الذكاء الاصطناعي:
آفاق جديدة في تعليم الجغرافيا وعلوم الجغرافيا والأرض

تاليف

Mezősi, Gábor1 – van Leeuwen, Boudewijn2 – Tobak, Zalán3 – Csikós, Nándor4 – Szilassi, Péter5

1 Full Professor, University of Szeged, Department of Physical and Environmental Geography, Email: mezosi@geo.u-szeged.hu, 6722 Szeged, Egyetem u. 2 . https://orcid.org/0000-0002-6494-3513

2 PhD, Geospatial data scientist, Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research, Email: boudleeuwen@hotmail.com , https://orcid.org/0000-0002-1117-5872

3PhD, Assistant Professor, University of Szeged, Department of Atmospheric and Spatial Data Science, Email: tobak@geo.u-szeged.hu,

4 PhD, Senior Researcher, HUN-REN ATK Institute of Soil Sciences, Email: csikos.nandor@atk.hun-ren.hu ,https://orcid.org/0000-0002-7395-7298

5PhD, Associate Professor, University of Szeged, Department of Physical and Environmental Geography, Email: toto@geo.u-szeged.hu, https://orcid.org/0000-0003-0051-6739

ترجمة بتصرف

أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

لقد ساهمت قدرة الذكاء الاصطناعي على أداء مهام معقدة بكفاءة في تسريع انتشاره خلال القرن الحادي والعشرين (Norvig & Russell, 2023). وتشمل هذه المهام، على سبيل المثال، أتمتة العمليات دون تدخل بشري مباشر، واستبدال العنصر البشري في الأنشطة الرتيبة والمستهلكة للوقت - مثل معالجة كميات ضخمة من البيانات، وتحديد الاتجاهات والأنماط، وإجراء التنبؤات، ورصد المخاطر المحتملة. ونتيجة لذلك، تتسم مجالات تطبيق الذكاء الاصطناعي بالاتساع والتنوع، إذ تمتد من الرعاية الصحية (مثل إجراءات التشخيص) والتحليل الاقتصادي إلى تحسين عمليات اتخاذ القرار. وتُستخدم الأساليب الإحصائية القائمة على الذكاء الاصطناعي على نطاق واسع، ليس فقط من قبل الشركات الخاصة، بل أيضاً من قبل الهيئات والمؤسسات الحكومية، بهدف تعزيز الكفاءة الإدارية على سبيل المثال. واليوم، أصبح الذكاء الاصطناعي جزءاً راسخاً في المجال العلمي أيضاً، حيث تنخرط العديد من الجامعات ومعاهد البحوث بفاعلية في أنشطة البحث والتطوير المتعلقة به (Janowicz et al., 2020). ويمكن أن يُعزى الاستخدام المتزايد للذكاء الاصطناعي على مدى السنوات العشر إلى الخمس عشرة الماضية - إلى حد كبير - إلى قدرته على التنبؤ بكفاءة بالاتجاهات المستقبلية في العمليات المعقدة، أو توصيف مناطق ذات خصائص مجهولة استناداً إلى مناطق عينة معلومة. ويشمل ذلك، على سبيل المثال، تحديد أنماط متشابهة داخل مجموعات بيانات ضخمة باستخدام أنماط مستمدة من بيانات رُصدت في مناطق تدريب (Hengl et al., 2017; Wadoux et al., 2020).

في هذه الدراسة، يُنظر إلى الذكاء الاصطناعي على **أنه مجموعة من الحلول الحاسوبية القائمة على خوارزميات ونماذج قادرة على تحديد الأنماط في البيانات، وتوليد التنبؤات، ودعم مهام اتخاذ القرارات المعقدة، مع التركيز بشكل خاص على معالجة البيانات المكانية والبيانات المكانية-الزمانية** (Li & Hsu, 2022). على مدى العقد الماضي، تزايد تأثير تطبيقات الذكاء الاصطناعي في العديد من المجالات الفرعية للجغرافيا، بدءاً من الاستشعار عن بُعد والنمذجة البيئية ووصولاً إلى التحليل الحضري والإقليمي (Bastin

et al., 2025; Bui & Mucsi, 2021; Hengl et al., 2017; Kosuri et al., 2025; Lifelo .(et al., 2024; Szilassi et al., 2019; Tölgyesi et al., 2025; Wadoux et al., 2020
ومن خلال الاستناد إلى أمثلة مستمدة من الأبحاث والتعليم في مجال الجغرافيا، تستعرض هذه الدراسة إمكانات تطبيقات الذكاء الاصطناعي ومحدودياتها، مع التركيز بشكل خاص على الخصائص المنهجية وقابلية التفسير. ولا يهدف هذا العرض العام -الذي لا يدعي الشمول- إلى تقديم وصف تقني مفصل لخوارزميات محددة قائمة على الذكاء الاصطناعي، بل يرمي إلى توضيح كيفية دمج الذكاء الاصطناعي في التفكير الجغرافي واستكشاف الدور الذي قد يلعبه في الأبحاث والممارسات التعليمية المستقبلية. وتُعد هذه الورقة مراجعة سردية مركزة ترصد واقع استخدام الذكاء الاصطناعي حالياً في أبحاث الجغرافيا وعلوم الأرض وكذلك في تعليم الجغرافيا، مع التركيز على الخصائص المنهجية (أنواع البيانات، وعائلات النماذج، وقابلية التفسير، وقيود التحقق من الصحة) ومجالات التطبيق النموذجية (مثل الاستشعار عن بُعد، والتنبؤ المكاني-الزماني، والمخاطر، ونمذجة التربة والنظم البيئية، والتحليلات الحضرية، والممارسات التعليمية).

المنهجية

يُعطي تصميم المراجعة السردية الأولويةَ للتركيب المفاهيمي وقابلية المقارنة المنهجية على التغطية الشاملة. جُمعت قاعدة الأدبيات من خلال بحث مُهيكل بالكلمات المفتاحية، بالإضافة إلى التوسع التدريجي من قوائم المراجع والأوراق البحثية التجميعية عالية الاستشهاد. استهدفت مصطلحات البحث كلاً من المصطلحات العامة والخاصة بالمجال، بما في ذلك الذكاء الاصطناعي، والتعلم الآلي، والتعلم العميق، والذكاء الاصطناعي الجغرافي، والتنبؤ المكاني، والاستشعار عن بُعد، وأتمتة نظم المعلومات الجغرافية، والذكاء الاصطناعي القابل للتفسير، والنماذج التوليدية، ونماذج اللغة الكبيرة، والذكاء الاصطناعي في تعليم الجغرافيا. شملت معايير الإدراج ما يلي:

(1) مقالات منشورة في مجلات مُحكّمة، وكتب أو أدلة أكاديمية، ومصادر مؤسسية موثوقة؛
(2) صلة واضحة ببيانات وسير عمل علوم الأرض أو البيانات الجغرافية المكانية، أو بسياقات التدريس والتعلم في الجغرافيا؛
(3) مناقشة صريحة للأساليب والبيانات و/أو التقييم (بدلاً من الادعاءات العامة فقط)؛
(4) تضمين نتائج مختارة من بحثنا كأمثلة توضيحية.

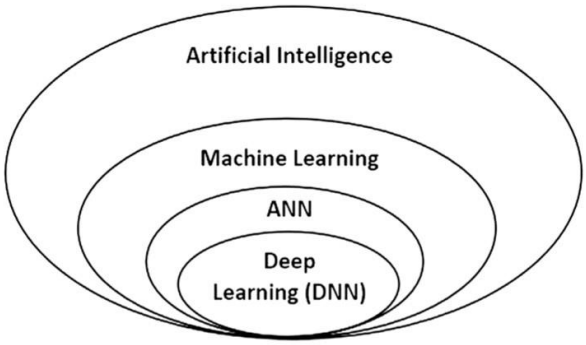
نظراً للتطور السريع لهذا المجال، ركز البحث على الدراسات الحديثة (وخاصةً تلك التي نُشرت خلال السنوات العشر إلى الخمس عشرة الماضية)، مع الحفاظ في الوقت نفسه على المنشورات الرائدة التي تُرسّخ المفاهيم الأساسية ومسارات البحث. ولضمان تغطية متوازنة للأدبيات المستخدمة في الدراسة، يجمع التجميع النهائي عمداً بين الأدبيات الدولية ودراسات الحالة المجرية والإقليمية التي تُبرز أهمية الأساليب القائمة على الذكاء الاصطناعي في علوم الأرض، بما في ذلك الجغرافيا وتعليمها، وتُجسّد الجدوى العملية لهذه الأساليب.

النتائج

الإطار المنهجي للذكاء الاصطناعي في البحث الجغرافي.

يكمن جوهر نظام الذكاء الاصطناعي في تزويد أجهزة الحاسوب بـ"معرفة" تقنية (أي برامج حاسوبية) تُمكّنها من محاكاة جوانب من الذكاء البشري وأنماط السلوك. ومن السمات الرئيسية لهذه الأنظمة التعلم المستمر (التحسين الذاتي)، الذي من خلاله يُمكن معالجة البيانات بكفاءة متزايدة، مما يسمح للذكاء الاصطناعي بأتمتة المهام وتحسينها جزئياً بشكل مستقل. على سبيل المثال، استنادًا إلى كميات كبيرة من

البيانات (البيانات الضخمة)، تستطيع أنظمة الذكاء الاصطناعي بناء نماذجها الخاصة (الخوارزميات)، والتي يتيح تطبيقها لها أداء المهام بطريقة شبه مستقلة. علاوة على ذلك، ومن خلال الخوارزميات التي تُنفَّذ بشكل متكرر، يمكن للنظام أن يتعلم ويتطور بمرور الوقت، معدِّلاً ومُحسِّناً نماذجه الخاصة. وبهذه الطريقة، يصبح الذكاء الاصطناعي قادراً على التعرف على الأنماط، والتنبؤ بالعمليات، وتطوير نماذج جديدة دون تدخل بشري مباشر. وعلى عكس الأساليب السابقة التي كانت فيها النماذج تُصمَّم صراحةً بواسطة مبرمجين بشريين، فإن هذه النماذج تُولَّد الآن بواسطة أنظمة الذكاء الاصطناعي نفسها. ولتكوين فهم لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالي الجغرافيا وعلوم الأرض، من الضروري توضيح الأسس المفاهيمية للمناهج المنهجية الأكثر استخداماً (الشكل 1).



Source: Lavallin & Downs, 2021; Ramlakhan et al., 2022

الشكل 1، العلاقة بين الذكاء الاصطناعي، وتعلم الآلة، والشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)، والتعلم العميق (الشبكات العصبية العميقة، DNN).

المصدر: Lavallin & Downs, 2021؛ Ramlakhan et al., 2022.

ومن الناحية العملية، تندرج الغالبية العظمى من الحلول المصنفة ضمن الذكاء الاصطناعي تحت الإطار المنهجي لـ "تعلم الآلة" (ML)، الذي يشمل خوارزميات قادرة على تحديد الأنماط في البيانات وإجراء تنبؤات دون الحاجة إلى تحديد مسبق وصريح لنظام القواعد. وتتميز خوارزميات تعلم الآلة التقليدية -الشائعة الاستخدام في أبحاث علوم الأرض والجغرافيا، مثل أشجار القرار (Decision Trees)، والغابات العشوائية (Random Forests)، وآلات المتجهات الداعمة (Support Vector Machines)- بقدرتها على العمل بكفاءة مع البيانات المكانية المهيكلة ومجموعات البيانات الصغيرة نسبياً، مع الحفاظ على مستوى عالٍ نسبياً من قابلية التفسير. أما "التعلم العميق" (DL) فهو مجال فرعي محدد من تعلم الآلة يعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية (ANNs) متعددة الطبقات. من المهم التأكيد على أنه ليست كل شبكة عصبية تُعد نموذجاً للتعلم العميق، في حين أن جميع أساليب التعلم العميق تعتمد على الشبكات العصبية. وتُعد أساليب التعلم العميق فعالة بشكل خاص عند توفر كميات كبيرة من البيانات، كما أنها ملائمة للغاية للمهام القائمة على الصور والتعرف على الأنماط المعقدة، مثل معالجة صور الأقمار الصناعية والطائرات المسيرة (على سبيل المثال: Sentinel-2 MSI، وSentinel-1 SAR، وWorldView-2/3؛ وأجهزة استشعار الطائرات المسيرة التي تعمل بنطاقات RGB، ومتعددة الأطياف، وفائقة الأطياف).

نتيجة لذلك، اكتسب التعلم العميق دوراً بارزاً في التطبيقات المتعلقة بالاستشعار عن بُعد والجغرافيا الحضرية؛ ومع ذلك، غالباً ما تكون قابلية تفسير نماذج التعلم العميق أكثر محدودية مقارنة بأساليب تعلم الآلة التقليدية. وفي الممارسة البحثية الجغرافية، ينبغي النظر إلى تعلم الآلة والتعلم العميق كأدوات متكاملة لا كخيارات متنافية؛ إذ يتحدد اختيار الأسلوب بناءً على طبيعة المشكلة الجغرافية، ونوع وحجم البيانات المتاحة،

ومستوى قابلية التفسير المطلوب للنتائج. تشكل هذه الأسس المنهجية أيضاً ركيزةً لأحدث النماذج التوليدية والنماذج اللغوية (النماذج اللغوية الكبيرة - LLMs)، التي يمكن عدها تطبيقات متخصصة للتعلم العميق، وتوفر في المقام الأول فرصاً جديدة لمعالجة البيانات النصية والبصرية ومتعددة الوسائط. وبذلك، تُعد النماذج التوليدية واللغوية مجموعة أدوات تكميلية للبحث والتعليم في المجال الجغرافي، وليست بديلاً عن التحليلات التقليدية لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) أو الاستشعار عن بُعد؛ إذ يرتبط دورها أساساً بتعزيز كفاءة معالجة المعلومات ونقل المعرفة (Edureka, 2019; Lavallin & Downs, 2021).

تعتمد أشكال عديدة من التعلم العميق على الشبكات العصبية، وكميات هائلة من البيانات، وقدرات حاسوبية كبيرة لتعلم كيفية التعرف على الأنماط في مجالات متنوعة، بدءاً من الاقتصاد والعلوم الطبيعية ووصولاً إلى بعض التطبيقات اللغوية الأكثر استخداماً (مثل OpenAI وMidjourney.ai وAnthropic.ai وFireflies.ai). ومن بين الحلول البرمجية القادرة على تحليل الصور أو العلاقات الاجتماعية، كانت النماذج اللغوية التي طورتها شركة OpenAI من أوائل النماذج التي حظيت بتبنٍ واسع النطاق (اعتباراً من عام 2018 فصاعداً)، وبالتالي أصبحت الأكثر شهرة (https://openai.com/chatgpt). ويشير مصطلح GPT (المحوّل التوليدي المُدرَّب مسبقاً - Generative Pre-trained Transformer) - من ناحية - إلى أن النموذج "توليدي"، أي أنه قادر ليس فقط على معالجة النصوص وترجمتها والإجابة عن الأسئلة استناداً إلى نصوص موجودة، بل أيضاً على إنشاء محتوى نصي جديد. ومن ناحية أخرى، يشير مصطلح "مُدرَّب مسبقاً" (pre-trained) إلى أن هذه القدرات تستند إلى تدريب سابق باستخدام نصوص نموذجية أو - بشكل أوسع - مجالات تدريب محددة مسبقاً. ويمكن تفسير الانتشار السريع للغاية للتطبيقات القائمة على اللغة بتوفر كميات ضخمة من البيانات النصية المرقمنة - التي تعادل محتوى مئات الآلاف من الكتب - والمُستخدمة في تدريب نماذج التعلم العميق اللغوية.

تكمن الركيزة التكنولوجية للتعلم العميق في الشبكات العصبية، وهي خوارزميات صُممت لمحاكاة - بشكل مبسط للغاية- آلية عمل الجهاز العصبي البشري وخلاياه العصبية. وببساطة، يعمل تطبيق اللغة من خلال أخذ كلمة مفتاحية أولية أو حرف أو وحدة نصية (token)، ثم يواصل توليد النص عبر اختيار الحرف أو الكلمة التالية الأكثر احتمالاً للورود؛ ومن خلال هذه العملية التكرارية، يتم إنتاج نص جديد. وبالمنطق ذاته، تمتلك هذه النماذج القدرة على تفسير وتحليل العلاقات داخل النصوص القائمة بالفعل. ولتوضيح ذلك بمثال جغرافي: إذا أُدخلت عبارة "Alf öld" (السهل المجري العظيم) كأمر توجيهي (prompt) على موقع chatgpt.com، مصحوبة ببعض المفاهيم الأساسية، فقد يقوم النظام بتوليد نص متماسك يتراوح طوله بين 3000 و5000 حرف، يصف موقع المنطقة وتضاريسها وظروفها المناخية وخصائصها الاقتصادية وتقاليدها الثقافية والتاريخية وأنماط الاستيطان فيها، إلى جانب سمات أخرى ذات صلة.

وبطبيعة الحال، يفترض هذا الأمر توفر مجموعات بيانات نصية ضخمة وكافية (مثل الكتب المدرسية في الجغرافيا، والأوصاف الإقليمية، والدراسات الجغرافية) لاستخدامها في تدريب خوارزميات التعلم العميق الكامنة وراء هذه الأنظمة. ومع ذلك، فإن الأساليب القائمة على الذكاء الاصطناعي تنطوي أيضاً على قيود معينة؛ فعلى سبيل المثال، لا يوجد ترجيح ذاتي أو مسبق لأهمية المعلومات المدخلة، إذ تُعامل جميع البيانات على أنها متساوية في الأهمية وتكون الأولوية للتحسين الرياضي، في حين لا يتم دمج الخبرة المتخصصة في المجال بشكل صريح ضمن العملية. ولذا، قد تشكل عملية التحقق من النتائج التي يولدها الذكاء الاصطناعي والمصادقة على صحتها تحدياً، نظراً لتعذر إسناد هذه المهام إلى الذكاء الاصطناعي نفسه. وعلاوة على ذلك، تبرز قضايا تتعلق بحقوق النشر والتأليف، لا سيما فيما يخص ملكية النصوص أو الصور التي تولدها الأنظمة القائمة على الذكاء الاصطناعي.

تُصنَّف أساليب الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الجغرافيا وعلوم الأرض إلى فئات عديدة؛ ومع ذلك، وبشكل مبسط، تُعد المحاكاة الحاسوبية أكثر فعالية من الحسابات اليدوية، كما أن مسارات العمل التحليلية القائمة على خوارزميات الذكاء الاصطناعي تتميز بكفاءة أعلى. ويُعد تحليل الصور أحد أكثر مجالات التطبيق شيوعاً، إذ يشمل تجزئة الصور (image segmentation) بالإضافة إلى التعرف على العناصر وتحديدها داخل الصور. وتُستخدم الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs) -التي تعتمد في عملها على التشابه بين الصور أو أجزاء الصور وعلى عمليات الالتفاف (وهي في جوهرها تعميم لعملية حساب المتوسط)- على نطاق واسع لمعالجة مشكلات مثل تحديد المناطق المهددة بتراكم المياه الداخلية الزائدة (Kajári et al., 2024). لقد رسخ استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية التقليدية في الأبحاث الجغرافية، كما هو الحال في مراقبة المسطحات المائية الداخلية (van Leeuwen, 2012)، في حين طُبقت أساليب التعلم الآلي الكلاسيكية (مثل آلات المتجهات الداعمة والشبكات العصبية الاصطناعية) بنجاح لتحديد أنواع النباتات الغازية على مستوى النبتة الفردية (Papp et al., 2021).

وتُعد الشبكة العصبية المتصلة بالكامل (fully connected neural network) واحدة من أكثر بنيات الشبكات العصبية استخداماً، حيث تتمتع بالقدرة على رصد العلاقات غير الخطية المعقدة بين متغيرات المدخلات والمخرجات (الشكل 2). ومع ذلك، تنطوي هذه البنية على قيدين رئيسيين:

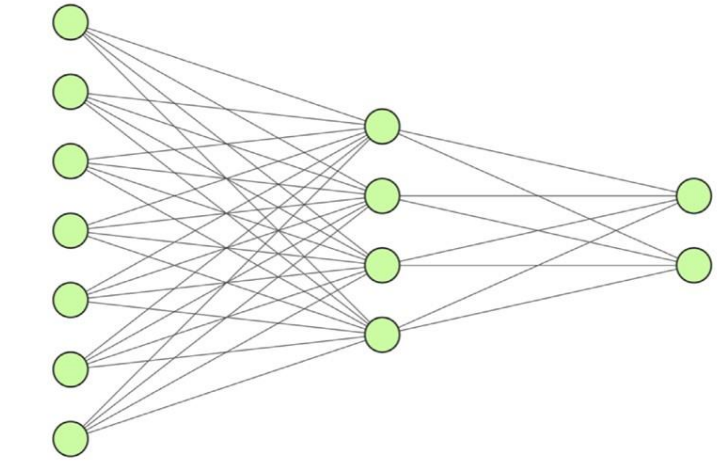
أولاً، غالباً ما تتطلب عقد المدخلات تحديداً يدوياً، وهو ما قد يستلزم قدراً كبيراً من خبرة المتخصصين وجهداً في المعالجة الأولية للبيانات. و

ثانياً، لتحقيق أداء تنبؤي ملائم، يجب تكديس طبقات عصبية متعددة لتعلم علاقات غير خطية تزداد تعقيداً بين المتغيرات المستقلة (المدخلات) والمتغيرات التابعة (المخرجات). وفي سياق تطبيقات الشبكات العصبية، يمكن أيضاً تحليل كيفية تمكين النماذج الحاسوبية من استرجاع صور متشابهة بصرياً من شبكة الإنترنت بمجرد رفع صورة مرجعية. تُعد هذه الوظائف أمثلة نموذجية على تطبيقات الرؤية الحاسوبية.

صُممت الشبكات العصبية المتكررة (RNNs) لمعالجة البيانات المتسلسلة (سواء كانت زمنية أو مرتبة)، إذ أنها لا تكتفي بأخذ المدخلات الحالية في كل خطوة بالحسبان، بل تراعي أيضاً "الحالة الخفية" (hidden state) المستمدة من الخطوة السابقة. ومن أبرز نماذج هذه البنية المعمارية شبكات "الذاكرة طويلة وقصيرة المدى" (LSTM)، التي تتميز بقدرتها على تعلم الاعتمادات طويلة الأمد، مما يجعلها ملائمة بشكل خاص لتحليل السلاسل الزمنية. وتعمل هذه الأساليب على بيانات السلاسل الزمنية أحادية أو متعددة المتغيرات بهدف تعلم الأنماط المتكررة (Brownlee, 2018). وتشمل التطبيقات النموذجية لهذه التقنيات التنبؤ بمستويات مياه الأنهار، أو المتغيرات الأرصاد الجوية، أو التطور المستقبلي لمساحات تغطية المياه الفائضة في المناطق الداخلية.

أما الشبكات التنافسية التوليدية (GANs) فهي عبارة عن أنظمة ذكاء اصطناعي مزدوجة؛ حيث يعكس اسمها طبيعة التنافس بين شبكتين تشتركان في عملية توليد بيانات اصطناعية (Nelson, 2020). وتمثل هذه الشبكات فرعاً من فروع تعلم الآلة، حيث تمتلك الشبكات العصبية القدرة على توليد بيانات وصور جديدة استناداً إلى مجموعات بيانات قائمة (مثل قواعد بيانات الصور). وتتألف شبكة GAN من مكونين متقابلين: "المولّد" (generator) و"المميّز" (discriminator). وتتمثل مهمة المميّز في تحديد ما إذا كانت المخرجات حقيقية أم مولّدة اصطناعياً، في حين يعمل المولّد باستمرار على إنتاج بيانات اصطناعية تزداد واقعيةً، وذلك حتى يعجز المميّز عن التمييز بدقة وموثوقية بين المخرجات المولّدة والبيانات الأصلية. وتشمل التطبيقات الشائعة لهذه التقنية تحويل الصور (مثل تحويل الرسومات الأولية أو التخطيطية إلى صور

واقعية تشبه الصور الفوتوغرافية (Isola et al., 2018))، وتوليد الصور من النصوص، وتحرير الصور. وفي مجال البحوث الجغرافية، يمكن تطبيق هذه الأساليب -على سبيل المثال- لمقارنة الصور الحالية والصور المتوقعة (السيناريوهات) للبيئات الحضرية، أو تحليل التغيرات في المشهد الطبيعي، أو إجراء أشكال متنوعة من عمليات تحسين الصور.



Source: After Li-Hsu 2022

لا تقتصر تطبيقات تقنيات الذكاء الاصطناعي على مجال الجغرافيا فحسب، بل تمتد لتشمل تخصصات أخرى في علوم الأرض، بما في ذلك تحليل التراكيب الجيولوجية، وديناميكيات الغلاف الجوي، وخصائص الأنظمة الهيدرولوجية والمائية. ويعزز الذكاء الاصطناعي بشكل كبير القدرات الجغرافية التقليدية المتعلقة بجمع البيانات وتحليلها ودمجها، وذلك من خلال -على سبيل المثال- استخدام الأساليب القائمة على الشبكات العصبية. وفي حين ركزت التطبيقات المبكرة للذكاء الاصطناعي على مراقبة حركة المرور والتخطيط العمراني ورسم الخرائط، فقد استفاد مجال رسم الخرائط أيضاً من التقدم في تقنيات "التعلم العميق"، لا سيما في تحديد المواقع المكانية للمعالم الجغرافية التاريخية بدقة على الخرائط التاريخية الممسوحة ضوئياً (Jakab et al., 2025). وعلاوة على ذلك، يتيح الذكاء الاصطناعي أتمتة سير عمل "التعميم الخرائطي" (cartographic generalization)، بما يشمل تبسيط المضلعات وتجميعها، وتبسيط شبكات الطرق ودمجها استناداً إلى خصائص الاتصال (Zhou, 2023). وفيما يتعلق بالتحليل الاحترافي للبيانات المكانية، يمكن استخدام أدوات تعتمد على النماذج اللغوية الكبيرة (LLM) مثل "Google Geospatial Reasoning"؛ أما بالنسبة لحلول المعلوماتية الجغرافية، فتُستخدم أدوات مثل "GeoGPT"؛ ولأغراض دعم البحث العلمي، تتوفر تطبيقات مثل "NotebookLM".

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم نظرة عامة منظمة - وإن لم تكن شاملة - على اتجاهات البحث القائمة على الذكاء الاصطناعي الأكثر شيوعًا في الجغرافيا وعلوم الأرض. لم تتناول الدراسة بالتفصيل أساليب الذكاء الاصطناعي الفردية، نظرًا لتطورها السريع والمتواصل، فضلًا عن ضيق مساحة هذه الورقة. وبناءً على ذلك، لا تركز الأمثلة المعروضة على خوارزميات محددة، بل على توجهات منهجية أوسع، مدعومة بكمٍّ هائل من المؤلفات الدولية، وبتطبيقات عديدة في علوم الأرض نُشرت في مجلات دولية رائدة.

الجدول 1. الأنواع الرئيسية للذكاء الاصطناعي ومجالات تطبيقها النموذجية في علوم الأرض

تحليل البيانات المكانية المنظمة، والتنبؤ، وقابلية تفسير جيدة نسبيًا	النمذجة البيئية، وعلوم التربة والبحوث الزراعية، والتحليلات البيئية	التعلم الآلي الكلاسيكي (التعلم الآلي)
البيانات، والتعرف على الصور والأنماط ومعالجتها كميات كبيرة من	الاستشعار عن بعد، والتحليل الحضري، وبحوث الكوارث والمخاطر	التعلم العميق (التعلم العميق)
نمذجة الهياكل المكانية والطوبولوجية والعلاقاتية	علم المياه، والتخطيط الحضري، والشبكات الجيولوجية	التعلم القائم على الرسوم البيانية (الذكاء الاصطناعي القائم على الرسوم البيانية)
التنبؤ بالبيانات المكانية المتغيرة مع الزمن	نمذجة المناخ، وعلم المياه، وتحليل التنقل وحركة المرور	النماذج المكانية الزمنية (الذكاء الاصطناعي المكاني الزمني)
التعامل مع عدم اليقين، وتحليل المخاطر	النمذجة البيئية، والجيولوجيا، ودعم القرار	الذكاء الاصطناعي البايزي والاحتمالي
توليد بيانات وأوصاف مكانية اصطناعية	المعالجة الآلية لنظم المعلومات الجغرافية، وإسناد البيانات، والتصور	النماذج التوليدية واللغوية (الشبكات التوليدية المتنافسة، والنماذج اللغوية الخطية، ونماذج الانتشار)
تطبيق متكامل لنهج الذكاء الاصطناعي المتعددة	أنظمة علوم الأرض والبيئة المعقدة	أنظمة الذكاء الاصطناعي الجغرافي الهجينة

بعض دراسات حالة الذكاء الاصطناعي

في البحوث الجغرافية وعلوم الأرض

يرى العديد من الباحثين أن استخدام الذكاء الاصطناعي يُحدث تحولًا جذريًا في البحوث الجغرافية، وقد يُبشّر بعصر ذهبي جديد لهذا التخصص (كانتور، 2024). ولا شك أن الذكاء الاصطناعي يوفر أدوات فعّالة للغاية لاستكشاف العلاقات المعقدة، مثل التفاعلات بين العوامل المُشكِّلة للمظاهر الطبيعية، أو التحليل الجغرافي الشامل للعمليات الطبيعية والاجتماعية المتشابكة. شهدت الجغرافيا تحولاً واعداً مماثلاً في تسعينيات القرن الماضي، حين أدى الانتشار السريع لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الاستشعار عن بُعد إلى إعادة تشكيل هذا المجال جذرياً. وقد فتح توسع علم المعلومات الجغرافية منذ تسعينيات القرن الماضي آفاقاً جديدة في الجغرافيا وعلوم الأرض، تُضاهي في أهميتها اختراع المجهر في علم الأحياء أو التلسكوب في علم الفلك.

وهكذا، اعتمدت الجغرافيا على التقنيات الحاسوبية، ولا سيما أساليب نظم المعلومات الجغرافية، لما يقرب من ثلاثة عقود؛ إلا أن تطور الذكاء الاصطناعي قد يُوسع آفاق معالجة البيانات المكانية وتحليلها. وانطلاقاً من هذا المنظور، أُطلقت في الولايات المتحدة مبادرة تكاملية تهدف إلى تعزيز الروابط بين علوم الأرض والذكاء الاصطناعي تحت مسمى **الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني** (GeoAI) (الجمعية الجغرافية الأمريكية، 2022). باختصار، يشير مصطلح GeoAI إلى دمج البيانات الجغرافية المكانية مع أساليب الذكاء الاصطناعي (لي وهسو، 2022). يتمثل هدفها الرئيسي في تمكين تحليل المعلومات الجغرافية بكفاءة وسرعة أكبر، بالإضافة إلى دعم إنتاج خرائط تنبؤية وسيناريوهات مناخية أكثر دقة. ولا يتم تمييز مجالات التطبيق المختلفة ضمن الذكاء الجغرافي الذكي (GeoAI) بشكل أساسي من خلال الخوارزميات المستخدمة، بل من خلال طبيعة وحجم المشكلات الجغرافية قيد الدراسة. لذا، لا ينبغي عد الذكاء الجغرافي

الذكي نموذجًا منهجيًا مستقلًا، بل إطارًا تكامليًا ضمن البحث الجغرافي، يربط بين مجموعات البيانات المكانية الضخمة وتحليل العمليات البيئية والاجتماعية المعقدة (الجدول 2).

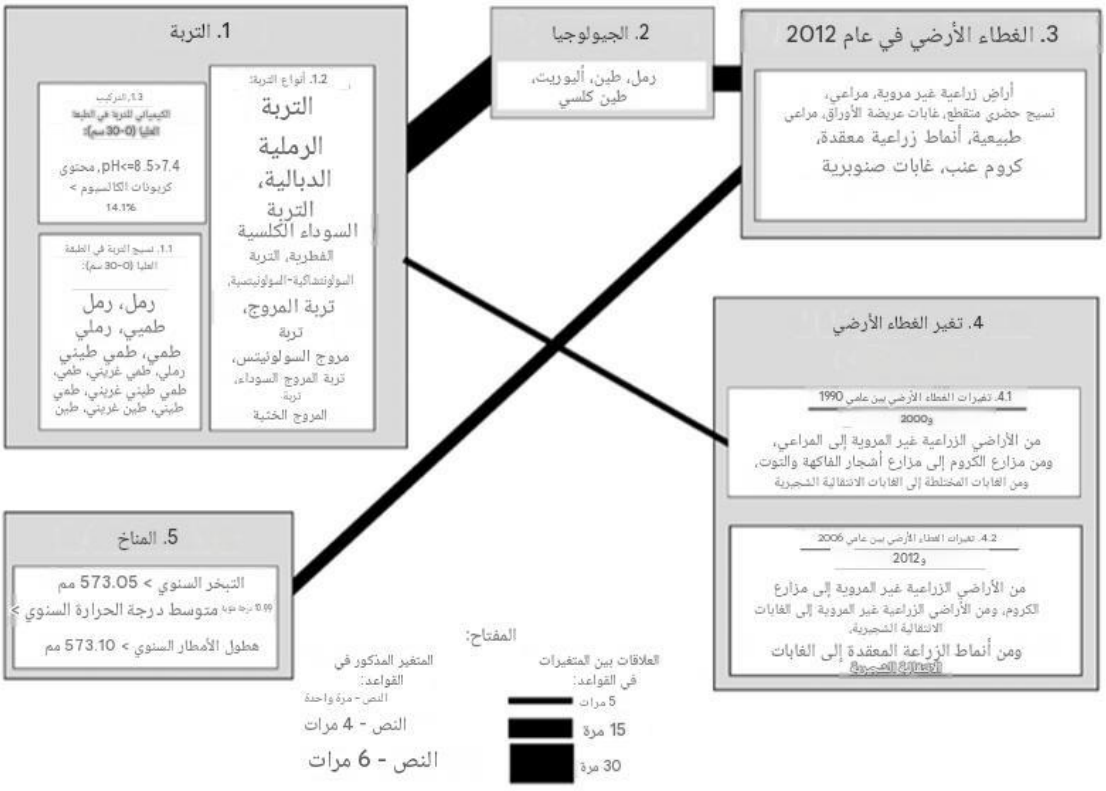
الجدول 2. مجالات التطبيق الرئيسية للذكاء الاصطناعي في البحوث الجغرافية

تصنيف الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي، والكشف عن إزالة الغابات، وتحليل عمليات التحضر	الشبكات العصبية التلافيفية، وشبكات يو-نت، ومحولات الرؤية	التفسير التلقائي لصور الأقمار الصناعية والطائرات بدون طيار؛ التعرف على الغطاء الأرضي والأجسام	الاستشعار عن بعد ومراقبة الأرض
التنبؤ بتلوث الهواء وحركة المرور، ونمذجة المياه والفيضانات	الشبكات العصبية طويلة المدى، وشبكات تي سي إن، والشبكات العصبية الرسومية	التنبؤ بالعمليات الطبيعية والاجتماعية الديناميكية في المكان والزمان	التنبؤ المكاني والزماني
خرائط قابلية الفيضانات وحرائق الغابات والانهيارات الأرضية، وتقييم الأضرار	التعلم العميق، والكشف عن الشذوذ	تحديد المخاطر الطبيعية؛ ورسم خرائط الضعف والمخاطر	تحليل الكوارث والمخاطر
نمذجة الموائل والنظم الإيكولوجية، وتقدير الكربون العضوي في التربة، والتنبؤ بتدهور التربة	الغابات العشوائية، وإكس جي بوست، والنماذج البايزية	التقييم المكاني للنظم الإيكولوجية، وظروف التربة، ودورة الكربون	النمذجة البيئية والإيكولوجية
اتجاهات النمو الحضري، وتنظيم حركة المرور، وإدارة الطاقة	الشبكات العصبية الرسومية، والتعلم المعزز، والنماذج القائمة على الوكلاء	تحليل الهيكل الحضري، والتنقل، والضغوط البيئية	النمذجة الحضرية والإقليمية (الذكاء الاصطناعي الجغرافي الحضري)
التنبؤ بمحصول المحاصيل، وحالة المحاصيل، والكشف عن الإجهاد، وتحسين المدخلات	الشبكات العصبية الالتفافية، والتجميع، والتعلم المعزز	التحسين المكاني لعمليات الإنتاج	الزراعة الدقيقة
تحليل البيانات الزلزالية، وتقدير إمكانات رواسب الخامات، والتصنيف الليثولوجي	الشبكات العصبية الالتفافية، والنماذج القائمة على الرسوم البيانية، والتعلم غير الخاضع للإشراف	التعرف على الهياكل والأنماط الجيولوجية	التحليل الجيولوجي والجيوفيزيائي
تكامل بيانات الأقمار الصناعية، وأجهزة الاستشعار، والبيانات الاجتماعية، وأنظمة التوأم الرقمي	التعلم متعدد الوسائط، والتعلم النقل، ومخططات المعرفة	المعالجة المشتركة للبيانات الجغرافية المكانية من مصادر مختلفة	دمج البيانات والتكامل متعدد الوسائط
خرائط المخاطر البيئية، والاستدامة، ودعم قرارات استخدام الأراضي	الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير، ونمذجة المجموعات	تفسير التنبؤات، وعدم اليقين، والتأثيرات في صنع القرار	دعم القرار القائم على الذكاء الجغرافي
توليد البيانات الوصفية، وصف الخرائط التلقائي، توليد البيانات الجغرافية المكانية الاصطناعية	معالجة اللغة الطبيعية، النماذج التوليدية (النماذج الخطية الخطية، نماذج الانتشار)	أتمتة سير عمل نظم المعلومات الجغرافية	معالجة نظم المعلومات الجغرافية الآلية

قام العديد من الباحثين بتجميع تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي المتنوعة للغاية في مجالات الجغرافيا وعلوم الأرض في أعداد خاصة من المجلات العلمية (يانوفيتش وآخرون، 2020)، بينما تناول آخرون هذا الموضوع في مجلدات مستقلة (غاو وآخرون، 2023). كما تُظهر الدراسات المجرية قدرة خوارزميات الذكاء الاصطناعي الجغرافي على رصد التغيرات على سطح الأرض، مثل تحولات استخدام الأراضي والتغيرات في الظروف البيئية، باستخدام صور الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة. فعلى سبيل المثال، طبّق بوي وموكسي (2021) أساليب قائمة على الذكاء الاصطناعي لإنتاج خريطة واسعة النطاق للغطاء الأرضي في المجر، بينما استخدم فارمونوف وآخرون (2023) مناهج مماثلة لتقدير غلة المحاصيل (بوي وموكسي، 2021؛ فارمونوف وآخرون، 2023). في الأبحاث التي تناولت آثار تغير المناخ في المجر، أثبتت تحليلات نظم المعلومات الجغرافية القائمة على الذكاء الاصطناعي فعاليتها في التنبؤ ببعض الأنماط المناخية ونمذجة الآثار طويلة الأجل لتغير المناخ، بما في ذلك الجفاف وتراكم المياه في المناطق الداخلية (كاجاري وآخرون، 2024). كما يوفر الذكاء الجغرافي الاصطناعي دعمًا قيّمًا لتخطيط استخدام الأراضي من خلال تسهيل اختيار أنواع استخدام الأراضي التي تتناسب بشكل أفضل مع خصائص المظاهر الطبيعية

المحددة، مثل خصائص التربة والظروف المناخية. علاوة على ذلك، تُعدّ الأساليب القائمة على الذكاء الاصطناعي مناسبة تمامًا لاستكشاف الخلفية الجغرافية والأسباب الكامنة وراء قضايا حماية البيئة والطبيعة، بما في ذلك انتشار أنواع النباتات الغازية أو مستويات الجسيمات الدقيقة في المناطق الحضرية. تتيح هذه الأساليب تحديد العوامل الجغرافية التي تؤثر على حجم وتوزيع هذه الظواهر المكانية - مثل حدوث الأنواع الغازية أو التغيرات الزمنية في تركيزات PM10 - وتقييم الأهمية النسبية (الوزن) لهذه العوامل (الشكل 3)، واستكشاف العلاقات فيما بينها (Papp et al., 2021; Sohrab et al., 2024; Szilassi et al., 2019).

الشكل 3. وزن المتغيرات البيئية المؤثرة على وجود نبات غازي (Asclepias Syriaca) وعلاقة هذه المتغيرات ببعضها البعض



المصدر: باب وآخرون، 2021

يُعدّ تطبيق الذكاء الاصطناعي الجغرافي في دراسة المخاطر الطبيعية واسع الانتشار عالميًا، لا سيما في التنبؤ المكاني بمخاطر الفيضانات والانهيارات الأرضية والتعرية، حيث يُتيح التعلّم الآلي التقييم المتكامل للعوامل البيئية المعقدة (أكينجي وآخرون، 2022؛ باند وآخرون، 2020؛ تشوي وآخرون، 2025). كما يكتسب النمذجة القائمة على الذكاء الاصطناعي أهمية متزايدة في التنبؤ بالعمليات البيئية واسعة النطاق. وتقدم دراسة حديثة مثالًا نموذجيًا على ذلك: فقد تم التنبؤ بالتوزيع المكاني المستقبلي لأربعة أنواع رئيسية من النظم البيئية باستخدام خوارزمية الغابة العشوائية في ظل سيناريوهات مختلفة لتغير المناخ (تولجيسي وآخرون، 2025). وتضمنت مدخلات النموذج بشكل أساسي متغيرات مناخية وبيئية، بينما مثّلت المخرجات إعادة التوزيع العالمي المتوقعة لأنواع النظم البيئية. واستنادًا إلى نتائج التصنيف المستمدة من الذكاء الاصطناعي،

قدّر الباحثون لاحقًا إمكانات عزل الكربون العالمية المستقبلية، مما يُظهر مدى تأثير تحولات النظم البيئية على دورة الكربون على الأرض.

تُستخدم مناهج مماثلة قائمة على الذكاء الاصطناعي بشكل متزايد في نمذجة النظم البيئية والغلاف الحيوي على نطاق عالمي، حيث يدعم التعلم الآلي التنبؤ بتأثيرات تغير المناخ، بالإضافة إلى الديناميكيات المكانية لوظائف النظام البيئي ودورة الكربون (أهلستروم وآخرون، 2017؛ باستين وآخرون، 2025؛ فوركل وآخرون، 2019؛ هوانغ وآخرون، 2023). وبالمثل، يكتسب الذكاء الجغرافي الاصطناعي والتعلم الآلي تأثيرًا متزايدًا في أبحاث علوم التربة، لا سيما في مجالات رسم خرائط التربة الرقمية والتقدير المكاني لوظائفها. وقد أظهرت العديد من الدراسات الحديثة إمكانية تطبيق خوارزمية الغابة العشوائية وغيرها من خوارزميات التعلم الآلي بفعالية للتنبؤ بخصائص التربة، ومحتوى الكربون العضوي فيها، والمؤشرات ذات الصلة، وذلك من خلال دمج قواعد بيانات كبيرة للمتغيرات البيئية.

تستطيع النماذج القائمة على الذكاء الاصطناعي رصد العلاقات غير الخطية المعقدة بين خصائص التربة والتضاريس والمناخ، وغالبًا ما توفر تقديرات أكثر دقة من الأساليب الإحصائية التقليدية، حتى على المستويين الإقليمي والوطني (Csikós et al., 2023; Sohrab et al., 2025; Szatmári & Pásztor, 2025). تُظهر هذه النتائج بوضوح أن الذكاء الجغرافي الاصطناعي ليس مجرد أداة لرسم الخرائط الوصفية، بل يلعب دورًا حاسمًا في تحليل التغيرات المستقبلية في ظروف التربة ووظائفها وعزل الكربون. على الصعيد الدولي، يُمثل رسم خرائط التربة الرقمية ونمذجة وظائفها أحد أكثر مجالات تطبيق الذكاء الجغرافي الاصطناعي ديناميكيةً، حيث أثبتت أساليب التعلم الآلي باستمرار تفوقها على الأساليب الإحصائية التقليدية (Hengl et al., 2017, 2018; Sun et al., 2023; Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2020; Wadoux et al., 2020).

تكتسب تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي ومعالجة البيانات الجغرافية المكانية القائمة على الذكاء الاصطناعي أهمية متزايدة في تحليل البيئات الحضرية، لا سيما في مجالات البنية التحتية الخضراء الحضرية ورسم الخرائط المكانية عالية الدقة. وقد قدمت العديد من الدراسات أساليب للكشف عن قمم الأشجار بالاعتماد على بيانات LiDAR المحمولة جواً، والتي تُحدد بدقة الغطاء النباتي الخشبي الفردي، حتى في مجموعات البيانات منخفضة الدقة الممسوحة ضوئياً بالليزر وفي ظل ظروف الغطاء النباتي الحضري المعقدة متعددة الطبقات. ويتعزز التطبيق العملي لهذه الأساليب بفضل توفرها كحزم برمجية مفتوحة المصدر وقابلة للتكرار بلغة R. كما بحثت دراسات أخرى تأثير تقنيات معالجة "البنية من الحركة" (SfM) واستراتيجيات جمع البيانات المختلفة القائمة على الطائرات بدون طيار على دقة رسم خرائط استخدام الأراضي الحضرية، بالإضافة إلى تقييم جودة الصور الجوية ونماذج السطح الرقمية (DSM) باستخدام مقاييس الذكاء الاصطناعي القابلة للتفسير.

تُستخدم المناهج القائمة على الذكاء الاصطناعي الجغرافي بشكل متزايد في دراسات ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية، حيث تدمج نماذج التعلم الآلي بيانات درجة حرارة سطح الأرض المستمدة من الأقمار الصناعية مع المعايير الهيكلية الحضرية للكشف عن العلاقات غير الخطية التي تحكم الإجهاد الحراري، مما يدعم استراتيجيات التكيف مع المناخ وقرارات التخطيط الحضري. وعلى الصعيد العالمي، يتوسع تحليل البيئة الحضرية القائم على الذكاء الاصطناعي بسرعة، لا سيما من خلال المعالجة المتكاملة لبيانات الاستشعار عن بُعد عالية الدقة (LiDAR، الطائرات بدون طيار) والمعلومات الهيكلية الحضرية التفصيلية، مما يفتح آفاقًا جديدة للتقييم الكمي للعمليات البيئية الحضرية (Chen et al., 2022; Kosuri et al., 2025; Lifelo et al., 2024; Xu et al., 2019; Zhang et al., 2025). وفي برامج البحث التابعة للاتحاد

الأوروبي، لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد عنصر منهجي تطبيقي، بل أصبح جزءًا لا يتجزأ من عناوين المشاريع، مما يدل بوضوح على ترسيخ الذكاء الاصطناعي الجغرافي في المؤسسات. من الأمثلة البارزة على ذلك مشروع AI4SoilHealth (https://ai4soilhealth.eu/) الذي يطور حلولاً قائمة على الذكاء الاصطناعي للتقييم المكاني ومراقبة حالة التربة ووظائفها وصحتها، وذلك من خلال دمج مصادر بيانات متنوعة لرصد الأرض والتربة والبيئة. وثمة مبادرة مماثلة هي مشروع AI4Copernicus (https://ai4copernicus-project.eu/)، الذي يُعطي الأولوية للمعالجة المدعومة بالذكاء الاصطناعي لبيانات رصد الأرض من برنامج كوبرنيكوس، مما يُتيح إجراء تحليلات مكانية أسرع وأكثر دقة لتغير الغطاء الأرضي والعمليات البيئية وتأثيرات تغير المناخ. تُظهر هذه المشاريع بوضوح أن الذكاء الاصطناعي بات تقنيةً تكامليةً أساسيةً في البحوث الجغرافية والبيئية الأوروبية، لا سيما في تحليل الأنظمة المكانية المعقدة ذات الأحجام الكبيرة. كما يُمكن تطبيق أساليب الذكاء الاصطناعي بفعالية في تصوير الخرائط وأنواع أخرى من البيانات المكانية، على سبيل المثال في إعادة بناء المظاهر الطبيعية التاريخية من مصادر الخرائط الأرشيفية، مثل المسح العسكري الأول (الشكل 4).

Figure 4. Figure 4. Nagy-Nádas Swamp at Farmos before water regulations. (a) Detail of the First Military Survey (1782–1785) Map that Serves as a Compositional Model; (b) AI-generated Image

Source: Jakab et al., 2025

في السنوات الأخيرة، ظهرت أدوات البحث في الأدبيات ودعم البحوث القائمة على الذكاء الاصطناعي، ويجري استخدامها بشكل متزايد في بحوث علوم الأرض. تُسهّل أدوات مثل Scopus AI وWeb of Science Research Assistant اكتشاف الأدبيات، وإعداد الملخصات الموضوعية، وتحديد المنشورات الرئيسية بناءً على استعلامات اللغة الطبيعية. وبالمثل، يُحلل scite.ai سياق الاستشهاد من خلال التمييز بين الاستشهادات الداعمة والمُعارضة والمنهجية، وهو أمرٌ مفيدٌ للغاية في التقييم النقدي للأدبيات. إضافةً إلى ذلك، تم دمج وظائف دعم البحوث القائمة على الذكاء الاصطناعي في منصة Nature، مما يُوفر للمؤلفين المساعدة في استكشاف الأدبيات وإعداد المخطوطات. مع ذلك، تعتمد هذه الحلول على قواعد البيانات الأساسية، ولا تتسم مخرجاتها بالشفافية الكاملة، كما تتطلب الملخصات المُولَّدة تدقيقًا دقيقًا؛ لذا، ينبغي عدها أدوات تكميلية في المقام الأول، وليست بديلة. وبذلك، أصبح الذكاء الاصطناعي مناسبًا للتصنيف الدلالي للنصوص - بما في ذلك المقالات العلمية، والأوصاف الإقليمية، ومحتوى الكتب الدراسية،

والتقارير الإخبارية - فضلًا عن التحليل الإحصائي لتكرار الكلمات والعبارات التي يُحددها المستخدم، واستخلاص العلاقات العامة من هذه التحليلات. على سبيل المثال، من خلال دراسة المنشورات التي أصدرها الجغرافيون على مدى العقود الأخيرة، يُمكن تحديد التغيرات في ممارسات النشر لدى المؤلفين، والتحولات في شيوع مواضيع بحثية محددة (مثل جغرافية المظاهر الطبيعية أو الجغرافيا البيئية)، والاتجاهات الزمنية في توجهات وأساليب بحثية معينة، والتطورات في فلسفة العلوم (بوروس وآخرون، 2025؛ سيلاسي وآخرون، 2024). يُقدّم مجلد الذكاء الاصطناعي لعام 2023 (Gao et al., 2023)، الذي يُركّز بشكل أساسي على الجغرافيا البشرية والمناهج التكاملية، مجموعة واسعة من التطبيقات العملية. علاوة على ذلك، قام وانغ وزملاؤه بتحليل 1516 دراسة في الجغرافيا البشرية نُشرت على مدار العقدين الماضيين، والمستقاة من قاعدة بيانات Web of Science، والتي استخدمت أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي. تتضمن هذه المجموعة عددًا كبيرًا من الدراسات متعددة التخصصات التي تستفيد من منصات بحثية متكاملة، وتشمل مجالات مثل الصحة العامة، وعلوم البيئة، والعلوم الطبية (Wang et al., 2024).

تحديات وقيود تطبيق الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا وعلوم الأرض

يُصاحب التطبيق الجغرافي للذكاء الاصطناعي العديد من التحديات والقيود المُعترف بها عمومًا، بما في ذلك المشكلات المتعلقة بتفسير النماذج، والتحيزات المحتملة، ومحدودية ملاءمتها لأسئلة بحثية مُحددة. تتطلب نماذج الذكاء الاصطناعي عادةً بيانات خاصة بكل منطقة، وغالبًا ما يُشكّل توافر البيانات وقابليتها للتطبيق عبر مناطق مختلفة قيودًا رئيسية. نظرًا لأن جودة بيانات الإدخال تؤثر بشكل كبير على موثوقية مخرجات النموذج، غالبًا ما تنشأ مشاكل بسبب أخطاء البيانات، أو دقة البيانات المحدودة، أو محدودية صلاحيتها المكانية أو الزمنية، أو عدم توافقها الكافي مع متطلبات التحليل الجغرافي. من منظور النتائج، قد تُدخل إجراءات التحقق المتحيزة مزيدًا من عدم اليقين، والذي يمكن أن يتفاقم أثناء المعالجة الخوارزمية. مع ذلك، من المهم ملاحظة أن الذكاء الاصطناعي لا يعمل بالضرورة كصندوق أسود كامل حيث لا يمكن ملاحظة سوى المدخلات والمخرجات بينما تظل العمليات الداخلية غامضة تمامًا.

طُوّرت مناهج الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (xAI) تحديدًا لتعزيز الشفافية؛ ومن الأمثلة على ذلك أساليب مثل LIME وSHAP، والتي تُطبّق، على سبيل المثال، في تحليل الصور. يُعزى الاهتمام المتزايد بالذكاء الاصطناعي جزئيًا على الأرجح إلى نجاحه المُثبت في تطبيقات مثل التنبؤ بالطقس والتنبؤ بجائحة كوفيد-19. في الوقت نفسه، تُجري العديد من تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي عمليات تُعد، من منظور نظم المعلومات الجغرافية، بمثابة عمليات بحث مكانية - وأحيانًا زمنية - أي تحديد الحالات والأنماط التي تُلبي معايير مُحددة مسبقًا. من عيوب هذه المناهج أنها قد لا تتجاوز كونها شكلاً متطوراً من إعادة التصنيف. في بعض الحالات، استُخدم الذكاء الاصطناعي الجغرافي فقط لإنشاء تمثيلات بصرية جذابة ولكنها محدودة علمياً للمظاهر الطبيعية، مما يُسهم بشكل ضئيل في تطوير المعرفة الجغرافية (هو وآخرون، 2024). ويزداد استخدام الذكاء الاصطناعي الجغرافي تعقيداً بسبب الاختلافات في الأطر القانونية والتنظيمية التي تحكم الوصول إلى البيانات بين الدول؛ فعلى سبيل المثال، قد يمتد نهر ومنطقة مستجمعه عبر عدة ولايات، لكل منها لوائح حوكمة بيانات خاصة بها.

الذكاء الاصطناعي في تعليم الجغرافيا

عند النظر في تطبيق الذكاء الاصطناعي في تعليم الجغرافيا، تشمل الأسئلة الرئيسية:

لماذا ينبغي تدريس الذكاء الاصطناعي؟

من يتأثر به؟

ما هي الأساليب الأنسب؟

وما هو المحتوى الذي ينبغي تقديمه؟

لا تهدف هذه النظرة العامة إلى أن تكون تعليماً تقنياً على مستوى الجامعة؛ فهي لا تركز على التفاصيل الرياضية، ولكنها، بالاستناد إلى المعرفة على مستوى المرحلة الثانوية، تهدف إلى توضيح كيف يمكن للفهم المتخصص في هذا المجال أن يفتح آفاقاً جديدة لحل المشكلات والتطوير في التطبيقات الجغرافية. وكما هو موضح في الأمثلة أعلاه، **يدعم الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا بشكل أساسي فهم الأنماط والعلاقات**. تكمن إحدى المساهمات الرئيسية في استخدام العروض المرئية التفاعلية والمحاكاة الواقعية، التي تدمج المواقع الجغرافية والظواهر الطبيعية في عملية التعلم. ويمكن لمجموعة أدوات التصور القائمة على الذكاء الاصطناعي المتنامية أن تجعل التعليم والتعلم أكثر كفاءة وبديهية وجاذبية.

علاوة على ذلك، يُسهّل دمج الذكاء الاصطناعي في دروس الجغرافيا مناقشة قضايا تعليمية أوسع، مثل حدود نقل المعرفة ومدى تحفيز الطلاب والمعلمين على تعلم الذكاء الاصطناعي واستخدامه، ولا سيما الذكاء الاصطناعي الجغرافي. ويمكن للمعلمين الافادة من الذكاء الاصطناعي :

لتصميم خطط تعليمية شخصية، وتعزيز التجارب التعليمية،

وتوفير تحليلات ذكية للتعلم،

وتحسين كفاءة التعلم بشكل عام.

ومع ذلك، فإن التطبيق الفعال للذكاء الاصطناعي في تعليم الجغرافيا - بما في ذلك التعليم العام، حيث تشمل الجغرافيا علوم الأرض - يتطلب مشاركة فعّالة من جميع الأطراف (المعلمين والمحاضرين والطلاب والتلاميذ) وتوفير الموارد اللازمة، بما في ذلك الأجهزة والبرامج والبيانات والخبرات. ويمكن لأتمتة الذكاء الاصطناعي أن تقلل من عبء عمل المعلمين وتحسن فعالية التدريس، على سبيل المثال من خلال المساعدة في تقييم الواجبات والتقارير. في التعليم التقليدي، يكرس المعلمون وقتًا كبيرًا لمهام مثل تصميم الأسئلة، والتصحيح، وتقييم الأداء، وتحليل الاختبارات. أما تقنيات الذكاء الاصطناعي - بما في ذلك التعرف على الصور، وأنظمة التنبؤ، والواقع الافتراضي - فلا تقتصر على توليد أسئلة الامتحانات فحسب، بل يمكنها أيضًا تصحيح الواجبات المنزلية والاختبارات تلقائيًا، مما يزيد من كفاءة التقييم.

يُعدّ التقييم المستمر والتغذية الراجعة ومتابعة التقدم من الأمور بالغة الأهمية للحفاظ على جودة التعليم. وبينما قد ينظر بعض المعلمين إلى الذكاء الاصطناعي كتهديد محتمل لدورهم المهني، فإنه في الوقت نفسه يُتيح أساليب تربوية جديدة، مثل الرحلات الميدانية الافتراضية والفصول الدراسية الافتراضية التفاعلية. تسمح هذه الأساليب بمحاكاة العمليات الجغرافية التي يصعب رصدها، وتصوّر الظواهر الطبيعية التي يصعب الوصول إليها بطرق أخرى (راكواسا، 2023). وبهذا، يعمل الذكاء الاصطناعي كأداة فعّالة لدعم التفكير النقدي والتعلم وتطوير المناهج الدراسية. ويمكن تخصيص المواد التعليمية المُولّدة بواسطة الذكاء الاصطناعي لتناسب احتياجات كل متعلم على حدة، مما يدعم التعليم المُخصّص.

مع ذلك، من المهم الإشارة إلى أن دمج الذكاء الاصطناعي لا يُفيد جميع المواضيع، لا سيما بعض المواضيع الاجتماعية. ويُمثّل دمج الذكاء الاصطناعي في مناهج الجغرافيا الحالية تحديًا كبيرًا، إذ يجب أن تظل المناهج مرنة بما يكفي لاستيعاب التقنيات الناشئة. لذا، يُعدّ تدريب المعلمين، بما في ذلك إعداد المدربين،

أمرًا ضروريًا. يمكن للذكاء الاصطناعي أيضًا دعم التعلم التكيفي، من خلال تعديل مستوى صعوبة المواد والمهام والاختبارات والتمارين بما يتناسب مع كل متعلم على حدة (هوانغ وآخرون، 2021). ينبغي أن يشمل هذا التكيف المحتوى والمنهجية على حد سواء، بما في ذلك استخراج البيانات، وأنظمة التدريس الذكية، وتحليلات التعلم. يُمكّن الذكاء الاصطناعي الجغرافي، عبر قواعد البيانات الجغرافية المكانية السحابية، الطلاب من الوصول بسرعة وكفاءة إلى كميات هائلة من البيانات الجغرافية، واستكشاف خرائط ومواقع وظواهر طبيعية واقعية ومُمثلة بصريًا، بالإضافة إلى أعمال ميدانية افتراضية ومحاكاة تفاعلية (ويلبي وإيسون، 2024). وبعيدًا عن محتوى المناهج الدراسية وبنيتها التحتية، يُعدّ أحد المعطيات المستقبلية الحاسمة هو ما إذا كان إعداد المعلمين يُزوّدهم بالمعرفة والخبرة الكافية لاستخدام الذكاء الاصطناعي بفعالية ومسؤولية.

وتتجلى أحد القيود الواضحة في الاستخدام الواسع النطاق لنماذج اللغة مثل ChatGPT: فعلى الرغم من قدرة هذه الأدوات على توليد النصوص، إلا أنها غالبًا ما تفشل في معالجة مفاهيم أساسية في الجغرافيا، كالمكانية والإقليمية والزمانية والمقياس، بشكل صحيح. وتُنتج مخرجاتها من خلال استمرارية نصية احتمالية تعتمد على الكلمات المفتاحية بدلًا من الأساليب العلمية التقليدية. وشملت القيود السابقة عدم إمكانية الوصول إلى المعلومات في الوقت الفعلي، مما أثار مخاوف بشأن الموثوقية. لهذه الأسباب، من الضروري ألا يعتمد الطلاب على أدوات الذكاء الاصطناعي فحسب، بل أن يفهموا أيضًا المفاهيم والعمليات الجغرافية الأساسية. لذا، **يُعدّ تطوير مهارات التفكير النقدي لدى الطلاب والمعلمين على حد سواء أمرًا جوهريًا لتجنب الاعتماد غير النقدي على مخرجات الذكاء الاصطناعي**. كما يثير استخدام الذكاء الاصطناعي في التعليم تساؤلات تربوية وقانونية وأخلاقية. فبالنسبة للمواد التعليمية المُولّدة بالذكاء الاصطناعي، تبرز قضايا التأليف والملكية الفكرية: من يملك المنهج الدراسي، أو خطة الدرس، أو المحتوى، ومن ينبغي أن يُنسب إليه؟ وهذا بدوره يُثير تساؤلات تنظيمية داخل المؤسسات التعليمية (زواكي-ريشتر وآخرون، 2019). وتتعلق مخاوف أخلاقية إضافية بملكية مخرجات الذكاء الاصطناعي، لا سيما في سياقات يُمكن فيها حتى استنساخ صوت المحاضر رقميًا. وعلى الرغم من هذه التحديات، تُتيح برامج الماجستير في القانون فرصًا للحد من التفاوتات الاجتماعية والاقتصادية الإقليمية في جودة التعليم.

الخلاصة

يمكن تتبع ظهور الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا إلى كتاب دوبسون "الجغرافيا الآلية" الصادر عام 1983، وكتاب أوبنشاو "الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا" الصادر عام 1997. ومن أهم العوامل الدافعة للتطور السريع للذكاء الاصطناعي الجغرافي خلال العقد الماضي، توفر مكتبات بايثون وR سهلة الاستخدام، والتي تُمكّن من تطبيق تطبيقات عملية حتى للمستخدمين ذوي المهارات البرمجية الأساسية. في الوقت نفسه، اكتسبت التطبيقات القائمة على الذكاء الاصطناعي زخمًا في الجغرافيا البشرية، لا سيما في أبحاث المستوطنات، والتنقل، والبيئة، والجغرافيا الطبية (بيلجيكي، 2023). تتضمن إحدى التجارب المثيرة للاهتمام تكليف برنامج ChatGPT بإنشاء ملخص للأفكار المطروحة في هذه الورقة ومقارنته بنص المؤلفين.

أنتج الذكاء الاصطناعي نصًا مُقسّمًا إلى فصلين بناءً على عدد قليل من الكلمات المفتاحية. ركّز أحد الفصلين، بعنوان "البحث الجغرافي"، على نظم المعلومات الجغرافية (معالجة البيانات وتحليلها، والتعرف على الصور، والتنبؤ والنمذجة، لا سيما للمخاطر الطبيعية)، والرصد البيئي (تغير المناخ، والتلوث)، والدراسات الحضرية (التنمية الحضرية، وأنظمة النقل). تناول الفصل الثاني، بعنوان "التعليم الجغرافي"، أدوات التعلم التفاعلية (الواقع الافتراضي والمعزز، والخرائط الذكية)، والتعلم الشخصي (المنصات التكيفية، والتقييم الآلي)، وتصور البيانات، ورسم الخرائط التفاعلية. واستنادًا إلى الأمثلة الوطنية والدولية المعروضة، تبرز عدة اتجاهات رئيسية في تطبيق الذكاء الاصطناعي في علوم الأرض. ويحدث النمو الأسرع في فروع

الجغرافيا التي تتميز بكميات كبيرة من البيانات المتغيرة مكانيًا وزمنيًا، لا سيما الاستشعار عن بُعد، والدراسات الحضرية، وبحوث المخاطر الطبيعية، ونمذجة التربة والنظم البيئية. من السمات المشتركة للتطورات الحالية تزايد استخدام دمج البيانات، أي المعالجة المتكاملة لمجموعات البيانات من مصادر متنوعة (الأقمار الصناعية، والبيانات الميدانية، وأجهزة الاستشعار، والبيانات الإحصائية)، بالإضافة إلى التركيز المتزايد على التنبؤ المكاني والزماني. كما يتزايد الاهتمام بإدارة عدم اليقين وقابلية التفسير، كما يتضح من انتشار مناهج الذكاء الاصطناعي القابلة للتفسير.

في هذا السياق، لا يمثل الذكاء الاصطناعي الجغرافي مجرد مجموعة أدوات تحليلية جديدة فحسب، بل يمثل أيضًا تحولًا أوسع في التوجه المعرفي لأبحاث علوم الأرض. فإلى جانب رسم الخرائط الوصفية، تبرز بشكل متزايد التحليلات الموجهة نحو العمليات، والوظائف، ودعم القرار. من منظور التعليم والبحث، **لا ينبغي النظر إلى الذكاء الاصطناعي على أنه مجرد ابتكار تكنولوجي، بل كإطار منهجي متكامل يُسهّل فهم الأنظمة المكانية المعقدة.** ونحن على ثقة بأن الأساليب القائمة على الذكاء الاصطناعي ستُحفز مجتمعةً إعادة النظر في دور الجغرافيا، ومحور تركيزها، وأهدافها في القرن الحادي والعشرين.