تطبيق الذكاء الاصطناعي في الدراسات الجغرافية: مراجعة منهجية للتطبيقات، التحديات، والآفاق المستقبلية

م.د. حنان احمد عبد الكريم

قسم الجغرافيا / كلية التربية للبنات/ جامعة البصرة

Hanan.ahmed@uobasrah.edu.iq

م.م. رند عدنان ديوان

مديرية تربية البصرة / محافظة البصرة

المستخلص

تستعرض هذه المراجعة الأدبية الشاملة الدور التحويلي الذي يلعبه الذكاء الاصطناعي (AI) في الدراسات الجغرافية المعاصرة، مُنشِئةً حقلاً فرعياً مزدهراً يُعرف بالذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI). يتناول البحث التطور التاريخي لهذا المجال، بدءاً من التكاملات الأولية للذكاء الاصطناعي مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، وصولاً إلى النماذج المتقدمة للتعلم العميق والنماذج التأسيسية الجغرافية. يتم تحليل التطبيقات المحورية للذكاء الاصطناعي في فروع الجغرافيا المختلفة، بما في ذلك الجغرافيا البشرية (الدراسات الحضرية، السكانية، والسلوكية)، والجغرافيا الطبيعية (رصد البيئة، إدارة الكوارث، وعلوم الأرض)، ورسم الخرائط (الكارتوغرافيا). كما يسلط البحث الضوء على السياق العربي، مستعرضاً التحديات اللغوية والثقافية والجهود المبذولة لتطوير نماذج ذكاء اصطناعي تتناسب مع خصوصية المنطقة. وتناقش المراجعة بعمق التحديات التقنية (مثل قابلية التفسير والتشغيل البيني) والأخلاقية (مثل الخصوصية، التحيز، والفجوة الرقمية) التي تواجه هذا المجال. وأخيراً، يستشرف البحث الآفاق المستقبلية، مع التركيز على الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI)، والنماذج التأسيسية الجغرافية، وأهمية الحفاظ على دور الخبير البشري في حلقة التحليل، بهدف بناء فهم أعمق وأكثر عدالة للعالم من حولنا.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي الجغرافي، نظم المعلومات الجغرافية، التعلم العميق، الجغرافيا البشرية، إدارة الكوارث، الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير، السياق العربي.

Applying artificial intelligence in geographic studies: A systematic revie w of applications, challenges, and future prospects

Dr. Hanan Ahmed Abdul Karim

Department of Geography / College of Education for Women / University of Basrah

Assistant Lecturer Rand Adnan Diwan

Basra Education Directorate / Basrah Governorate

Abstract

This comprehensive literature review examines the transformative role of Artificial Intelligence (AI) in contemporary geographical studies, which has given rise to the burgeoning subfield of Ge ospatial Artificial Intelligence (GeoAI). The paper traces the historical evolution of this domain, from the initial integrations of AI with Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensi ng to advanced deep learning and geo-foundation models. It analyzes the pivotal applications of AI across various branches of geography, including human geography (urban, population, and be

havioral studies), physical geography (environmental monitoring, disaster management, and eart h sciences), and cartography. The review also highlights the Arabic context, exploring the linguis tic and cultural challenges and the efforts to develop AI models tailored to the region's specificity . Furthermore, the paper critically discusses the technical (e.g., explainability, interoperability) a nd ethical (e.g., privacy, bias, digital divide) challenges facing the field. Finally, it looks toward f uture prospects, focusing on explainable AI (XAI), geo-foundation models, and the importance o f maintaining the human expert in the analysis loop, aiming to foster a deeper and more equitable understanding of our world.

Keywords: Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI), Geographic Information Systems (GIS), Deep Learning, Disaster Management, Explainable AI (XAI).

١. المقدمة

تشهد العلوم في مطلع القرن الحادي والعشرين تحولاً جذرياً مدفوعاً بما يُعرف بالثورة الصناعية الرابعة، والتي تتميز بالاندماج غير المسبوق بين العوالم المادية والرقمية والبيولوجية. في قلب هذه الثورة تكمن البيانات الضخمة (Big Data) والذكاء الاصطناعي (AI)، اللذان يعيدان تعريف أسس البحث العلمي ومنهجياته في كافة التخصصات. ولم تكن الجغرافيا، العلم الذي يدرس الأرض وظواهرها الطبيعية والبشرية، بمنأى عن هذا التأثير العميق. بل على العكس، وجدت الجغرافيا في هذه الثورة فرصة غير مسبوقة لتجاوز حدودها التقليدية والانتقال إلى عصر جديد من التحليل المكاني المتقدم. لقد أدت وفرة البيانات الجغرافية المكانية (Geospatial Data) من مصادر متنوعة - كصور الأقمار الصناعية عالية الدقة، وبيانات أجهزة الاستشعار المنتشرة في كل مكان (IoT)، ومنصات التواصل الاجتماعي المعتمدة على الموقع، والسجلات الإدارية الرقمية - إلى تحدٍ وفرصة في آن واحد. فمن ناحية، أصبحت الأدوات التحليلية التقليدية غير قادرة على التعامل مع هذا الحجم الهائل من البيانات وتعقيدها وتنوعها. ومن ناحية أخرى، فتح هذا الطوفان من البيانات الباب أمام استخلاص رؤى وأنماط مكانية لم يكن من الممكن الوصول إليها من قبل.

في هذا السياق، برز الذكاء الاصطناعي كقوة دافعة أساسية، محفزاً لتحول نموذجي في الفكر الجغرافي. لقد انتقلت الجغرافيا من كونها علماً يعتمد بشكل كبير على الوصف والتحليل الإحصائي الكلاسيكي إلى مجال يعانق بشكل متزايد مبادئ الجغرافيا الحاسوبية وعلوم البيانات المكانية. هذا التحول لم يغير الأدوات فحسب، بل أعاد تشكيل طبيعة الأسئلة التي يمكن للجغرافيين طرحها والإجابة عليها. تطرح هذه الديناميكية الجديدة إشكالية رئيسية تدور حولها هذه المراجعة: كيف يعيد الذكاء الاصطناعي، بتقنياته المتطورة كالتعلم الآلي والتعلم العميق، صياغة الأسئلة البحثية، وتطوير المنهجيات التحليلية، وتوسيع القدرات الاستكشافية والتنبؤية في مختلف فروع الدراسات الجغرافية؟

إن العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والجغرافيا ليست وليدة اللحظة، بل لها جذور تاريخية تمتد إلى عقود ماضية. ففي ثمانينيات القرن الماضي، بدأت تظهر كتابات مبكرة تستشرف مستقبل هذا التكامل، إلى تبني الشبكات العصبونية الاصطناعية كأدوات قوية لتحليل الأنماط الجغرافية المعقدة التي تستعصي على النماذج الإحصائية التقليدية. ومع ذلك، ظل هذا التكامل في مراحله الأولى، وغالباً ما كان يتمثل في تطبيق خوارزميات الذكاء الاصطناعي كأدوات منفصلة عن بيئات العمل الجغرافي الرئيسية. لقد كان ظهور وتطور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (Remote Sensing) بمثابة الخطوة التمهيدية الحاسمة التي مهدت الطريق لاندماج أعمق. وفرت نظم المعلومات الجغرافية الإطار المنطقي لإدارة وتحليل وعرض البيانات المكانية، بينما قدم الاستشعار عن بعد تدفقاً مستمراً للبيانات حول سطح الأرض. ومع مرور الوقت، تطور هذا التكامل من مجرد استخدام خوارزميات ذكاء اصطناعي منفصلة لتحليل مخرجات نظم المعلومات الجغرافية، إلى دمج هذه الخوارزميات بشكل كامل داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية نفسها، مما أدى إلى ظهور منصات تحليلية أكثر ذكاءً وتفاعلية [١].

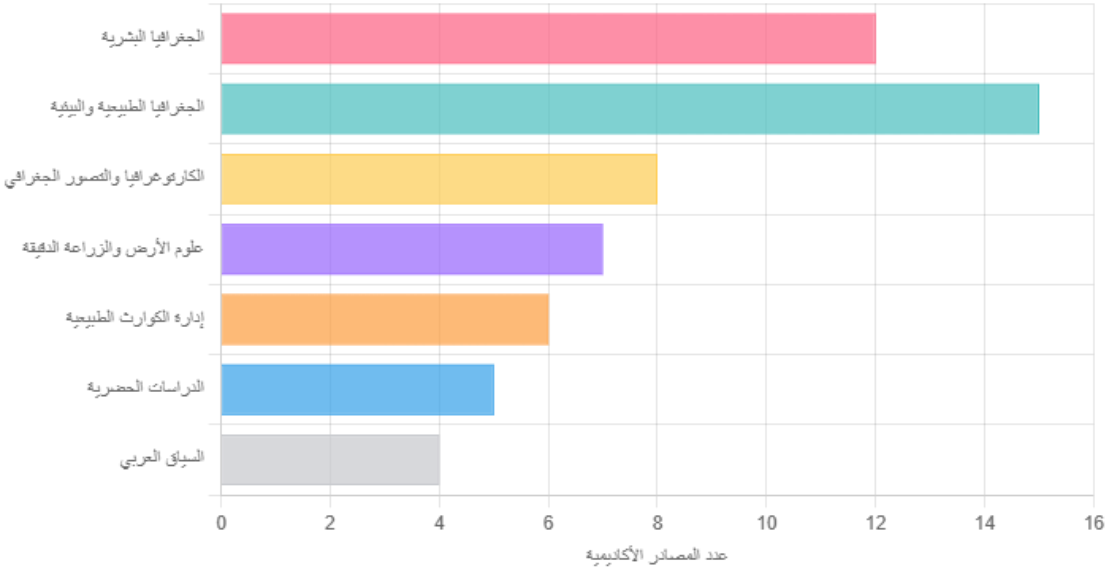
١. ١. خلفية البحث

لضمان فهم مشترك ومتين، من الضروري تقديم تعريفات واضحة للمفاهيم الأساسية التي تشكل حجر الزاوية في هذا المجال. يُعرَّف الذكاء الاصطناعي (AI) بشكل عام بأنه "نظرية وتطوير أنظمة الكمبيوتر القادرة على أداء المهام التي تتطلب عادةً الذكاء البشري، مثل الإدراك البصري، والتعرف على الكلام، واتخاذ القرار، والترجمة بين اللغات" [٢]. ويندرج تحت مظلته التعلم الآلي (Machine Learning - ML) ، وهو فرع يركز على تطوير خوارزميات تمكّن أجهزة الكمبيوتر من "التعلم" من البيانات دون أن تكون مبرمجة بشكل صريح. أما التعلم العميق (Deep Learning - DL) ، فهو مجموعة فرعية أكثر تقدماً من التعلم الآلي، تستخدم شبكات عصبونية متعددة الطبقات (عميقة) لاستخلاص أنماط معقدة للغاية من البيانات، وقد أحدث ثورة حقيقية في مهام مثل التعرف على الصور ومعالجة اللغة الطبيعية. من رحم هذا التزاوج بين الذكاء الاصطناعي والجغرافيا، وُلد مصطلح الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Geospatial Artificial Intelligence - GeoAI). يمكن تعريف GeoAI بشكل شامل بأنه "دمج الذكاء الاصطناعي مع الحوسبة المكانية لتطوير فهم أفضل للعالم المادي" [٣] وهو أيضاً "تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي، التقليدية منها والمصممة خصيصاً للمكان، لحل المشكلات المكانية من خلال تحليل البيانات

المكانية"[٤] . إنه مجال متعدد التخصصات يجمع بين علوم الكمبيوتر والجغرافيا وعلوم البيانات المكانية والإحصاء والهندسة [٥] .

١. ٢. منهج البحث

إن النمو المتسارع في حجم الأبحاث والمقالات العلمية المتعلقة بالذكاء الاصطناعي الجغرافي في السنوات الأخيرة يجعل من المراجعة المنهجية أمراً ضرورياً وحيوياً. فكما أشار جاو وآخرون (٢٠٢٣) [٦] ، فإن هذا التطور السريع يدعو إلى فهم أعمق للتطورات الحديثة واستشراف المسار الذي يتجه إليه هذا المجال في المستقبل القريب. لذا، تهدف هذه الورقة إلى تقديم مراجعة شاملة ونقدية لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في الدراسات الجغرافية. لا تقتصر هذه المراجعة على مجرد سرد التطبيقات، بل تسعى إلى تحليلها في سياق فروع الجغرافيا المختلفة (البشرية، الطبيعية، والكارتوغرافيا)، وتقييم التحديات التقنية والأخلاقية المصاحبة لها، واستشراف الآفاق المستقبلية الواعدة. من خلال هذا النهج، نطمح إلى رسم خريطة معرفية واضحة لمشهد الذكاء الاصطناعي الجغرافي الحالي، وتوفير مرجع متكامل للباحثين والطلاب والممارسين في هذا المجال الديناميكي. يمثل الشكل (١) توزيع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في فروع الجغرافيا المختلفة.



الشكل (١): توزيع تطبيقات الذكاء الاصطناعي في فروع الجغرافيا المختلفة

١. ٣. أهمية البحث

لتحقيق هذا الهدف، تم تنظيم هيكلية البحث على النحو التالي: بعد هذه المقدمة، يتناول القسم الثاني الإطار النظري والمنهجي للذكاء الاصطناعي الجغرافي، موضحاً العلاقة التآزرية بين مكوناته الرئيسية ودورة حياة مشاريعه النموذجية. أما القسم الثالث، فيستعرض بالتفصيل التطبيقات المحورية للذكاء الاصطناعي في فروع الجغرافيا البشرية والطبيعية والكارتوغرافيا. ويخصص القسم الرابع لمناقشة تطبيق الذكاء الاصطناعي الجغرافي في السياق العربي، مع التركيز على الخصوصية اللغوية والثقافية والتحديات المرتبطة بها. بعد ذلك، يناقش القسم الخامس بعمق التحديات التقنية والاعتبارات الأخلاقية الحاسمة التي تواجه هذا المجال. ويستشرف القسم الساس الاتجاهات المستقبلية والجيل القادم من الذكاء الاصطناعي الجغرافي، مع التركيز على مفاهيم مثل قابلية التفسير والنماذج التأسيسية. وأخيراً، يقدم القسم السابع خاتمة تلخص النتائج الرئيسية وتؤكد على أهمية التبني المسؤول لهذه التقنيات القوية. نأمل أن تساهم هذه المراجعة في تعميق فهمنا للدور التحويلي الذي يلعبه الذكاء الاصطناعي في إعادة تشكيل جغرافية القرن الحادي والعشرين.

٢. الاطار النظري

٢. ١. منهج الذكاء الاصطناعي الجغرافي

لا يمكن فهم الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) ككيان مستقل، بل هو نتاج تآزر عميق بين ثلاثة أعمدة تكنولوجية رئيسية: الذكاء الاصطناعي (AI)، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد (Remote Sensing). إن فهم هذه العلاقة التكاملية والمنهجيات التي تنبثق منها هو أساس استيعاب كيفية عمل GeoAI وقدراته التحويلية. يستعرض هذا القسم هذا الإطار النظري والمنهجي، بدءاً من تحليل العلاقة الثلاثية، مروراً بالتقنيات الرئيسية، وانتهاءً بدورة حياة مشروع GeoAI نموذجي.

٢. ٢. التآزر بين الذكاء الاصطناعي، نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد

يمكن تشبيه العلاقة بين هذه التقنيات الثلاث بنظام بيئي متكامل، حيث يلعب كل مكون دوراً حيوياً لا يمكن الاستغناء عنه. يوفر الاستشعار عن بعد، من خلال الأقمار الصناعية والطائرات بدون طيار وغيرها من المنصات، البيانات الخام واسعة النطاق التي تغذي النظام. هذه البيانات، سواء كانت صوراً بصرية أو بيانات رادار أو ليدار، تلتقط لقطات مكانية وزمانية لسطح الأرض ب تفاصيل متزايدة الدقة. ومع ذلك، تظل هذه البيانات مجرد "بيانات ضخمة" (Big Data) دون وجود إطار لتحليلها. هنا يأتي دور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ، التي تعمل كالبيئة الحاضنة أو العمود الفقري للنظام. توفر نظم المعلومات الجغرافية الأدوات اللازمة لإدارة هذه البيانات الضخمة وتخزينها وتنظيمها وإسنادها جغرافياً وتحليلها مكانياً وعرضها في صورة خرائط وتصورات مرئية [٧]. إنها توفر السياق المكاني الذي بدونه تفقد البيانات الجغرافية معناها.

ولكن، حتى مع وجود البيانات والإطار المكاني، تظل القدرة على استخلاص الأنماط المعقدة والتنبؤ بالظواهر المستقبلية محدودة بالطرق التحليلية التقليدية. وهنا يبرز دور الذكاء الاصطناعي (AI) كمحرك التحليل المتقدم. يقوم الذكاء الاصطناعي، وخاصة تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق، بأتمتة التحليلات، واكتشاف الأنماط والشذوذ في مجموعات البيانات الضخمة متعددة المتغيرات، وتحسين النماذج التنبؤية [٨]. على سبيل المثال، يمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل آلاف الصور الفضائية التي يوفرها الاستشعار عن بعد، ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، لتصنيف الغطاء الأرضي تلقائياً أو اكتشاف التغيرات البيئية بمرور الوقت. وبالتالي، فإن هذا التآزر يخلق حلقة فعالة: الاستشعار عن بعد يجمع البيانات، ونظم المعلومات الجغرافية تنظمها وتوفر سياقها المكاني، والذكاء الاصطناعي يحللها لاستخراج رؤى ذات معنى، والتي يمكن بعد ذلك استخدامها لتوجيه عمليات جمع بيانات جديدة أو تحسين النماذج داخل نظم المعلومات الجغرافية.

٢. ٣. النماذج والتقنيات الرئيسية للذكاء الاصطناعي في الجغرافيا

يعتمد GeoAI على مجموعة متنوعة من النماذج والتقنيات، تتراوح من الخوارزميات الكلاسيكية إلى الشبكات العصبونية المعقدة. يمكن تصنيفها بشكل عام إلى ثلاث فئات رئيسية:

٢.٣.١. التعلم الآلي التقليدي (Classical Machine Learning)

كانت هذه الخوارزميات هي أول ما تم تطبيقه في السياقات الجغرافية. ورغم بساطتها النسبية مقارنة بالتعلم العميق، إلا أنها لا تزال فعالة للغاية في العديد من المهام التحليلية، خاصة عند التعامل مع البيانات المهيكلة (الجدولية). تشمل التطبيقات الشائعة: التصنيف (Classification)، مثل استخدام خوارزميات الغابة العشوائية (Random Forest) أو آلات المتجهات الداعمة (SVM) لتصنيف استخدامات الأراضي بناءً على خصائص طيفية ومكانية. والانحدار (Regression) ، للتنبؤ بالقيم المستمرة، مثل تقدير أسعار العقارات بناءً على موقعها وخصائصها وخصائص الجوار. والتجميع (Clustering)، لتحديد المجموعات أو الأنماط المكانية المتشابهة في البيانات دون وجود تسميات مسبقة، مثل تحديد تجمعات الحوادث المرورية أو بؤر تفشي الأمراض.

٢.٣.٢. التعلم العميق (Deep Learning)

أحدث التعلم العميق ثورة في GeoAI، خاصة في قدرته على التعامل مع البيانات غير المهيكلة والمعقدة مثل الصور والنصوص. من أبرز معماريات التعلم العميق المستخدمة في الجغرافيا:

- **الشبكات العصبونية الالتفافية (Convolutional Neural Networks - CNNs):** هذه الشبكات هي العمود الفقري لتحليل الصور. إنها تتفوق في مهام مثل التعرف على الكائنات وتجزئة الصور (Image Segmentation). في الجغرافيا، تُستخدم بشكل مكثف لاستخلاص معالم المباني والطرق والمسطحات المائية من الصور الفضائية وصور الطائرات بدون طيار، وكذلك تحليل صور الشوارع (مثل Google Street View) لتقييم جودة البيئة الحضرية أو تقدير مؤشرات مثل درجة المشي (Walkability) بشكل آلي [٩].
- **الشبكات العصبونية المتكررة (Recurrent Neural Networks - RNNs) وشبكات الذاكرة طويلة قصيرة المدى (LSTM):** تم تصميم هذه الشبكات خصيصاً للتعامل مع البيانات المتسلسلة، مما يجعلها مثالية لتحليل البيانات الزمانية المكانية (Spatio-temporal Data). تُستخدم في التنبؤ بالظواهر التي تتغير بمرور الوقت والمكان، مثل التنبؤ بالطقس، ونمذجة التغيرات في الغطاء النباتي، أو تحليل أنماط حركة المرور [١٠].

٢.٣.٣. الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI)

يمثل هذا الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي حدوداً جديدة ومثيرة في الجغرافيا. على عكس النماذج التمييزية (Discriminative) التي تركز على التصنيف أو التنبؤ، تقوم النماذج التوليدية بإنشاء محتوى جديد. تشمل تطبيقاته الناشئة:

- **نماذج اللغة الكبيرة (Large Language Models - LLMs):** أدوات مثل ChatGPT لديها القدرة على فهم وتفسير وتوليد النصوص المتعلقة بالجغرافيا. يمكن استخدامها لتحليل تقارير ميدانية، أو استخلاص معلومات مكانية من النصوص التاريخية، أو حتى المساعدة في كتابة الأكواد البرمجية للمهام الجغرافية المكانية [١١].

• **الشبكات التوليدية التنافسية (Generative Adversarial Networks - GANs):** يمكن استخدامها في مهام مثل توليد صور فضائية واقعية لزيادة حجم بيانات التدريب (Data Augmentation)، أو إنشاء تصورات خرائطية مبتكرة وأساليب كارتوغرافية جديدة [١٢].

٤٢. دورة حياة مشروع الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI Project Lifecycle)

لا يختلف مشروع GeoAI في جوهره عن أي مشروع تعلم آلة، ولكنه يتضمن خطوات واعتبارات مكانية فريدة في كل مرحلة. يمكن تلخيص دورة حياة المشروع النموذجية في المراحل التالية، والتي يمكن تصورها كمخطط انسيابي متكامل كما هو واضح في الشكل (٢) ادناه [13]:

٣. التطبيقات المحورية للذكاء الاصطناعي الجغرافي في فروع الجغرافيا

لقد تغلغل الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نسيج البحث الجغرافي، مقدماً أدوات ومنهجيات جديدة لدراسة التفاعلات المعقدة بين الإنسان والبيئة. تتنوع تطبيقاته لتشمل كافة فروع الجغرافيا تقريباً، من دراسة الديناميكيات الدقيقة داخل المدن إلى مراقبة النظم البيئية على نطاق الكوكب. يستعرض هذا القسم بعضاً من أبرز هذه التطبيقات في ثلاثة مجالات رئيسية: الجغرافيا البشرية، والجغرافيا الطبيعية والبيئية، والكارتوغرافيا.

١٣. الجغرافيا البشرية (Human Geography)

في مجال الجغرافيا البشرية، مكّن الذكاء الاصطناعي الباحثين من تحليل الأنماط الاجتماعية والاقتصادية والثقافية على مستويات لم تكن ممكنة من قبل، محولاً البيانات غير التقليدية إلى رؤى جغرافية عميقة.

شكل (٢): دورة حياة مشروع الذكاء الاصطناعي الجغرافي

١.١٣. الدراسات الحضرية

تعد المدن مختبرات حية للتفاعلات البشرية، وقد وفر GeoAI عدسة قوية لدراستها. أحد أبرز الأمثلة هو التقييم الآلي للبيئات الحضرية. في أطروحته، قدم حسن (Hasan, 2020) منهجية مبتكرة لتطوير درجة مشي (walkability score) آلية على مستوى الشارع. باستخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) والتجزئة الدلالية (Semantic Segmentation) المطبقة على صور Google Street View، تمكن من تحديد وقياس المتغيرات التي تؤثر على تجربة المشي، مثل وجود الأرصفة، والمساحات الخضراء، وإنارة الشوارع. وأظهرت دراسته أن الدرجة المحسوبة آلياً ترتبط إيجابياً بمؤشرات المدن الذكية الأخرى مثل الصحة العامة وقيمة العقارات، مما يوفر أداة فعالة وموفرة للتكاليف للمخططين الحضريين لتقييم وتحسين بيئات المشي [١٤]. وبالمثل، استخدم باحثون آخرون بيانات نقاط الاهتمام (Points of Interest)

والأنشطة البشرية المستقاة من الشبكات الاجتماعية لتحديد المناطق الوظيفية داخل المدن (مثل المناطق التجارية، السكنية، الترفيهية) بدقة، مما يساعد على فهم أفضل للهيكل المكاني للمدن وتوجيه سياسات التخطيط الحضري [١٤].

.2.1٣. الجغرافيا السكانية والاجتماعية

قدم GeoAI طرقاً مبتكرة لجمع البيانات الاجتماعية والاقتصادية على نطاق واسع، متجاوزاً قيود المسوحات التقليدية. في دراسة رائدة، أظهر جبرو وزملاؤه (٢٠١٧) [١٥]كيف يمكن استخدام التعلم العميق وصور Google Street View لتقدير التركيبة الديموغرافية للأحياء في الولايات المتحدة. من خلال تدريب نموذج شبكة عصبونية التفافية (CNN) على التعرف على أنواع وطرازات السيارات من ملايين الصور، تمكنوا من التنبؤ بدقة مدهشة بمتغيرات مثل متوسط الدخل، والعرق، والمستوى التعليمي، والتوجهات السياسية على مستوى الحي. هذا النهج لا يوفر فقط بيانات بتكلفة أقل وبشكل أسرع من التعدادات السكانية، بل يفتح الباب أيضاً لدراسة التفاوتات الاجتماعية والاقتصادية بدقة مكانية عالية. وفي سياق آخر، قام هو وزملاؤه (٢٠١٩)[١٦] بتحليل المشاعر والآراء في المراجعات التي يكتبها السكان عن أحيائهم عبر الإنترنت، وذلك لفهم تصوراتهم حول بيئاتهم المعيشية. باستخدام تقنيات معالجة اللغة الطبيعية، تمكنوا من ربط المشاعر الإيجابية أو السلبية بخصائص مكانية محددة، مما يوفر رؤى قيمة حول ما يجعل الأحياء السكنية مرغوبة.

.2٣. الجغرافيا الطبيعية والبيئية (Physical and Environmental Geography)

في هذا المجال، يلعب GeoAI دوراً حاسماً في مراقبة كوكبنا وفهم أنظمته المعقدة والاستجابة للتحديات البيئية الملحة.

1.2.3. الرصد البيئي

تتيح القدرة على تحليل كميات هائلة من صور الأقمار الصناعية للباحثين مراقبة البيئة بشكل مستمر وشامل. تُستخدم خوارزميات التعلم العميق الآن بشكل روتيني لتصنيف الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي بدقة عالية، ومراقبة إزالة الغابات، وتقييم صحة النظم البيئية المائية من خلال تحليل لون المياه. علاوة على ذلك، يساهم الذكاء الاصطناعي في مراقبة جودة الهواء والماء من خلال دمج بيانات الأقمار الصناعية مع بيانات محطات الرصد الأرضية لإنشاء خرائط تلوث عالية الدقة، وتحديد مصادر الانبعاثات، والتنبؤ بنوبات التلوث.

2.2.3. إدارة الكوارث الطبيعية

أصبح الذكاء الاصطناعي أداة لا غنى عنها في جميع مراحل دورة إدارة الكوارث. في مرحلة ما قبل الكارثة، تُستخدم النماذج التنبؤية لتحليل البيانات التاريخية والبيئية للتنبؤ باحتمالية وقوع الكوارث مثل الفيضانات والانهيارات الأرضية وحرائق الغابات، مما يساعد في أنظمة الإنذار المبكر وتخطيط الإخلاء. أثناء الكارثة، يمكن للذكاء الاصطناعي تحليل البيانات الواردة في الوقت الفعلي من وسائل التواصل الاجتماعي وصور الطائرات بدون طيار لتحديد المناطق الأكثر تضرراً وتوجيه فرق الاستجابة بفعالية. وفي مرحلة ما بعد الكارثة، تُستخدم تقنيات التعرف على الصور لتقييم حجم الأضرار بسرعة من خلال مقارنة الصور الفضائية قبل وبعد الكارثة، مما يسرع من جهود الإغاثة وإعادة الإعمار [١٧].

3.2.3. علوم الأرض والزراعة الدقيقة

في مجال علوم الأرض (Geoscience)، يغير الذكاء الاصطناعي الطريقة التي يحلل بها الجيولوجيون البيانات ويفهمون بها باطن الأرض. فهو يساعد في دمج كميات هائلة من البيانات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية والهيدرولوجية لبناء نماذج جيولوجية ثلاثية الأبعاد أكثر دقة، كما يستخدم في التحليل الآلي لعينات الصخور لتحديد أنواعها وخصائصها الفيزيائية [١٨] . وفي مجال الزراعة، أدى GeoAI إلى ظهور مفهوم الزراعة الدقيقة (Precision Agriculture). من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية والطائرات بدون طيار، يمكن للنماذج الذكية مراقبة صحة المحاصيل، واكتشاف تفشي الآفات والأمراض مبكراً، وتقدير مستويات الرطوبة في التربة، وتحسين استخدام الأسمدة والمياه، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وتقليل الأثر البيئي.

.3٣. الكارتوغرافيا والتصور الجغرافي (Cartography and Geo-visualization)

لم يغير الذكاء الاصطناعي فقط كيفية تحليل البيانات الجغرافية، بل أيضاً كيفية تمثيلها وتصورها. في مجال الكارتوغرافيا، الذي كان يعتمد تقليدياً على مهارة وخبرة رسام الخرائط، بدأ الذكاء الاصطناعي في أتمتة المهام المعقدة وتمكين أشكال جديدة من الإبداع الخرائطي.

أحد أكبر التحديات في الكارتوغرافيا هو التعميم الخرائطي (Map Generalization) ، وهو عملية تبسيط الخريطة عند الانتقال من مقياس رسم كبير إلى مقياس أصغر. هذه العملية معقدة وتتطلب قرارات ذاتية. وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن نماذج التعلم العميق، وخاصة الشبكات التوليدية التنافسية (GANs)، يمكنها تعلم أساليب التعميم من الخرائط الموجودة وتطبيقها لإنشاء خرائط معممة عالية الجودة تلقائياً. بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم الذكاء الاصطناعي في مهام أخرى مثل اختيار الرموز المناسبة (Symbolization) ووضع النصوص والأسماء على الخريطة (Typography) بطريقة تتجنب التداخل

وتحافظ على الوضوح [١٩]. هذا لا يسرع من عملية إنتاج الخرائط فحسب، بل يفتح الباب أيضاً أمام تصميم خرائط ديناميكية تتكيف مع احتياجات المستخدم أو سياق العرض. علاوة على ذلك، يساهم الذكاء الاصطناعي في تطوير أدوات تصور مكاني ذكية تتجاوز الخرائط الثابتة، مما يسمح للمستخدمين بالتفاعل مع البيانات واستكشاف الأنماط المخفية بطرق بديهية.

4. الذكاء الاصطناعي الجغرافي في السياق العربي: خصوصية وتحديات

بينما تتسارع وتيرة تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي على مستوى العالم، يواجه تطبيقها في العالم العربي مجموعة فريدة من التحديات والفرص. هذا السياق، الغني بإرثه الجغرافي والتاريخي، والمتسم بخصوصية لغوية وثقافية، يتطلب نهجاً متكيفاً لتسخير إمكانات GeoAI بشكل فعال. يستكشف هذا القسم هذه الخصوصية، بدءاً من الإشارة إلى الإرث الجغرافي، مروراً بالتحديات اللغوية، وصولاً إلى الجهود الحالية والفرص المستقبلية.

قبل الخوض في التحديات المعاصرة، من المهم الإشارة إلى أن المعرفة الجغرافية متجذرة بعمق في التراث العلمي العربي. لقد قدم الجغرافيون العرب في العصور الوسطى، مثل الشريف الإدريسي والبيروني والمسعودي، مساهمات هائلة في رسم الخرائط، والجغرافيا الفلكية، والجغرافيا البشرية والفيزيائية. وصف البيروني في كتابه "تحقيق ما للهند من مقولة" العمليات الجيومورفولوجية التي تشكل سطح الأرض، بينما تعتبر خريطة الإدريسي للعالم من روائع الكارتوغرافيا في عصرها [٢٠]. هذا الإرث الغني لا يمثل فقط مصدر فخر تاريخي، بل يشكل أيضاً أساساً ثقافياً يمكن أن يلهم الجغرافيين العرب المعاصرين لربط الماضي بالحاضر، واستخدام الأدوات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي لاستكمال هذا المسار المعرفي الطويل.

1.4. التحديات اللغوية في معالجة البيانات الجغرافية العربية

يكمن أحد أكبر العوائق أمام تطبيق GeoAI في العالم العربي في طبيعة اللغة العربية نفسها. لقد تم تدريب معظم نماذج الذكاء الاصطناعي الرائدة، وخاصة نماذج معالجة اللغة الطبيعية (NLP)، على كميات هائلة من النصوص الإنجليزية، مما يجعل أداءها أقل عند التعامل مع اللغات الأخرى. وتطرح اللغة العربية تحديات إضافية فريدة من نوعها:

- **التعقيد الصرفي واللهجي:** تتميز اللغة العربية بتركيب صرفي غني ومعقد، بالإضافة إلى وجود العديد من اللهجات العامية التي تختلف بشكل كبير عن اللغة العربية الفصحى الحديثة (MSA). هذا التنوع يجعل من الصعب على نماذج الذكاء الاصطناعي فهم السياق والتعرف على الكلمات بشكل دقيق، خاصة في البيانات غير الرسمية مثل منشورات وسائل التواصل الاجتماعي.
- **أسماء المواقع الجغرافية:** تمثل أسماء المواقع الجغرافية (Toponyms) تحدياً خاصاً. فغالباً ما توجد طرق متعددة لكتابة نفس الاسم الجغرافي باللغة العربية، فضلاً عن عدم وجود معايير موحدة لترجمته صوتياً إلى الحروف اللاتينية (Transliteration). هذا الغموض يؤدي إلى صعوبات كبيرة في ربط البيانات من مصادر مختلفة وفي عمليات الإسناد الجغرافي (Geocoding) الدقيقة[٢١] .
- **ندرة البيانات الموحدة:** هناك نقص في قواعد البيانات الجغرافية العربية الموحدة والشاملة والمتاحة للجمهور، وكذلك في مجموعات البيانات (Corpora) اللغوية العربية المصنفة والجاهزة لتدريب نماذج الذكاء الاصطناعي، مما يعيق تطوير أدوات مخصصة للمنطقة.

2.4. الجهود والمبادرات الحالية

على الرغم من هذه التحديات، هناك جهود ومبادرات متزايدة في المنطقة العربية لمواجهتها. على الصعيد البحثي، يعمل أكاديميون على بناء مجموعات بيانات متخصصة. على سبيل المثال، قام باحثون بإنشاء مجموعة بيانات جديدة من الأوراق البحثية الجغرافية العربية لتصنيفها تلقائياً إلى جغرافيا بشرية أو طبيعية باستخدام تقنيات تعلم الالة. كما تقترح دراسات أخرى أطراً مبتكرة، مثل استخدام أنظمة الوكلاء المتعددين (Multi-Agent Systems) لتطوير آليات لتوحيد الأسماء الجغرافية العربية ومعالجتها بفعالية [٢١].

على صعيد تطوير النماذج، يمثل إطلاق نموذج اللغة الكبير "جيس" (Jais)، الذي تم تطويره بالتعاون بين جامعة محمد بن زايد للذكاء الاصطناعي وشركات أخرى، خطوة هامة. تم تدريب "جيس" على مجموعة بيانات ضخمة تحتوي على نصوص عربية وإنجليزية، مما يجعله أكثر قدرة على فهم الفروق الدقيقة في اللغة العربية مقارنة بالنماذج الأخرى. يمكن لمثل هذه النماذج أن تعزز بشكل كبير التطبيقات الجغرافية التي تعتمد على تحليل النصوص، مثل تحليل المشاعر المكانية أو استخراج المعلومات من التقارير البيئية. بالإضافة إلى ذلك، هناك اهتمام متزايد باستخدام GeoAI لتحقيق أهداف التنمية المستدامة في المنطقة، حيث تشير الدراسات إلى ضرورة استخدام نظم المعلومات الجغرافية المدعومة بالذكاء الاصطناعي لتشخيص ومراقبة القضايا الملحة مثل إدارة الموارد المائية الشحيحة والأمن الغذائي في المناطق الجافة، وتقديم حلول سريعة لصناع القرار[٢٣].

3.4. الفرص المستقبلية

يحمل المستقبل فرصاً واعدة لتطوير GeoAI في السياق العربي. تتطلب الاستفادة من هذه الفرص تضافر الجهود في عدة اتجاهات. أولاً، هناك حاجة ماسة إلى بناء بنية تحتية للبيانات الجغرافية العربية الموحدة، بما في ذلك معاجم جغرافية (Gazetteers) رقمية ومعيارية للأسماء الجغرافية. ثانياً، يجب تركيز الجهود على تطوير نماذج ذكاء اصطناعي "واعية

ثقافياً"، لا تترجم اللغة فحسب، بل تفهم أيضاً السياق التاريخي والاجتماعي والثقافي للمنطقة، مما يضمن أن تكون التحليلات والحلول المقترحة ملائمة وفعالة. ثالثاً، يمكن أن يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً محورياً في الحفاظ على التراث الثقافي واللغوي، بما في ذلك اللهجات واللغات الإقليمية الأخرى المرتبطة بالعربية، من خلال توثيقها وتحليلها رقمياً. إن الاستثمار في هذه المجالات لن يؤدي فقط إلى سد الفجوة الرقمية، بل سيمكن المنطقة العربية من أن تكون مساهماً فاعلاً ومبتكراً في المشهد العالمي للذكاء الاصطناعي الجغرافي.

4.4. التحديات والاعتبارات الأخلاقية

على الرغم من الإمكانات الهائلة التي يقدمها الذكاء الاصطناعي الجغرافي، فإن تطبيقه لا يخلو من تحديات كبيرة واعتبارات أخلاقية معقدة يجب التعامل معها بحذر ومسؤولية. يمكن تقسيم هذه التحديات إلى فئات تقنية وأخلاقية، بالإضافة إلى قضية الفجوة الرقمية التي تحمل في طياتها أبعاداً تقنية واجتماعية.

1.4.4. التحديات التقنية

- **جودة البيانات وتوافرها:** تعتمد نماذج الذكاء الاصطناعي، وخاصة التعلم العميق، على كميات هائلة من البيانات عالية الجودة لتدريبها بفعالية. في العديد من السياقات الجغرافية، قد تكون البيانات نادرة، أو غير مكتملة، أو غير دقيقة، أو غير ممثِّلة للواقع بشكل كافٍ. هذه المشكلة، التي تُعرف بـ "جوع البيانات" (data-hungry characteristics)، تحد من قابلية تطبيق النماذج المتقدمة في المناطق التي تفتقر إلى بنية تحتية قوية لجمع البيانات [١٨].
- **قابلية التشغيل البيني (Interoperability):** لا يزال دمج نماذج الذكاء الاصطناعي المطورة في بيئات مختلفة (مثل Python مع مكتبات TensorFlow أو PyTorch) مع منصات نظم المعلومات الجغرافية التجارية أو مفتوحة المصدر يمثل تحدياً. يتطلب الأمر غالباً خبرة برمجية متقدمة لإنشاء تدفقات عمل سلسة، مما يحد من وصول غير المتخصصين إلى هذه التقنيات [٢٤].
- **مشكلة "الصندوق الأسود" (Black Box Problem):** تعد هذه واحدة من أكبر العقبات التي تواجه قبول نماذج التعلم العميق. بسبب تعقيدها الهائل، غالباً ما يكون من الصعب أو المستحيل فهم كيفية وصول النموذج إلى قرار أو تنبؤ معين. هذه الطبيعة "الصندوقية السوداء" تقلل من الثقة في النتائج، وتجعل من الصعب التحقق من صحة النموذج أو اكتشاف الأخطاء أو التحيزات الكامنة فيه. بالنسبة للجغرافيين الذين يسعون ليس فقط للتنبؤ ولكن أيضاً للفهم والتفسير، يمثل هذا تحدياً جوهرياً [٢٥].

2.4.4. التحديات الأخلاقية (GeoAI Ethics)

يثير استخدام البيانات الجغرافية الشخصية وتحليلها بواسطة خوارزميات قوية مجموعة من القضايا الأخلاقية العميقة التي أصبحت محور نقاش متزايد تحت مسمى "أخلاقيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي".

- **الخصوصية والمراقبة (Privacy and Surveillance):** يمكن للبيانات الجغرافية الدقيقة، مثل مسارات نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) أو الصور الجغرافية الموسومة، أن تكشف عن تفاصيل حميمة حول حياة الأفراد وعاداتهم. هناك خطر حقيقي من أن تُستخدم هذه البيانات، سواء من قبل الشركات أو الحكومات، في انتهاك الخصوصية أو تمكين أنظمة المراقبة الجماعية التي قد تحد من الحريات المدنية [٢٦].
- **التحيز والعدالة (Bias and Fairness):** نماذج الذكاء الاصطناعي جيدة فقط بقدر جودة البيانات التي تدربت عليها. إذا كانت بيانات التدريب متحيزة - على سبيل المثال، إذا كانت تمثل بشكل مفرط فئات سكانية معينة أو مناطق جغرافية محددة - فإن النموذج سيتعلم ويعزز هذه التحيزات. يمكن أن يؤدي هذا إلى ما يسمى بـ "التمييز الخوارزمي"، حيث تتخذ الأنظمة الآلية قرارات غير عادلة تؤثر على مجموعات سكانية مهمشة، مثل التوزيع غير العادل للموارد العامة (كالشرطة أو الخدمات الصحية) أو الممارسات التمييزية في الإقراض العقاري [٢٧].
- **المسؤولية والمساءلة (Responsibility and Accountability):** عندما يتخذ نظام GeoAI قراراً خاطئاً له عواقب وخيمة - على سبيل المثال، توجيه فرق الإنقاذ إلى موقع خاطئ أثناء كارثة، أو تحديد منطقة بشكل غير صحيح على أنها عالية الخطورة - فمن المسؤول؟ هل هو المطور الذي أنشأ الخوارزمية، أم المنظمة التي نشرت النظام، أم البيانات التي تم تدريبه عليها؟ إن غياب خطوط واضحة للمساءلة يمثل تحدياً كبيراً، خاصة في التطبيقات عالية المخاطر [٢٨].

3.4.4. الفجوة الرقمية (Digital Divide)

بعيداً عن التحديات التقنية والأخلاقية المباشرة، هناك خطر من أن تؤدي تقنيات GeoAI المتقدمة إلى توسيع الفجوة الرقمية والمعرفية القائمة. يتطلب تطوير واستخدام هذه التقنيات بنية تحتية حسابية قوية (مثل وحدات معالجة الرسومات - GPUs)، ومجموعات بيانات ضخمة، وخبرات بشرية متخصصة. هذه الموارد تتركز إلى حد كبير في الدول المتقدمة والمؤسسات البحثية الكبرى والشركات التقنية العملاقة. ونتيجة لذلك، هناك خطر من أن يؤدي GeoAI إلى خلق "جغرافيا غير متكافئة

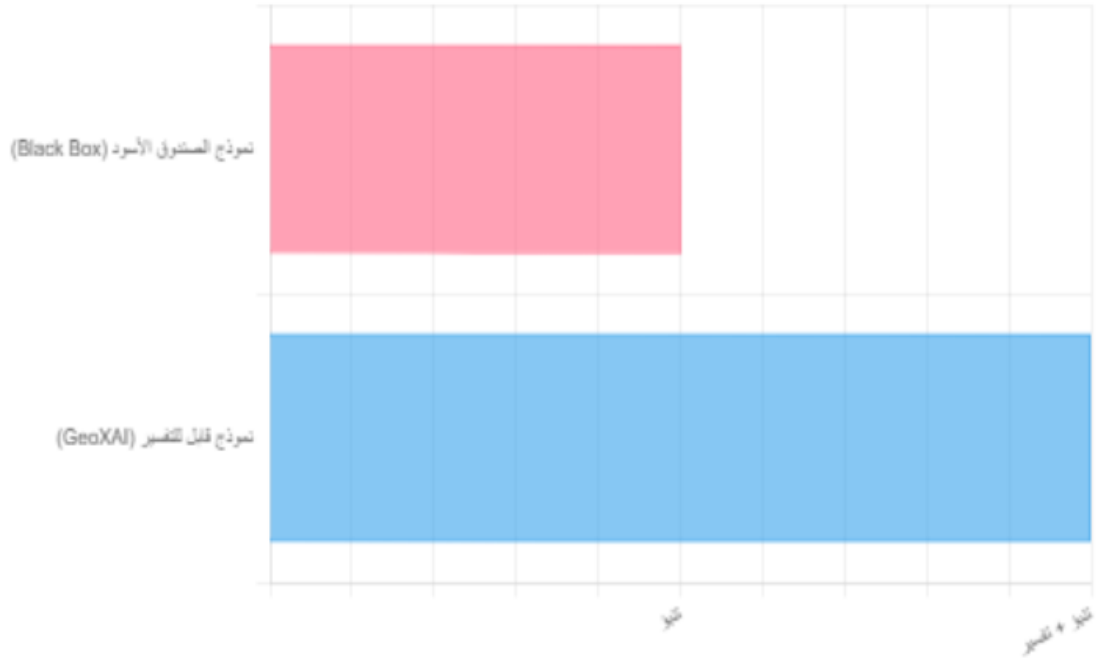
للمعرفة"، حيث تستفيد المناطق الغنية بالبيانات والخبرة من هذه التقنيات لتحقيق المزيد من التقدم، بينما تتخلف المناطق الأخرى عن الركب. هذا لا يؤثر فقط على القدرة التنافسية الاقتصادية، بل يؤثر أيضاً على قدرة المجتمعات المختلفة على فهم ومعالجة تحدياتها المحلية باستخدام أحدث الأدوات المتاحة [٢٩].

5. الاتجاهات المستقبلية والجيل القادم من الذكاء الاصطناعي الجغرافي

يقف مجال الذكاء الاصطناعي الجغرافي على أعتاب مرحلة جديدة من التطور، مدفوعاً بالحاجة إلى التغلب على تحدياته الحالية وبالتقدم السريع في علوم الكمبيوتر. يتجه الجيل القادم من GeoAI نحو أنظمة أكثر شفافية وقوة وتكاملاً مع الخبرة البشرية. يستشرف هذا القسم أبرز هذه الاتجاهات المستقبلية.

1.5. نحو ذكاء اصطناعي جغرافي قابل للتفسير (Explainable GeoAI - GeoXAI)

رداً على مشكلة "الصندوق الأسود"، برز مجال الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) كأحد أهم الاتجاهات البحثية. الهدف من XAI ليس فقط بناء نماذج دقيقة، بل أيضاً نماذج يمكن فهم قراراتها وتفسيرها. في السياق الجغرافي، هذا يعني الانتقال من مجرد التنبؤ إلى التفسير المكاني. فالجغرافيون لا يريدون فقط معرفة "أين" من المحتمل أن يحدث شيء ما، بل الأهم من ذلك، "لماذا" يحدث في هذا الموقع بالذات. بدأت تقنيات مثل SHAP (SHapley Additive exPlanations) و LIME تُستخدم لتحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً في تنبؤات النموذج لكل موقع جغرافي على حدة. يمكن بعد ذلك تصور هذه التفسيرات على شكل "خرائط تفسير" (explanation maps)، والتي توضح بصرياً العوامل الدافعة للظاهرة المدروسة عبر الفضاء، مما يوفر رؤى أعمق بكثير من مجرد خريطة تنبؤ [٣٠]. حيث يمثل الشكل(٣) المقارنة بين بعض مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي.



شكل (3): مقارنة بين مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي

2.5. النماذج التأسيسية الجغرافية (Geo-Foundation Models)

مستوحاة من نجاح النماذج التأسيسية في معالجة اللغة (مثل GPT) والرؤية الحاسوبية، يتجه البحث نحو تطوير نماذج تأسيسية خاصة بالمجال الجغرافي. الفكرة هي تدريب نماذج ضخمة جداً مسبقاً على كميات هائلة من البيانات الجغرافية المكانية المتنوعة (صور الأقمار الصناعية، الخرائط، بيانات الارتفاعات، النصوص الجغرافية). بمجرد تدريبها، يمكن تكييف هذه النماذج (من خلال الضبط الدقيق - fine-tuning) لأداء مجموعة واسعة من المهام الجغرافية المحددة ببيانات تدريب إضافية قليلة نسبياً. يمكن لمثل هذه النماذج أن تحدث ثورة في المجال من خلال توحيد المهام المختلفة تحت نموذج واحد قوي، وتسريع وتيرة البحث، وإتاحة القدرات المتقدمة لجمهور أوسع [٢٦].

3.5. الإنسان في الحلقة (Human-in-the-Loop)

على عكس المخاوف من أن الذكاء الاصطناعي سيحل محل الخبراء البشريين، يؤكد الاتجاه المستقبلي على أهمية التعاون التآزري بين ذكاء الآلة والخبرة البشرية. يُعرف هذا النهج بـ "الإنسان في الحلقة"، حيث لا يكون النظام مؤتمتاً بالكامل، بل يتفاعل مع الخبير البشري في مراحل رئيسية من عملية التحليل. يظل دور الجغرافي محورياً في صياغة الأسئلة البحثية ذات المعنى، وتقييم مدى معقولية النتائج التي يقدمها النموذج، وتفسير هذه النتائج في سياقها النظري والجغرافي المعقد، ودمج

المعرفة الضمنية التي لا يمكن للآلة الوصول إليها. المستقبل ليس في استبدال الجغرافي، بل في تمكينه بأدوات أكثر قوة وذكاء [٢٧].

4.5. التصور المتقدم والواقع المعزز (Advanced Visualization and AR)

مع تزايد تعقيد نماذج GeoAI ومخرجاتها، هناك حاجة متزايدة إلى طرق جديدة ومبتكرة لتصور البيانات المكانية. يتجه المستقبل نحو دمج مخرجات التحليل الذكي مع تقنيات الواقع الافتراضي (VR) والواقع المعزز (AR). تخيل أن مخططاً حضرياً يمكنه ارتداء نظارات الواقع المعزز والتجول في نموذج ثلاثي الأبعاد للمدينة، ورؤية التنبؤات المستقبلية لنمو السكان أو حركة المرور متراكبة على العالم الحقيقي. يمكن لهذه التقنيات أن توفر طرقاً غامرة وبديهية لتجربة وفهم البيانات المكانية المعقدة، مما يسهل عملية اتخاذ القرار والتواصل مع الجمهور.

5.5. إنفوجرافيك شامل: خارطة طريق الذكاء الاصطناعي الجغرافي

كتطبيق عملي لمفهوم التصور المتقدم، يقدم هذا القسم إنفوجرافيك يلخص المحاور الرئيسية لهذه المراجعة، موضحاً تطور وتطبيقات وتحديات ومستقبل الذكاء الاصطناعي الجغرافي (شكل (٤)).

شكل (٤): خارطة طريق الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)

6. الخاتمة

لقد أظهرت هذه المراجعة الأدبية الشاملة أن الذكاء الاصطناعي لم يعد مجرد أداة مساعدة أو تقنية هامشية في الدراسات الجغرافية، بل أصبح شريكاً فاعلاً ومحركاً أساسياً للابتكار، يعيد تشكيل أسس البحث ومنهجياته في هذا الحقل العلمي العريق. من خلال استعراض التطور التاريخي، والتطبيقات المتنوعة، والتحديات المصاحبة، يتضح أننا نشهد ولادة حقبة جديدة من الجغرافيا المعززة بالذكاء، أو ما يعرف بالذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI). لقد مكّن هذا المجال الجديد الجغرافيين من تحليل كميات هائلة من البيانات المكانية بطرق لم تكن ممكنة في السابق، مما أدى إلى استخلاص رؤى أعمق حول ديناميكيات المدن، وصحة النظم البيئية، والأنماط السلوكية البشرية، والمخاطر الطبيعية.

تطبيق الذكاء الاصطناعي في الدراسات الجغرافية: مراجعة منهجية للتطبيقات، التحديات، والآفاق المستقبلية

م.د. حنان احمد عبد الكريم م.م. رند عدنان ديوان

إن العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والجغرافيا، كما أكدت هذه المراجعة، ليست علاقة أحادية الاتجاه من علوم الكمبيوتر إلى الجغرافيا. بل هي علاقة جدلية وتفاعلية. فبينما يقدم الذكاء الاصطناعي القوة الحسابية والقدرة على التعلم من البيانات، تقدم الجغرافيا السياق المكاني، والنظرية الجغرافية، والوعي بأهمية المكان والزمان والمقياس، وهي عناصر حاسمة لجعل نماذج الذكاء الاصطناعي ذات معنى وقابلة للتطبيق في العالم الحقيقي. فإن الرؤى النقدية التي يقدمها الجغرافيون ضرورية لضمان تطوير أنظمة ذكاء اصطناعي جغرافي أقل تحيزاً وأكثر مسؤولية من الناحية الأخلاقية.

ومع ذلك، فإن الطريق نحو تحقيق الإمكانات الكاملة لـ GeoAI محفوف بالتحديات. فمشاكل جودة البيانات، وقابلية تفسير النماذج، والاعتبارات الأخلاقية المتعلقة بالخصوصية والتحيز والعدالة، والفجوة الرقمية المتنامية، كلها عقبات حقيقية تتطلب اهتماماً جاداً وحلولاً مبتكرة. إن مستقبل هذا المجال لا يكمن في السعي الأعمى وراء الدقة التنبؤية فحسب، بل في تطوير أنظمة ذكاء اصطناعي جغرافي تكون شفافة، وعادلة، وقابلة للتفسير (GeoXAI).

في الختام، تدعو هذه المراجعة إلى تبني نقدي ومسؤول لتقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي. يجب على مجتمع الجغرافيين أن يكون في طليعة النقاش حول كيفية تصميم ونشر هذه الأدوات القوية بطريقة تخدم الصالح العام. من خلال التركيز على تطوير أنظمة عادلة وشفافة، ومن خلال معالجة التحديات الفريدة في سياقات متنوعة مثل العالم العربي، يمكن للذكاء الاصطناعي الجغرافي أن يصبح أداة تحويلية حقيقية، لا تساعدنا فقط على فهم العالم بشكل أفضل، بل تساهم أيضاً في مواجهة بعض من أكبر التحديات العالمية التي تواجه البشرية اليوم، من تغير المناخ وعدم المساواة إلى التنمية المستدامة، وبناء مستقبل أكثر عدلاً واستدامة للجميع.

المصادر

1- Nguyen-Kim, S., & Nguyen, D. B. (2023). A systematic review of artificial intelligence in geographic information systems. In *International Conference on Advances in Information and Communication Technology* (pp. 20-31). Springer, Cham.

2- Gao, S. (2021). *Geospatial artificial intelligence (GeoAI)* (Vol. 10). New York: Oxford University Press.

3- PS Chauhan, L., & Shekhar, S. (2021, August). GeoAI–accelerating a virtuous cycle between AI and Geo. In *Proceedings of the 2021 Thirteenth International Conference on Contemporary Computing* (pp. 355-370).

4- Choi, Y. (2023). GeoAI: Integration of artificial intelligence, machine learning, and deep learning with GIS. *Applied Sciences*, *13*(6), 3895.

5- University of Florida. (n.d.). *GEO:AI - Geography*. Retrieved from https://geog.ufl.edu/geoai/

6- Gao, S., Hu, Y., Li, W., & Zou, L. (2023). Special issue on geospatial artificial intelligence. *GeoInformatica*, *27*(2), 133-136.

7- Boutayeb, A., Lahsen-cherif, I., & Khadimi, A. E. (2024). A comprehensive GeoAI review: Progress, Challenges and Outlooks. *arXiv preprint arXiv:2412.11643*.

8- Esri. (n.d.). *GeoAI—ArcGIS Pro | Documentation*. Retrieved from https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/ai/geoai.htm

9- Hasan, M. M. (2020). *Application of artificial intelligence and geographic information system for developing automated walkability score*. Western Michigan University.

10- Zhao, T., Wang, S., Ouyang, C., Chen, M., Liu, C., Zhang, J., ... & Wang, L. (2024). Artificial intelligence for geoscience: Progress, challenges, and perspectives. *The Innovation*, *5*(5).

11- Rane, J., Kaya, O., Mallick, S. K., & Rane, N. L. (2024). Artificial intelligence-powered spatial analysis and ChatGPT-driven interpretation of remote sensing and GIS data. *Generative Artificial Intelligence in Agriculture, Education, and Business*, 162-217.

12- Kang, Y., Gao, S., & Roth, R. E. (2024). Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics. *Cartography and Geographic Information Science*, *51*(4), 599-630.

13- GeeksforGeeks. (2025, July 23). *Machine Learning Lifecycle*. Retrieved from https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/machine-learning-lifecycle/

14- Hasan, M. M. (2020). *Application of artificial intelligence and geographic information system for developing automated walkability score*. Western Michigan University.

15- Gebru, T., Krause, J., Wang, Y., Chen, D., Deng, J., Aiden, E. L., & Fei-Fei, L. (2017). Using deep learning and Google Street View to estimate the demographic makeup of neighborhoods across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(50), 13108-13113.

16- Hu, Y., Deng, C., & Zhou, Z. (2019). A semantic and sentiment analysis on online neighborhood reviews for understanding the perceptions of people toward their living environments. *Annals of the American Association of Geographers*, *109*(4), 1052-1073.

17- Emami, P., & Marzban, A. (2023). The synergy of artificial intelligence (AI) and geographic information systems (GIS) for enhanced disaster management: opportunities and challenges. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, *17*, e507.

18- Zhao, T., Wang, S., Ouyang, C., Chen, M., Liu, C., Zhang, J., ... & Wang, L. (2024). Artificial intelligence for geoscience: Progress, challenges, and perspectives. *The Innovation*, *5*(5).

19- Kang, Y., Gao, S., & Roth, R. E. (2024). Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics. *Cartography and Geographic Information Science*, *51*(4), 599-630.

20- LotusArise. (2025, May 15). *Contributions of Arab Geographers in Geography*. Retrieved from https://lotusarise.com/contributions-of-arab-geographers-in-geography/

21- Baothman, F. (n.d.). *Designing AI Generative Agents for Arabic Geographical Names*. United Nations Group of Experts on Geographical Names. Retrieved from https://unstats.un.org/unsd/ungegn/sessions/4th_session_2025/documents/AI_Fatmah.pdf

22- MBZUAI. (2024, December 18). *AI and the Arabic language | Culture, heritage, and discovery*. Retrieved from https://mbzuai.ac.ae/news/ai-and-the-arabic-language-preserving-cultural-heritage-and-enabling-future-discovery/

23- طه احمد، & رجاء. (٢٠٢٥). تحقيق أهداف التنمية المستدامه من خلال ممارسة التدريب المهني وادارة الموارد البشرية. *مجلة كلية التربية (أسيوط)*، ٤٠ (٤.١١)، ١٩٠-٢٠٩.

24- Arundel, S. T., Li, W., & Campbell, B. B. (2023, November). Reimagining standardization and geospatial interoperability in today's GeoAI culture. In *Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery* (pp. 83-84).

25- Hu, Y., Goodchild, M., Zhu, A. X., Yuan, M., Aydin, O., Bhaduri, B., ... & Newsam, S. (2024). A five-year milestone: reflections on advances and limitations in GeoAI research. *Annals of GIS*, *30*(1), 1-14.

26- Mai, G., Xie, Y., Jia, X., Lao, N., Rao, J., Zhu, Q., ... & Jiao, J. (2025). Towards the next generation of Geospatial Artificial Intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *136*, 104368.

27- Gao, S. (2023). Artificial intelligence and human geography. *arXiv preprint arXiv:2312.08827*.

28- Kang, Y., Gao, S., & Roth, R. E. (2024). Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics. *Cartography and Geographic Information Science*, *51*(4), 599-630.

29- Huang, X. (2025). Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) Is Widening the Digital Divide. *Annals of the American Association of Geographers*, 1-13.

30- Roussel, C. (2024). Visualization of explainable artificial intelligence for GeoAI. *Frontiers in Computer Science*, *6*, 1414923.