الجغرافيا في عصر الثورة الرقمية والذكاء الاصطناعي:
اتجاهات التطوير نحو التنمية المستدامة

ابتهال الرويسي
أستاذة مساعدة في الجغرافيا، مخبر جيوماتيك الأنظمة الطبيعية، LR19ES07 FLAHM، جامعة منوبة
ibtihel.rouissi@flah.uma.tn
تونس

الملخص

تشهد العلوم الإنسانية والطبيعية في السنوات الأخيرة ثورة رقمية جذرية تقودها الطفرة التكنولوجية، الذكاء الاصطناعي وثورة البيانات الضخمة، وهو ما جعل مختلف التخصصات العلمية تعيد النظر في أسسها النظرية ومقارباتها المنهجية وأدواتها التحليلية. وفي هذا السياق، يواجه علم الجغرافيا إشكالية تتمثل في ضيق آفاقه التقليدية واحتمال تهميشه إذا استمر في الانغلاق على وظائفه الكلاسيكية المرتبطة برسم الخرائط ووصف التوزيعات المجالية دون الانخراط الجدي في مسارات التحوّل الرقمي. فقد كان ينظر للجغرافيا لعقود طويلة باعتبارها علمًا وصفيًا يهتم بالمكان وتوزيع الظواهر الطبيعية والبشرية، إلاّ أنّ التحوّلات الرقمية فرضت عليها إعادة صياغة دورها لتتحوّل من مجرد علم وصفي إلى علم استراتيجي يوظف أدوات رقمية متقدمة في التحليل والتفسير والتنبؤ. وقد شكل إدماج الحاسوب، تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) منذ ثمانينيات القرن الماضي نقلة نوعية نحو ما سُمّي بـ **الجغرافيا الرقمية**، حيث مكّنت هذه الأدوات من جمع كميات هائلة من المعطيات المجالية وتحليلها وتمثيلها بصور وخرائط دقيقة، الأمر الذي سمح بفتح آفاق واسعة في البحث العلمي والتطبيقات العملية خاصة في مجالات التخطيط الحضري، إدارة الموارد، الزراعة والمخاطر الطبيعية.

فمع بروز الذكاء الاصطناعي، دخلت الجغرافيا مرحلة ثانية أكثر تعقيدًا وثراءً عُرفت بالذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI).ويُقصد به إدماج تقنيات التعلم الآلي (Machine Learning) والتعلم العميق(Deep Learning) مع قواعد البيانات المجالية، بما يسمح باستخراج أنماط خفية وعلاقات مكانية غير مرئية عبر المعالجة الآلية لصور الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة، وصولًا إلى تطوير نظم معلومات جغرافية شبه مستقلة قادرة على التنبؤ وصنع القرار. إنّ هذه القفزة النوعية جعلت الذكاء الاصطناعي يُفهم اليوم ليس فقط كأداة تحليلية مساعدة، بل كإطار معرفي ومنهجي يعيد صياغة جوهر التحليل المجالي ويفرض على الجغرافي إعادة النظر في أدواته النظرية والعملية على حد سواء. بما يسمح للكشف عن أنماط خفية، تحليل العلاقات المجالية المعقدة، والتنبؤ بالتحولات المستقبلية بدقة وسرعة تفوق القدرات البشرية التقليدية. وهنا لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد أداة إضافية، بل أصبح إطارًا معرفيًا يعيد تعريف التحليل المجالي ويفتح أمام الجغرافيا آفاقًا جديدة في البحث العلمي وصنع القرار.

وتتجسد هذه التحوّلات في تجارب وتطبيقات رائدة عالميًا ومحليًا تعكس النقلة النوعية التي تعرفها الجغرافيا في عصر الذكاء الاصطناعي. غير أنّها تكشف في الوقت نفسه عن تحديات نظرية ومنهجية وأخلاقية ما تزال تحدّ من تطورها، وتُبقيه في حدود

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

البعد التقني دون الارتقاء إلى ثورة معرفية عميقة تعيد صياغة العلاقة بين الجغرافيا والتكنولوجيا. وفي هذا السياق، يصبح دور الجغرافي محوريًا، لا كمنتج للخرائط أو محلّل للبيانات فحسب، بل كوسيط معرفي قادر على دمج المقاربات الرقمية بالتحليل المجالي النقدي، وتفسير مخرجات الذكاء الاصطناعي وربطها بالواقع الاجتماعي والاقتصادي والسياسي.

يهدف هذا المقال إلى إبراز التحولات الجوهرية التي يعرفها علم الجغرافيا في عصر الذكاء الاصطناعي، مع التركيز على مجالات التطوير المطلوبة في مختلف الاتجاهات. وعليه، فإنّ المطلوب اليوم ليس مجرد تحديث أدوات الجغرافيا أو إدخال تقنيات جديدة في مناهجها، بل إعادة صياغة دورها كعلم استراتيجي فاعل في مواجهة التحديات الكبرى للعصر الرقمي، من التغيّر المناخي وإدارة الموارد الطبيعية إلى التخطيط الحضري والتنمية المستدامة. ومن هنا يبرز السؤال الجوهري :**هل نحن مستعدون للاستثمار في العقول والبنية التكنولوجية والمعرفية لجعل الجغرافيا قوة استراتيجية في عصر الذكاء الاصطناعي، بدل أن تظل مجرد علم وصفي تقليدي يواجه خطر التهميش أو الاندثار؟**

الكلمات المفتاحية: الجغرافيا الرقمية والتحول المعرفي، الذكاء الاصطناعي الجغرافيGeoAI ، نظم المعلومات الجغرافية والتحليل المجالي، التقنيات الرقمية في التخطيط والتنمية، الجغرافيا والتنمية المستدامة في العصر الرقمي

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

In recent years, the human and natural sciences have witnessed a radical digital revolution driven by technological breakthroughs, artificial intelligence, and the big data revolution. This has compelled various scientific disciplines to reconsider their theoretical foundations, methodological approaches, and analytical tools. In this context, geography faces a challenge due to the limitations of its traditional scope and the risk of marginalization if it continues to confine itself to its classical functions, such as map-making and describing spatial distributions, without seriously engaging in digital transformation.

For decades, geography was regarded primarily as a descriptive science concerned with place and the distribution of natural and human phenomena. However, digital transformations have forced a redefinition of its role, shifting it from a purely descriptive discipline to a strategic science that employs advanced digital tools for analysis, interpretation, and prediction. The integration of computers, remote sensing technologies, and Geographic Information Systems (GIS) since the 1980s has marked a qualitative leap toward what is called **digital geography**. These tools have enabled the collection of massive amounts of spatial data, their analysis, and their representation in accurate images and maps. This has opened broad horizons for scientific research and practical applications, particularly in urban planning, resource management, agriculture, and natural hazard assessment.

With the emergence of artificial intelligence, geography has entered a second, more complex and enriched phase known as GeoAI (Geographical Artificial Intelligence). GeoAI refers to the integration of **Machine learning** and **Deep learning** techniques with spatial databases, allowing the extraction of hidden patterns and spatial relationships that are otherwise invisible, through automated processing of satellite and drone imagery, ultimately developing semi-autonomous geographic information systems capable of prediction and decision-making. This qualitative leap has positioned artificial intelligence not only as an analytical tool but as a cognitive and methodological framework that reshapes the essence of spatial analysis, requiring geographers to reconsider both their theoretical and practical

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

tools. It allows the detection of hidden patterns, analysis of complex spatial relationships, and prediction of future transformations with a speed and accuracy beyond traditional human capacities. AI is thus no longer a mere supplementary tool but a knowledge framework that redefines spatial analysis and opens new horizons for research and decision-making.

These transformations are reflected in pioneering global and local experiments and applications, highlighting the qualitative shift that geography is experiencing in the era of artificial intelligence. At the same time, they expose theoretical, methodological, and ethical challenges that continue to constrain its development, keeping it confined to the technical dimension without reaching a profound knowledge revolution that reshapes the relationship between geography and technology. In this context, the role of the geographer becomes pivotal—not merely as a map producer or data analyst, but as a knowledge mediator capable of integrating digital approaches with critical spatial analysis, interpreting the outputs of artificial intelligence, and connecting them to social, economic, and political contexts.

This article aims to highlight the fundamental transformations that geography is experiencing in the AI era, **focusing on areas requiring development across various domains**, **including curricula**, **scientific research**, **digital technologies**, **and sustainable development**, **as well as skills development aligned with labor market needs and knowledge infrastructure enhancement**. Today, what is required is not merely updating geographical tools or introducing new technologies into curricula but reconfiguring geography's role as a strategic science capable of addressing major digital-age challenges—from climate change and natural resource management to urban planning and sustainable development. This raises the essential question: **Are we ready to invest in human intellect**, **technological**, **and knowledge infrastructure to make geography a strategic force in the age of AI**, **rather than leaving it as a traditional descriptive science at risk of marginalization or extinction?**

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

مقدمة

لقد شهدت الجغرافيا، منذ نشأتها كعلم يدرس المكان والظواهر الطبيعية والبشرية، تحوّلات عميقة في مناهجها ومفاهيمها وأدواتها. فبعد أن انحصرت الجغرافيا التقليدية في وصف الأماكن وتحليل العلاقات المكانية بين الظواهر الطبيعية والبشرية اعتمادًا على الخرائط الورقية والدراسات الميدانية والبيانات الإحصائية المحدودة، عرفت نقلة نوعية مع بروز الثورة الرقمية في أواخر القرن العشرين. عندها ظهرت **الجغرافيا الرقمية** التي جسدت تزاوجًا بين التفكير الجغرافي والمنطق الحسابي، وأتاحت قدرة غير مسبوقة على جمع وتحليل وتخزين كميات ضخمة من البيانات المكانية والزمانية. لقد أتاح تطور نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، إلى جانب الحوسبة المتقدمة، إنتاج قاعدة معرفية جديدة مكّنت الجغرافيين من دراسة الظواهر في أبعادها المتعددة، المكانية والزمانية بشكل أكثر دقة وسرعة وموضوعية.

ومع التوسع الهائل في استخدام التكنولوجيا الرقمية، دخلت الجغرافيا عصر البيانات الضخمة (Big Data) والمعلومات اللحظية، حيث أصبح بالإمكان الوصول إلى معطيات آنية مصدرها الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار الذكية وشبكات الإنترنت ووسائل التواصل الاجتماعي والهواتف المحمولة المزوّدة بأنظمة تحديد المواقع (GPS). هذه الثورة في تدفق البيانات المكانية أحدثت طفرة في القدرة التحليلية لعلم الجغرافيا، فأضحت المدن والمجالات البيئية والمجتمعات البشرية تُرصد وتُحلَّل في الزمن الحقيقي، ممّا مكّن الباحثين من فهم ديناميات المجال في سياقاتها الدقيقة والمعقدة.

في هذا السياق، جاء **الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Geographic Artificial Intelligence)** ليُحدث نقلة معرفية نوعية، إذ أصبح قادراً على تحليل الأنماط المكانية المعقدة، واستخراج العلاقات الخفية بين المتغيرات، والتنبؤ بالتحوّلات المستقبلية، مثل التوسع العمراني أو التغيرات البيئية أو انتشار الأوبئة. لقد غيّر الذكاء الاصطناعي طريقة تعامل الجغرافيين مع البيانات، فلم يعد التحليل مجرد تجميع للمعلومات أو توصيف للظواهر، بل أصبح عملية استدلال معرفي قائمة على التعلم الآلي (Machine Learning)والرؤية الحاسوبية (Computer Vision) والخوارزميات التنبؤية، بما يعزز من قدرة الجغرافيا على إنتاج معرفة مجالية ذكية.

وهكذا، لم تعد الجغرافيا علمًا يصف المكان باعتباره ثابتًا، بل أصبحت علمًا ديناميكيًا تفاعليًا، يوظّف التكنولوجيا الرقمية والذكاء الاصطناعي لفهم النظم المكانية بوصفها كيانات حية تتفاعل باستمرار مع الإنسان والبيئة. هذا التحوّل في المفاهيم والمنهجيات جعل من الجغرافيا أحد الأعمدة الأساسية في بناء المدن الذكية والتخطيط الترابي المستدام وإدارة المخاطر البيئية وصنع القرار القائم على المعرفة المكانية الدقيقة.

في ضوء هذه التحولات العميقة، يطرح هذا المقال الإشكالية التالية:

إلى أيّ مدى ساهمت الثورة الرقمية والذكاء الاصطناعي في تطوير علم الجغرافيا، وكيف يمكن مواجهة التحديات التي تعترض هذا التطور لضمان إنتاج معرفة مجالية دقيقة ومستدامة؟

أولا– الجغرافيا في ظل الثورة الرقمية: تطور الجغرافيا في عصر التحوّل الرقمي والجيوماتيك

شهد العالم خلال العقود الأخيرة ثورة رقمية عميقة مسّت مختلف مجالات المعرفة، وأحدثت تحوّلات جذرية في طرق إنتاج البيانات ومعالجتها وتوظيفها. لم تكن الجغرافيا بمعزل عن هذا التحوّل، إذ أدى تطور تكنولوجيا المعلومات والاتصال وعلوم

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

البيانات إلى تحديد أدواتها ومناهجها وأساليب تحليلها. وأصبحت التقنيات الرقمية محورًا رئيسيًا في تطور الفكر والممارسة الجغرافية، إذ مكّنت من جمع البيانات المكانية والزمانية ومعالجتها وتحليلها بدقة وكفاءة غير مسبوقة، وهو ما لم يكن ممكنًا في الماضي. وساهم هذا التحوّل في الانتقال بالجغرافيا من علم وصفي تقليدي إلى علم رقمي تحليلي واستشرافي قادر على فهم العلاقات المكانية المعقدة والتنبؤ بالتحولات المجالية.

1. من الجغرافيا التقليدية إلى الجغرافيا الرقمية: التحوّل الرقمي وتطور الممارسة الجغرافية

1.1 الجغرافيا التقليدية: من الوصف إلى التحليل

عرفت الجغرافيا، منذ نشأتها، مسارًا طويلًا من التحوّل الفكري والمنهجي يعكس تطور نظرة الإنسان إلى المكان والعالم. ففي **الحقب الكلاسيكية والقرون الوسطى**، كانت الجغرافيا علمًا وصفيًا بالأساس، يهتم بتسجيل الظواهر الطبيعية والبشرية وتقديم صور سردية عن الأقاليم والمجالات. كان الجغرافي في تلك المرحلة يصف التضاريس والمناخات والموارد والعمران، في إطار مقاربة تعتمد على الملاحظة والانطباع والتجميع المعلوماتي أكثر من التحليل العلمي المنهجي. وقد ظلت الجغرافيا لعقود طويلة حبيسة هذا الإطار الوصفي، حيث كانت الخريطة تُعد أداة توثيق أكثر منها أداة تحليل، تُستخدم لتوضيح الموقع والتوزيع دون التعمق في تفسير العلاقات السببية بين الظواهر.

غير أنّ منتصف القرن العشرين شكّل نقطة تحوّل حاسمة مع ما عُرف **بالثورة الكمية في الجغرافيا (Quantitative Revolution)**، التي مثلت انتقالًا من الجغرافيا الوصفية إلى الجغرافيا التحليلية التي أدخلت الإحصاء والنمذجة الرياضية والتحليل المكاني في الدراسات الجغرافية. سمح ذلك للجغرافيا بأن تقترب أكثر من العلوم الدقيقة، وأن تُطوّر أدوات كميّة لتحليل التوزيعات المكانية والأنماط الجغرافية. فقد أدخل الجغرافيون في خمسينات وستينات القرن الماضي الأساليب الإحصائية والنمذجة الرياضية في محاولة لإضفاء الطابع العلمي الدقيق على هذا العلم. وبهذا، أصبح المجال الجغرافي يُدرس كنظام معقد من العلاقات المكانية يمكن تمثيله رياضيًا ونمذجته باستخدام المعادلات والبيانات الكمية. وقد ساهمت هذه الثورة في تطوير مفاهيم مثل "التحليل المكاني" و"العلاقات المكانية" و"أنماط التوزيع"، ممّا أتاح للجغرافيا تجاوز الطابع الوصفي إلى فهم ديناميات الظواهر في المكان.

في سبعينات وثمانينات القرن العشرين، شهدت الجغرافيا **تحوّلات فكرية جديدة** تجلت في بروز الجغرافيا السلوكية، النقدية والإنسانية. فقد جاءت الجغرافيا السلوكية كرد فعل على محدودية المقاربات الكمية، معتبرة أنّ السلوك الإنساني وإدراك الأفراد للمكان عنصر حاسم في تفسير الظواهر الجغرافية. أمّا الجغرافيا النقدية فقد ربطت تحليل المجال بالبنى الاجتماعية والسياسية والاقتصادية، مؤكدة أنّ المجال نتاج للعلاقات السلطوية والتفاوتات البنيوية في المجتمع. في حين ركزت الجغرافيا الإنسانية على المعاني الرمزية والثقافية للمكان، معتبرة أنّ فهم المجال لا يمكن أن يتحقق دون فهم الإنسان الذي يعيش فيه ويتفاعل معه.

بهذا، انتقلت الجغرافيا من علم يصف الظواهر إلى علم يسعى إلى تفسيرها ونمذجتها ضمن نسق فكري متطور يجمع بين الكم والنوع، بين التحليل المادي للمكان وفهم تمثلاته الإنسانية والاجتماعية. وقد مهّد هذا التطور النظري والمنهجي الطريق لاحقًا أمام التحوّل الرقمي، الذي أعاد صياغة العلاقة بين الجغرافي والمجال في إطار جديد قوامه البيانات والنظم الرقمية والتحليل المكاني الذكي.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

2.1 الثورة الرقمية وأثرها في العلوم الجغرافية

مع نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين، دخلت الجغرافيا مرحلة جديدة من تطورها، تمثلت في **الثورة الرقمية** التي غيرت جذريًا طرق إنتاج المعرفة وتحليل المجال. فالرقمنة لم تكن مجرد تطور تقني، بل مثلت **منعطفًا منهجيًا ومعرفيًا** في البحث الجغرافي،[1] إذ فتحت آفاقًا جديدة لمعالجة البيانات المجالية بطرق لم تكن ممكنة من قبل.

لقد أتاح التطور السريع في تقنيات الحوسبة والاتصال، منذ تسعينات القرن الماضي، الانتقال من الخريطة الورقية الجامدة إلى الخريطة الرقمية التفاعلية، التي يمكن تحديثها وتحليلها وربطها بقواعد بيانات ضخمة في الزمن الحقيقي. أصبحت الخريطة اليوم منصة ديناميكية للتحليل المجالي، وليست مجرد أداة للتصوير أو العرض.

ومع تراكم المعطيات المكانية عبر الأقمار الصناعية، نظم المعلومات الجغرافية والهواتف الذكية، برز مفهوم **البيانات المكانية الضخمة(Big Spatial Data)** ، الذي يمثل أحد أعمدة الجغرافيا الرقمية المعاصرة.[2] هذه البيانات –الناتجة عن مصادر متعددة كالاستشعار عن بعد، وأجهزة GPS، والتطبيقات الجغرافية– مكّنت الجغرافيين من فهم أدق للتغيرات المجالية عبر الزمان والمكان.
لقد أصبح المجال يُقرأ من خلال تدفقات رقمية مستمرة، ممّا سمح بتحليل ديناميات حضرية وبيئية وزراعية بشكل متزامن وبدقة عالية وبزمن معالجة فوري تقريبًا.

تجلت آثار الثورة الرقمية أيضًا في تحوّل الممارسة الجغرافية من الاعتماد على الملاحظة الميدانية المباشرة فقط إلى التحليل الافتراضي للمجال باستخدام المحاكاة والنماذج الرقمية. كما مكّنت الرقمنة من دمج البعد الزمني في التحليل المكاني، أي الانتقال من "الخريطة الثابتة" إلى "الخريطة المتغيرة" التي تعكس تطور الظواهر في الزمن. وقد غيّر هذا التحوّل طبيعة الجغرافيا ذاتها، لتصبح علمًا يعتمد على البيانات، الخوارزميات ونظم المعلومات بقدر ما يعتمد على الفكر التحليلي والنظري.

3.1 الجغرافيا الرقمية: المفهوم والمقومات

تُعد **الجغرافيا الرقمية (Digital Geography)** امتدادًا طبيعيًا لتاريخ طويل من التفاعل بين الإنسان والمكان، لكنها تمثل أيضًا **تحوّلًا نوعيًا** في طبيعة المعرفة الجغرافية. فهي ليست مجرد توظيف للأدوات الرقمية في البحث، بل **إعادة صياغة للمنهج الجغرافي** في ضوء الإمكانات التي أتاحتها الثورة الرقمية.[3]

تعتمد الجغرافيا الرقمية على **المعالجة الرقمية للمعلومات المكانية** باستخدام الحواسيب، الشبكات، النظم الذكية والأقمار الصناعية، بهدف تحليل الظواهر المجالية وفهم التفاعلات المعقدة بين الإنسان والبيئة. وهي تقوم على مبدأ أساسي يتمثل في أنّ

---

[1] **Ash**, (**James**), **Leszczynski** (**Agnieszka**) **& Kitchin** (**Rob**), (**2016**) : Digital turn, digital geographies? *Progress in Human Geography*, 40(1), 1–16.

[2] نفس المصدر السابق

[3] Fenzhen **Su and others**, (**2025**), Advancing Intelligent Geography : Current status, innovations and future prospects, directions, December 2025. 10.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

كل ظاهرة في العالم الواقعي يمكن تمثيلها رقمياً من خلال بيانات جغرافية، ثم تحليلها وإعادة إنتاجها بصور وخرائط ونماذج تساعد على اتخاذ القرار.

وترتبط الجغرافيا الرقمية ارتباطًا وثيقًا بكل من العلوم المجالية (Spatial Sciences) والعلوم المعرفية (Cognitive Sciences)، إذ توظف الأولى مناهج التحليل الكمي والمجالي، وتستلهم الثانية مقاربات لفهم الإدراك البشري للمجال واستخدامه للبيانات. بهذا، أصبحت الجغرافيا الرقمية مجالا تلتقي فيه التقنيات الحسابية بالتحليل المجالي، ممّا أفرز ما يمكن تسميته بـ. **الذكاء الجغرافي** أي القدرة على فهم وتحليل وتوقّع السلوك المجالي بناءً على البيانات.

وقد ساهم التحول الرقمي في **تجديد أدوات التحليل الجغرافي** على نحو غير مسبوق. إذ لم يعد الجغرافي يعتمد فقط على الخرائط والأرقام، بل على نماذج محاكاة تفاعلية وقواعد بيانات ضخمة وتقنيات تصوير عالية الدقة وأدوات تحليل تنبؤية مدعومة بالذكاء الاصطناعي. وهكذا، باتت الجغرافيا الرقمية علمًا مركزيًا في إدارة المجال والتخطيط الاستراتيجي والتنمية المستدامة، حيث تحوّلت من علم يصف المكان إلى علم يصممه، يحلله ويتنبأ بتطوره.

إجمالا، يمثل الانتقال من الجغرافيا التقليدية إلى الجغرافيا الرقمية تحوّلًا عميقًا في تاريخ الفكر الجغرافي، إذ تجاوزت الجغرافيا حدود الوصف والتحليل الكمي لتصبح علمًا تفاعليًا يعتمد على البيانات الرقمية الذكية. لقد مكّن هذا التحوّل من فهم أكثر دقة للمجال بوصفه منظومة ديناميكية متشابكة، يتداخل فيها البشري بالطبيعي، والواقعي بالافتراضي. ومن هذا المنطلق، تشكل **الجغرافيا الرقمية (Digital Geography)** الأساس المعرفي والمنهجي الذي ستنبثق عنه لاحقًا علوم أكثر تخصصًا مثل **الجيوماتيك(Geomatics)** ، الذي يجسد التطبيق التقني لهذا التحوّل ويؤسس لمرحلة جديدة من الممارسة الجغرافية القائمة على التحليل المجالي الرقمي المتكامل.

2. الجيوماتيك : الإطار الشامل للتقنيات الجغرافية الرقمية

يُعدّ **الجيوماتيك (Geomatics)** أحد أبرز تجليات الثورة الرقمية في العلوم الجغرافية، إذ يمثل منظومة علمية وتقنية متكاملة تُعنى بجمع البيانات المكانية والجيوديزية، معالجتها، تحليلها، تخزينها ونشرها باستخدام الوسائل الرقمية الحديثة. وهو يُعتبر **إطارًا معرفيًا وتكنولوجيًا شاملًا** يوحّد بين مختلف فروع وأدوات الجغرافيا الرقمية –مثل نظم المعلومات الجغرافية(GIS) والاستشعار عن بُعد(R.S) ونظم تحديد المواقع(GPS/GNSS) والتحليل المجالي والذكاء الاصطناعي الجغرافي– (GeoAI)في منظومة واحدة تهدف إلى **إنتاج معرفة مكانية استراتيجية** تُساهم في دعم القرار والتخطيط المستدام.

1.2الجيوماتيك: المفهوم والنشأة والتطور المعرفي

نشأ مفهوم **الجيوماتيك** نتيجة **مسار تطوري طويل ومعقّد** عرفه الفكر الجغرافي خلال النصف الثاني من القرن العشرين. فقد بدأت **جذوره التقنية** بين خمسينيات وسبعينيات القرن الماضي، حين شهدت تقنيات القياس الجغرافي والمسح الجيوديسي تطورًا نوعيًا بفضل **ظهور أجهزة المسح الإلكتروني (EDM)**[1] **واعتماد التصوير الجوي والاستشعار عن بعد**[2] في مرحلة ما بعد

[1] **أجهزة المسح الإلكتروني (Electronic Distance Measurement - EDM)**: هي أدوات تُستخدم في الجغرافيا والمساحة لقياس المسافات بدقة عالية بين نقطتين باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية أو الليزر.

[2] **الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)** هو علم وتقنية **جمع المعلومات عن سطح الأرض أو الظواهر الطبيعية والبيئية من دون الاتصال المباشر بها**، عبر استخدام أجهزة ومستشعرات توضع عادة على الأقمار الصناعية أو الطائرات أو الطائرات المسيرة.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

الحرب العالمية الثانية، إلى جانب **بروز الحواسيب الأولى** التي فتحت المجال أمام معالجة البيانات المكانية بشكل رقمي لأول مرة في التاريخ.

ومع **الثورة الرقمية** التي انطلقت بين سبعينيات وتسعينيات القرن الماضي، برزت **نظم المعلومات الجغرافية(GIS)** كأداة ثورية لتنظيم المعطيات المجالية وتحليلها، لا سيّما بعد تأسيس **النظام الكندي للمعلومات الجغرافية(CGIS)**[1] سنة 1963 بقيادة الجغرافي الكندي **روجر تومليسون(Roger Tomlinson)** ، الذي يُعدّ الأب المؤسس لهذا المجال. وخلال ثمانينيات القرن المنصرم، شهد العالم تطور **أنظمة تحديد المواقع (GPS)**[2] التي بدأت تُدمج تدريجيًا مع نظم المعلومات الجغرافية[3] وتقنيات الاستشعار عن بعد، ممّا مهّد لظهور رؤية جديدة أكثر شمولًا تهدف إلى توحيد مختلف التقنيات الجغرافية في منظومة واحدة متكاملة.

وفي هذا السياق، ظهر مصطلح **"الجيوماتيك "(Geomatics)** رسميًا في **بداية التسعينيات** بفضل العالم الكندي **ميشال بارادي(Michel Paradis)** ، الذي صاغ المصطلح من دمج جزئي بين كلمتي **Geo** (الأرض أو الجغرافيا) و**Matics** (الرياضيات التطبيقية أو المعلوماتية)، ليشير إلى ما يُعرف اليوم بـ **"علوم المعلومات المكانية" (Spatial Information Sciences)**. وسرعان ما تبنّت **الجامعات الكندية**، مثل **جامعة لافال (Laval)** و**جامعة كالغاري(Calgary)** ، هذا المفهوم رسميًا، قبل أن ينتشر عالميًا ويصبح أحد الركائز الأساسية في بنية العلوم الجغرافية التطبيقية الحديثة.

ومع **بداية الألفية الثالثة**، دخل الجيوماتيك مرحلة جديدة اتسمت باندماجه مع تقنيات **الذكاء الاصطناعي(AI)** و**تحليل البيانات الضخمة(Big Data Analytics)** ، ممّا مكنه من الانتقال من مستوى تمثيل الظواهر المكانية إلى **تحليلها واستشرافها** عبر تقنيات مثل **التعلم الآلي (Machine Learning)** و**النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D Modeling)** و**المحاكاة المجالية (Spatial Simulation)**. وهكذا، لم يعد الجيوماتيك مجرد مجموعة من الأدوات التقنية، بل أصبح **نظامًا معرفيًا ذكيًا** قادرًا على بناء معرفة مكانية استراتيجية تدعم اتخاذ القرار في مجالات **التخطيط الترابي، إدارة الموارد الطبيعية، المراقبة البيئية والتنمية المستدامة.**

إنّ الجيوماتيك اليوم يقوم على **بنية تكاملية من الأدوات والمناهج** تشمل أجهزة القياس الدقيقة، الخرائط الرقمية، صور الأقمار الصناعية، تقنيات تحديد المواقع والنمذجة الرقمية للمجال. ومع تطور **الحوسبة السحابية والخوارزميات الذكية**، أصبح قادرًا على **معالجة وتحليل كميات هائلة من البيانات المجالية والزمانية في الزمن الحقيقي**، ممّا سمح بفهم أدق للعلاقات المجالية

---

[1] **Establishment of the Canadian Geographic Information System (CGIS)** : نشأ النظام الكندي للمعلومات الجغرافية (CGIS/SCIG) في ستينيات القرن العشرين، وكان أحد أول نظم المعلومات الجغرافية الرقمية واسعة النطاق، صُمم لتخزين وتحليل وإدارة البيانات الجغرافية في كندا، خصوصًا لأغراض التخطيط العمراني وإدارة الموارد، ويُعتبر خطوة أساسية في تطوير تقنيات نظم المعلومات الجغرافية الحديثة.

[2] **Global Positioning System (GPS)** : نظام تحديد المواقع العالمي هو شبكة أقمار صناعية وتقنيات استقبال أرضية تسمح بتحديد الموقع بدقة عالية في أي مكان على سطح الأرض، ويستخدم على نطاق واسع في الجغرافيا الرقمية لتحليل المواقع، التنقل ورصد الظواهر المكانية.

[3] **نظم المعلومات الجغرافية (GIS – Geographic Information Systems)** هي **نظم حاسوبية متكاملة لجمع وتخزين وتحليل وعرض البيانات المكانية والجغرافية وربطها بالمعلومات الوصفية**، بهدف دعم اتخاذ القرار وفهم الظواهر المكانية.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

المعقدة. وبذلك يُعدّ **الجيوماتيك** اليوم **الركيزة المعرفية والعملية للجغرافيا الرقمية والذكية**، وجسرًا أساسياً نحو جغرافيا قادرة على إنتاج معرفة مجالية استباقية تساهم في اتخاذ القرار على أسس علمية دقيقة.

2.2 مكونات منظومة الجيوماتيك: التقنيات الرقمية في خدمة الجغرافيا

يمثل الجيوماتيك منظومة تفاعلية متكاملة تجمع بين عدة تقنيات رقمية مترابطة، تشكل مجتمعة البنية التحتية المعرفية للجغرافيا الرقمية. هذه التقنيات ليست مستقلة عن بعضها، بل تتفاعل فيما بينها ضمن دورة إنتاج متكاملة للمعرفة المكانية. وتشمل التقنيات الرقمية في خدمة الجغرافيا طيفًا واسعًا من الأدوات والوسائل، مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد وتقنيات تحديد المواقع والتحليل المجالي والذكاء الاصطناعي. وتمثل هذه التقنيات اليوم الدعامة الأساسية للتحليل المجالي وتوجيه القرار في مجالات التخطيط الحضري المستدام، إدارة الموارد الطبيعية ورصد التغيرات البيئية والمناخية.

أ. نظم المعلومات الجغرافية(GIS)

تُعد نظم المعلومات الجغرافية[1] الركيزة الأساسية في منظومة الجيوماتيك، إذ تتيح الربط بين المعطيات المجالية والبيانات الإحصائية والوصفية، وتحويلها إلى خرائط رقمية تفاعلية تسهّل فهم العلاقات بين الظواهر الطبيعية والبشرية. بفضل القدرات التحليلية لنظمGIS ، أصبح من الممكن دراسة التفاعلات المجالية المعقدة وإنتاج نماذج كمية دقيقة تساعد صانعي القرار. تتجلّى تطبيقاتها في مجالات عديدة: ففي مجال **التخطيط الحضري**، تُستخدم GIS لرسم خرائط تفصيلية للبنية التحتية، بما يشمل الطرقات، شبكات المياه والصرف الصحي والمرافق العامة. وهو ما يساعد المخططين على تحديد مناطق النمو المستقبلي وتوجيه الاستثمارات بشكل أكثر فعالية.

على صعيد **الزراعة الذكية**، تساهم نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مستويات الرطوبة ومناطق الإنتاج الزراعي وكثافة المحاصيل ومستويات الإجهاد المائي، ممّا يدعم اتخاذ قرارات دقيقة بشأن الري، التسميد وإدارة الأراضي الزراعية ويعزز الاستدامة الزراعية. بالإضافة إلى ذلك، تساهم GIS في **إدارة الكوارث** من خلال توقع المخاطر الطبيعية مثل الفيضانات، الانهيارات الأرضية والزلازل عبر تحليل الخرائط المجالية للظواهر الطبيعية وربطها بالأنشطة البشرية، ممّا يتيح للسلطات اتخاذ إجراءات وقائية واستباقية لتقليل الخسائر البشرية والمادية. وبذلك، أصبحت نظم المعلومات الجغرافية **الوسيط المركزي بين البيانات المجالية واتخاذ القرار ومكوّنًا جوهريًا في إنتاج المعرفة المجالية الرقمية.**

ب. الاستشعار عن بعد(Télédétection)

يُعدّ **الاستشعار عن بعد**[2] إحدى الركائز التقنية الأساسية في منظومة **الجيوماتيك**، إذ يُتيح الحصول على معلومات دقيقة ومتكاملة عن سطح الأرض دون الحاجة إلى اتصال مباشر، وذلك عبر استخدام الأقمار الصناعية أو الطائرات بدون طيار لرصد وتحليل التغيرات البيئية والمجالية بدقة زمنية ومكانية عالية. وتبرز أهمية هذه التقنية من خلال تطبيقاتها المتعددة، حيث تتيح متابعة

[1] **فالح (علي)، شعوان (جمال)، 2012**، نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد: مبادئ وتطبيقات، المغرب، ص 15.

[2] نفس المصدر السابق، ص 22.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

تغيّر الغطاء النباتي عبر رصد تمدد أو تقلص الغابات والمناطق الخضراء، وهو ما يُعدّ عنصرًا حاسمًا في مراقبة التنوع البيولوجي وتقييم المخاطر المرتبطة بظاهرة التصحر.

كما تساهم صور الأقمار الصناعية من تتبّع **ذوبان الجليد ورصد التغيرات المناخية عبر توفير صور دقيقة توضّح** تراجع الأنهار الجليدية وارتفاع مستويات البحار، الأمر الذي يمكّن من وضع استراتيجيات فعّالة للتكيّف مع التغيّر المناخي وحماية التجمعات الساحلية. إلى جانب ذلك، تُعدّ مراقبة **التوسع العمراني** من الاستخدامات الجوهرية لهذه التقنية، إذ تتيح رصد النمو غير المخطط له وتحديد المناطق المهددة بفقدان الأراضي الزراعية أو الغطاء الطبيعي، الأمر الذي يساهم في دعم التخطيط المستدام وإدارة الموارد الطبيعية بكفاءة.

وعند دمج بيانات الاستشعار عن بعد مع **نظم المعلومات الجغرافية**، يتم إنتاج خرائط تحليلية تفاعلية قادرة على تمثيل التحولات المجالية بطريقة ديناميكية، مما يعزّز من قدرة الباحثين والمخططين على فهم الأنماط المجالية ووضع استراتيجيات متكاملة للتنمية المستدامة.

ج. تقنيات تحديد المواقع الجغرافية (GPS وGNSS)

تمثل هذه التقنيات الأساس الدقيق لقياس وتحديد المواقع الجغرافية. وهي تعتمد على منظومات الأقمار الصناعية مثل GPS الأمريكي[1] وGLONASS الروسي[2] وGalileo الأوروبي[3] وBeiDou الصيني[4].

تسمح هذه الأنظمة بتحديد المواقع في الزمن الحقيقي بدقة مترية أو حتى سنتيمترية، وتُستخدم في المسح الطبوغرافي، النقل الذكي، الخرائط التفاعلية وتطبيقات الهواتف الذكية. إنّ دمج بيانات GPS داخل نظم المعلومات الجغرافية يُنتج خرائط ميدانية دقيقة تُحدّث آنيًا، ممّا يجعلها أداة لا غنى عنها في عمليات الرصد الحضري وإدارة الموارد الميدانية.

د. التكامل المنهجي بين مكونات الجيوماتيك

تكمن قوة الجيوماتيك في قدرته على تحقيق التكامل المنهجي بين مكوناته. توفر بيانات الاستشعار عن بعد المادة الأولية، وتقنيات GPS تحدد المواقع بدقة، بينما تقوم نظم المعلومات الجغرافية بتنظيم هذه البيانات وتحليلها، ويعزز الذكاء الاصطناعي قيمتها التفسيرية والتنبؤية. هذا التفاعل جعل من الجيوماتيك منظومة معرفية متكاملة، تعمل على تحويل الإمكانيات الرقمية إلى أدوات تحليلية متقدمة، قادرة على تفسير الواقع المجالي واستشراف تحوّلاته المستقبلية استنادًا إلى البيانات. وبفضل ذلك، تغيّرت طبيعة الممارسة الجغرافية، فلم يعد الجغرافي مجرد مراقب للخريطة، بل أصبح محللًا استراتيجيًا للبيانات المجالية، يصوغ النماذج ويبتكر الحلول الرقمية لتسيير المجال. بذلك، يمثّل الجيوماتيك جسرًا بين المعرفة الأكاديمية وصناعة القرار الترابي.

إجمالا، يُعتبر الجيوماتيك اليوم أحد أعمدة الثورة الرقمية في الجغرافيا، ليس فقط كمنظومة أدوات رقمية، بل كمقاربة معرفية جديدة تعيد تعريف العلاقة بين المجال والمعرفة. ساهم في انتقال الجغرافيا إلى مرحلة التحليل الذكي للمجال. إنّه الإطار الذي

---

[1] **GPS الأمريكي**: نظام تحديد المواقع العالمي الذي طورته الولايات المتحدة لتحديد المواقع والإحداثيات بدقة في أي مكان على سطح الأرض.

[2] **GLONASS الروسي**: نظام الملاحة الفضائية الروسي الذي يوفر خدمات تحديد المواقع والملاحة المشابهة لنظامGPS.

[3] **Galileo الأوروبي**: نظام الملاحة الفضائي التابع للاتحاد الأوروبي، يتميّز بدقته العالية واستقلاليته عن الأنظمة الأخرى.

[4] **BeiDou الصيني**: نظام الملاحة بالأقمار الصناعية الذي طورته الصين لتوفير خدمات تحديد المواقع والملاحة على المستويين الإقليمي والعالمي.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

جعل من البيانات المجالية موردًا استراتيجيًا للمعرفة، ومن الجغرافيا علمًا رقميًا قادرًا على الإسهام في معالجة التحديات المعاصرة للتنمية والاستدامة.

ثانيا: الذكاء الاصطناعي الجغرافي(GeoAI) : نحو الجغرافيا الذكية

شهدت الجغرافيا الرقمية تحوّلًا نوعيًا بفضل دمج التقنيات الرقمية الحديثة، وفي مقدمتها الجيوماتيك، الذي شكل الإطار الشامل للتقنيات المكانية (GIS، الاستشعار عن بعد، GPS، التحليل المجالي). لكن مع زيادة حجم البيانات وتعقيد الظواهر المجالية، برزت الحاجة إلى أدوات قادرة على **التعلم الذاتي، التنبؤ واكتشاف الأنماط الخفية**، وهو ما أتاحه **الذكاء الاصطناعي الجغرافي(GeoAI)** ، ليشكّل المرحلة الثالثة من تطور الجغرافيا بعد التقليدية والرقمية: **الجغرافيا الذكية** .

1. الذكاء الاصطناعي الجغرافي(GeoAI) : المفهوم والنشأة والتطور

1.1 مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافي GeoAI ووظيفته داخل الجغرافيا الذكية

يُمثّل **الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)** نقطة التقاء معرفية وعملية بين **نظم المعلومات الجغرافية(GIS) وعلوم البيانات والذكاء الاصطناعي**، حيث يجمع بين قدرات التحليل المجالي وديناميكية التعلم الآلي لاستخلاص أنماط ومؤشرات جديدة من البيانات المجالية. لا يقتصر دوره على التحسين الآلي لعمليات المعالجة أو تسريع تحليل المعطيات، بل يتجاوز ذلك إلى **إنتاج معرفة مجالية ذكية** تُساهم في اتخاذ قرارات أكثر دقة وفعالية ضمن مجالات التخطيط الحضري والبيئة والنقل والطاقة.

يقوم GeoAI بعمليات **تصنيف واستدلال سببي وتنبؤ زماني–مكاني**، إضافةً إلى **محاكاة سيناريوهات** تساعد على توجيه السياسات الترابية وصياغة استراتيجيات التنمية المستدامة.[1] وبهذا المعنى، يُعد GeoAI **امتدادًا تطبيقيًا متقدّمًا للجيوماتيك، إذ يُحوّل البيانات المكانية إلى نماذج تحليلية ذكية** تُعزز من قدرة الجغرافيا على الفهم والتفسير والتوجيه في سياق "الجغرافيا الذكية".

2.1 نشأة الذكاء الاصطناعي وتطوره

ظهر مفهوم **الذكاء الاصطناعي** لأول مرة سنة **1956** خلال مؤتمر "دارتموث (Dartmouth Conference) " الذي نظّمه العالمان جون مكارثي (John McCarthy) ومارفين مينسكي(Marvin Minsky))،[2] باعتباره مجالًا بحثيًا يسعى إلى محاكاة القدرات الذهنية البشرية عبر الآلة، مثل التعلم، التفكير والتخطيط. عرفت هذه المرحلة الأولى ما يُعرف بـ "الذكاء الرمزي"(Symbolic AI) ، حيث ركّز الباحثون على تمثيل المعرفة بواسطة القواعد المنطقية والخوارزميات. إلاّ أنّ محدودية هذه النماذج في التعامل مع البيانات غير المنظمة أدت إلى ما سُمّي بـ«شتاء الذكاء الاصطناعي» خلال سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين، بسبب ضعف الأداء وقصور الإمكانيات الحسابية.

لكن مع تطور الحواسيب وظهور الخوارزميات الإحصائية وازدياد حجم البيانات الرقمية في تسعينيات القرن الماضي، انبعث الذكاء الاصطناعي من جديد في إطار **التعلّم الآلي(Machine Learning)** ، الذي مكّن الآلات من استخلاص الأنماط

---

[1] **مها كمال حفني، 2023**، استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Geo AI) في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (رؤية مصر 2030) في مجال التعليم، جامعة أسيوط، **ص 370**.

[2] **Wikipédia**, Histoire de l'intelligence artificielle.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

من البيانات بدل برمجتها يدويًا. ثم جاء العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين ليشهد ثورة حقيقية مع **التعلّم العميق Deep Learning**)[1] وظهور الشبكات العصبية الاصطناعية القادرة على تحليل الصور، اللغة والأصوات بدقة غير مسبوقة. هذه النقلة التكنولوجية فتحت الباب أمام تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات جديدة، من بينها العلوم الجغرافية والمكانية، التي وجدت فيه أداة قوية لتجاوز محدودية النماذج الكلاسيكية في معالجة البيانات المكانية الضخمة والمعقدة.

3.1 دخول الذكاء الاصطناعي إلى الجغرافيا

بدأ الاهتمام باستخدام الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا خلال أواخر ثمانينيات وبداية تسعينيات القرن الفارط، مع ظهور المحاولات الأولى لدمج **الأنظمة الخبيرة (Expert Systems)** في نظم المعلومات الجغرافية. فقد استخدم الباحثون في تلك المرحلة خوارزميات منطقية لاتخاذ القرار في مجالات التخطيط الحضري وإدارة الموارد. غير أنّ الاعتماد الفعلي والواسع للذكاء الاصطناعي في الجغرافيا لم يتحقق إلا بعد سنة 2010،[2] مع بروز الذكاء الاصطناعي الجغرافي(GeoAI) ، وهو مجال يجمع بين الجغرافيا الرقمية وعلوم البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي.

جاء ظهور **الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)** نتيجة تلاقي ثلاث ثورات متزامنة شكّلت معًا الأساس لتحوّل معرفي وتقني عميق في الجغرافيا المعاصرة. تمثلت الأولى في **الثورة الرقمية المكانية**، التي أفرزت كمًّا هائلًا من البيانات الجغرافية الناتجة عن الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار الأرضية والهواتف الذكية، مما وفّر مادة خامًا غنية للتحليل المجالي المتقدم. أمّا الثانية فهي **الثورة الحسابية**، التي مكّنت من معالجة مليارات المعطيات بسرعة وكفاءة غير مسبوقتين بفضل تطور القدرات الحاسوبية والخوادم عالية الأداء.[3] في حين تمثلت الثالثة في **الثورة الخوارزمية** التي أتاحها **التعلّم العميق والتعلّم الآلي**، والتي فتحت آفاقًا جديدة لاكتشاف الأنماط والعلاقات المكانية غير المرئية سابقًا، ممّا جعل من GeoAI أداة مركزية لإنتاج معرفة مجالية أكثر عمقًا وديناميكية[4]. منذ ذلك الحين، أصبح الذكاء الاصطناعي جزءًا أساسيًا من أدوات التحليل الجغرافي.

4.1تطور الجغرافيا: من الجغرافيا الرقمية إلى الجغرافيا الذكية

عرفت الجغرافيا خلال العقود الأخيرة تحوّلًا نوعيًا في مقارباتها ومناهجها، من مرحلة الرقمنة التي ميّزت عصر الجيوماتيك إلى مرحلة أكثر تقدمًا تتمثل في الجغرافيا الذكية. هذه المرحلة تقوم على توظيف الذكاء الاصطناعي والتحليل الحسابي المتقدّم لفهم المجال، متجاوزة الطابع الوصفي والتمثيلي للمكان لتصبح علمًا تفاعليًا قادرًا على استنتاج الأنماط المجالية وتحليل العلاقات المعقدة بين الظواهر.

---

[1] **شروخ (محمد محمود) وآخرون، 2023**، تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع البرمجة والذكاء الاصطناعي الجيومكاني لدعم أساليب تحليل البيانات المكانية، جامعة جنوب الوادي، مصر، ص 143.

[2] **عجرمة (أشرف عبده علي)، 2022**، أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق، جامعة القاهرة، ص 101.

[3] **الخوادم عالية الأداء** *High-Performance Servers* أو *High-Performance Computing Servers – HPC* هي أنظمة حاسوبية متطورة تتيح تنفيذ عمليات حسابية معقدة على كميات ضخمة من البيانات في وقت وجيز.

[4] **عجرمة (أشرف عبده علي)، 2022**، نفس المصدر السابق، ص ص 98-101.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

برز الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) كأحد أهم تجليات هذا التحوّل، لما يتيحه من إمكانات عالية في بناء معرفة مكانية ذكية تدعم اتخاذ القرار في مجالات متعددة، مثل رسم خرائط الكثافة الحرارية،[1] تصنيف الغطاء الأرضي، إدارة الطاقة، مراقبة التغيرات المناخية، التنبؤ بالمخاطر الطبيعية، التخطيط الحضري، وتطوير أنظمة النقل الذكي. ويقوم هذا التوجه على دمج الفكر التحليلي الجغرافي بالقدرات الحسابية الذكية، ممّا يتيح صياغة رؤية ديناميكية وشمولية للمجال تتجاوز أدوات نظم المعلومات الجغرافية التقليدية[2].

من الناحية المنهجية، تعتمد الجغرافيا الذكية على دمج البيانات متعددة المصادر، بما يشمل المعلومات الميدانية، بيانات الاستشعار عن بعد، والتحليلات الزمنية واللحظية. تُعالج هذه البيانات عبر البنى السحابية والحافة،[3] مع استخدام نماذج GeoAI للتصنيف، التنبؤ والمحاكاة لإنتاج خرائط وسيناريوهات تدعم اتخاذ القرار بسرعة ودقة.

ويبقى الدور البشري جوهريًا، حيث يتجاوز الجغرافي القراءة التقليدية للخرائط ليصبح مصممًا للنماذج، مفسّرًا لمخرجاتها ومنظّمًا لعملية توليد المعرفة. هذا التفاعل بين الإنسان والآلة يخلق منظومة معرفية مستدامة وقادرة على التعلم الذاتي ليُحوّل الجغرافيا الذكية إلى أداة لفهم التعقيدات البيئية والاجتماعية المستقبلية. كما تفتح الجغرافيا الذكية آفاقًا بحثية جديدة، تشمل تطوير نماذج هجينة تربط القوانين الفيزيائية بالنهج البياناتي،[4] تعزيز قابلية تفسير النماذج المكانية وتوظيف الذكاء التوليدي لإنتاج سيناريوهات مكانية واقتصادية قبل اتخاذ القرار، الأمر الذي يجعل الجغرافي شريكًا معرفيًا فاعلًا في إنتاج فهم مكانيّ متقدم.

2. آليات ونماذج الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا الرقمية

تعتمد آليات توظيف الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا الرقمية على مجموعة من الخوارزميات المتقدمة في مجالي **التعلم الآلي** (**Machine Learning**)**والتعلم العميق** (**Deep Learning**) والتي تشكّل البنية التقنية والمعرفية الأساسية للذكاء الاصطناعي في العلوم الجغرافية.[5] تُستخدم **الشبكات العصبية الالتفافية**(**CNNs**) بشكل واسع لتحليل الصور الفضائية والطائرات بدون طيار، بما يتيح استخراج الخصائص الطيفية والمورفولوجية وتصنيف الغطاء الأرضي ورصد التغيرات البيئية والتحوّلات الحضرية والزراعية بدقة عالية.

من ناحية أخرى، تُوظف **الشبكات العصبية التكرارية** (**RNNs**) ونماذج **LSTM** لمعالجة البيانات المكانية–الزمانية المتتابعة. وتمكّن هذه النماذج من تحليل التغيرات المكانية–الزمانية، وتتبّع ديناميات الظواهر الجغرافية عبر الزمن، مثل تطور التصحر أو تغير استعمالات الأراضي أو تحركات الكثافة السكانية والتنبؤ بالتحوّلات المستقبلية.

---

[1] **السعدي (قاسم محمد نعمة)، 2025**، الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا: تطبيقاته وأدواته، جامعة كربلاء، ص 384.

[2] أي أنها **تتخطّى الوظائف الكلاسيكية لـ GIS** لتدخل مرحلة أكثر تطورًا من **التحليل الذكي القائم على التعلّم الآلي والاكتشاف التلقائي للأنماط المكانية**.

[3] **البنى السحابية** :خوادم بعيدة تُستخدم لتخزين ومعالجة البيانات عبر الإنترنت، مما يتيح تحليل كميات ضخمة من المعلومات المكانية. **بنى الحافة** :أنظمة معالجة قريبة من مصدر البيانات، مثل الحساسات أو الأجهزة الميدانية، تتيح تحليلًا لحظيًا وسريعًا دون الحاجة للاتصال الدائم بالسحابة.

[4] **النهج البياناتي** (**Data-driven Approach**) : هو مصطلح يُستخدم في العلوم والبحث العلمي، ويعني **اعتماد التحليل واتخاذ القرار على البيانات نفسها بدلًا من الاعتماد فقط على الفرضيات أو النماذج النظرية**.

[5] **الخزامي (محمد)، 2025**، الذكاء الاصطناعي الجغرافي: أسس وبرمجة وتطبيقات، مركز البحوث الجغرافية والكارتوجغرافية، جامعة المنوفية، القاهرة، ص 117.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

كما تلعب **خوارزميات التعلم المعزز (Reinforcement Learning)** دورًا في تطوير حلول التحسين المكاني واتخاذ القرار الديناميكي، مثل تحديد المواقع المثلى للبنية التحتية أو تخطيط شبكات النقل وإدارة الموارد الطبيعية وفق سيناريوهات متعددة، ليتحوّل المجال الجغرافي إلى مختبر محاكاة ذكي قادر على استكشاف البدائل المكانية المثلى استنادًا إلى بيانات واقعية ونماذج تعلم ذاتي.

تعمل هذه النماذج معًا على تحويل **كمّ هائل من البيانات المكانية (Big Spatial Data)** إلى معرفة قابلة للتفسير والتطبيق، ممّا يعزز قدرات الجغرافيا الرقمية على الفهم الاستباقي للمجال ودعم اتخاذ القرار في التخطيط الحضري، المراقبة البيئية، التنمية المستدامة وإدارة المخاطر الطبيعية.

بذلك، يمثل الذكاء الاصطناعي الجغرافي اليوم **ركيزة أساسية لتطوير الجغرافيا الذكية**، حيث يدمج التحليل المكاني التقليدي مع النماذج الحسابية الذكية لإنتاج معرفة مكانية ديناميكية وشاملة، تمكّن الجغرافيين من التعامل مع التعقيدات البيئية والاجتماعية المستقبلية بدقة وفعالية.

3. البيانات المكانية والزمانية كمحرّك رئيسي للذكاء الجغرافي

تُعد البيانات المكانية والزمانية الركيزة الأساسية ومحركًا رئيسيًا لمنظومة الذكاء الاصطناعي الجغرافي(GeoAI) ، إذ تمثل المادة الخام التي تغذي النماذج الحسابية الذكية بالمعرفة الكامنة في المكان والزمان. ومن خلالها، يتحوّل المجال الجغرافي من مجرد مجال للتمثيل إلى بنية معرفية قابلة للتحليل والتنبؤ والاستشراف.[1]

تتعدد هذه البيانات من حيث المصدر والدقة والبنية المكانية والزمانية، وتشمل بشكل أساسي صور الأقمار الصناعية، التي تتنوع بحسب نوعها ووظيفتها، فالصور البصرية (Optical Imagery) تُستخدم لتحليل الغطاء الأرضي والمظاهر الطبيعية والأنشطة البشرية ضمن الطيف المرئي، بينما تساعد الصور الحرارية (Thermal Imagery) في قياس الانبعاثات الحرارية وتحديد مؤشرات الجزر الحرارية الحضرية.[2] أمّا الصور الرادارية (SAR – Synthetic Aperture Radar) فتسمح برصد التغيرات السطحية حتى في ظل الغطاء السحابي أو أثناء الليل، ممّا يجعلها أداة فعالة لمتابعة الكوارث الطبيعية والانزلاقات الأرضية.

كما تشكّل بيانات LIDAR (Light Detection and Ranging) والسحب النقطية ثلاثية الأبعاد 3D (Point Clouds) [3] نقلة نوعية في تمثيل البنية الطبوغرافية والمعمارية بدقة عالية. هذه البيانات تُستخدم لإنشاء نماذج ارتفاع رقمية (Digital Elevation Models – DEMs)،[4] تُفيد في التحليل الهيدرولوجي والتخطيط الحضري وتقدير

---

[1] **شروخ (محمد محمود) وآخرون، 2023**، نفس المصدر السابق، ص ص 145-146.

[2] **تحديد مؤشرات الجزر الحرارية الحضرية: قياس وفهم خصائص هذه الظاهرة وتحليل شدتها ومكان ظهورها ومصدرها** باستخدام بيانات مكانية وزمنية. الهدف هو **تقييم مدى تأثير التوسع الحضري على درجات الحرارة المحلية وفهم النمط المكاني للحرارة داخل المدن.**

[3] **بيانات LIDAR والسحب النقطية ثلاثية الأبعاد** تشير إلى تقنيات تعتمد على أشعة الليزر لالتقاط ملايين النقاط الدقيقة التي تمثل شكل السطح والمباني بدقة عالية، بهدف إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للطبوغرافيا والبيئة.

[4] أي أنّ **المعطيات المكانية أو الجغرافية التي تم جمعها** (مثل بيانات الاستشعار عن بعد، التصوير الجوي، أو القياسات الطبوغرافية) يمكن استخدامها لإنشاء **نموذج ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض**، يمثل **ارتفاع كل نقطة في المنطقة المدروسة** بدقة عالية.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

المخاطر البيئية. ويضاف إليها بيانات GPS والملاحظات الميدانية، لتوفير إحداثيات دقيقة في الزمن الحقيقي، ممّا يُمكّن من متابعة حركة السكان، أنماط النقل، أو التغيرات البيئية قصيرة المدى.

ولا تقل الصور متعددة الأطياف (Multispectral) والفرط طيفية (Hyperspectral)[1] أهمية، إذ تمكّن من التمييز الدقيق بين مكونات السطح الأرضي، وتحليل مؤشرات الغطاء النباتي، الرطوبة، نوعية التربة، وتقدير الإنتاجية الزراعية. تُرفق هذه البيانات عادةً ببيانات وصفية (Metadata) تحدد الإحداثيات، دقة الصورة، تاريخ الالتقاط والمعايير الفيزيائية للتحليل الطيفي.

التعامل مع هذا الكم الهائل والمتنوع من البيانات يحتاج إلى **نماذج تحليلية ذكية** قادرة على المعالجة التلقائية (Automated Processing)، استخلاص السمات المكانية(Feature Extraction) وتصنيف الكيانات الأرضية (Land Cover Classification).وهنا يظهر دور الذكاء الاصطناعي في تحويل البيانات الخام إلى معرفة مكانية مركبة، من خلال اكتشاف الأنماط المكانية والزمانية الدقيقة، والتعرف على العلاقات المخفية بين المتغيرات الجغرافية واستشراف التغيرات المستقبلية في النظم البيئية والحضرية.

أسهمت هذه التقنيات في **تحقيق قفزة نوعية في دقة التحليل المكاني**، إذ أصبح بالإمكان رصد التحوّلات البيئية أو المجالية بدقة عالية زمنياً ومكانياً. فبفضل الذكاء الاصطناعي يمكن متابعة إزالة الغابات، الامتداد العمراني، تغير استعمالات الأراضي... وكل ذلك تقريبًا في الزمن الحقيقي، ممّا يسمح ببناء مؤشرات مكانية تنبؤية تدعم التخطيط المستدام والإدارة البيئية الذكية.

ولا يقتصر دور البيانات على التحليل فقط، بل يشمل **التعلّم المستمر للنماذج الذكية**. تُستخدم البيانات الزمنية لتحديث الخوارزميات بشكل دوري، ممّا يمنح نظام الذكاء الجغرافي قدرة على التطوّر الذاتي .(Adaptive Learning) كل دورة بيانات جديدة تمثل استجابة تفاعلية تحسّن من أداء النموذج ودقته التنبؤية، الأمر الذي يجعل العلاقة بين البيانات والذكاء علاقة مستمرة وتفاعلية بين "المكان" و"المعرفة."

لم يكن تطور الذكاء الجغرافي ممكنًا لولا **الثورة في توليد البيانات المكانية الضخمة(Big Spatial Data)** ، وتقدّم قدرات التخزين والمعالجة السحابية، التي سمحت بدمج مصادر البيانات المختلفة ضمن بيئات تحليل موحّدة. ومن هنا، أصبحت البيانات المكانية والزمنية أكثر من أداة لرسم الخرائط أو القياس، فهي عنصر معرفي يغيّر طريقة التفكير الجغرافي من التمثيل الثابت إلى **فهم ديناميكي للنظام المكاني وحركته وتحولاته**.

4. التكامل بين الذكاء الاصطناعي التوليدي ونظم المعلومات الجغرافية

يشهد الحقل الجغرافي في العقد الراهن ثورة معرفية وتقنية مع بروز الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI) ونماذج اللغة الكبيرة (Large Language Models – LLMs). [2] هذه التقنيات تجاوزت حدود التحليل التقليدي

---

[1] **الصور متعددة الأطياف (Multispectral) والفرط طيفية (Hyperspectral)** هي تقنيات تصوير أرضي تلتقط معلومات ضوئية في عدة أو مئات النطاقات لتحديد مكونات السطح والغطاء الأرضي بدقة عالية ودعم التحليل المكاني والذكاء الاصطناعي الجغرافي.

[2] **العتيبي (نواف إبراهيم)، 2025**، استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي كنماذج اللغة الكبيرة ك ChatGpt في تعزيز قدرات نظم المعلومات الجغرافية GIS، مدونة في نظم المعلومات الجغرافية والبحث العلمي، مارس 2025.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

لتدخل مرحلة جديدة من الإبداع التوليدي للمعرفة المكانية. لم يعد الذكاء الاصطناعي أداة لمعالجة البيانات فقط، بل أصبح شريكًا معرفيًا في إنتاج المعلومة الجغرافية وفهم العلاقات المكانية المعقدة.

لقد أحدث هذا التطور تحوّلًا جوهريًا في التفاعل بين الجغرافي والآلة، وبين الإنسان والمكان. سابقًا، كانت نظم المعلومات الجغرافية تعتمد على أوامر تقنية دقيقة يُدخلها المستخدم، أمّا اليوم، فيمكن التواصل مع النظام بلغة الإنسان الطبيعية. على سبيل المثال، يمكن للباحث أن يطلب "أنشئ خريطة للمناطق ذات الكثافة الحرارية العالية في شمال تونس خلال شهر أوت"، فيقوم النظام بتحليل البيانات المكانية ومعالجة صور الأقمار الصناعية وتقديم النتائج في خرائط تفاعلية مفسرة تلقائيًا.[1]

هذا التكامل يفتح الباب لما يُعرف بالتحليل الجغرافي الذكي المستقل(Generative Spatial Reasoning) ، حيث يمكن للنظام توليد فرضيات مكانية جديدة واكتشاف الروابط بين الظواهر المجالية بطريقة استقرائية، متجاوزًا منطق البرمجة التقليدية. ويؤدي ذلك إلى ظهور نظم معلومات جغرافية ذاتية التشغيل(Autonomous GIS) ، قادرة على التعلم الذاتي، التكيف مع السياق والاستجابة التفاعلية المعرفية، ممّا يحول GIS من أداة تحليلية إلى كيان معرفي ذكي يمتلك قدرة تفسيرية واستنتاجية.

كما يتيح الذكاء التوليدي إعادة تصور الخرائط نفسها كمنتجات معرفية ديناميكية. فالخرائط لم تعد تمثيلات ثابتة، بل تتغيّر مع كل تحديث للبيانات أو كل استفسار جديد. بالاعتماد على التعلم العميق ونماذج اللغة، يمكن للنظام إنشاء خرائط ثلاثية الأبعاد[2] وسيناريوهات تنبؤية(Predictive Spatial Analytics) تُمكّن من محاكاة الظواهر المكانية واستشراف تطورها المستقبلي.

من ناحية أخرى، يسهّل هذا التكامل الوصول إلى المعرفة الجغرافية، إذ أصبح استخدام نظم المعلومات الجغرافية ممكنًا حتى لغير الخبراء، من خلال واجهات ذكية تفهم الاستعلامات اللغوية وتقدّم مخرجات مفهومة. بالتالي، يتحوّل التحليل المكاني إلى عملية تشاركية يشارك فيها باحثون ومخططون وصناع القرار، مع تعزيز إمكانية الاستخدام الجماعي للمعرفة.

من الناحية النظرية، يُعيد هذا التكامل صياغة العلاقة بين التمثيل المكاني والمعرفة الجغرافية. فالجغرافيا الذكية لم تعد تقتصر على توصيف المكان، بل تُعيد تعريفه ككيان ديناميكي متغيّر يمكن توليده معرفيًا باستمرار من خلال التحليل الذكي للبيانات. بذلك، يصبح الذكاء الاصطناعي التوليدي أداة أساسية لفهم المجال باعتباره نظامًا معرفيًا ذاتي التفاعل. ومع تطور قدرات الحوسبة السحابية[3] والنماذج اللغوية المتقدمة، يُتوقّع أن تشهد السنوات القادمة ظهور نظم GeoAI تفاعلية بالكامل، قادرة على تفسير، تحليل وإنتاج المعرفة الجغرافية في الزمن الحقيقي، لتصبح الجغرافيا علمًا تشاركيًا ذكيًا يتجاوز التمثيل نحو الفهم التوليدي للمكان.

إجمالًا، يمثل الانتقال من الجغرافيا التقليدية إلى الجغرافيا الذكية المعتمدة على GeoAI تحوّلًا معرفيًا ومنهجيًا عميقًا، حيث لم يعد الهدف مجرد وصف الظواهر المكانية، بل تفسير الأنظمة المعقدة والتنبؤ بتطوراتها المستقبلية، مع دعم التخطيط الحضري المستدام، إدارة الموارد وحوكمة الظواهر البيئية والاجتماعية من خلال منظومة ذكية متكاملة تجمع بين الإنسان والآلة.

---

[1] **عزاز (لطفي كمال)، 2022**، الاتجاهات الحديثة والمستقبلية في نظم المعلومات الجغرافية في 2020، جامعة المنوفية، مصر، ص 101.

[2] **عزاز (لطفي كمال)، 2022**، نفس المصدر السابق، ص 118.

[3] **عزاز (لطفي كمال)، 2022**، نفس المصدر السابق، ص 115.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

ثالثا: الجغرافيا الرقمية والذكاء الاصطناعي: أدوات استراتيجية لتحقيق التنمية المستدامة

أصبحت الجغرافيا الرقمية والذكاء الاصطناعي اليوم إطارًا معرفيًا وتقنيًا أساسيًا لفهم المجال وإدارته بصورة مستدامة. فبفضل تكامل نظم المعلومات الجغرافية، تقنيات الاستشعار عن بعد، والتحليل الذكي للبيانات، أصبح بالإمكان متابعة الظواهر البيئية والحضرية بدقة عالية والتنبؤ بتحوّلاتها المستقبلية. وهذا ما يجعل هذه الأدوات ركيزة استراتيجية لدعم القرار في التخطيط الحضري، مواجهة التغيرات المناخية وإدارة الموارد الطبيعية، بما يعزّز قدرة المجتمعات على التكيّف ويضمن توازنًا بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة.

1. دعم التخطيط الحضري الذكي

يُعدّ التخطيط الحضري الذكي أحد الركائز الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة في المدن المعاصرة،[1] إذ يجمع بين التحليل الجغرافي، الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) لإدارة المجال الحضري بكفاءة ومرونة. وتُسهم الجغرافيا الرقمية والتحليل المكاني الذكي في إنتاج معرفة مجالية دقيقة تمكّن صانعي القرار من فهم ديناميات المدينة في الزمن الحقيقي، بما يسمح بإعادة تصميم المجال الحضري اعتمادًا على الأنماط الفعلية للسكان بدل التصورات التخطيطية التقليدية.

من خلال أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) والمنصات الجيومعلوماتية، تُجمع كميات ضخمة من البيانات المتعلقة بحركة المرور، استهلاك الطاقة، الكثافة السكانية وجودة الهواء، ثم تُدمج ضمن نماذج تحليلية معتمدة على خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق. يتيح هذا الدمج توقع السلوك الحضري واقتراح سيناريوهات تخطيطية مستدامة، مثل تعديل توقيت الإشارات الضوئية أو تحسين تدفق المرور للحد من الازدحام والانبعاثات. فعلى سبيل المثال، يمكن تحليل تدفق العربات في مختلف ساعات اليوم عبر الكاميرات والمجسات الذكية،[2] ثم استخدام النمذجة التنبؤية لتعديل توقيت الإشارات الضوئية أو اقتراح مسارات بديلة لتقليل الازدحام والانبعاثات الكربونية[3].

كما يُسهِم التحليل المكاني في تحسين توزيع الخدمات العامة (من مدارس ومراكز صحية ونقل) استنادًا إلى بيانات السكان، البنية التحتية ومؤشرات الرفاه، بما يضمن عدالة مجالية ويحدّ من التفاوتات داخل المدن. ويساعد ذلك في مراقبة الامتداد الحضري وضبط التحوّلات المجالية في المدن التي تشهد توسعًا غير منظم، كما هو الحال في مدن مغاربية عدة.

تقدّم نظم GeoAI قيمة إضافية عبر تحليل الصور الفضائية ورصد التحولات الحضرية بدقة، مما يتيح الكشف المبكر عن التوسع العشوائي أو تدهور الأراضي. كما تمكّن النمذجة الديناميكية والذكاء التوليدي من محاكاة سيناريوهات مستقبلية للتوسع العمراني، بما يمنح المخططين قدرة أكبر على الاستباق والتوقع.

---

[1] **شنودة (بسنت أسامة) وآخرون**، 2025، المدن الذكية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة، مشروع بحث بإشراف أمل محمود محمد، جامعة عين شمس، يوليو 2025، ص 26.

[2] **المجسّات الذكية:(Smart Sensors)** هي أجهزة إلكترونية قادرة على **رصد وجمع البيانات من البيئة المحيطة** (مثل درجة الحرارة، جودة الهواء، مستوى الضجيج، حركة المرور، أو تدفق الأشخاص والعربات) ثم **تحليلها أو إرسالها بشكل فوري** إلى أنظمة مركزية لمعالجتها واتخاذ قرارات تلقائية أو دعم التخطيط الحضري.

[3] **عزيز (المحمد)، 2023**، دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة، جامعة الحسن الأول، المغرب، ، ص 259.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

وفي هذا السياق، ينتقل دور الجغرافي من مراقب للظواهر إلى شريك معرفي فاعل يشارك في تصميم النماذج وتحليل المخرجات وبناء المعرفة المجالية. كما يُعزّز التخطيط التشاركي دور المواطن عبر منصات Participatory GIS وتطبيقات الهواتف الذكية التي تتيح الإبلاغ عن المشكلات واقتراح الحلول، ممّا يساهم في اتخاذ قرارات أكثر فعالية واستدامة.

2. مواجهة التغير المناخي

تُمثل الجغرافيا الرقمية اليوم أحد الأدوات العلمية الأكثر تقدماً في مواجهة التغيرات المناخية، نظرًا لما توفره من قدرة فائقة على جمع ومعالجة وتحليل البيانات المكانية والزمانية بدقة عالية. من خلال دمج تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وخوارزميات الذكاء الاصطناعي، أصبح بالإمكان تطوير نماذج تنبؤية متقدمة لرصد الظواهر المناخية والتغيرات البيئية، بما في ذلك الفيضانات، موجات الجفاف وارتفاع مستوى سطح البحر.[1]

فباستخدام بيانات الطقس اللحظية من الأقمار الصناعية ومحطات الرصد الأرضية، تقوم الأنظمة الذكية بتحليل الأنماط المناخية غير المستقرة عبر نماذج تعلم آلي تتنبأ بموجات الجفاف أو الأمطار الغزيرة قبل حدوثها. هذا التنبؤ المبكر يتيح للحكومات والسلطات المحلية إعداد استراتيجيات وقائية فعّالة، تشمل تحسين شبكات الصرف المائي، إدارة السدود وتوزيع الموارد المائية بطريقة تضمن الأمن المائي والغذائي للمجتمعات. كما تتيح تقنيات الاستشعار عن بعد والمراقبة عبر الأقمار الصناعية متابعة التغيّر في السواحل نتيجة ارتفاع مستوى البحر، وهو أحد أبرز آثار الاحتباس الحراري. تُستخدم هذه المعطيات في رسم خرائط دقيقة للمناطق المهددة بالغمر، بما يساعد على وضع خطط لإعادة تأهيل السواحل أو إعادة توطين السكان في مناطق آمنة.

وفي المناطق الجافة وشبه الجافة، تمكّن الجغرافيا الرقمية من رسم خرائط التصحر عبر تتبع التغيرات في الغطاء النباتي والتربة على مدى زمني طويل. كما تُستخدم الصور متعددة الأطياف[2] لرصد تدهور الأراضي الزراعية وتراجع الإنتاجية البيئية، ممّا يساعد على صياغة برامج فعالة لمكافحة التصحر تشجع على الزراعة المستدامة واستعادة الأراضي المتدهورة.

علاوة على ذلك، يتيح التكامل بين الجغرافيا الرقمية والذكاء الاصطناعي تطوير أدوات تقييم المخاطر البيئية على مستوى السياسات العامة. يمكن على سبيل المثال بناء منصات رقمية تجمع بيانات الانبعاثات، نوعية التربة وأنماط الاستهلاك البشري للطاقة والمياه لتحليل تأثير الأنشطة البشرية على المناخ ووضع استراتيجيات للحد من الانبعاثات وتعزيز التكيف مع التغيّر المناخي. كما يتيح هذا التكامل نمذجة سيناريوهات مستقبلية تساعد صناع القرار على اختبار سياسات التكيّف والتخفيف قبل تنفيذها فعليًا. إنّ هذا التكامل بين الجغرافيا والذكاء الاصطناعي يعزز قدرة المجتمعات على التكيّف المناخي، من خلال تقديم أدوات استشعار مبكر وتوجيه السياسات نحو التخفيف من الانبعاثات وتعزيز المرونة البيئية.

3. إدارة الموارد الطبيعية

تُعد **إدارة الموارد الطبيعية** من أكثر المجالات استفادة من تطبيقات الجغرافيا الرقمية والذكاء الاصطناعي، نظرًا لما توفره من رؤية شاملة لتفاعل الإنسان مع بيئته وقدرته على استغلال الموارد بطريقة مستدامة. إنّ الدمج بين البيانات المكانية، نظم

---

[1] **الهاشم (أحمد)، 2024**، الذكاء الاصطناعي في مواجهة مشكلات البيئة والمناخ، مجلة الشبكة العراقية، أكتوبر 2024.

[2] **الصور متعددة الأطياف (Multispectral Images)**: هي صور تُلتقط بواسطة **أجهزة استشعار عن بُعد (مثل الأقمار الصناعية)** تسجّل **الضوء المنعكس من سطح الأرض في عدة نطاقات (أطياف) من الإشعاع الكهرومغناطيسي**، وليس فقط في الضوء المرئي للعين البشرية.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

المراقبة الذكية والتحليل التنبؤي يمكّن من التحكم في استهلاك المياه ومراقبة التوسع الزراعي وضمان الاستخدام الرشيد للطاقة والموارد الحيوية.

ففي مجال المياه، تُستخدم أنظمة الذكاء الاصطناعي لرصد أنماط الاستهلاك في المدن والمناطق الريفية عبر تحليل البيانات القادمة من أجهزة استشعار ذكية ومحطات التدفق الرقمية. وتعمل هذه الأنظمة على كشف حالات الهدر والتسرب في الشبكات المائية، ممّا يتيح التدخل السريع لترشيد الاستهلاك وضمان استدامة الموارد.

أما **في القطاع الزراعي**، فتساهم التحليلات الجغرافية في تتبع التوسع الزراعي ومراقبة استخدام الأراضي. من خلال النماذج المكانية الذكية، يمكن تحديد المناطق المعرضة للاستنزاف وتدهور التربة واقتراح أنماط زراعية أكثر استدامة تعتمد على تناوب المحاصيل، اعتماد الأساليب الزراعية للمحافظة على الموارد الطبيعية مثل الحد من حرث التربة واستعمال الأسمدة العضوية. بالتالي يساهم في الحفاظ على خصوبة التربة والحد من تدهور الغطاء النباتي الطبيعي.

كما تمثل حماية التنوع البيولوجي بُعدًا أساسيًا في إدارة الموارد الطبيعية. إذ تُمكّن تقنيات الاستشعار المكاني وتحليل الصور الفضائية من تتبع التغيّرات في المواطن الطبيعية للأنواع الحيوانية والنباتية، وتحديد المناطق الحساسة التي تحتاج إلى تدخل عاجل للحماية. تدعم قواعد البيانات الجغرافية وضع السياسات البيئية وتخطيط المحميات الطبيعية عبر تحديد نطاقات الانتشار البيولوجي والضغط البشري على النظم الإيكولوجية[1].

إن توظيف الجغرافيا الرقمية والذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد الطبيعية يعكس تحولًا معرفيًا نحو إدارة مستندة إلى البيانات(Data-driven management) ، حيث يصبح القرار البيئي أكثر دقة وفعالية. وهكذا، تتجسد الجغرافيا كعلم استشرافي قادر على بناء توازن بين الاستخدام العقلاني للموارد وحماية النظم البيئية في ظل تحديات التغير المناخي العالمي. وبينما تهدف إدارة الموارد الطبيعية إلى الاستخدام المستدام للموارد الحيوية، يصبح من الضروري دعم هذه المجهودات بحماية النظم الإيكولوجية التي تؤمن استمرارية هذه الموارد واستدامة التوازن البيئي.

يتضح ممّا سبق أنّ الجغرافيا الرقمية، مدعومة بالذكاء الاصطناعي، أصبحت أداة استراتيجية لتحقيق التنمية المستدامة على المستويات الحضرية والبيئية والزراعية. فهي لا تقتصر على جمع البيانات وتحليلها، بل تمتد لتقديم حلول عملية للتخطيط الحضري الذكي، مواجهة التغير المناخي وإدارة الموارد الطبيعية بفعالية. هذه الأدوات تجعل من المدن والمجتمعات أكثر مرونة، قادرة على التكيّف مع التحديات البيئية والاجتماعية وتحقق توازنًا بين احتياجات السكان والحفاظ على البيئة، ممّا يعزز من جودة الحياة ويؤسس لمستقبل مستدام.

4. تجارب عالمية ومحلية في دعم التخطيط الحضري والتنمية المستدامة

1.4 التجارب العالمية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي

أحدثت تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) نقلة نوعية في استخدام البيانات المكانية على مستوى العالم، مؤثرة بشكل مباشر على قطاعات البيئة، التخطيط العمراني، الزراعة وإدارة الموارد الطبيعية. ففي مجال **الرصد البيئي وتغيّر المناخ**، تعاونت شركات كبرى مع مؤسسات متخصصة في نظم المعلومات الجغرافية لتطوير خرائط تغطية أرضية عالية الدقة، مثل

[1] **سعد (عماد)، 2025**، تحديات الذكاء الاصطناعي في إدارة المحميات الطبيعية والمناطق الرطبة، الشبكة العراقية لنخلة التمر، 5 ص.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

الشراكة بين Microsoft [1] وEsri[2] التي أنتجت خريطة عالمية بدقة تصل إلى 10 أمتار، ممّا مكّن من مراقبة التغيرات البيئية لحظيًا وعلى نطاق واسع، ودعم اتخاذ القرارات الاستراتيجية المرتبطة بالتكيّف مع تغيّر المناخ.[3]

وفي قطاع **البنية التحتية الحضرية**، استخدمت شركات مثل **AT&T** [4] الذكاء الاصطناعي المدمج مع البيانات المناخية لتحديد نقاط ضعف شبكات المرافق أمام مخاطر الفيضانات المستقبلية،[5] بينما اعتمدت ولاية **بافاريا** في ألمانيا على نماذج ذكية لتحليل صور الطرقات ورصد مؤشرات التآكل قبل وصولها إلى مرحلة الصيانة الطارئة، أدى إلى خفض التكاليف وتحسين كفاءة الصيانة.[6]

أمّا في المجال **الزراعي والغابات**، فقد مكّنت الأتمتة الذكية (التحكم الآلي)[7] في **فنلندا** من تحسين برامج الزراعة والحصاد عبر دمج صور الأقمار الاصطناعية مع بيانات الأرصاد الجوية، الأمر الذي ساهم في زيادة الإنتاجية وضمان استدامة الموارد الطبيعية.[8] وبهذا الشكل، أصبح الذكاء الاصطناعي أداة جوهرية لدعم صنع القرار المكاني في مختلف القطاعات، سواء الصناعية أو البيئية أو الزراعية، من خلال تقديم تنبؤات دقيقة ومراقبة مستمرة للعمليات الحيوية.

وتوسعت التطبيقات لتشمل المدن الكبرى حول العالم، حيث تستخدم شركات مثل **Google** و **Microsoft** تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الصور الفضائية ورصد التوسع العمراني والتغيرات البيئية. ففي **هولندا**، تُوظف الخوارزميات الذكية للتنبؤ بمناطق الفيضانات اعتمادًا على بيانات هيدرولوجية وخرائط طبوغرافية دقيقة، ممّا يمكّن السلطات من التخطيط

---

[1] **Microsoft** هي شركة أمريكية رائدة في مجال **البرمجيات والتكنولوجيا**، تأسست عام 1975. تشتهر بتطوير **نظام التشغيلWindows** ، وحزمة **Microsoft Office**، ومنصات **الحوسبة السحابيةAzure** ، إضافة إلى تطبيقات الذكاء الاصطناعي والخدمات الرقمية للأفراد والمؤسسات.

[2] **Esri**هي شركة أمريكية متخصصة في **أنظمة المعلومات الجغرافية(GIS)** ، تأسست عام 1969. تُعرف ببرامجها الشهيرة مثل **ArcGIS**، التي تُستخدم في **تحليل البيانات المكانية، ورسم الخرائط الرقمية، وإدارة الموارد البيئية والعمرانية**، وتُعد من أبرز الشركات عالميًا في مجال الجغرافيا الرقمية.

[3] الموقع الالكتروني WWW.ESRI.com

[4] **AT&T** : **شركة الهاتف والبرق الأمريكية** *(American Telephone and Telegraph Company)*، وهي من أقدم وأكبر شركات **الاتصالات والتكنولوجيا** في العالم. تأسست في الولايات المتحدة، وتقدّم اليوم خدمات تشمل **الاتصال الهاتفي والإنترنت وشبكات الجيل الخامس(5G)** ، إضافة إلى **الحلول الذكية للأعمال والمؤسسات**.

[5]**Koppes** (**Steve**), **2019**: AT&T leverages Argonne's climate modeling and infrastructure resilience expertise to benefit Southeastern U.S, EARTH SCIENCE, **Argonne National Laboratory**,Avril 2014.

[6] الموقع الالكتروني WWW.ESRI.com

[7] **الأتمتة الذكية**: هي توظيف **الذكاء الاصطناعي** و**البيانات المكانية** (مثل صور الأقمار الصناعية والمعلومات المناخية) لتنظيم عمليات **الزراعة والحصاد** بطريقة دقيقة وفعّالة، مما يؤدي إلى **رفع الإنتاجية** و**تحقيق استدامة الموارد الطبيعية**.

[8] **News Archive**, **2024**, Finnish Meteorological Institute assists Finnish Food Authority in utilizing satellite data. Finnish Meteorological Institut. Février 2024.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

الوقائي وتقليل الخسائر البشرية والمادية.[1] أمّا في **سنغافورة**، فقد أُنشئ نظام **Smart Nation**[2] الذي يحلّل البيانات المكانية المتعلقة بحركة المرور واستهلاك الطاقة وكثافة السكان لتطوير حلول نقل ذكية وخفض الانبعاثات الكربونية.[3]

وفي الولايات المتحدة، تعتمد مدينة نيويورك على البيانات اللحظية المجمعة من أجهزة الاستشعار وحركة الهواتف المحمولة لمراقبة حركة المرور وتدفق السكان، بما يسهّل تحسين النقل العام والتخطيط الحضري الذكي.[4] بينما في الصين، تُوظف المدن الضخمة مثل شنغهاي بيانات الأقمار الصناعية ونظم المعلومات الجغرافية لإدارة التوسع العمراني ومراقبة التلوث البيئي وتنسيق المناطق الصناعية والسكنية ضمن رؤية حضرية متكاملة.[5]

تُلخّص التجارب العالمية أهمية دمج الذكاء الاصطناعي مع الجغرافيا الرقمية في إدارة النقل والطاقة والتخطيط العمراني، ويُبرز أنّ GeoAI لم يعد أداة تحليلية فحسب، بل أصبح رافعة استراتيجية لتطوير المدن الذكية، إدارة الموارد بكفاءة ودعم اتخاذ القرار المستند إلى المعرفة، بما يحقق تنمية حضرية وبيئية مستدامة ويعزز القدرة على التنبؤ بالمستقبل والاستجابة للتحديات المتزايدة في العصر الرقمي.

2.4تجربة البلاد التونسية في الذكاء الاصطناعي الجغرافي

شهدت البلاد التونسية خلال السنوات الأخيرة تحوّلًا ملحوظًا نحو توظيف الذكاء الاصطناعي الجغرافي في مجالات متعددة تشمل إدارة الموارد المائية، الزراعة، التخطيط الحضري، والمراقبة البيئية، ممّا يعكس وعيًا متزايدًا بأهمية البيانات المكانية في دعم اتخاذ القرار وتحقيق التنمية المستدامة.

1.2.4 إدارة الموارد المائية

على صعيد إدارة المياه، أظهرت دراسة بحثية حديثة حول حوض مجردة الممتد بين تونس والجزائر نتائج واعدة عند استخدام تقنيات التعلّم العميق لتحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية. إذ حقق النهج القائم على الذكاء الاصطناعي الجغرافي دقة تصنيف

---

[1] European Science Communication Institute, 2023: Preparing for floods: adapting the Netherlands for climate resilience, IMPETUS, January 2023.

[2] **Smart Nation** هو برنامج وطني أطلقته **سنغافورة** يهدف إلى تحويل البلاد إلى **دولة ذكية** تعتمد على **البيانات والتقنيات الرقمية** لتحسين جودة الحياة والخدمات العامة. يقوم هذا النظام على **تحليل البيانات المكانية والحيوية** مثل حركة المرور واستهلاك الطاقة وكثافة السكان، لتطوير **حلول مبتكرة** في مجالات النقل، والطاقة، والإدارة الحضرية، مما يساهم في **رفع كفاءة الخدمات** و**تقليل الانبعاثات الكربونية** وتعزيز **الاستدامة الحضرية**.

[3] **Diganta** (**Das**), **Berwyn** (**Kwek**),**2024**: AI and Data-driven urbanism: The Singapore experience, Digital Geography and Society, December 2024.

[4] الموقع الالكتروني WWW.ESRI.com

[5] **Wenping** (**Fan**), **Yishao** (**Shi**), **Yan** (**Liu**), **2012**: Application of GIS in Quantifying the Urban Form-A Case Study of Shanghai. International Journal of Digital Content Technology and its Applications. December 2012.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

بلغت 92% مقارنةً بـ 85% في الأساليب التقليدية مثل التحليل الهرمي(AHP)[1] ممّا يبرهن قدرة الذكاء الاصطناعي على تحسين جودة تقييم الموارد المائية وتجاوز محدوديات النماذج الكلاسيكية. هذه النتائج تبرز إمكانيات GeoAI في تقديم دعم علمي دقيق لاتخاذ القرار البيئي والاستراتيجي.[2]

2.2.4 الزراعة الذكية

في القطاع الزراعي، أُطلقت سنة 2025 تجربة نموذجية في مركز منوبة لدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع الزراعة الذكية. شمل المشروع تجهيز آبار منطقة حنّا بمستشعرات متطورة لجمع بيانات آنية حول جودة المياه مثل نسبة الملوحة، والتي تتم معالجتها باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) .[3] يهدف المشروع المموّل سنويًا بحوالي 45 ألف يورو إلى تقديم توصيات للمزارعين لتحسين إدارة الري وتقليل التملّح، ممّا يعزز استدامة الأنظمة الزراعية في مواجهة ندرة المياه.[4]

2.3.4 الحراك العلمي والمؤتمرات

تشهد تونس حراكًا علميًا متزايدًا يعزز هذا التوجه، حيث نظمت الجمعية التونسية للجغرافيا الرقمية مؤتمر **Geo-Tunis 2024 الدولي**[5] بالتعاون مع مؤسسات عربية ودولية. جمع المؤتمر باحثين ومؤسسات من تونس وخارجها، وقد شكّل منصة لتبادل الخبرات في مجالات إدارة الموارد الطبيعية، التخطيط الحضري والأمن الوطني باستخدام الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية، ممّا يعكس نضج المشهد البحثي وتنامي الخبرات العلمية في هذا المجال.

2.4.4 المدن الذكية والتخطيط الحضري والمراقبة البيئية

على المستوى المحلي، بدأت مدن تونس العاصمة وصفاقس في تبني مبادئ الجغرافيا الرقمية ضمن مشاريع المدن الذكية. تُستخدم الخرائط الرقمية لتحليل مناطق الخطر والفيضانات وتخطيط الشبكات الطرقية، بينما تُتيح البيانات المجمعة من الهواتف المحمولة ووسائل التواصل الاجتماعي تتبع تدفق السكان أثناء الفعاليات الكبرى، الأمر الذي يساعد البلديات على تحسين إدارة الحشود والاستجابة السريعة للطوارئ.

---

[1] **Fatma Trabelsi and Salsebil Bel Hadj Ali**, **2022** : Exploring Machine Learning Models in Predicting Irrigation Groundwater Quality Indices for Effective Decision Making in Medjerda River Basin, Tunisia, 23p.

[2] **Ayadi** (**Yosra**), **et al**, **2025**: Assessment of a Groundwater Potential Zone Using Geospatial Artificial Intelligence (Geo-AI), Remote Sensing (RS), and GIS Tools in Majerda Transboundary Basin (North Africa), https://doi.org/10.3390/w17030331

[3] **تقرير حول الزراعة في منوبة:** يوضح أن المشروع التجريبي "المحافظة على المياه" يعتمد على الذكاء الاصطناعي + نظم المعلومات الجغرافية + الاستشعار عن بعد، ويشمل **تركيب معدات متطورة في آبار ارتوازية بمنطقة حنّا لقياس عدة معايير مثل الملوحة في الوقت الحقيقي.**

[4] **الزراعة في منوبة:** الذكاء الاصطناعي للحفاظ على المياه، سبتمبر 2025، https://www.webdo.tn/ar/actualite

[5] **المؤتمر الدولي للجيوماتك والذكاء الاصطناعي الجغرافي**، من 18 إلى 22 نوفمبر 2024، الحمامات، تونس.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

في صفاقس، تم إطلاق مبادرة **Sfax Smart City Living Lab (SSCLL)**،[1] وهي منصة مفتوحة للتعاون بين القطاع العام والخاص والمواطنين، بهدف ابتكار حلول رقمية لتحسين جودة الحياة والخدمات البلدية مثل النقل، النفايات والبيئة. تتيح المبادرة إشراك المواطنين في التصميم واتخاذ القرار واعتماد تجريبي لحلول ذكية قابلة للتوسع مع التركيز على تعزيز الشفافية، رغم تحديات تمويل الاستدامة وضمان البنية التحتية الرقمية.

كما يركّز مشروع **Smart Vision for Alliance 5.0** [2] على تصنيف النفايات الصعبة وغير المعروفة باستخدام الذكاء الاصطناعي، ثم تحويلها إلى طاقة في المناطق الصناعية، بهدف تقليل الأضرار البيئية وتعزيز الاقتصاد الدائري والطاقة المتجددة. يمر المشروع بمرحلتين: الأولى لإنشاء نظام ذكي للتصنيف، والثانية لتحويل النفايات إلى طاقة مع مواجهة تحديات مثل دقة التصنيف وتكلفة التكنولوجيا وتوافقها مع البنية التحتية والتنظيم البيئي.

في تونس، لا يزال **الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Geo-AI)** محدودًا، حيث تقتصر معظم المبادرات على تجارب أولية أو مشاريع نموذجية. رغم ذلك، بدأت هذه التجارب تتجاوز مجرد جمع البيانات، لتقديم نماذج تنبؤية تساعد في التوسع العمراني، إدارة الكوارث ومواجهة التغيرات البيئية. وتُظهر هذه المقاربات رغبة في دعم القرار والتخطيط بشكل استباقي، مع استمرار الحاجة إلى موارد بحثية أكبر وبنية تحتية مكانية قوية لتوسيع نطاق استخدام Geo-AI في السياسات الحضرية والبيئية.

5. التحديات الكبرى للذكاء الاصطناعي الجغرافي

1.5 التحديات المنهجية والتقنية والأخلاقية

رغم الإمكانات الكبيرة التي يتيحها الذكاء الاصطناعي الجغرافي، تظل الجغرافيا الذكية محاطة بتحديات منهجية وتقنية وأخلاقية متعددة. تتمثل في:

1.1.5 تحيّز البيانات وأثره في موثوقية النماذج

يُعدّ تحيّز البيانات[3] أحد أهم الإشكاليات التي تواجه الذكاء الاصطناعي الجغرافي، إذ تعتمد النماذج التنبؤية على البيانات المتاحة التي قد تكون غير مكتملة أو غير ممثّلة لجميع الفئات أو المجالات الجغرافية. فعندما تكون البيانات مركّزة على مناطق حضرية أكثر من الريفية، أو على فترات زمنية محدودة، فإنّ النتائج تصبح مشوّهة وتعجز عن تقديم تحليل دقيق للواقع الميداني. ويؤثر هذا التحيّز مباشرة في دقة النماذج وفي قدرتها على التنبؤ أو دعم اتخاذ القرار، خصوصاً في مجالات حساسة مثل إدارة المخاطر البيئية أو التخطيط العمراني.

2.1.5 صعوبة تعميم النماذج

[1] Sfax Smart City Living Lab

[2] **مشروع الاستدامة البيئية والتصنيف الذكي للنفايات، ماي 2025**، https://ar.tunisienumerique.com/

[3] **تحيّز البيانات:(Data Bias)** : البيانات المستخدمة في التحليل الجغرافي قد لا تكون ممثلة بشكل كامل لجميع الظواهر أو المناطق. على سبيل المثال، صور الأقمار الصناعية أو الحساسات قد تغطي بعض المناطق بدقة عالية بينما تكون المعلومات عن مناطق أخرى ناقصة. هذا يؤدي إلى نتائج غير متوازنة أو منحازة، ويؤثر على صحة الاستنتاجات المكانية.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

تواجه النماذج المكانية تحديًا آخر يتعلق بصعوبة تعميمها على مناطق جغرافية مختلفة.[1] فالنموذج الذي يعطي نتائج دقيقة في منطقة زراعية قد يفشل عند تطبيقه في منطقة حضرية ساحلية، نظراً لاختلاف الخصائص البيئية والسوسيـ.وجغرافية. وتُعرف هذه المشكلة بـ. قابلية النقل المكاني (Spatial Transferability)، وهي تتطلب اختبار النماذج في سياقات متعددة وتعديل المعايير وفق الخصوصيات المحلية، لضمان استقرار النتائج ودقتها عبر أماكن وأزمنة مختلفة.

3.1.5 نماذج غير قادرة على التفسير

رغم قدرات الذكاء الاصطناعي العالية على التنبؤ، إلاّ أنّ العديد من النماذج المطبّقة في المجال الجغرافي تُعدّ غير قابلة للتفسير،[2] حيث يصعب فهم كيفية وصولها إلى النتائج. هذا الطابع "الغامض" أو ما يعرف بنموذج "الصندوق الأسود" يجعلها أقل ملاءمة لعمليات التخطيط وإدارة الموارد الطبيعية، لأنّ صانع القرار يحتاج إلى فهم منطق النموذج وليس فقط النتيجة النهائية. ومع ارتفاع الحاجة إلى الشفافية، أصبح تفسير النماذج مطلبًا رئيسيًا في الأبحاث الجغرافية والتحليل التطبيقي.

4.1.5 التكلفة ونقص الكفاءات المتخصصة

تُعدّ التكلفة من أبرز التحديات التي تعيق انتشار تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي، إذ تتطلب هذه التقنيات استثمارات مالية كبيرة على عدة مستويات. مثل **اقتناء البيانات المكانية عالية الدقة** (صور الأقمار الصناعية، بياناتLiDAR) أو قواعد البيانات الزمنية (غالبًا ما تكون باهظة الثمن أو تتطلب اشتراكات مستمرة). ويزداد العبء مع الحاجة إلى **بنية تحتية رقمية متقدمة** تشمل خوادم ذات قدرة عالية على التخزين والمعالجة، منصّات حوسبة سحابية، وشبكات استشعار واسعة لإنتاج بيانات آنية. وإلى جانب ذلك، تمثل **تكلفة تطوير النماذج وتدريبها** تحديًا إضافيًا، نظرًا لكون خوارزميات GeoAI تعتمد على عمليات حسابية كثيفة تتطلب موارد حوسبة قوية ومكلفة.

كما تفرض الحاجة إلى **كوادر بشرية متخصصة** في الذكاء الاصطناعي، نظم المعلومات الجغرافية، والهندسة البيانية، أعباء مالية إضافية على المؤسسات، في ظل ندرة هذه المهارات وارتفاع تكلفتها. كلّ ذلك يجعل تبنّي GeoAI يتطلب تخطيطًا ماليًا طويل المدى لضمان الاستدامة والجدوى العملية لهذه الحلول.

5.1.5 التحديات الأخلاقية ومخاطر الخصوصية

[1] **صعوبة تعميم النماذج:(Generalization Across Regions)** : النماذج المكانية التي تم تدريبها على منطقة محددة قد لا تعمل بنفس الكفاءة في مناطق جغرافية مختلفة، بسبب اختلاف الظواهر الطبيعية والاجتماعية والبنية التحتية.

[2] **الاعتماد على نماذج غير قابلة للتفسير:(Black-box Models)** : العديد من نماذج الذكاء الاصطناعي، مثل التعلم العميق، تنتج نتائج دقيقة لكنها صعبة الفهم والتفسير. هذا يجعل من الصعب على الجغرافي معرفة **لماذا ظهر هذا النمط المكاني** أو العلاقة السببية بين المتغيرات، مما يحدّ من موثوقية النتائج في اتخاذ القرار.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

تزايد استخدام أجهزة الاستشعار، البيانات الهاتفية، الكاميرات الذكية وبيانات تحديد الموقع في المدن الذكية، جعل مسألة خصوصية المعلومات[1] أكثر تعقيدًا. فالجغرافيا الذكية تجمع بيانات دقيقة عن الأفراد وأنماط تحركهم، ممّا يستوجب وضع إجراءات صارمة لحماية البيانات وضمان عدم إساءة استخدامها. ويصبح هذا التحدي أكثر حساسية في دول نامية حيث الإطار القانوني قد لا يكون محدثاً بما يكفي لمواكبة التطور الرقمي.

2.5آليات تعزيز كفاءة النماذج المكانية الذكية

1.2.5 دمج الأساليب التفسيرية للذكاء الاصطناعي

تتطلب النماذج المكانية **استخدام أساليب التفسير المكاني للذكاء الاصطناعي**[2] **من خلال** إجراء عمليات تحقق صارمة تُختبر خلالها النتائج عبر فترات زمنية مختلفة وفي مواقع متعددة للتأكد من صلابتها. فالتحقق المكاني–الزماني(Spatio-Temporal Validation)[3] ضروري لتفادي الأخطاء الناتجة عن التغيرات المناخية، الموسمية أو الديمغرافية. كما يتطلّب هذا التحقق موارد حسابية كبيرة وبيانات عالية الدقّة، ممّا يجعله أحد أبرز التحديات التقنية التي تعيق تطوير نماذج مستقرة وموثوقة.

2.2.5 سياسات الحوكمة والمعايير الأخلاقية

يبرز دور سياسات الحوكمة والمعايير الأخلاقية[4] كعنصر محوري لمواجهة هذه التحديات. من الضروري تبني أطر تنظيمية واضحة تضمن الشفافية والمساءلة في استخدامGeoAI ، وتحدّد مبادئ أخلاقية، مع إنشاء لجان مختصّة يمكنها مراقبة الأخطار وتنمية ثقافة الاستخدام المسؤول للتقنية. كما أنّ دمج المعرفة المجتمعية من خلال منصّات تشاركية (Participatory GIS)قد يساعد في ضمان أن تكون تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي موجهة نحو خدمة المجتمعات بأمان وإنصاف.

تؤكد هذه التحديات الحاجة إلى مقاربة متكاملة تشمل تحسين البيانات، تطوير النماذج، تعزيز الأخلاقيات الرقمية ودعم القدرات المؤسسية. ومن خلال هذا التكامل، تصبح الجغرافيا الذكية أكثر قدرة على تقديم حلول موثوقة ومستدامة لمختلف القطاعات. غير أن تجاوز هذه الإشكالات لا يقتصر على الحلول التقنية وحدها، بل يستدعي أيضًا بناء منظومات تشاركية تجمع بين الباحثين والمؤسسات وصانعي القرار لضمان الاستخدام المسؤول للجغرافيا الذكية.

---

[1] **خصوصية المعلومات**:(**Data Privacy**) : البيانات الجغرافية قد تتضمن معلومات حساسة، مثل مواقع الأفراد أو المنشآت، وهو ما يفرض احترام القوانين والسياسات المتعلقة بحماية الخصوصية.

[2] **استخدام أساليب التفسير المكاني للذكاء الاصطناعي** :(**Explainable GeoAI**) توظيف أدوات تتيح فهم كيف ولماذا توصل النموذج إلى نتائج معينة، مما يعزز الشفافية والموثوقية.

[3] **التحقق المكاني–الزماني** :(**Spatio-temporal Validation**) التأكد من أن النتائج صحيحة عبر الزمان والمكان، وليس فقط في عينة البيانات المستخدمة.

[4] **وضع سياسات حوكمة ومعايير أخلاقية** :(**Data Governance & Ethics**) تحديد قواعد واضحة لإدارة البيانات، حماية الخصوصية، وضمان استخدام النماذج بطريقة مسؤولة.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

الخاتمة

تبيّن التحوّلات المتسارعة في عصر الثورة الرقمية والذكاء الاصطناعي أنّ الجغرافيا لم تعد علمًا وصفيًا يكتفي برصد الظواهر ورسم الخرائط، بل أصبحت مجالًا ديناميًا يقوم على تحليل البيانات الضخمة، النمذجة التنبؤية والمحاكاة الذكية لصنع القرار. وقد أتاح دمج الذكاء الاصطناعي الجغرافيGeo-AI والاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية المتقدمة، تطوير أدوات غير مسبوقة لفهم التغيرات البيئية، إدارة المدن ومراقبة الموارد الطبيعية بدقة زمنية ومكانية فائقة. ورغم هذه القفزة النوعية، لا تزال الجغرافيا تواجه تحديات حقيقية تتعلق بجودة البيانات، الحوكمة الرقمية، حماية الخصوصية، التكلفة ونقص الكفاءات والفجوة التكنولوجية بين الدول. غير أنّ هذه التحديات لا تُقلّل من الزخم الذي يكتسبه هذا المجال، بل تمثل حافزًا لمزيد من التطوير والابتكار.

ويبرز مستقبل الجغرافيا بوصفه مجالًا واعدًا ومرشحًا لتحوّل عميق، إذ يتجه نحو مزيد من التكامل بين الإنسان والآلة وتوسيع قدرات التحليل المكاني عبر الخوارزميات الذكية، مما يحوّل الخرائط من أدوات تمثيل إلى منصّات تفكير واستشراف استراتيجي. وتتقدّم الجغرافيا الذكية نحو نماذج GeoAI قابلة للتفسير تمكّن من فهم واضح للقرارات التنبؤية، إلى جانب تعزيز البيانات المفتوحة باعتبارها مسارًا نحو الشفافية وتمكين البحث العلمي والابتكار. ويتطلّب هذا المستقبل بنية تحتية رقمية أكثر صلابة، تقوم على شبكات استشعار واسعة، قدرات حوسبة عالية، ومنصّات تكاملية تربط بين الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء والنماذج الجغرافية لدعم القرار في الزمن الحقيقي. كما تبرز الحاجة إلى أطر حوكمة واضحة لضمان حماية الخصوصية والمساءلة وثقة المستخدمين. ومن خلال هذا التكامل بين التطوير التقني، الحوكمة الرشيدة والممارسات العلمية التشاركية، **تصبح الجغرافيا مكوّنًا أساسيًا في بناء مدن أذكى، وبيئة أكثر استدامة، ومجتمعات قادرة على التخطيط والاستجابة اعتمادًا على فهم عميق للمكان وتفاعلاته، بما يعزّز دورها كدعامة استراتيجية للتنمية في المستقبل.**

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

المراجع باللغة العربية:

- **الخزامي (محمد)، 2025**، الذكاء الاصطناعي الجغرافي: أسس وبرمجة وتطبيقات، مركز البحوث الجغرافية والكارتوجغرافية، كلية الآداب، جامعة المنوفية، القاهرة، 568 ص.
- **السامرائي (مجيد ملوك)، 2022**، جغرافيا- تكنولوجيا المعلوماتية وتطبيقات التقنيات الكمية، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان،2022. www.yazori.com
- **السامرائي (مجيد ملوك)، 2024**، الذكاء الاصطناعي وإستراتيجياته العالمية، شبكة الألوكة، 2024/3/14. https://www.alukah.net
- **السامرائي (مجيد ملوك)، 2024**، تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا، موقع الألوكة الإلكتروني، أفريل 2024. www.alukah
- **السعدي (قاسم محمد نعمة)، 2025**، الذكاء الاصطناعي في الجغرافيا: تطبيقاته وأدواته، جامعة كربلاء، كلية التربية للعلوم الإنسانية، مجلة الباحث، 396 ص.
- **شمروخ (محمد محمود) وآخرون، 2023**، تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع البرمجة والذكاء الاصطناعي الجيومكاني لدعم أساليب تحليل البيانات المكانية، كلية الآداب، جامعة جنوب الوادي، مجلة كلية الآداب بقنا، مصر، المجلد 32- العدد 60، يوليو 2022، 162 ص.
- **شنودة (بسنت أسامة) وآخرون، 2025**، المدن الذكية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة، مشروع بحث بإشراف أمل محمود محمد، جامعة عين شمس، كلية التربية، برنامج الليسانس في الآداب والتربية الإعدادي والثانوي، تخصص جغرافيا ونظم معلومات جغرافية، يوليو 2025، 35 ص.
- **عجرمة (أشرف عبده علي)، 2022**، أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة، المجلة العربية الدولية لتكنولوجيا المعلومات والبيانات، المجلد الثاني، العدد الثاني، أبريل-يونيو 2022، 118 ص.
- **عزاز (لطفي كمال)، 2022**، الاتجاهات الحديثة والمستقبلية في نظم المعلومات الجغرافية في 2020، جامعة المنوفية، مجلة بحوث كلية الآداب، مصر، 131 ص.
- **العزيز (احمد)، 2023**، دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة، كلية العلوم القانونية والسياسية سطات، جامعة الحسن الأول، المغرب، مجلة المعرفة، العدد التاسع، أكتوبر 2023، 280 ص.
- **عيسى (صالح رجب)، 2024**، الذكاء الاصطناعي الجغرافي، كلية الآداب جامعة المنيا، مصر، ماي 2024 . /https://fr.scribd.com
- **عماد (سعد)، 2025**، تحديات الذكاء الاصطناعي في إدارة المحميات الطبيعية والمناطق الرطبة، الشبكة العراقية لنخلة التمر، أغسطس 2025، 5 ص.
- **العتيبي (نواف إبراهيم)، 2025**، استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي كنماذج اللغة الكبيرة ك ChatGpt في تعزيز قدرات نظم المعلومات الجغرافيةGIS ، مدونة في نظم المعلومات الجغرافية والبحث العلمي، مارس 2025. https://alotaibi-gis.com/2025/03/09/

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

- **فالح (علي)، شعوان (جمال)، 2012**، نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد: مبادئ وتطبيقات، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس، فاس، المغرب، مطبعة انفو-برانت، 197 ص.
- **مها كمال حفني،2023**، استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Geo AI) في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (رؤية مصر 2030) في مجال التعليم، كلية التربية – جامعة أسيوط، (المجلد التاسع والثلاثون– العدد العاشر- جزء ثانى – اكتوبر 2023م)، عدد خاص بالمؤتمر العلمى الدولى الثامن (تطوير التعليم: اتجاهات معاصرة ورؤى مستقبلية)، 385 ص.
- **الهاشم (أحمد)، 2024**، الذكاء الاصطناعي في مواجهة مشكلات البيئة والمناخ، مجلة الشبكة العراقية، أكتوبر 2024 . https://magazine.imn.iq/archives/26357?utm
- **الويش (يارا سهيل)، 2024**، استخدام الذكاء الاصطناعي الجغرافي في أتمتة استخراج الأبنية العمرانية من مرئيات الأقمار الصناعية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة دمشق، سوريا، المؤتمر الخاص بقسم الجغرافيا، مجلة مداد الآداب، مجلد 14، جويلية 2024، 40 ص.

Bibliography

- **Ash**, (**James**), **Leszczynski** (**Agnieszka**) **& Kitchin** (**Rob**), (**2016**) : Digital turn, digital geographies? *Progress in Human Geography*, 40(1), 1–16.
- **Ayadi** (**Yosra**), **et al**, **2025**: Assessment of a Groundwater Potential Zone Using Geospatial Artificial Intelligence (Geo-AI), Remote Sensing (RS), and GIS Tools in Majerda Transboundary Basin (North Africa), International Association of Water Resources in the Southern Mediterranean Basin, Tunisia *Water* 2025, Volume *17*. https://doi.org/10.3390/w17030331
- **Diganta** (**Das**), **Berwyn** (**Kwek**), **2024**: AI and Data-driven urbanism: The Singapore experience. Digital Geography and Society. Volume 7. December 2024.
- **European Science Communication Institute**, **2023**: Preparing for floods: adapting the Netherlands for climate resilience. IMPETUS. January 2023.
- **Fatma Trabelsi and Salsebil Bel Hadj Ali**, **2022** : Exploring Machine Learning Models in Predicting Irrigation Groundwater Quality Indices for Effective Decision Making in Medjerda River Basin, Tunisia, Sustainability,14,2341 February 2022, 23p.

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

- **Faith** (**Abiala**), **2023**: How AI is revolutionizing the Geospatial Industry: Trends and Applications, Spatialnode, April 2023. https://www.spatialnode.net/articles
- Fenzhen **Su and others** , **2025**: Advancing Intelligent Geography : Current status, innovations and future prospects, directions. *Frontiers in Environmental Science*, Geography and Sustainability, Volume 6, Issue 6, December 2025. 10, 1142.
- **Koppes** (**Steve**), **2019**: AT&T leverages Argonne's climate modeling and infrastructure resilience expertise to benefit Southeastern U.S, EARTH SCIENCE. Argonne National Laboratory. U.S. Department of Energy's Office of Science,Avril 2014.
- **Wenping** (**Fan**), **Yishao** (**Shi**), **Yan** (**Liu**), **2012**: Application of GIS in Quantifying the Urban Form-A Case Study of Shanghai. International Journal of Digital Content Technology and its Applications. December 2012.
- WWW.ESRI.com

© المؤلفون. مرخص بموجب Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) — يُسمح بإعادة الاستخدام غير التجاري مع نسبة المصدر
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/