير قدرات الآلات على التعلم الذاتي والهدف الأساسي للذكاء الاصطناعي، والانطلاقة الحقيقية للذكاء الاصطناعي^(١).

وبناء على هذا الفهم، يمكن النظر إلى الذكاء الاصطناعي باعتباره مصطلح شامل يغطي أساليب تهدف إلى أتمتة عمليات اتخاذ القرارات التي تتطلب تقليدياً استخدام الذكاء البشري، مثل التعرف على الأنماط، التعلم من التجارب، استخلاص الاستنتاجات، التنبؤ، أو اتخاذ الإجراءات أو القرارات. وبدعم من أجهزة الاستشعار، ورقمنة البيانات، والاتصال المتزايد باستمرار، ومن خلال هذا المنظور يقوم الذكاء الاصطناعي بتصفية وربط وتحديد الأولويات وتصنيف وقياس وتوقع النتائج، يمكن من اتخاذ قرارات مدروسة تعتمد على البيانات^(٢).
عموماً، ثمة هدفان أساسيان يرتبطان بالذكاء الاصطناعي. الهدف الأول تكنولوجي استخدام أجهزة الكمبيوتر لإنجاز مهام مفيدة (وتوظف في بعض الأحيان طرقاً غير التي يستخدمها العقل تماماً)، الهدف الثاني علمي استخدام مفاهيم الذكاء الاصطناعي ونماذجه للمساعدة في الإجابة عن أسئلة تتعلق بالإنسان وغيره من الكائنات الحية. في المقابل لا يركز معظم العاملين في الذكاء الاصطناعي إلا على هدف من هذين الهدفين، ولكن بعضهم يركز على كليهما^(٣).

من خلال ما سبق، اتضح أن الذكاء الاصطناعي بصفة عامة يتميز بمجموعة من الخصائص أو المميزات التي تحيط به وتظهر بعض صيغ الذكاء والتي يمكن استكشافها في القدرة على التكيف والتعلم مع المتغيرات الجديدة من أجل أداء المهام التي كانت في السابق من أعمال الإنسان، بالإضافة إلى تميزه بصناعة القرار، وذلك بناء على البيانات والتنبؤات الاحتمالية. على نحو آخر يشكل الإبداع أو الابتكار أحد أبرز مميزات وخصائص الذكاء

(١) قزلان سليمة ، يونس حفيظة ، " ضبط الإطار المفاهيمي للذكاء الاصطناعي "، مجلة التراث ، المجلد (١٤)، العدد (٣)، (٢٠٢٤)، ص ٩٩.

(٢) باسم علي خريسان ، " دور الذكاء الاصطناعي في الحرب المعرفية "، مجلة حوار الفكر ، العددان (٧٧-٧٨)، (٢٠٢٥)، ص ١١.

(٣) مارجريت إيه بودين ، الذكاء الاصطناعي : مقدمة قصيرة جداً ، ترجمة : إبراهيم سند أحمد، (لندن : مؤسسة هنداي ، ٢٠٢٢)، ص ١٢.

الاصطناعي من خلال توليد أفكار وحلول وافية تحاكي القدرات الذهنية البشرية والقدرة على استنباط الحلول الممكنة للمشكلات المعقدة بمختلف المجالات والقطاعات التي عادة ما يعجز عنها الإنسان^(١).

ثانياً: مفهوم التغيرات المناخية:

مما لا شك فيه اتجهت الدراسات في السنوات الأخيرة للاهتمام بالتأثيرات الناجمة عن تغيرات المناخ (Climate Change) على المستويين العالمي والإقليمي؛ فالتغير أو التحول يعني تغييراً جذرياً وفي اتجاه معين لفترة ممتدة تبلغ عقوداً أو فترات أطول من تلك التغيرات فهي تغيير متذبذب من حقبة لأخرى كتناوب حقب الجفاف وحقب كثرة الأمطار، وتناوب الحقب الباردة والحقب الدافئة حيث يكون التغير مؤثر وطويل المدى في معدل حالة الطقس لمنطقة معينة، وأدى ذلك إلى إعادة النظر في الأطر التقليدية لمكافحة تحديات تغيرات المناخ^(٢).

وبناء عليه، تشير التغيرات المناخية إلى التغيرات طويلة المدى في درجات الحرارة ، وأنماط هطول الأمطار وأنماط الرياح، والجوانب الأخرى للنظام المناخي للأرض (انظر الشكل رقم ٢)، وينجم ذلك في المقام الأول عن الأنشطة والعادات والسلوك البشري وخاصة حرق الوقود الاحفوري (Fossil fuel) وإزالة الغابات، وكذلك الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والبراكين، مما يؤدي إلى إطلاق الغازات الدفيئة (Greenhouse gases) في الغلاف الجوي، وفي هذا الصدد تشمل الغازات الدفيئة (بخار الماء، ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروجين، والأوزون، مركبات الكلوروكربون)، تحبس الحرارة وتساهم في ارتفاع درجة حرارة الأرض^(٣).

وهذا ما يجعل فهم تغير المناخ أمر بالغ الأهمية لمعالجة آثاره ووضع استراتيجيات للتخفيف من آثاره، كما يعتبر السبب الرئيسي لتغير المناخ هو الزيادة في انبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية، ويعد حرق الوقود الاحفوري (الفحم الحجري، النفط ، الغاز) لإنتاج الطاقة والنقل والعمليات الصناعية أكبر

(١) فزلان سليمة ، يونس حفيظة ، مصدر سابق ، ص ١٠١. وللمزيد من المعلومات أنظر : هنري كيسنجر، إريك شميت ، دانييل هوتلوشر ، عصر الذكاء الاصطناعي ومستقبلنا البشري ، ترجمة: أحمد حسن ، (القاهرة: دار التنوير ، ٢٠٢٣).

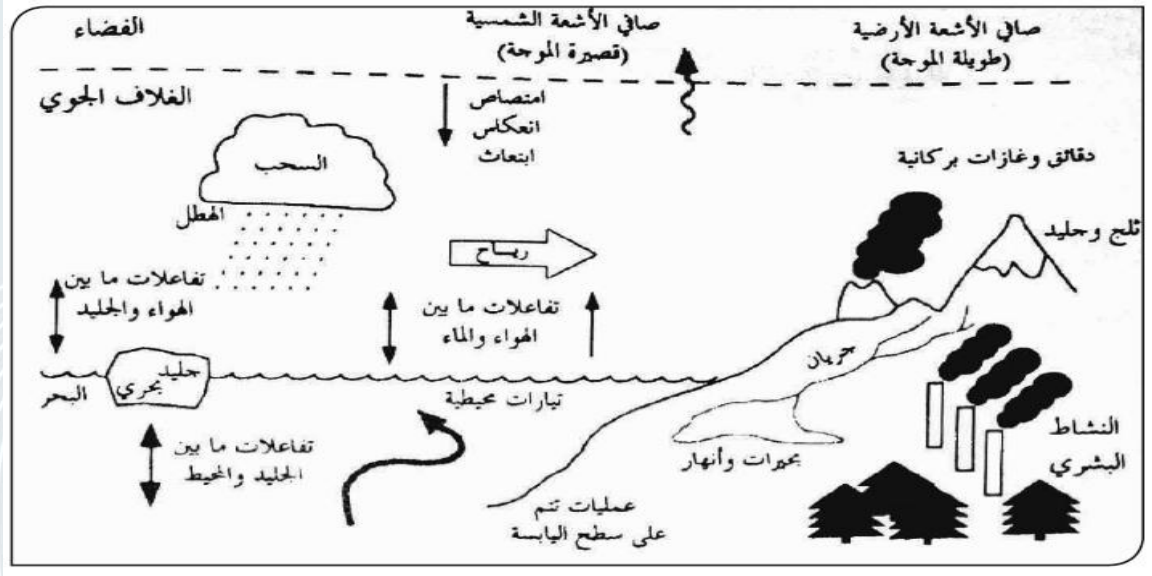
(٢) عياشي كوثر ، سويح وهيبة، ظاهرة التغير المناخي وتأثيره على حقوق الإنسان ، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة الدكتور مولاي الطاهر – سعيدة – كلية الحقوق والعلوم السياسية – قسم الحقوق ، الجزائر ، ٢٠٢٢، ص ٧. للمزيد من التفاصيل حول تغيرات المناخ على المستوى العالمي أنظر : أندرو دسلر وادوارد بارسون ، تغير المناخ العالمي بين العلم والسياسة ، ترجمة : عبد المقصود عبد الكريم ، (لندن: مؤسسة هنداوي ، ٢٠٢٤).

(٣) هبة الله سمير محمد عبد العال، أمني صلاح المخزنجي، "دور الاستراتيجية الوطنية للتغيرات المناخية ٢٠٥٠ لتسريع التحول للاقتصاد الأخضر وتحقيق النمو الاقتصادي في مصر"، المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، المجلد (١٤)، العدد (٢٠٢٣)، ص ١٥١.

مساهم في هذه الانبعاثات، وتلعب إزالة الغابات والتغيرات في استخدام المساحات الأرضية أيضاً دوراً مهماً من خلال تقليل قدرة الأرض على امتصاص ثاني أكسيد الكربون^(١).

شكل (٢)

العوامل المؤثرة في تطور النظام المناخي



المصدر: عبد الحكيم بنود، تغير المناخ والتنمية المستدامة، (دي: مؤسسة زايد الدولية للبيئة، ٢٠٢٢)، ص ١٠٠. ومع تتبع مسارات تغير المناخ وفضاءات اتجاهاته يمكن ايجاد تعريفات خاصة للمفهوم في ظل الاختلاف في وجهات النظر المختلفة التي ترجع إلى اختلاف اصحابها وتباينهم في الاعتماد على المتغيرات بالمحيطية بالمفهوم. فقد عرفت المادة الأولى من اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) التغير المناخي بأنه: "مصطلح تغير المناخ يعني تغيراً في المناخ بصورة مباشرة أو غير مباشرة الذي يقضي إلى تغيير في تكوين الغلاف الجوي العالمي والذي يلاحظ بالإضافة إلى التقلب الطبيعي للمناخ على فترات زمنية مماثلة"^(٢). أما الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فأنها تعرف هذه الظاهرة بأنها: "تغير في حالة المناخ، والذي يمكن معرفته عبر تغيرات في المعدل أو المتغيرات في خصائصها، والتي تدوم لفترة طويلة عادة لعقود أو أكثر، وتشير إلى تغير في المناخ عبر الزمن، سواء كان ذلك نتيجة للتغيرات الطبيعية أو الناتجة عن الفعل البشري"^(٣). وعرف البعض الآخر تغير

(١) هبة الله سمير محمد عبد العال، أمني صلاح المخزنجي، مصدر سابق، ص ١٥٢.

(٢) عياشي كوثر، سويح وهيبة، مصدر سابق، ص ٨.

(٣) زينب مجدي، "تغير المناخ في الدول العربية: الآثار والسياسات"، المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر، مجلد (٢)، العدد (٤)، (٢٠٢٣)، ص ٩٤.

المناخ بأنه: "مجموعة من الظواهر العالمية التي تنشأ غالباً عن طريق حرق الوقود الأحفوري، والذي ينتج عنه غازات الاحتباس الحراري، فضلاً عن مركبات الكربون إلى الغلاف الجوي للأرض. وتسبب هذه الغازات، وبشكل مباشر، تزايداً مطرداً في درجات الحرارة والتي تسمى الاحترار أو الاحتباس الحراري العالمي (Global Warmig)، ويؤدي الاحتباس الحراري إلى تغيرات مناخية أخرى مثل: ارتفاع مستوى سطح البحر، وذوبان الكتل الجليدية في القطبين، والتطرف في تقلبات الطقس والأحوال الجوية"^(١).

وهكذا يمكننا أن نلاحظ من واقع المعطيات السابقة المشكلات الناجمة عن التدهور البيئي بسبب زيادة حدة التغير المناخي لسطح الكرة الأرضية الذي اتجه عموماً نحو الاحتباس الحراري، لكن مع ذلك وفي بعض مناطق العالم اتجه نحو الحار والجاف أو نحو البرودة والرطوبة. ففي تلك المناطق التي اتجهت نحو الحار والجاف أو نحو البرودة والرطوبة ظهرت فيها ظاهرة ارتفاع درجات الحرارة عن معدلها الطبيعية سواء أكان مصدرها طبيعي أم بشري، كالجفاف، التصحر، تهدير الغطاء النباتي، فقدان التنوع البيولوجي، نقص الغذاء، مزيد من المخاطر البيئية والصحية والاجتماعية... الخ. أما المناطق التي اتجه نحو التبريد والرطوبة سادت فيها ظاهرة انخفاض درجات الحرارة عن معدلها الطبيعية، غزارة الأمطار، حدوث الفيضانات الشديدة. يضاف إلى ذلك أن هذا النوع من التغير المناخي يحدث في مناطق قليلة على سطح الكرة الأرضية^(٢).

نخلص مما تقدم أن صياغة منظومات مفهومي الذكاء الاصطناعي وتغيرات المناخ وطروحاتهما في ظل توسيع نطاقات اهتمامهما في معالجة الأسباب المهددة للوجود البشري من جهة، ومن جهة أخرى أصبحت تعنى بمشكلات البيئة العالمية ومخاطرها التي تواجه القطاعات المختلفة البيئة والأمنية والاقتصادية والاجتماعية... الخ، ويتجلى هذا التفاعل ما بين التغيرات المناخية والذكاء الاصطناعي من خلال توظيف الإنسان لتقنيات التطور التكنولوجي، في مسعاه لمواجهة ما أفرزته الظروف المناخية من تحديات تهدد الوجود الإنساني.

(١) ايمن احمد عبد الغفار، "أثر التغيرات المناخية على الاقتصاد العالمي دراسة تحليلية"، مجلة البحوث الفقهية والقانونية، المجلد (٤٧)، العدد (٤٧)، (٢٠٢٤)، ص ٣١٤١.

(٢) ياسين آشور جوهري، هيمن نصر الدين محمد أمين، "التغير المناخي وأثره في تحقيق التنمية المستدامة في العراق (منطقة كرميان انموذجاً)"، مجلة قضايا سياسية، العدد (٧٥)، (٢٠٢٣)، ص ٣٨٨.

المحور الثاني

الذكاء الاصطناعي كأداة مبتكرة لأليات مواجهة تغيرات المناخ

حرياً بنا القول مع التقدم العلمي والتكنولوجي في ظل عصر المعلومات وثورة الاتصالات، وما ظهر من تقنيات حديثة أثارت التساؤلات بشأن إمكانية استخدام الذكاء الاصطناعي في مواجهة تداعيات التغير المناخي. ونظراً لعدم القدرة على وقف موجات الحرارة، فسيتعين على الدول استثمار تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات وإيجاد الحلول للتكيف مع الظروف المتغيرة للمناخ، ولتحسين كفاءة حماية البيئة هناك مدخلين يمكنهما تمكين الذكاء الاصطناعي من مواجهة آثار التغير المناخي بشكل فعال، يعتبرها البعض مؤشراً على تغيير حتي في آليات مجابهة التحديات التي يشكلها تغير المناخ وهما استراتيجية التكيف، واستراتيجية التخفيف ليكونا أساساً في دمج التكنولوجيا في خطط جديدة لمواجهة مخاطر المناخ^(١).

ومن هنا يساعد الذكاء الاصطناعي كأداة تقنية غير تقليدية في تقييم المخاطر والتحديات التي تسببها التغيرات المناخية ووضع الخطط للحد من تأثيرها، وإيجاد الاستراتيجيات للتكيف مع آثار المناخ، من خلال ابتكار الحلول لمعالجة الظواهر المناخية المتطرفة بتحليل البيانات القادرة على التنبؤ بتلك الظواهر بشكل استباقي، وهو ما أكدته الدكتور "موكيش كواترا" Mukesh (Kwatra)، مؤسس مبادرة "الشجرة المبتسمة" (Tree Smiling)، في مقاله المنشور على الموقع الإلكتروني لصحيفة "تايمز أوف إنديا" تحت عنوان: (الذكاء الاصطناعي: مغير قواعد اللعبة للمناخ والبيئة) في العام (٢٠٢٢)، قائلاً: "يمكن بتحليل بيانات الأقمار الاصطناعية باستخدام الذكاء الاصطناعي تتبع الأنهار الجليدية، وذوبان الجليد، وارتفاع مستوى سطح البحر، إلخ". وأضاف "كما يمكن للذكاء الاصطناعي قياس الانبعاثات الكربونية والمساعدة في تقليلها، وتعزيز كفاءة توليد الطاقة، وتحسين الاستفادة من طاقتي الشمس والرياح". مضيفاً "كما تستخدم مختلف الشركات المعنية بتحليل البيانات، تقنيات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالعواصف والحرائق الهائلة، ومعرفة أنماط الطقس التاريخية ونماذجها، والوقوف على البيانات ذات الصلة بالجغرافيا والتضاريس. وهي البيانات التي يستخدمها خبراء الأرصاد الجوية لفهم

(١) تستهدف استراتيجية التخفيف التقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة، من خلال التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة. أما استراتيجية التكيف فتركز على محاولة تأقلم المجتمعات والأنظمة البيئية مع التغير المناخي، مع حماية المجتمعات الضعيفة والحفاظ على الموارد الطبيعية المهمة. ومن ثم يظهر دور التكنولوجيات الحديثة لمواجهة تعقد آثار التغير المناخي. هذا ويعمل الذكاء الاصطناعي على توفير العديد من التكنولوجيات التي تمكن الآلات من أداء المهام التي تتطلب ذكاءً بشرياً، كالتعلم من الخبرات والنماذج السابقة وصناعة القرارات وحل المشكلات المعقدة. نانيس عبد الرزاق فهي، "مستقبل استخدامات الذكاء الاصطناعي لمواجهة آثار التغير المناخي"، مجلة آفاق مستقبلية، العدد (٤)، (٢٠٢٤)، ص ٤٨.

قوة العواصف الوشيكة ومدتها المحتملة والأضرار التي قد تنجم عنها^(١). وفي ذات السياق أن قدرة الذكاء الاصطناعي على معالجة كميات كبيرة من البيانات وتحديد الأنماط وتحسين الأنظمة المعقدة تجعله عاملاً رئيساً في مواجهة التحديات المتعددة الجوانب التي يفرضها تغير المناخ، بدءاً من تحسين التنبؤات الجوية وتحسين أنظمة الطاقة وصولاً إلى تعزيز تقنيات عزل الكربون ودعم الزراعة المستدامة التي تقلل من انبعاثات الغازات الدفيئة^(٢).

وإزاء ما تقدم يمكن أن يساعد الذكاء الاصطناعي - عند دمج واستخدامه مع صور الأقمار الاصطناعية - في مجال التنوع البيولوجي من خلال تحليل تداعيات الكوارث الطبيعية على المساحات الجغرافية للغطاء النباتي، ومراقبة حالة المحيطات عبر قياس درجات الحرارة ومعدلات التلوث^(*)، وقياس مدى جودة الهواء وتحسينها من خلال استخدام الكاميرات وأجهزة الاستشعار والرادار وبيانات المركبات، وإرسال تحذيرات إلى سكان الحضر حول مستويات التلوث في مناطقهم، وهو الأمر الذي يجعل الذكاء الاصطناعي في مجمله يمثل عاملاً حاسماً يغير قواعد اللعبة، ويدفع الجهود العالمية ضد التغيرات المناخية^(٣).

وبناء عليه بفعل تطور الممارسات في مجالات البحث العلمي بما فيه الذكاء الاصطناعي الذي شهد تطوراً ملحوظاً خلال السنوات الماضية، خصوصاً في كل ما يمس مواجهة تغيرات المناخ، تعطي إحياء بأهمية الذكاء الاصطناعي وفائدته في توفير العديد من التقنيات التكنولوجية التي تمكنه من أدائه للمهام الموجهة في تطوير التدابير الاستراتيجية للحد من التحديات المناخية، وتأتي تلك التغيرات من خلال تغير أنظمة التنبؤ وتصنيف البيانات وتحليلها للمعلومات الموجهة للتخفيف من آثار التغيرات المناخية.

(١) رغدة البيهي، "رهانات مشروطة: الذكاء الاصطناعي وتغير المناخ... الفرص والمخاطر"، رؤى عالمية، العدد (٣٠)، (٢٠٢٣)، ص ٥.

(٢) Ibrahim Alhassan1, Ayisha Maiga, "Artificial Intelligence in Climate Change Mitigation: A Socio-Technical Framework for Evaluating Implementation Effectiveness and Systemic Impact", Scientific Research Publishing, 2025, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=141493>

(*) يعرف التلوث بأنه: "التغيرات الفيزيائية أو البيولوجية أو الكيميائية التي يمكن أن تحدث في التربة أو الماء أو الهواء، مما يؤدي إلى حدوث اختلاف في خصائصها فتتحول إلى سبب مؤدي للضرر ببيئتها المحيطة". كما يعرف التلوث بأنه: "أي تغيير في عوامل البيئة يمكن أن يتسبب بالقضاء على الكائنات الحية التي تعيش في الماء أو على الأرض، أو الملوثات التي تتسرب إلى الأجواء وتحدث خللاً في نقاوة الهواء، الأمر الذي يزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون الذي يؤدي بدوره إلى انتشار أمراض يمكن أن تلحق الضرر بالكائنات الحية، فالتلوث هو أي إرباك يصيب التوازن البيئي ويؤدي إلى إلحاق الضرر بالإنسان وصحته، أو الأضرار بالكائنات الحية الأخرى".
سماء إبراهيم لطيف "العراق وتوظيف الجهود الدولية لمواجهة آثار التغير المناخي: نحو استراتيجية ناجعة للتكيف مع المخاطر"، مجلة قضايا سياسية، العدد (٧٧)، (٢٠٢٤)، ص ٣٩٤.

(٣) رغدة البيهي، مصدر سابق، ص ٥.

وإزاء ذلك يبدو ملائماً أن نشير إلى أن التغيرات المناخية تسببت بارتفاع كبير في درجات الحرارة التي تصل أحياناً إلى مستوياتها القصوى، وكذلك هطول الأمطار بغزارة، فضلاً عن حدوث ارتفاع في مياه سطح البحر، بالإضافة إلى تراجع التنوع في الصفات البيولوجية، ونتيجة لذلك فأن ظاهرة التغيرات المناخية باعتبارها ظاهرة عالمية عابرة للحدود سيكون لها تداعياتها وتأثيراتها المختلفة وخصوصاً وسائل العيش للدول التي سوف ستتأثر، وكل ذلك يقود إلى أن هنالك تهديد للأمن البشري، وتلقى اللائمة في هذه الظاهرة على الغازات الدفيئة التي تعد أحد أهم أسباب حدوث التغيرات المناخية، وبمرور الوقت أصبح هذا النوع من الغازات يسمى "غازات الاحتباس الحراري" كما اشرنا سلفاً، ويعد غاز ثاني اوكسيد الكربون أحد أهم غازات الاحتباس، كونه المسؤول الأول عن الارتفاع الكبير في درجات الحرارة على الأرض^(١).

علاوة على ذلك يعد الذكاء الاصطناعي إحدى التقنيات المهمة التي تعزز القدرة على الصمود في مواجهة آثار المناخ من خلال تحسين استراتيجيات التكيف طويلة المدى للحد من مخاطر المناخ. فعلى سبيل المثال، يساعد التنبؤ بالجفاف المعزز بالذكاء الاصطناعي، إلى جانب تقييمات محتوى المياه في الغطاء النباتي، على تحديد المناطق المعرضة للخطر، ولذلك تمكن هذه الرؤى الحكومات والمجتمعات من الاستثمار بالذكاء الاصطناعي وإدارة التخفيف من المخاطر بفعالية أكبر، مما يعزز الاستقرار والأمن^(٢).

وفي هذا الإطار، يمتلك الذكاء الاصطناعي القدرة على تحسين عملية التخفيف والتكيف مع التغيرات المناخية، باستخدام النمذجة المناخية بمعنى محاكاة الظواهر المناخية عن طريق جمع البيانات السابقة، وملاحظات وصور الأقمار الصناعية وقياسات الغلاف الجوي، للتنبؤ بسيناريوهات المناخ مستقبلاً، والمساعدة في التعرف على آثار تغيرات المناخ إقليمياً ودولياً، فضلاً عما يوفره من قدرة استيعابية عالية لبيانات رصد النماذج البيانية وتعزيز درجة الدقة وتقليل عدم اليقين. علاوة على ذلك يوفر الذكاء الاصطناعي إمكانية تحديد الثغرات والفرص في عملية التكيف والتخفيف من آثار التغيرات المناخية في البلدان^(٣). لكن لكي يكون ممكناً استغلال إمكانات الذكاء الاصطناعي بالمواءمة مع مسارات التخفيف والتكيف، يجب على صانعي السياسات اتخاذ إجراءات في ثلاثة مجالات رئيسية، هي: تعزيز البحث والتطوير ونشر الذكاء الاصطناعي، وضبط تأثيراته في القطاعات الاقتصادية

(١) سماء ابراهيم لطيف، مصدر سابق، ص ٣٨٧.

(٢) Nicholas Stern , Mattia Romani, "What is AI's role in the climate transition and how can it drive growth", **World Economic Forum**, Jan 16, 2025, <https://www.weforum.org/stories/2025/01/artificial-intelligence-climate-transition-dr>

(٣) نانيس عبد الرزاق فهي، مصدر سابق، ص ٤٨.

المختلفة، وزيادة قدرة القطاع العام على الابتكار في التقنيات الحديثة^(١).

وفي الوقت الراهن هناك اعتراف متزايد بأن علوم البيانات والتقنيات الناشئة والابتكار والذكاء الاصطناعي سوف تلعب دوراً رئيسياً في الاستراتيجيات الوطنية والعالمية لمكافحة تحديات تغير المناخ، حيث يمكن أن تقدم هذه التقنيات حلولاً للتحديات الانمائية المعقدة التي يسببها تغير المناخ، وفي هذا السياق فقد جذبت علوم البيانات والتقنيات الرقمية والابتكارية الناشئة مثل الذكاء الاصطناعي، وانترنت الاشياء والتوائم الرقمية وسلاسل الكتل والطائرات بدون طيار والحوسبة السحابية وشبكات الاستشعار اهتماماً كبيراً في السنوات الأخيرة لمواجهة تحديات تغير المناخ وتقليل غازات الاحتباس الحراري وتأثيرها^(٢).

يضاف إلى ذلك أن الميزة الرئيسية للذكاء الاصطناعي بوصفه فاعلاً حيوياً في مواجهة التقلبات المناخية الحالية وتداعيات تغير المناخ مستقبلاً، ويرجع ذلك إلى قدرته المذهلة على التعامل مع كميات هائلة من البيانات، بما في ذلك سجلات الطقس القديمة وعلم المحيطات ونسب ثاني أكسيد الكربون وحتى التصوير عبر الأقمار الصناعية، وهذا يوجه نماذج الذكاء الاصطناعي إلى التركيز على السيناريوهات المعقدة التي يمكن من خلالها تحديد هذه العلاقات، وهي حقيقة قد يهملها النهج التقليدي، لا سيما وأن خوارزميات الذكاء الاصطناعي تقوم بتحديد علامات الإنذار المبكر من خلال فرز المعلومات لتحديد علامات التغيرات الصغيرة في تطور الطقس في المحيطات أو ذوبان الجليد. ومن الممكن أن تساعد مثل هذه الإنذارات المبكرة في تحديد اللحظات التي يمكن أن يمر بها النظام المناخي العالمي، مما يؤدي إلى تحويل عملياته ويؤدي إلى استجابة تكيفية مبكرة^(٣).

وفي المقابل، يتطلب التكيف مع التغير المناخي إجراء تغيير في النظم البشرية والطبيعية من أجل وضع استراتيجيات مناخية قادرة على التخفيف من حدة المخاطر التي أصابت أو قد تصيب دول العالم نتيجة مظاهر التغير المناخي، مما يدفع للاهتمام بدعم المؤسسات المهتمة بالشأن البيئي لرفع قدرتها على التكيف مع المخاطر المناخية^(٤).

ومن هذا المنظور يسهم الذكاء الاصطناعي في دعم الحكومات والشركات في اتخاذ قرارات بيئية مستدامة، حيث يمكنه تحليل البيانات الاقتصادية والبيئية لتحديد أفضل السياسات للحد من الانبعاثات وتحقيق

(١) رغدة البهي، مصدر سابق، ص ١٢.

(٢) اشرف عبد الفتاح درويش، أبو العلا عطيفي حسانين، دور البيانات في مواجهة التغيرات المناخية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، مجلة آفاق آسيوية، المجلد (٦)، العدد (١٠)، (٢٠٢٢)، ص ١٣٥.

(٣) "حلول الذكاء الاصطناعي لتغير المناخ: التنبؤ بالمستقبل ودعم الحاضر"، ٢٠٢٥/٢/٢، شوهدي في ٢٠٢٥/٨/٢، في:

https://www.tag-news.com/News.aspx?id=45019&group_key=key

(٤) سماء إبراهيم لطيف، مصدر سابق، ص ٣٩٦.

التنمية المستدامة. كما يساعد في محاكاة تأثيرات السياسات البيئية قبل تطبيقها، مما يضمن اختيار الحلول الأكثر كفاءة^(١).

واتساقا مع ما تقدم أن إسهام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تعزيز استراتيجيات دول العالم في مجال مكافحة التغير المناخي (انظر الشكل رقم (٣))، يمكن أن يتحقق من خلال أطر تنظيمية متعددة وكالاتي: تحليل وتحويل البيانات الخام إلى معلومات قابلة للتنفيذ: فمن خلال تقنيات الذكاء الاصطناعي يمكن تحديد المعلومات المفيدة في إطار البيانات الضخمة غير المهيكلة، مما يوفر المزيد من الجهد البشري، ومن الأمثلة على ذلك استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل صور الأقمار الصناعية والبيانات الضخمة الواردة من أجهزة الاستشعار والنماذج المناخية؛ من أجل تقديم تنبؤات دقيقة ورؤى حول اتجاهات المناخ وأحداث الطقس الخطيرة والتغيرات البيئية. كما يُسهم في تحديد عمليات إزالة الغابات أو المناطق الأكثر عرضة لمخاطر المناخ، وغيرها من الحالات. وكل هذا بالطبع يساعد العلماء وواضعي السياسات على اتخاذ قرارات مستنيرة وتطوير استراتيجيات فعالة للتعامل مع هذا التحدي.

- البحث عن حلول لمسائل معقدة: تُعتبر تقنيات الذكاء الاصطناعي وسيلة مهمة للوصول إلى هدف معين، وذلك من خلال الاعتماد على مجموعة من المتغيرات يتم التحكم بها في وقت واحد. ومن الأمثلة على ذلك في العمل المناخي، الاعتماد على الذكاء الاصطناعي في تقليل الطاقة اللازمة لتبريد أو تدفئة بعض المباني. ومن الأمثلة التطبيقية الواقعية على ذلك قيام شركة "DeepMind" البريطانية للذكاء الاصطناعي بتطوير نهج للتدفئة والتهوية وتكييف الهواء في مراكز بيانات شركة جوجل، مما أسهم في تحقيق مكاسب كبيرة في الكفاءة.

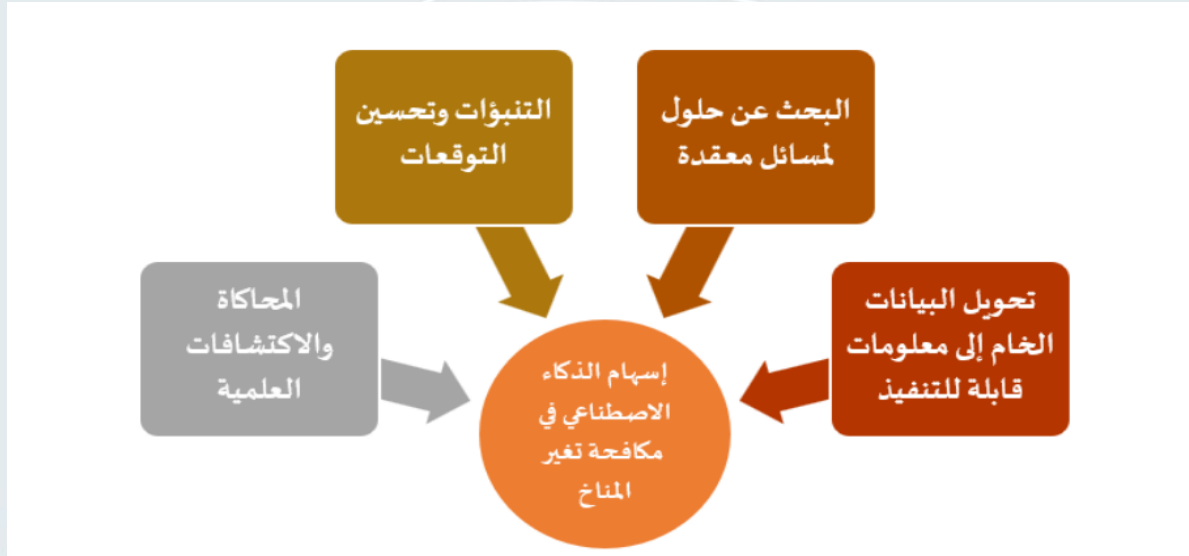
- التنبؤات وتحسين التوقعات: هنالك العديد من تقنيات الذكاء الاصطناعي التي تمثل نماذج تنبؤ مستقبلي، أو على أقل تقدير توفر معلومات تسهم في تحسين التنبؤ بالمستقبل. ومن الأمثلة على ذلك إسهام الذكاء الاصطناعي في التوقعات بشأن توليد الطاقة الشمسية، أو الإسهام في تحقيق الأمن الغذائي (Food Security) من خلال التنبؤ بالإنتاجية الزراعية في ظل حالات الطقس المتطرف. ومن الأمثلة الواقعية على ذلك أيضاً ما تقوم به منظمة "Open Climate Fix5"، من خلال تطوير نماذج التنبؤ الآني مفتوحة المصدر، والتي تحدد الغطاء السحابي في صور الأقمار الصناعية، وتجمع ذلك مع بيانات الطقس والمواقع الأخرى، من أجل التنبؤ بشكل أكثر دقة بالطاقة الشمسية قبل بضع ساعات^(٢).

(١) "دور الذكاء الاصطناعي في حل المشكلات العالمية : التغير المناخي"، ٢٠٢٥/٢/٢٣، شوهد في ٢٠٢٥/٨/٦ ، في: https://www.technohtn.com/2025/02/blog-post_23.html

(٢) محمد مختار قنديل ، ريم ابراهيم الحوسني، "تسخير إمكانات الذكاء الاصطناعي في مكافحة تغير المناخ"، مركز تريندز للبحوث والاستشارات ، ٢٠٢٣/٩/٤ ، شوهد في ٢٠٢٥/٨/٥ ، في: <https://trendsresearch.org/ar/insight>

شكل (٣)

مجالات اسهام الذكاء الاصطناعي في مواجهة التغير المناخي



المصدر: محمد مختار قنديل ، ريم ابراهيم الحوسني، "تسخير إمكانات الذكاء الاصطناعي في مكافحة تغير المناخ"، مركز تريندز للبحوث والاستشارات ، ٢٠٢٣/٩/٤ ، شوهده في ٢٠٢٥/٨/٥ ، في: <https://trendsresearch.org/ar/insight>

وفي ضوء ما تقدم يمكننا القول شهدت إجراءات مواجهة التغيرات المناخية تغير جوهري نتيجة تطور في مجالات المعرفة التكنولوجية ، حيث تقدم أدوات الذكاء الاصطناعي وتطبيقاتها حلول متقدمة وعملية في بعض جوانبها تفوق قدرة العقل البشري، وبسبب هذه الامكانيات الكبيرة للذكاء الاصطناعي، فأنها تساعد الإنسان في توظيف تقنيات وبرمجيات الذكاء الاصطناعي في تحسين التعامل مع الظواهر المناخية المعقدة .

المحور الثالث

تفاقم مسارات التحدي لتداعيات الذكاء الاصطناعي وأنماطها

كما اسلفنا سابقاً مع التطور التكنولوجي السريع، برز الذكاء الاصطناعي كأداة قوية يمكن توظيفها في تطوير آليات مكافحة التغير المناخي عن طريق تحليل كميات ضخمة من البيانات، إضافة إلى صياغة استراتيجيات للتكيف^(*) والتخفيف من تأثيرات الظاهرة، والمساعدة في اتخاذ قرارات بيئية أكثر دقة وفعالية، بفضل قدرته على التعلم العميق وتحليل الأنماط، وكذلك أصبح الذكاء الاصطناعي قادراً على تقديم حلول مبتكرة تشمل

تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، والتنبؤ بالكوارث الطبيعية، وتعزيز استخدام مصادر الطاقة المتجددة، ودعم السياسات البيئية، وحتى تصميم أنظمة زراعية أكثر استدامة^(١).

ومع ذلك، فإن توظيف الذكاء الاصطناعي في مكافحة التغير المناخي يواجه تحديات عديدة، مثل الحاجة إلى بيانات دقيقة وشاملة، وارتفاع تكاليف تطوير التكنولوجيا، وتأثير مراكز البيانات الضخمة على البيئة بسبب استهلاكها الكبير للطاقة^(٢)، وفي السياق ذاته، يمكن ملاحظة التأثير السلبي لتقنيات الذكاء الاصطناعي التي تم توظيفها من أجل معالجة تغير المناخ، وبالتالي إن مواءمة الذكاء الاصطناعي مع استراتيجيات تغير المناخ لا تقتصر على استثمار آليات فعالة تفضي إلى رفع جودة التقنيات وكفاءتها في مواجهة مخاطر المناخ، بل تفضي أيضا إلى الحد من الآثار السلبية التي تتعلق بتطبيقات الذكاء الاصطناعي^(٣).

بالإضافة إلى ما سبق، من شأن التطور الذي تشهده التغيرات المناخية وأشكال الطقس المتعددة أن تؤدي إلى تفاقم العبء البيئي، لا سيما في المناطق التي تواجه بالفعل ندرة المياه. لتشكل تهديداً كبيراً للحكومات من خلال تأثيرها على البنية التحتية للزراعة، وغالباً ما تؤدي البنية التحتية لمراكز البيانات إلى تغييرات في استخدام الأراضي وتعطيل المواصلات، ما يزيد من التأثير البيئي، وفي المناطق ذات الموارد المحدودة، يمكن أن يؤدي الطلب الإضافي من مراكز بيانات الذكاء الاصطناعي إلى صراعات حول المياه والطاقة، ما يسلط الضوء على الحاجة إلى حلول أكثر استدامة وإنصافاً^(٤). يجدر الذكر أن العديد من دول العالم تعاني اليوم من ظواهر مناخية متطرفة وموجات من ارتفاع درجات الحرارة، وانكماش في مساحة الأراضي الصالحة للزراعة بسبب الاحتباس الحراري، بل امتد نطاق تأثيراتها إلى نقص في الموارد المائية، مما خلق مضاعفات داخلية على حكومات العديد من دول العالم، وبالتالي ستدفع تلك الضغوطات المتزايدة إلى البحث عن حلول تعزز استراتيجياتها في مجالات البحث والتطوير العلمي لمواجهة المخاطر المناخية.

(١) "دور الذكاء الاصطناعي في حل المشكلات العالمية: التغير المناخي"، مصدر سابق.

(٢) المصدر نفسه.

(*) تعرف مجموعة الخبراء الحكوميين حول تطور المناخ التكيف بأنه: "تعديل في النظم الطبيعية و البشرية في مواجهة ظواهر مناخية حالية أو مستقبلية أو تأثيراتها بغية التخفيف من المخاطر الناتجة عنها أو استغلال الفرص المواتية". منى طواهرية، التغيرات المناخية ورهانات السياسة البيئية الدولية، مجلة شمال اقتصاديات افريقيا، المجلد (١٦)، العدد (٢٢)، (٢٠٢٠)، ص ٣٥٨

³(David Rolnick, Priya L. Donti, Maria João Sousa, "How AI Policy can Accelerate Climate Action", UNESCO, August 2024, <https://www.unesco.org/en/articles/how-ai-policy-can-accelerate-climate-action>

(٤) أسماء زايد، "تحديات استخدام الذكاء الاصطناعي في مواجهة تغير المناخ.. أبرزها زيادة استخدام الطاقة"، موقع صحيفة الوطن الإلكتروني، ٢٠٢٤/٩/٤، شوهد في ٢٠٢٥/٨/٦، في https://www.elwatannews.com/news/details/7534176#goog_rewarded

لذا فقد لوحظ أن استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي تطرح تحديات عدة في مجال الحوسبة الكمومية وتقنيات المراقبة المدعومة بالذكاء الاصطناعي، لا سيما مع استمرار تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي في ابعاد غير معروفة في وقتنا الحالي حدودها، وقد يؤدي هذا الى مزيد من أعباء التكلفة والتمويل اللازمة لمواجهة التغيرات المناخية لها آثار سلبية في عديد من القطاعات البيئية والاقتصادية والاجتماعية... الخ، والتي ستنعكس على الجانب الأمني والسياسي في حياة المجتمعات، إذ يشكل تهديداً خطيراً للسلم والأمن الدوليين، لأنه يساهم، بشكل مباشر أو غير مباشر، في تأجيج التوترات الاجتماعية ومضاعفة المشاكل الاقتصادية في مختلف أنحاء العالم^(١). لا سيما هو تهديد تراكم آثاره مع مرور الوقت، وسيصل إلى ذروته، بحسب (تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ مع نهاية هذا القرن الحادي والعشرين)، أصبح التغير المناخي الناتج عن ظاهرة الاحتباس الحراري وتداعياته على النظم البيئية الطبيعية حقيقة مؤكدة، وسيُسبب في كوارث مستقبلية، وستختلف تأثيراته بين الدول بحسب شدة تلك التأثيرات، والتي ستكون مختلفة بين المناطق الجغرافية، وبحسب قوة الدول الاقتصادية وقدرتها على التكيف مع آثاره السلبية^(٢).

يضاف إلى ذلك تسهم المخلفات والفضلات المنبعثة من الصناعات المختلفة التي تنتجها مصانع الدول الغنية في توليد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون أكثر من الدول الفقيرة. وتستفيد الدول الغنية أكثر من الاقتصاد القائم على الوقود الأحفوري، بحكم حقيقة انها تستهلك المزيد من السلع والخدمات، في الوقت الذي تحمل فيه الدول الفقيرة حول العالم أكبر تكاليف الاحتباس الحراري^(٣).

ومن هنا يتبين لنا إن استخدام الذكاء الاصطناعي وتقنياته - بصفة عامة - يمثل عبئاً على البيئة والموارد الطبيعية، ويزيد من الانبعاثات، سواء في مجال استخدام المياه في عمليات التبريد أو توليد الطاقة، وكذلك في مجال استخدام المعادن في تصنيع المكونات الإلكترونية. ومن المتوقع أن استهلاك الطاقة داخل قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات سيتضاعف بمقدار أربع مرات بحلول العام (٢٠٣٠)، مما كان عليه الاستهلاك التقديري لعام (٢٠١٨)، والذي تراوح بين (٢٠٠ إلى ٥٠٠ تيراواط^(٤))، ومع مضاعفة استخدام الإنترنت ووسائل الذكاء الاصطناعي سوف تزداد بالتبعية نسب استهلاك الطاقة^(٥).

(١) شهد عماد حميد، "الذكاء الاصطناعي والتغير المناخي: حلول مبتكرة لمستقبل مستدام"، ورقة بحثية، مركز البين للدراسات والتخطيط، ٢٠٢٤، ص ٩.

(٢) المصدر نفسه.

(٣) سعد حقي توفيق، "التدهور البيئي وأثره في العلاقات الدولية"، مجلة العلوم السياسية، العدد (٦٧)، (٢٠٢٤)، ص ١٢.

(٤) وهي وحدة قياس للطاقة ويرمز لها (TWH).

(٥) محمد مختار قنديل، ريم ابراهيم الحوسني، مصدر سابق.

يتمثل الأمر الآخر في نقص البيانات الدقيقة والشاملة التي تعد عنصراً ضرورياً لتدريب نماذج الذكاء الاصطناعي، تعد من أبرز التحديات التي تواجه تطبيقات الذكاء الاصطناعي؛ إذ تؤكد الكثير من التجارب وجود هذا التحدي المتعلق بنقص البيانات واعتباره عائقاً كبيراً يعوق إنجاز مهمات معقدة مثل التغير المناخي وآثاره المختلفة، ولتجاوز هذا التحدي، ينبغي على الحكومات والشركات المعنية التعاون لتوفير وتبادل البيانات المتعلقة بالمناخ والبيئة، ويمكن تحقيق ذلك عبر توفير أجهزة الاستشعار الدقيقة والخاصة المرتبطة مع بعضها بعضاً بواسطة تقنيات رقمية مثل إنترنت الأشياء، وتوفير منصة تخزينية خاصة وأمنة لجمع هذه البيانات وفرزها وفقاً لمعايير الجودة والتصنيفات المطلوبة في مواجهة مخاطر المناخ^(١).

ومن ناحية أخرى، تعد تطورات حلول الذكاء الاصطناعي في مواجهة التغيرات المناخية مكلفةً من الناحية المالية لما تتطلبه مثل هذه المشروعات من خبرات في مجال التغير المناخي والدعم الفني والرقمي والذكاء الاصطناعي بشكل خاص، وبالتالي يستلزم استثمارات مالية ضخمة تتوزع على مراحل التطوير، وهذا ما يشكل عائقاً أمام الكثير من الدول خصوصاً الدول النامية. لمواجهة مثل هذه الصعوبات، يتطلب من الحكومات والمؤسسات الدولية تقديم الدعم المالي والفني للدول النامية لمساعدتها في تبني مثل هذه التقنيات، وتقديم الخبرات والتدريب الفني والرقمي^(٢).

إضافة إلى ذلك أن تحولات انماط الطقس المختلفة وتغيراتها يخلق ظروفًا مناخية جديدة من التحديات على المدى الطويل، مما يجعل تحقيق الدقة بنسبة (١٠٠%) هدفاً بعيد المنال لبناء استنتاجات منطقية وبناءة داعمة لآليات مواجهة تغيرات المناخ. لاسيما أن أنماط الطقس تتأثر بالعديد من العوامل المتداخلة، بما في ذلك الظروف الجوية والسمات الجغرافية والسلوك الفوضوي، مما يجعل التنبؤات الدقيقة مهمة شاقة، علاوة على ذلك، قد لا تتحقق الإمكانات الكاملة للذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالطقس إذا لم تكن بعض محطات الأرصاد الجوية ومؤسسات التنبؤ مجهزة بالكامل أو قادرة على الاستفادة من الرؤى المستندة إلى الذكاء الاصطناعي. ويتطلب استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي بنية تحتية وموارد وخبرات لجمع وتحليل وتفسير كميات هائلة من البيانات الخاصة بالطقس. فإننا سنرى من الأهمية بمكان أن تستثمر منظمات التنبؤ بالطقس في قدرات الذكاء الاصطناعي، والتأكد من توفر التدريب والأدوات اللازمة لخبراء الأرصاد الجوية لتوظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي بشكل فعال واتخاذ القرارات المناسبة^(٣).

(١) معمر بن علي التوبى، "أزمة التغير المناخي: حلول ممكنة عبر الذكاء الاصطناعي"، موقع صحيفة عمان، ٢٠٢٤/٧/١٧، شوهد

في ٢٠٢٥/٨/٦، في: <https://www.omandaily.om>

(٢) المصدر نفسه.

(٣) نانيس عبد الرزاق فهي، مصدر سابق، ص ٥١.

ولا بد من الإشارة إلى أن دقة وموثوقية نماذج الذكاء الاصطناعي تعتمد بشكل حاسم على جودة وشمولية ونزاهة البيانات التي يتم تدريبها عليها. يمكن أن تؤدي فجوات البيانات، أو عدم دقتها، أو وجود تحيزات فيها (سواء كانت جغرافية أو زمنية أو متعلقة بالمتغيرات نفسها) إلى تنبؤات غير موثوقة ونتائج مضللة عن أثر التغيرات المناخية على مختلف القطاعات البيئية، فضلاً عن استشراف أبعادها المستقبلية وتأثيراتها وتداعياتها، على سبيل المثال، يعد "التحيز الجغرافي" مشكلة شائعة، حيث تكون البيانات المناخية أكثر كثافة وتفصيلاً في مناطق مثل أمريكا الشمالية وأوروبا مقارنة بمناطق أخرى مثل أجزاء من إفريقيا أو القطب الشمالي^(١).

وهكذا فكثيراً ما يتعرض التوازن الذي يتمتع به الوسط الطبيعي للخلل والانقطاع اللذان تحدثهما التغيرات العميقة التي تتناب الخصائص الأساسية المميزة لمكونات هذا الوسط، وتعتبر التغيرات المناخية واحدة من أكبر تحديات الوسط الطبيعي، فقد يتعرض المناخ بشكل خاص لعدد من الذبذبات والتغيرات واسعة النطاق لدرجة أن المنظومات البيئية تجد نفسها مرغمة على استعادة تكوينها الذاتي على أسس وركائز أخرى^(٢).

ويضيف آخرون أن هذا الخلل في توفر البيانات المتعلقة بالمناخ يمكن أن يؤدي إلى ضعف أداء النماذج في المناطق ذات البيانات الشحيحة، وتعتبر هذه المشكلة من أكبر التحديات، لأنها قد تعمم الأنماط السائدة في المناطق الغنية بالبيانات بشكل غير صحيح. ولا يقتصر الأمر على الجانب التقني، بل يمتد إلى ما يطلق عليه بـ "الظلم التوزيعي"، حيث يمكن أن يؤدي هذا التحيز إلى سوء تخصيص موارد التكيف مع تغير المناخ، مما يلحق الضرر بالدول النامية التي غالباً ما تكون الأكثر عرضة للتأثيرات المناخية بسبب انبعاثات الغازات الدفيئة والنفائات والتلوث البيئي^(٣). بالإضافة إلى ذلك، هناك خطر "الظلم التمثيلي" المتمثل في إعطاء الأولوية للمعرفة العلمية الغربية على حساب المعارف الأصلية والمحلية في عمليات صنع القرار المناخي، ولمواجهة هذه التحديات، هناك حاجة ماسة لمبادرات تهدف إلى تحسين جمع البيانات، خاصة من الدول النامية، وتعزيز الوصول المفتوح إليها مثل مبادرة "كلايمنت تريس" (Climate TRACE) كما تعمل منظمة "الذكاء الاصطناعي لتغير المناخ" على تحديد ومعالجة فجوات البيانات الحرجة^(٤). ومن ثمة فإن هذه الذبذبات المناخية التي تمتد على فترات زمنية طويلة، في واقع الأمر هي المسؤولة عن تحديد التغيرات البيئية الحاسمة في مجال تنظيم الحيز المكاني^(٥). ولا ننسى إن تحيز البيانات في نماذج الذكاء الاصطناعي المناخي ليس مجرد قضية فنية، بل هو مصدر قلق أخلاقي

(١) طارق قابيل، "الذكاء الاصطناعي وتحسين نماذج المناخ: بين الفرص والتحديات"، ٢٠٢٥/٦/٨، شوهد في ٢٠٢٥/٨/٦، في : <https://abudhabienv.ae>

(٢) هيلدبرت إزنار، الحيز المكاني، ترجمة: محمد اسماعيل الشيخ، (الكويت: مطبوعات جامعة الكويت، ١٩٩٤)، ص ٣٢.

(٣) طارق قابيل، مصدر سابق.

(٤) طارق قابيل، مصدر سابق.

(٥) هيلدبرت إزنار، مصدر سابق، ص ٣٣.

وقضائي عميق ما يفضي إلى نظام بالغ التعقيد؛ فهو يهدد بتفاقم التفاوتات العالمية القائمة من خلال التقليل المنهجي من تمثيل نقاط ضعف تلك المجتمعات (غالبًا في دول الجنوب العالمي) الأكثر تضررًا بالفعل من تغير المناخ والأقل مسؤولية عنه، ومن ثم أن تحويل الموارد عنها ويؤدي نقص البيانات المحلية عالية الجودة في البلدان النامية بشكل مباشر إلى إعاقة قدرتها على تطوير وصياغة استراتيجيات فعالة للتكيف مع تغير المناخ والتخفيف من آثاره باستخدام الذكاء الاصطناعي، مما يخلق حلقة مفرغة من الضعف بمشكلة تمثيل الذكاء الاصطناعي كأداة مبتكرة للتخفيف من حدة تغيرات المناخ^(١).

من مجمل ما سبق، يمكن القول على الرغم من التطور الملحوظ في مساهمة تقنيات الذكاء الاصطناعي في مواجهة تغيرات المناخ باستخدام برمجيات متطورة في التعامل مع البيانات الخاصة بالمناخ بقدراتها التقنية المتطورة في التعامل مع هذه الظاهرة، إلا أن هذه القدرات الابداعية لأنماط الذكاء الاصطناعي تنبثق منها مخاطر عدة كان لها انعكاساتها المباشرة على النظام المناخي بسبب استهلاكها لكميات كبيرة من الطاقة والمياه، وبالتالي سوف تزيد من تلوث البيئة وستزيد من مستويات انبعاثات الغازات الدفيئة.

الخاتمة والاستنتاجات

أبرزت هذه الدراسة طبيعة التغيرات المناخية التي تواجه دول العالم وما أنتجته هذه الظاهرة من آثار ومخاطر جمة تمثل تحدي للمجتمعات البشرية، ومن هنا كان اتجاه العالم نحو توظيف التطور التكنولوجي خطوة نحو احتواء التغير المناخي من جهة، ومن ناحية أخرى يمثل تحولاً مهماً في الجهود العالمية لمواجهه المخاطر المناخية والحفاظ على التنوع البيئي، فكان الذكاء الاصطناعي بشكل واضح الأداة التي تعزز من قدرات الدول في التنبؤ بتغيرات المناخ عبر توقعاته، فضلاً عن قدراتها التكيفية في مجال تخفيف مخاطر التغير المناخي، من خلال تحسين إدارة استخدام الموارد والانبعاثات الغازية والاتجاه نحو استخدام الطاقة المتجددة على أساس علمي وموضوعي، وعليه توصلت الدراسة إلى مجموعة من الاستنتاجات وكالاتي:

أولاً: تعد ظاهرة التغيرات المناخية موضعاً شغل الاهتمام العالمي بشكل عام والدول المتأثرة على نحو الخصوص نتيجة للآثار التي نتجت عن تغيرات المناخ، فضلاً عن سياسات الإهمال التي تمارسها بعض حكومات دول العالم في مواجهة الظاهرة وتداعياتها على المستويات المحلية.

(١) طارق قابيل ، مصدر سابق .

ثانياً: ساهمت تقنيات الذكاء الاصطناعي بتحسين اليات الحفاظ على البنى التحتية للموارد الطبيعية ويجاد الحلول المبتكرة في إدارة المياه والطاقة والانبعاثات... الخ، لا سيما من خلال خطوات التعامل مع مشاكل التغيرات المناخية.

ثالثاً: ضرورة وضع الدول للخطط الاستراتيجية اللازمة لإدارة الموارد التعاونية مع الدول المجاورة من خلال الاتفاقيات بين الحكومات من أجل تنظيم الموارد المشتركة وتقييد تلويث المياه المتدفقة نحو الدول المجاورة. رابعاً: ضرورة ديناميات التعاون بين الحكومات المحلية والمؤسسات الاقليمية والدولية في دعم الجهود المتعلقة باستخدام الذكاء الاصطناعي للتعامل مع الاضرار المتزايدة من تغيرات المناخ ويجاد صناديق تعاونية تخصص جزء من مواردها المادية لتطوير تقنيات الذكاء الاصطناعي، والتي سوف تسهم في الحد من التدهور البيئي.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: الكتب العربية والمترجمة:

- آلان بونيه، الذكاء الاصطناعي واقعه ومستقبله، ترجمة: علي صبري فرغلي، (الكويت: المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، ١٩٩٣).
 - أندرو دسلر وادوارد بارسون، تغير المناخ العالمي بين العلم والسياسة، ترجمة: عبد المقصود عبد الكريم، (لندن: مؤسسة هنداي، ٢٠٢٤).
 - عبد الحكيم بنود، تغير المناخ والتنمية المستدامة، (دبي: مؤسسة زايد الدولية للبيئة، ٢٠٢٢).
 - فراس عباس هاشم، عصف الجيوبوليتيكا: متزاحمات المعرفة والنهوض والاندماج الفكري في ميادين المعرفة السياسية، (اربيل: هاتريك للطباعة والنشر والتوزيع، ٢٠٢٥).
 - مارجريت إيه بودين، الذكاء الاصطناعي: مقدمة قصيرة جداً، ترجمة: إبراهيم سند أحمد، (لندن: مؤسسة هنداي، ٢٠٢٢).
 - مجاهد ناصر الجبر، الذكاء الاصطناعي، (صنعاء: الجامعة التخصصية الحديثة، ٢٠٢٤).
 - هنري كيسنجر، إريك شميت، دانييل هوتلوش، عصر الذكاء الاصطناعي ومستقبلنا البشري، ترجمة: أحمد حسن، (القاهرة: دار التنوير، ٢٠٢٣).
 - هيلدبرت إنزار، الحيز المكاني، ترجمة: محمد اسماعيل الشيخ، (الكويت: مطبوعات جامعة الكويت، ١٩٩٤).
- ثانياً: المجالات والدوريات:

- اشرف عبد الفتاح درويش، أبو العلا عطيفي حسانين، دور البيانات في مواجهة التغيرات المناخية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، مجلة آفاق آسيوية، المجلد (٦)، العدد (١٠)، (٢٠٢٢).
- ايمن احمد عبد الغفار، "أثر التغيرات المناخية على الاقتصاد العالمي دراسة تحليلية"، مجلة البحوث الفقهية والقانونية، المجلد (٤٧)، العدد (٤٧)، (٢٠٢٤).

- باسم علي خريسان، "دور الذكاء الاصطناعي في الحرب المعرفية"، مجلة حوار الفكر، العددان (٧٧-٧٨)، (٢٠٢٥).
- تهاني الخطيب، "الذكاء الاصطناعي في مقابل الذكاء البشري قراءة نقدية لتحديات محاكاة العقل البشري واستشراف مستقبلاته من منظور عربي"، مجلة استشراف، العدد (٩)، (٢٠٢٤).
- رغدة البهي، "رهانات مشروطة: الذكاء الاصطناعي وتغير المناخ ... الفرص والمخاطر"، رؤى عالمية، العدد (٣٠)، (٢٠٢٣).
- زنب مجدي، "تغير المناخ في الدول العربية: الآثار والسياسات"، المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر، مجلد (٢)، العدد (٤)، (٢٠٢٣).
- سعد حقي توفيق، "التدهور البيئي وأثره في العلاقات الدولية"، مجلة العلوم السياسية، العدد (٦٧)، (٢٠٢٤).
- سماء ابراهيم لطيف "العراق وتوظيف الجهود الدولية لمواجهة آثار التغير المناخي: نحو استراتيجية ناجعة للتكيف مع المخاطر"، مجلة قضايا سياسية، العدد (٧٧)، (٢٠٢٤).
- قزلان سليمة، يونس حفيظة، "ضبط الإطار المفاهيمي للذكاء الاصطناعي"، مجلة التراث، المجلد (١٤)، العدد (٣)، (٢٠٢٤).
- منى طواهرية، التغيرات المناخية ورهانات السياسة البيئية الدولية، مجلة شمال اقتصاديات افريقيا، المجلد (١٦)، العدد (٢٢)، (٢٠٢٠).
- نانيس عبد الرزاق فهي، "مستقبل استخدامات الذكاء الاصطناعي لمواجهة آثار التغير المناخي"، مجلة آفاق مستقبلية، العدد (٤)، (٢٠٢٤).
- هاشي رشيدة، ملياني عبد الوهاب، "الإطار المفاهيمي للذكاء الاصطناعي"، مجلة التراث، المجلد (١٤)، العدد (٢)، (٢٠٢٤).
- هبة الله سمير محمد عبد العال، أماني صلاح المخزنجي، "دور الاستراتيجية الوطنية للتغيرات المناخية ٢٠٥٠ لتسريع التحول للاقتصاد الأخضر وتحقيق النمو الاقتصادي في مصر"، المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، المجلد (١٤)، العدد (٤)، (٢٠٢٣).
- ياسين آشور جوهر، هيمن نصر الدين محمد أمين، "التغير المناخي وأثره في تحقيق التنمية المستدامة في العراق (منطقة كرميان انموذجا)"، مجلة قضايا سياسية، العدد (٧٥)، (٢٠٢٣).

ثالثاً: رسائل الماجستير:

- عباشي كوثر، سويح وهيبة، ظاهرة التغير المناخي وتأثيره على حقوق الانسان، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة الدكتور مولاي الطاهر - سعيده - كلية الحقوق والعلوم السياسية - قسم الحقوق، الجزائر، ٢٠٢٢،
- رابعاً: المواقع الإلكترونية:

- "حلول الذكاء الاصطناعي لتغير المناخ: التنبؤ بالمستقبل ودعم الحاضر"، ٢٠٢٥/٢/٢، شوهد في ٢٠٢٥/٨/٢، في: https://www.tag-news.com/News.aspx?id=45019&group_key=key

- "دور الذكاء الاصطناعي في حل المشكلات العالمية : التغير المناخي"، ٢٠٢٥/٢/٢٣، شوهدي في ٢٠٢٥/٨/٦، في:
https://www.technohtn.com/2025/02/blog-post_23.ht
- محمد مختار قنديل ، ريم ابراهيم الحوسني، "تسخير إمكانيات الذكاء الاصطناعي في مكافحة تغير المناخ"،
مركز تريندز للبحوث والاستشارات ، ٢٠٢٣/٩/٤، شوهدي في ٢٠٢٥/٨/٥، في:
<https://trendsresearch.org/ar/insight>
- اسماء زايد ، "تحديات استخدام الذكاء الاصطناعي في مواجهة تغير المناخ.. أبرزها زيادة استخدام الطاقة"،
موقع صحيفة الوطن الإلكتروني ، ٢٠٢٤/٩/٤، شوهدي في ٢٠٢٥/٨/٦، في :
https://www.elwatannews.com/news/details/7534176#goog_rewarded
- معمر بن علي التويي ، "أزمة التغير المناخي: حلول ممكنة عبر الذكاء الاصطناعي"، موقع صحيفة عمان ،
٢٠٢٤/٧/١٧، شوهدي في ٢٠٢٥/٨/٦، في: <https://www.omandaily.om>
- طارق قابيل ، "الذكاء الاصطناعي وتحسين نماذج المناخ: بين الفرص والتحديات"، ٢٠٢٥/٦/٨، شوهدي في
<https://abudhabienv.ae>، في ٢٠٢٥/٨/٦

خامساً: المصادر الاجنبية :

1. -Ibrahim Alhassan1, Ayisha Maiga, "Artificial Intelligence in Climate Change Mitigation: A Socio-Technical Framework for Evaluating Implementation Effectiveness and Systemic Impact", Scientific Research Publishing, 2025, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=141493>
2. -Nicholas Stern , Mattia Romani, What is AI's role in the climate transition and how can it drive growth, World Economic Forum, Jan 16, 2025, <https://www.weforum.org/stories/2025/01/artificial-intelligence-climate-transition-drive-growth/>
3. -David Rolnick, Priya L. Donti , Maria João Sousa, How AI Policy can Accelerate Climate Action, UNESCO, August 2024, <https://www.unesco.org/en/articles/how-ai-policy-can-accelerate-climate-action>