المراقبة البيئة والمستدامة للمدن باستخدام الذكاء الصناعي

م. م. سارة صبيح فالح
الجامعة المستنصرية/كلية التربية الأساسية

المستخلص:
يقدم هذا البحث تحليلا ببليومتريا ومتعمقا شاملا لتطبيقات الذكاء الاصطناعي (الذكاء الاصطناعي) والتعلم الآلي (ML) في المراقبة البيئية، بناء على ٤٧٦٢ منشورا من عام ١٩٩١ إلى عام ٢٠٢٤ . يسلط البحث الضوء على زيادة ملحوظة في المنشورات والاستشهادات منذ عام ٢٠١٠ ، مع ظهور الصين والولايات المتحدة والهند كمساهمين رئيسيين. تشمل مجالات البحث الرئيسية مراقبة جودة الهواء والماء، ونمذجة تغير المناخ، وتقييم التنوع البيولوجي، وإدارة الكوارث. أدى دمج الذكاء الاصطناعي مع التقنيات الناشئة، مثل إنترنت الأشياء (IoT) والاستشعار عن بعد، إلى توسيع قدرات المراقبة البيئية في الوقت الفعلي واتخاذ القرارات المستندة إلى البيانات بشكل كبير. يكشف التحليل المتعمق عن التطورات في منهجيات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي، بما في ذلك خوارزميات جديدة لرسم خرائط التربة، وتصنيف الغطاء الأرضي، ونمذجة الحساسية للفيضانات، وتحليل صور الاستشعار عن بعد . تشمل التطبيقات البارزة تنبؤات جودة الهواء المحسنة، وتقييمات جودة المياه، والتنبؤ بتأثير المناخ، والمراقبة الآلية للحياة البرية باستخدام التعرف على الصور المستند إلى الذكاء الاصطناعي. كما تعالج تحديات مثل طبيعة «الصندوق الأسود» لنماذج الذكاء الاصطناعي، والحاجة إلى بيانات عالية الجودة في المناطق المحدودة الموارد، وتعقيد إدارة الكوارث في الوقت الفعلي . تسلط الدراسة الضوء على الجهود المستمرة لتطوير نماذج الذكاء الاصطناعي القابلة للتفسير (XAI)، والتي تهدف إلى تحسين شفافية النموذج والثقة في التطبيقات البيئية الهامة. تؤكد اتجاهات البحث المستقبلية على تحسين جودة البيانات وتوافرها، وتعزيز التعاون متعدد التخصصات عبر العلوم البيئية وعلوم الكمبيوتر، ومعالجة الاعتبارات الأخلاقية في الإدارة البيئية القائمة على الذكاء الاصطناعي . تؤكد هذه النتائج على الإمكانات التحويلية لتقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للإدارة البيئية المستدامة، مما يوفر رؤى قيمة للباحثين وصانعي السياسات في مواجهة التحديات البيئية العالمية.

الكلمات المفتاحية: المراقبة البيئية، الاستدامة الحضرية، المدن الذكية.

Abstract:
This research presents a comprehensive bibliometric and in-depth analysis of the applications of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in environmental monitoring, based on 4,762 publications from 1991 to 2024. The research highlights a significant increase in publications and citations since 2010, with China, the United States, and India emerging as major contributors. Key research areas include air and water quality monitoring, climate change modeling, biodiversity assessment, and disaster management. The integration of AI with emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT) and remote sensing, has significantly expanded the capabilities of real-time environmental monitoring and data-driven decision-making. The in-depth analysis reveals advances in AI/ML methodologies, including new algorithms for soil mapping, land cover classification, flood susceptibility modeling, and remote sensing image analysis. Notable applications include improved air quality forecasting, water quality assessments, climate impact prediction, and automated wildlife monitoring using AI-based image recognition. It also addresses challenges such as the «black box» nature of AI models, the need for high-quality data in resource-limited areas, and the complexity of real-time disaster management. The study highlights ongoing efforts to develop

explainable AI (XAI) models, which aim to improve model transparency and confidence in critical environmental applications. Future research directions emphasize improving data quality and availability, fostering interdisciplinary collaboration across environmental science and computer science, and addressing ethical considerations in AI-based environmental management. These findings underscore the transformative potential of AI and machine learning technologies for sustainable environmental management, providing valuable insights for researchers and policymakers in addressing global environmental challenges.

.Keywords: Environmental monitoring, urban sustainability, smart cities

المقدمة:

١,١ :الخلفية والأساس المنطقي:

في السنوات الأخيرة، أدى التقاء الذكاء الاصطناعي (الذكاء الاصطناعي) والتعلم الآلي (ML) مع العلوم البيئية إلى تطورات كبيرة في المراقبة البيئية وتحليل البيانات. توفر هذه التقنيات أدوات قوية لمواجهة التحديات البيئية المعقدة من خلال تمكين تنبؤات أكثر دقة، والمراقبة في الوقت الفعلي، والقدرة على تحليل مجموعات البيانات الضخمة التي لا تستطيع الطرق التقليدية إدارتها بكفاءة. تمثل التحديات البيئية مثل تغير المناخ وإزالة الغابات وتلوث المحيطات وفقدان التنوع البيولوجي تهديدات كبيرة للنظم الإيكولوجية العالمية وصحة الإنسان. على سبيل المثال، تم استخدام الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لنمذجة تأثيرات تغير المناخ، مثل ارتفاع درجات الحرارة العالمية، وزيادة تواتر الظواهر الجوية المتطرفة، وارتفاع مستوى سطح البحر، مما يهدد السكان الساحلية والنظم البيئية ([٥١٣٠]). كما تمت مراقبة إزالة الغابات – وهي محرك رئيسي لفقدان التنوع البيولوجي وانبعاثات الكربون – على نطاق واسع باستخدام نماذج الذكاء الاصطناعي التي تحلل صور الأقمار الصناعية وتكتشف أنشطة قطع الأشجار غير القانونية في الوقت الفعلي [١٤]. يشكل تلوث المحيطات، وخاصة من النفايات البلاستيكية، مخاطر جسيمة على النظم البيئية البحرية، وقد تم استخدام التقنيات التي يحركها الذكاء الاصطناعي لاكتشاف وتتبع التلوث في المياه الساحلية والبحر المفتوح، وتحديد أنماط ومصادر التلوث بشكل أكثر فعالية [١٧] . تسلط هذه التحديات البيئية الضوء على الحاجة الملحة لحلول مبتكرة، وتوفر تقنيات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي حلولا آلية وفعالة وقابلة للتطوير. على سبيل المثال، يمكن لنماذج الذكاء الاصطناعي معالجة كميات كبيرة من البيانات من مصادر مثل صور الأقمار الصناعية وشبكات الاستشعار ومجموعات البيانات التاريخية، مما يوفر رؤى لم يكن من الممكن تحقيقها من قبل. بالإضافة إلى ذلك، تتم معالجة فقدان التنوع البيولوجي من خلال تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التحديد الآلي للأنواع ومراقبة النظام البيئي، مما يوفر بيانات مهمة لجهود الحفظ [١٨، ١٦] .

ينبع الأساس المنطقي لهذه الدراسة من المجموعة المتزايدة من الأدبيات التي توضح الإمكانات التحويلية لجهاز الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في مواجهة هذه التحديات البيئية المعقدة. على سبيل المثال، تم استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بمستويات تلوث الهواء، وتحديد التغيرات في استخدام الأراضي، ونمذجة تأثيرات تغير المناخ بدقة عالية. وبالمثل، عززت الأدوات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي اكتشاف وإدارة المخاطر البيئية مثل الانسكابات النفطية وحرائق الغابات من خلال توفير معلومات قابلة للتنفيذ في الوقت المناسب [١٢، ١٥] .

نظرا للتقدم السريع والحجم المتزايد للبحث في هذا المجال، من الأهمية بمكان تحليل الأدبيات الحالية بشكل منهجي لتحديد الاتجاهات والفجوات والاتجاهات المستقبلية. يوفر التحليل الببليومتري، الذي يتضمن التقييم الكمي للأدبيات الأكاديمية، منهجية قوية لتحقيق هذا الهدف. من خلال فحص أنماط النشر وشبكات الاقتباس واتجاهات

الكلمات الرئيسية، يمكننا اكتساب فهم شامل للمشهد البحثي ومساهمات مختلف الباحثين والمؤسسات والبلدان.

١,٢ مشكلة البحث: تتمثل في التحديات المتزايدة التي تواجهها المدن نتيجة التلوث البيئي، النمو السكاني السريع، الاستهلاك غير المستدام للموارد، وضعف أنظمة المراقبة التقليدية. هذه التحديات تؤدي إلى تدهور نوعية الهواء والماء، وزيادة النفايات، وارتفاع استهلاك الطاقة، مما يهدد صحة السكان وجودة حياتهم. في المقابل، تفتقر المدن إلى أدوات فعالة تساعد على الرصد اللحظي، التنبؤ بالمشكلات البيئية، واتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة. وهنا تبرز الحاجة إلى توظيف الذكاء الاصطناعي كحل مبتكر لتحقيق مراقبة بيئية أكثر كفاءة واستدامة للمدن.

١,٣ أهداف البحث:

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو إجراء تحليل ببليومتري للبحث حول تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية وتحليل البيانات. يتضمن ذلك عدة أهداف محددة:

١ . تحديد وتحليل الاتجاهات الرئيسية في نشر المقالات البحثية المتعلقة الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية. ويشمل ذلك فحص النمو في عدد المنشورات بمرور الوقت وتوزيع البحوث عبر المجلات والتخصصات المختلفة.

٢ . تقييم التوزيع الجغرافي لمخرجات البحوث، وتحديد الدول والمناطق الرائدة المساهمة في هذا المجال.

٣ . رسم خرائط لشبكات التعاون لفهم ديناميكيات أنماط الشراكات البحثية.

٤ . لإجراء تحليل للكلمات الرئيسية لتحديد المصطلحات الأكثر استخداما والموضوعات الناشئة في الأدبيات. سيساعد هذا في فهم مجالات التركيز وتطور موضوعات البحث بمرور الوقت.

٥ . إجراء تحليل الاقتباس لتحديد الأوراق التي يتم الاستشهاد بها بشكل كبير والباحثين المؤثرين. سيوفر هذا نظرة ثاقبة حول تأثير الدراسات المختلفة والاعتراف بها داخل المجتمع العلمي. بالإضافة إلى تقييم مؤشر H وعلاقته بالمنشورات في هذا المجال.

٦ . مناقشة الآثار المترتبة على النتائج على البحوث والممارسات المستقبلية في مجال المراقبة البيئية. ويشمل ذلك تحديد الثغرات البحثية واقتراح المجالات المحتملة لمزيد من التحقيق

١,٤ أهمية البحث: تنبع أهمية هذا البحث من كونه يتناول إحدى القضايا الجوهرية التي تواجه المدن المعاصرة، وهي تحقيق التوازن بين التنمية الحضرية السريعة والحفاظ على البيئة. فالاعتماد على تقنيات المراقبة التقليدية لم يعد كافيًا لمواجهة التحديات البيئية المتزايدة مثل التلوث، تغير المناخ، والهدر في استهلاك الموارد. وهنا تبرز أهمية توظيف الذكاء الاصطناعي كأداة فعّالة قادرة على:

٢ جمع وتحليل كميات هائلة من البيانات البيئية بدقة وسرعة.

٣ التنبؤ بالمخاطر البيئية قبل وقوعها.

٤ دعم متخذي القرار في وضع سياسات حضرية أكثر استدامة.

٥ تحسين جودة الحياة للسكان من خلال مدن ذكية وصديقة للبيئة.

٦ وبذلك، يسهم البحث في بناء نموذج متكامل للمراقبة البيئية المستدامة، ما يجعله ذا قيمة علمية وعملية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة للمدن.

١,٥ فرضية البحث

يفترض البحث أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في المراقبة البيئية داخل المدن سيسهم بشكل فعّال في تحسين جمع البيانات البيئية (مثل جودة الهواء، الضوضاء، استهلاك الطاقة والمياه) بدقة ووقت حقيقي.

توقع المخاطر البيئية مبكرًا مثل التلوث أو موجات الحر أو الفيضانات عبر النمذجة الذكية. دعم القرارات الحضرية المستدامة من خلال توفير نظام مراقبة متكامل يساعد البلديات وصنّاع القرار على وضع خطط بيئية أكثر كفاءة.

أن هذه الممارسات ستؤدي إلى مدن أكثر استدامة، تقل فيها الأضرار البيئية ويزداد مستوى رفاهية السكان.

١,٦ خلفية

نظرة عامة على التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي

التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي هي مجالات سريعة التطور أدت إلى تحويل مختلف القطاعات، بما في ذلك المراقبة البيئية وتحليل البيانات. الذكاء الاصطناعي هو تخصص واسع يشمل إنشاء أنظمة قادرة على أداء المهام التي تتطلب عادة ذكاء بشريا، مثل الإدراك البصري والتعرف على الكلام واتخاذ القرار واللغة ترجمة. يركز التعلم الآلي، وهو مجموعة فرعية من الذكاء الاصطناعي، على تطوير الخوارزميات التي تمكن أجهزة الكمبيوتر من التعلم من البيانات واتخاذ تنبؤات أو قرارات بناء على البيانات [٥، ٢٧، ٢٨] . في سياق المراقبة البيئية، يمكن تصنيف خوارزميات التعلم الآلي على نطاق واسع إلى تعلم خاضع للإشراف وغير مراقب ومعزز. يتضمن التعلم الخاضع للإشراف تدريب نموذج على مجموعة بيانات مصنفة، مما يعني أن كل مثال تدريب مقترن بتسمية إخراج. هذا النهج مفيد بشكل خاص لمهام مثل التنبؤ بمستويات جودة الهواء أو تصنيف أنواع الغطاء النباتي في صور الأقمار الصناعية . تشمل الخوارزميات الشائعة في التعلم الخاضع للإشراف أشجار القرار وآلات ناقلات الدعم (SVM) والشبكات العصبية [١٩، ٢٥، ٢٦]. من ناحية أخرى، يتعامل التعلم غير الخاضع للإشراف مع البيانات التي لا تحتوي على تسميات .

الهدف هو استنتاج البنية الطبيعية الموجودة داخل مجموعة من نقاط البيانات. يمكن أن يكون هذا مفيدا لتجميع مصادر تلوث مماثلة أو الكشف عن الحالات الشاذة في البيانات البيئية. تعد الخوارزميات مثل تجميع k-means وتحليل المكونات الرئيسية (PCA) أمثلة نموذجية لتقنيات التعلم غير الخاضعة للإشراف [٧] . التعلم المعزز هو نوع من التعلم الآلي حيث يتعلم الوكيل اتخاذ القرارات من خلال تنفيذ إجراءات معينة وتلقي مكافآت أو عقوبات. يمكن تطبيق هذا النهج لتحسين استراتيجيات الإدارة البيئية، مثل تطوير سياسات لتقليل الانبعاثات أو إدارة الموارد الطبيعية بشكل مستدام [٢٠] . تتضمن تقنيات الذكاء الاصطناعي أيضا التعلم العميق، وهي مجموعة فرعية من التعلم الآلي تتميز بالشبكات العصبية ذات الطبقات العديدة (الشبكات العصبية العميقة). هذه التقنيات قوية بشكل خاص في التعامل مع مجموعات البيانات الكبيرة والأنماط المعقدة، مما يجعلها مناسبة لمهام مثل التعرف على الصور في صور الأقمار الصناعية أو التنبؤ بالسلاسل الزمنية في بيانات المناخ [١٠] والاستشعار عن بعد البيئي [٢١]

تطبيقات في المراقبة البيئية وتحليل البيانات

شهد تطبيق الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية نموا وتنويعا كبيرين. تم نشر هذه التقنيات في مجالات مختلفة لمعالجة القضايا البيئية الحرجة، مما يدل على تعدد استخداماتها وفعاليتها.

٢,١,٦ – مراقبة جودة الهواء

تستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للتنبؤ بمستويات جودة الهواء ومراقبتها. على سبيل المثال، يمكن لنماذج التعلم الآلي تحليل بيانات تلوث الهواء التاريخية ومتغيرات الأرصاد الجوية للتنبؤ بمستويات التلوث المستقبلية. هذه المعلومات ضرورية لتخطيط الصحة العمومية وصنع السياسات. أظهرت الدراسات أن الشبكات العصبية وطرق التعلم الجماعية يمكن أن تحقق دقة عالية في تنبؤات جودة الهواء [٦] .

٢,١,٦ – مراقبة جودة المياه

تم استخدام النماذج التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتقييم معلمات جودة المياه والتنبؤ بها مثل الأس الهيدروجيني والأكسجين المذاب ومستويات الملوثات. يمكن لهذه النماذج معالجة البيانات من شبكات الاستشعار وتقنيات الاستشعار عن بعد، مما يوفر تقييمات في الوقت الفعلي ضرورية لإدارة الموارد المائية وضمان مياه أنظف

مفيدة [١، ٤، ١١، ٣٣، ١٧]

٣,١,٦– نمذجة تغير المناخ

تلعب خوارزميات التعلم الآلي دورا أساسيا في نمذجة المناخ، حيث يتم استخدامها لمحاكاة أنماط cli mate والتنبؤ بها بناء على البيانات البيئية واسعة النطاق. تساعد هذه النماذج في فهم آثار تغير المناخ وفي تطوير استراتيجيات للتخفيف والتكيف [٢٢] .

٣,١,٦– دراسات ببليومترية سابقة

توفر الدراسات الببليومترية رؤى قيمة حول تطور وتأثير مجالات البحث من خلال تحليل أنماط الدعاية وشبكات الاقتباس والمقاييس الأخرى. تم إجراء العديد من التحليلات الببليومترية لاستكشاف مشهد أبحاث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في مختلف المجالات، لكن عددا أقل من الدراسات ركزت بشكل خاص على تطبيقها في المراقبة البيئية. حللت إحدى الدراسات البارزة الاتجاهات العالمية في أبحاث الذكاء الاصطناعي، وسلطت الضوء على النمو الهائل في المنشورات والتنوع المتزايد لمجالات التطبيق . ركزت دراسة أخرى على التحليل الببليومتري لأبحاث تغير المناخ، وتحديد الموضوعات الرئيسية، والمؤلفين المؤثرين، والتعاون البحثي الرئيسي [٨]. سلطت هذه الدراسات الضوء على قيمة التحليلات الببليومترية في فهم ديناميكيات البحث وتوجيه التحقيقات المستقبلية. في سياق المراقبة البيئية، استكشفت بعض الدراسات الببليومترية مجالات فرعية محددة. بالنسبة للامتحانات، سلطت المراجعات الببليومترية لتطبيقات الاستشعار عن بعد في المراقبة البيئية الضوء على المحاولات الرائدة في الدول والمؤسسات ومجالات البحث الرئيسية [٣٠ ،٢٩] . فحصت دراسات أخرى استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية [٩]، والتلوث البيئي [٣٢] والكشف عن التغيرات في الاستشعار عن بعد [٣١]، وتحديد اتجاهات البحث والآفاق المستقبلية. ومع ذلك، لا يزال هناك نقص في التحليل الببليومتري الشامل الذي يدمج تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي عبر المواصفات الأوسع للمراقبة البيئية. وتمثل هذه الفجوة فرصة لتقييم حالة البحوث بشكل منهجي، وتحديد الاتجاهات الناشئة، وتسليط الضوء على مجالات الاستكشاف المستقبلية.

١,٧ منهجية البحث

مصدر البيانات واستراتيجية البحث

بالنسبة لهذا التحليل الببليومتري، تم اختيار Scopus كمصدر أساسي للبيانات نظرا لتغطيتها الشاملة للأدبيات التي راجعها الأقران عبر مختلف التخصصات، بما في ذلك العلوم البيئية وعلوم الكمبيوتر والهندسة. تشتهر Scopus بقاعدة بياناتها الواسعة، والتي تفهرس مجموعة واسعة من المجلات ووقائع المؤتمرات والمواد العلمية الأخرى، مما يجعلها مثالية لدراسة ببليومترية مفصلة [٣] . لضمان مراجعة شاملة للأدبيات، استخدمنا استعلام بحث مصمم لالتقاط الأوراق في كل من مجالات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي والمراقبة البيئية / تحليل البيانات. تم إنشاء الاستعلام ليشمل الأوراق التي تناولت إما الذكاء الاصطناعي أو التعلم الآلي أو المصطلحات ذات الصلة، بالإضافة إلى الأوراق التي تركز على المراقبة البيئية أو تحليل البيانات، دون الحاجة إلى ظهور كلا الموضوعين معا في العنوان أو الملخص أو الكلمات الرئيسية. كان استعلام البحث المستخدم: (TITLE–ABS–KEY («التعلم الآلي» أو «الذكاء الاصطناعي» أو «الذكاء الاصطناعي» أو «ML») و TITLE–ABS–KEY («المراقبة البيئية» أو «تحليل البيانات البيئية» أو «البيانات البيئية» أو «المراقبة البيئية» أو «التقييم البيئي»)). بلغة إنجليزية بسيطة، تم تصميم هذا الاستعلام للعثور على الأوراق التي ناقشت أي جانب من جوانب الذكاء الاصطناعي أو التعلم الآلي، بالإضافة إلى تلك المتعلقة بالمراقبة البيئية، حتى لو لم يتم ذكر المجالين معا. هذا يضمن أن البحث لم يكن مقيدا بشكل مفرط وسمح بالتقاط واسع النطاق للأبحاث ذات الصلة. ولضمان أن «الذكاء الاصطناعي» و«التعلم الآلي» يشيران على وجه التحديد إلى الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في هذه

الدراسة، أجريت مراجعة يدوية شاملة لعناوين وملخصات جميع الأوراق المسترجعة للتحقق من استخدام هذه المصطلحات في سياق التقنيات الحسابية ذات الصلة بالرصد البيئي والجوانب ذات الصلة، باستثناء أي حالات تشير فيها إلى مجالات غير ذات صلة .

معايير الإدراج والاستبعاد في القياسات الببليومترية

تم إجراء البحث في أغسطس من عام ٢٠٢٤، وشمل جميع السنوات حتى تاريخ البحث. ولضمان ملاءمة ونوعية الدراسات المختارة، وضعت معايير محددة للإدراج والاستبعاد. معايير التضمين المتبعة مذكورة أدناه:

١ .يجب أن تركز المقالات صراحة على تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية والجوانب ذات الصلة.

٢.. تم تضمين مقالات المجلات وأوراق المراجعة ووقائع المؤتمرات فقط لضمان القدرة الموثوقة والتأثير العلمي للنتائج [٢٤].

٣.. يجب أن تكون المنشورات مكتوبة باللغة الإنجليزية.

٤.. حتى هذه المرحلة، تم تقييم الدراسات على عنوانها وملخصاتها وكلماتها الرئيسية. وسيجري استكشاف النص الكامل في التحليل المتعمق الفرع ٣–٤

بينماكانت معايير الاستبعاد:

١ . تم استبعاد الدراسات التي تركز على تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي خارج المراقبة البيئية، مثل التطبيقات الطبية البحتة أو التنبؤ المالي.

٢ . . لم يتم النظر في الافتتاحيات ومقالات الرأي وفصول الكتب والأدب الرمادي.

٣ . . تم تحديد الإدخالات المكررة وإزالتها لتجنب التكرار

١,٨طرق استخراج البيانات وتحليلها

بعد تحديد المنشورات ذات الصلة، تم استخدام عملية استخراج البيانات المنظمة لجمع المعلومات الأساسية من كل دراسة. تضمنت البيانات المستخرجة ما يلي:

١ .العنوان والمؤلفون وسنة النشر واسم المجلة والمجلد والعدد.

٢ .تم استخدام الملخصات والكلمات الرئيسية لفهم تركيز ونطاق كل دراسة.

٣ .عدد الاستشهادات التي تلقتها كل ورقة مما يدل على تأثيرها داخل المجتمع العلمي.

٤ .انتماءات المؤلفين والبلدان لرسم خريطة للتوزيع الجغرافي للمساهمات البحثية

تم استخراج البيانات باستخدام أدوات القياس الببليومتري المتوفرة في **Scopus** واستكملها التحقق اليدوي لضمان الدقة والاكتمال. ثم تم استيراد البيانات المستخرجة إلى برنامج مفتوح المصدر للتحليل الببليومتري ، أي **Bibliometrix** [٢] و **VOSviewer** [٢٣]

١,١,٨ طرق التحليل

١ . تحليل النمو السنوي في عدد المنشورات لتحديد الاتجاهات بمرور الوقت. ٢

٢ . تحديد شبكات التعاون. تم تصور شبكات التأليف المشترك لفهم هيكل التعاون البحثي.

٣ . رسم خرائط لمخرجات البحوث حسب البلد والمنطقة لتسليط الضوء على المساهمات البحثية العالمية.

٤ . فحص الكلمات الرئيسية الأكثر شيوعا وأنماط الحدوث المتزامنة لتحديد موضوعات البحث الرئيسية والموضوعات الناشئة

١,٩طرق التحليل المتعمق

بعد الانتهاء من التحليل الببليومتري والجمع الأولي للأدبيات ذات الصلة، ينتقل هذا القسم إلى فحص مفصل للدراسات المختارة. يركز التحليل المتعمق على التطورات والمنهجيات والنتائج الرئيسية في تطبيق الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (ML) للمراقبة البيئية . يهدف إلى تحديد المساهمات والاتجاهات المحددة التي ظهرت في السنوات الأخيرة، وتقديم رؤى تتجاوز مقاييس النشر. من خلال مراجعة الدراسات الفردية عن كثب، يوفر هذا القسم فهما أكثر تقنية وسياقية لكيفية قيام الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي بتحويل تحليل البيانات البيئية وممارسات المراقبة.

١,١,٩ معايير اختيار الأدبيات

استندت عملية اختيار الأدبيات لهذه المراجعة المتعمقة إلى نهج منهجي لضمان تضمين الدراسات الأكثر صلة وأحدث وتأثيرا. انصب التركيز على الأوراق التي لم تظهر فقط تقدما كبيرا في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي على المراقبة البيئية ولكنها تمثل أيضا مجموعة متنوعة من القضايا البيئية، بما في ذلك جودة الهواء والماء، وتغير المناخ، ومراقبة التنوع البيولوجي، وإدارة الكوارث. تم اختيار الأوراق بناء على المعايير التالية:

١ .يجب أن تطبق الدراسة صراحة تقنيات الذكاء الاصطناعي أو التعلم الآلي في سياقات المراقبة البيئية. ويشمل ذلك النماذج التنبؤية وأساليب تحليل البيانات وأنظمة دعم القرار المصممة خصيصا للتحديات البيئية .

٢ .أعطيت الأفضلية للأوراق المنشورة بعد عام ٢٠٢٠ لتعكس أحدث الاتجاهات والتطورات التكنولوجية. لم يتم تضمين الأوراق القديمة إلا إذا كانت تمثل عملا تأسيسيا في هذا المجال. وقد استند هذا النهج إلى تعليق المراجع فيما يتعلق بالحاجة إلى تضمين المزيد من البحوث والأوراق الحديثة التي تتماشى مع أحدث التطورات في هذا المجال.

٣ . الأوراق ذات الأولوية التي أدخلت منهجيات جديدة أو أظهرت تحسينات كبيرة على التقنيات الحالية، حيث أن التقدم المنهجي غالبا ما يكون له آثار بعيدة المدى على كل من البحث الأكاديمي والتطبيقات العملية.

٤ .التأكد من أن الأوراق المختارة تغطي مجموعة واسعة من المجالات البيئية. وهذا يشمل المجالات التقليدية مثل جودة الهواء والمياه، فضلا عن المجالات الناشئة مثل مراقبة التنوع البيولوجي وإدارة الكوارث واستخدام البيانات الضخمة في العلوم البيئية.

٥ .–وبالإضافة إلى أثر البحوث، تحتاج الورقات إلى إثبات الأهمية العملية، ولا سيما كيفية تنفيذ نتائجها في أنظمة الرصد البيئي في العالم الحقيقي أو التأثير على صنع السياسات. وأدرجت الدراسات إذا سلطت الضوء على التطبيقات في نظم دعم القرار للإدارة البيئية أو ساهمت في حل التحديات البيئية الملحة.

٢,١,٩ عملية اختيار الأدبيات

تضمنت عملية اختيار هذه الأوراق ثلاث مراحل رئيسية، الفرز، تليها مراجعات النص الكامل وأخيرا التصنيف:

١ . الفحص: بعد جمع مجموعة الأوراق البالغ عددها ٤٧٦٢ ، تم إجراء فحص أولي بناء على العناوين والملخصات لإزالة الأوراق التي لا تستوفي معايير الاشتمال.

٢ . مراجعة النص الكامل: ثم مراجعة النص الكامل للأوراق المتبقية، مع التركيز على منهجياتها ومساهماتها في الميدان وصلتها بالمراقبة البيئية. تضمنت هذه المرحلة أيضا تقييم متانة الدراسات، وأحجام مجموعات البيانات الخاصة بها، وتقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، وقابلية توسع نتائجها لتطبيقات العالم الحقيقي.

٣ . التصنيف: أخيرا، تم تصنيف الأوراق بناء على مساهماتها في قضايا بيئية محددة ومنهجيات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي. وساعدت هذه المنظمة في تحديد الاتجاهات الناشئة وضمان أن يقدم الاستعراض سردا هادفا وثاقب. وبالتالي فإن الأوراق المدرجة في هذا القسم تمثل كل من البحوث التأسيسية والمتطورة، وتقدم مجتمعة نظرة عامة شاملة على الوضع الحالي لتطبيقات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي في المراقبة البيئية.

Timespan 1991:2024	Sources 1580	Documents 4762
Authors 16844	International Co-Authors 30.24 %	Co-Authors per Doc 5.08
References 233528	Document Average Age 3.92	Average citations per do 21.51

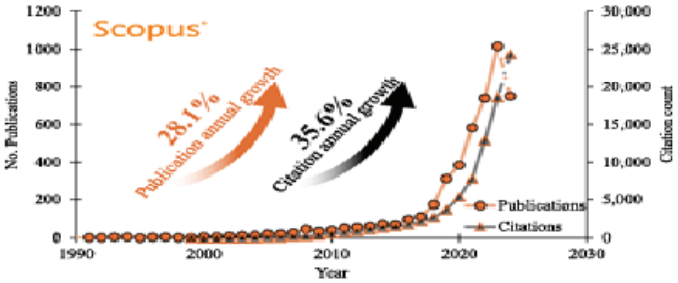
الشكل ١ اتجاهات النشر العامة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في الرصد البيئي وتحليل البيانات (١٩٩١–٢٠٢٤)

١,١٠ . النتائج

يتم تلخيص اتجاهات النشر العامة من عام ١٩٩١ إلى عام ٢٠٢٤ في الشكل ١ . يتضمن التحليل ما مجموعه ٤٧٦٢ وثيقة مصدرها ١,٥٨٠ مصدرا مختلفا. تم تأليف هذه الوثائق من قبل ١٦,٨٤٤ باحثا، بمتوسط ٥,٠٨ مؤلف مشارك لكل وثيقة. ويؤكد هذا المستوى العالي من التعاون من خلال ٣٠,٢٤٪ من الوثائق التي تضم مؤلفين دوليين مشاركين. تبلغ الأعمال المشار إليها في هذه الوثائق ٢٣٣,٥٢٨، مما يشير إلى مشاركة واسعة النطاق في الأدبيات ومنهجيات البحث الشاملة. في المتوسط، يتم الاستشهاد بكل وثيقة ٢١,٥١ مرة، مما يعكس الطبيعة المؤثرة للبحث في هذا المجال . يبلغ متوسط عمر الوثائق ٣,٩٢ عاما، مما يشير إلى تركيز حديث ومستمر نسبيا على تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية.

١,١,١٠ النشر السنوي والاقتباس ينمو

يوضح الشكل ٢ النمو السنوي في عدد المنشورات والاستشهادات المتعلقة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية من عام ١٩٩٠ إلى عام ٢٠٢٤ . تكشف البيانات، التي تم الحصول عليها من Scopus، عن زيادة كبيرة في كل من المنشورات والاستشهادات على مدار العقدين الماضيين [٥٠]. تم تحديد معدل نمو النشر عند ٢٨,١٪ سنويا، مما يشير إلى زيادة الاهتمام والإنتاج في هذا المجال البحثي. بدأ هذا الاتجاه في التسارع بشكل كبير في حوالي عام ٢٠١٠ واستمر في الارتفاع بشكل حاد خلال عام ٢٠٢٠ . وبالمثل، نما عدد الاستشهادات بمعدل سنوي قدره ٣٥,٦٪، مما يعكس التأثير المتزايد والاعتراف بهذه الدراسات داخل المجتمع العلمي. يشير الارتفاع السريع في الاستشهادات، بشكل خاص من عام ٢٠١٥ فصاعدا، إلى أن البحث الذي تم إنتاجه في هذا المجال له قيمة عالية ويشار إليه بشكل متكرر



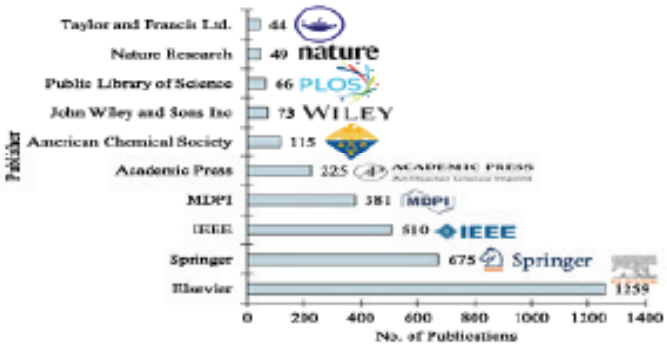
الشكل ٢ النمو السنوي في عدد المنشورات والاستشهادات لتطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في الرصد البيئي وتحليل البيانات (١٩٩٠–٢٠٢٤)، استنادا إلى بيانات من Scopus

تعكس الزيادة الكبيرة في كل من المنشورات والاستشهادات على مدى العقدين الماضيين اعترافا متزايدا بتقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي كأدوات حاسمة في مواجهة التحديات البيئية. يشير هذا الاتجاه إلى التركيز المتزايد للمجتمع العلمي على الاستفادة من هذه الأساليب الحسابية المتقدمة لحل المشكلات البيئية المعقدة واسعة

النطاق. علاوة على ذلك، فإن الارتفاع الحاد في المنشورات منذ عام ٢٠١٠، وخاصة في العقد الماضي، يظهر أن دمج الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي في المراقبة البيئية يكتسب زخما سريعا. يؤكد هذا النمو على الحاجة إلى التطوير المستمر في تطبيقات ومنهجيات الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي لمواكبة القضايا العقلية الملحة التي تواجهها البيئة العالمية .

٢,١,١٠ التوزيع حسب المجلات والناشرين

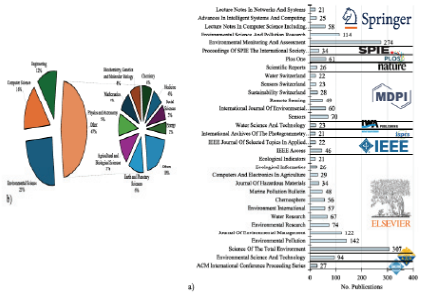
ويبين الشكل ٣ توزيع المنشورات المتعلقة ب الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في الرصد البيئي بين مختلف جهات النشر. تتصدر **Elsevier** بشكل كبير ب ١,٢٥٩ منشورا، تليها **Springer** ب ٦٧٥ منشورا. معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (**IEEE**) هو مساهم رئيسي آخر مع ٥١٠ منشورات. ومن بين الناشرين البارزين الآخرين معهد النشر الرقمي متعدد التخصصات (**MDPI**) (٣٨١ منشورا)، والصحافة الأكاديمية (٢٢٥ منشورا)، والجمعية الكيميائية الأمريكية (١١٥ منشورا). تأتي المساهمات الأصغر من شركة **John Wiley and Sons Inc**.، والمكتبة العامة للعلوم، و**Nature Research**، و**Taylor and Francis Ltd**.، كل منها يساهم بأقل من ١٠٠ منشور. يوضح الشكل ٤ أ بالتفصيل توزيع هذه المنشورات عبر مجلات محددة. يحتوي «علم البيئة الشاملة» (**Else vier**) على أكبر عدد من المنشورات، بإجمالي ٣٠٧. يتبع «الرصد والتقييم البيئي» (**Springer**) ٢٧٤ منشورا. تشمل المجلات البارزة الأخرى «العلوم البيئية وأبحاث التلوث» (**Springer**) و «**Environmental Research**» (**Elsevier**) و «**Environmental Pollution**» (**Elsevier**). كما تتميز المجلات من **IEEE** مثل «**IEEE Access**» و «**IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**» بشكل كبير. تعكس مجموعة المجلات المدرجة الطبيعة متعددة التخصصات لتطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية، والتي تغطي العلوم البيئية والهندسة والاستشعار عن بعد وأبحاث التلوث. تسلط هيمنة مجلات العلوم البيئية عالية التأثير، مثل «علم البيئة الشاملة» و «المراقبة والتقييم البيئي الاقتصادي»، في نشر أبحاث الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي الضوء على التكامل السائد المتزايد لهذه التقنيات في العلوم البيئية. ومع ذلك، فإن المساهمات الكبيرة من علوم الكمبيوتر والمجلات الهندسية، مثل تلك الموجودة في **IEEE**، تشير إلى الطبيعة متعددة التخصصات لهذا المجال. يشير هذا النمط إلى أن الباحثين في المراقبة البيئية يجب أن يفكروا في النشر عبر مجالات أكاديمية متنوعة لتعزيز الابتكار متعدد التخصصات. كما أن وجود أبحاث الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي في مجموعة متنوعة من المجلات عالية التأثير يعكس أيضا اعتراف المجتمع العلمي بالإمكانات التحويلية لهذه التقنيات للنهوض بالعلوم البيئية.



الشكل ٣ توزيع منشورات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة العقلية وتحليل البيانات في البيئة من قبل مختلف المنشورين

٣,١,١٠ التوزيع حسب الحقل

يوضح الشكل ٤ ب توزيع أبحاث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية عبر مختلف المجالات الأكاديمية. تتصدر العلوم البيئية ٢٥٪ من المنشورات، مما يشير إلى تركيز قوي على تطبيق هذه التقنيات على التحديات البيئية. يتبع علوم الكمبيوتر بنسبة ١٦٪، مما يعكس التطور التقني والمنطقي الذي يدعم هذه التطبيقات. تمثل الهندسة ١٢٪ من المنشورات، تظهر دور الحلول الهندسية في المراقبة البيئية. تشمل المجالات المهمة الأخرى الأرض وعلوم الكواكب (٦٪)، العلوم الزراعية والبيولوجية (٥٪)، الكيمياء الحيوية، علم الوراثة، والبيولوجيا الجزيئية (٤٪)، الكيمياء (٤٪)، الرياضيات (٤٪)، والطب (٤٪). تنتشر المنشورات المتبقية عبر الفيزياء وعلم الفلك والعلوم الاجتماعية والطاقة، ويساهم كل منها بين ٢ و٣٪. يندرج جزء كبير من البحث ضمن فئة «أخرى» (٤٧٪)، مما يسلط الضوء على الطبيعة متعددة التخصصات لهذا المجال ودمج الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في مختلف المجالات العلمية الأخرى.

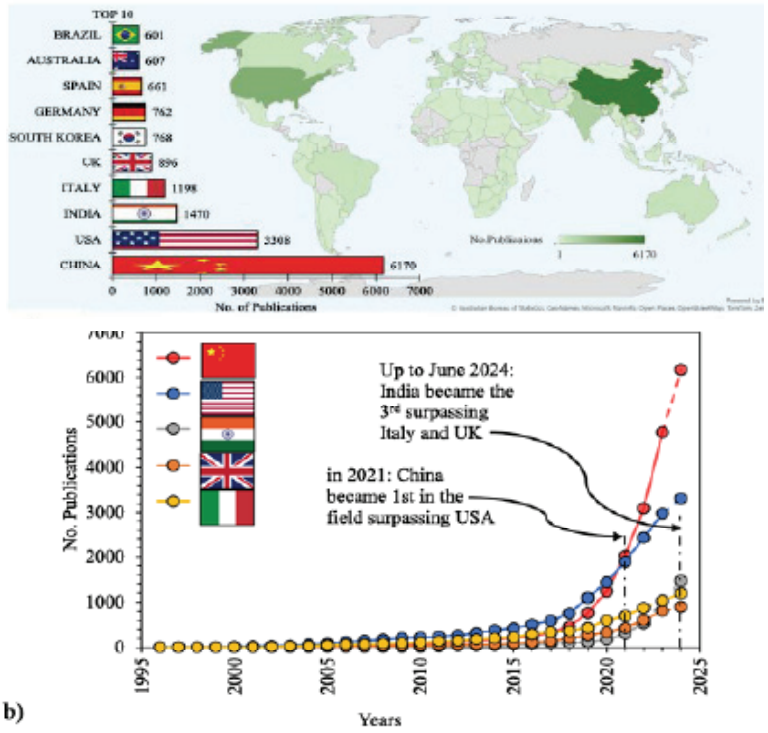


الشكل ٤ توزيع منشورات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في البيئة والمراقبة العقلية وتحليل البيانات في جميع أنحاء العالم. أ جور نال مختلفة. وب أكاديمية مختلفة من المدرسة

٤,١,١٠ التوزيع الجغرافي للبحوث

يعرض الشكل ٥ أ التوزيع الجغرافي للمنشورات البحثية المتعلقة الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في الرصد البيئي. تسلط الخريطة الضوء على البلدان التي لديها أكبر عدد من المنشورات، ويسرد الجانب الأيسر من الشكل أكبر ١٠ دول مساهمة. تتصدر الصين بشكل كبير ب ٦١٧٠ منشورا. تليها الولايات المتحدة ب ٣٣٠٨ منشورات. كما تقدم الهند والمملكة المتحدة وإيطاليا مساهمات كبيرة ب ١,٤٧٠ و٨٣٦ و١١٩٨ منشورا على التوالي. ومن بين المساهمين البارزين الآخرين كوريا الجنوبية (٧٦٨ منشورا) وألمانيا (٧٦٢ منشورا) وإسبانيا (٦٦١ منشورا) وأستراليا (٦٠٧ منشورا) والبرازيل (٦٠١ منشورا). تجدر الإشارة إلى أن هذه القيم لا تؤخذ في الاعتبار التأليف المشترك. على سبيل المثال، إذا كان المؤلفون من كل من الولايات المتحدة الأمريكية والصين في ورقة واحدة، احتسابها على أنها ١ لكل دولة. يوضح الشكل ٥ ب مساهمات البلدان الخمس الأولى – الصين والولايات المتحدة والهند والمملكة المتحدة وإيطاليا – بمرور الوقت. يوضح هذا النمو الديناميكي والقيادة المتغيرة في أبحاث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للمراقبة العقلية للبيئة وتحليل البيانات، مع زيادات كبيرة في أعداد المنشورات واضحة بشكل خاص من عام ٢٠١٥ فصاعدا. ارتفع إنتاج أبحاث الصين إلى ما بعد الولايات المتحدة في عام ٢٠٢١، لتصبح المساهم الرئيسي في هذا التقرير. بحلول أغسطس ٢٠٢٤، ارتفعت الهند إلى المركز الثالث، متجاوزة كل من إيطاليا والمملكة المتحدة. يكشف التوزيع الجغرافي للبحوث عن هيمنة واضحة لدول مثل الصين والولايات المتحدة، وكلاهما يتمتع ببنية تحتية تكنولوجية قوية واستثمارات كبيرة في الذكاء الاصطناعي والبحوث البيئية. ومع ذلك، هناك فجوة ملحوظة في المساهمات البحثية من العديد من الدول النامية، لا سيما في إفريقيا وأجزاء من آسيا. ويسلط هذا التفاوت الضوء على الحاجة إلى مبادرات عالمية لبناء القدرات لتعزيز تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في الرصد البيئي عبر سياقات بيئية واجتماعية واقتصادية متنوعة. يمكن للجهود التعاونية بين البلدان الرائدة والمناطق الممثلة تمثيلا ناقصا أن تعزز قابلية التطبيق العالمي لحلول الذكاء الاصطناعي / التعلم

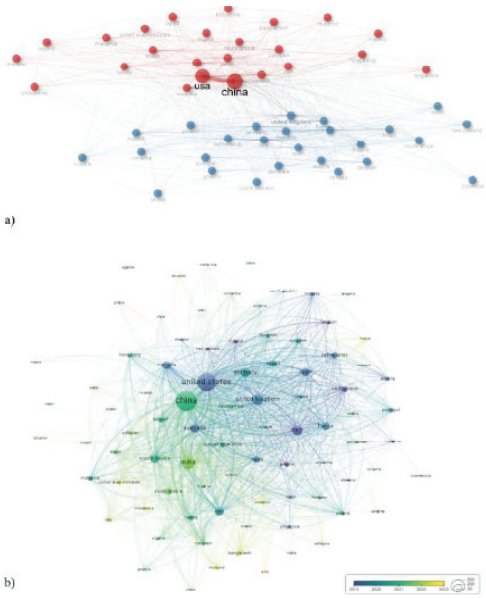
الآلي وتضمن أن تكون هذه التقنيات شاملة ومفيدة لجميع المناطق، لا سيما تلك التي تواجه أشد التحديات البيئية.



لشكل ٥ المساهمات البحثية في المنشورات البحثية للرصد البيئي وتحليل البيانات في مجال الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي: (أ) التوزيع الجغرافي، (ب) التطور الزمني للبلدان الخمسة الأولى

١,١١ شبكات التعاون

ويبين الشكل ٦ شبكات التعاون بين البلدان في ميدان تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للرصد البيئي. يظهر تصور الشبكة شبكة من الاتصالات، مع العقد التي تمثل البلدان والحواف التي تشير إلى الروابط التعاونية بينها. وفي الشكل ٦ أ، الشبكة مشفرة بالألوان، حيث يشير اللونان الأحمر والأزرق إلى مجموعات مختلفة من البلدان المتعاونة تعاونا وثيقا. يكشف هذا التجميع عن أنماط التعاون الإقليمية، حيث غالبا ما تتقاسم البلدان في نفس المجموعة القرب الجغرافي أو الاهتمامات البحثية المماثلة. تبرز الولايات المتحدة والصين كمركزين مركزيين مع شبكات تعاون واسعة النطاق. يظهر كلا البلدين درجة عالية من الترابط مع الدول الأخرى، والتي أبرزتها العديد من الالتزامات وأحجام العقد الأكبر. تشمل العقد المهمة الأخرى ألمانيا والمملكة المتحدة وكندا وأستراليا، ويظهر كل منها علاقات تعاونية قوية داخل الشبكة. وعلاوة على ذلك، يوضح الشكل ٦ (ب) شبكات التعاون مع التركيز على متوسط عدد المنشورات في السنة. يتم تحديد حجم العقد وفقا لمتوسط عدد المنشورات، ويمثل تدرج اللون من الأزرق إلى الأخضر إلى الأصفر الجدول الزمني للتعاون، الذي يمتد من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢٣. يسلط هذا التصور الضوء على الطبيعة الديناميكية للتعاون البحثي بمرور الوقت، مع مساهمات كبيرة من دول مثل الولايات المتحدة والصين والهند والمملكة المتحدة. ويشير التطور الزمني إلى تزايد التعاون الدولي وتزايد عدد المنشورات المشتركة في السنوات الأخيرة. والجدير بالذكر أن الإمارات العربية المتحدة والمغرب والإكوادور وكينيا هي أحدث الدول التي تنضم إلى هذه المجموعة، كما يتضح من عقدها الصفراء.

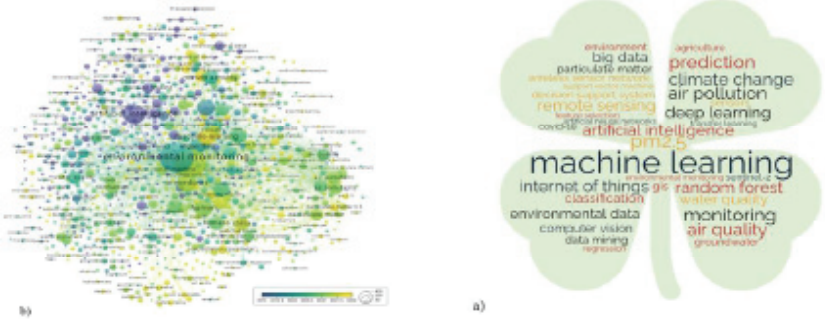


الشكل ٦ شبكات التعاون الدولي. (أ) مجمعة و(ب) بمتوسط منشورات/سنة في بحوث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي من أجل الرصد البيئي وتحليل البيانات. الحد الأدنى البالغ ٥ منشورات/بلد استبعدت ٧٨ بلدا من أصل ١٦٣ بلدا (٨٥ بلدا متبقية)

١,١٢ تحليل الكلمات الرئيسية

١,١,١٢ الكلمات الرئيسية الأكثر شيوعا

يعرض الشكل ٧ أ سحابة كلمات تصور الكلمات الرئيسية الأكثر شيوعا الموجودة في المنشورات البحثية حول تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية وتحليل البيانات. يشير حجم كل كلمة رئيسية إلى تكرار حدوثها في الأدبيات. يظهر مصطلح «التعلم الآلي» بشكل بارز، مما يعكس دوره المركزي في هذا المجال البحثي. تشمل الكلمات الرئيسية المهمة الأخرى «الذكاء الاصطناعي» و «الاستشعار عن بعد» و «التنبؤ» و «تغير المناخ» و «تلوث الهواء» و «التعلم العميق». تسلط هذه المصطلحات الضوء على الموضوعات والتطبيقات الرئيسية التي يتم استكشافها في هذا المجال. تشمل الكلمات الرئيسية الإضافية التي تحدث بشكل متكرر «إنترنت الأشياء» و «الغابات العشوائية» و «جودة المياه» و «المراقبة» و «جودة الهواء» و «المياه الجوفية» و «البيانات الضخمة». يشير هذا إلى مجموعة واسعة من الموضوعات التي يتم التحقيق فيها، من تقنيات محددة مثل الغابات العشوائية إلى تطبيقات مختلفة مثل جودة الهواء ومراقبة جودة المياه. تظهر أيضا مصطلحات مثل «الجسيمات» و «التصنيف» و «نظم المعلومات الجغرافية» و «أجهزة الاستشعار» و «الزراعة» بشكل متكرر، مما يؤكد على مجالات التطبيق والمنهجيات المتنوعة المستخدمة في أبحاث المراقبة البيئية وتحليل البيانات.



٢,١,١٢ شبكة الكلمات الرئيسية المشتركة

يوضح الشكل ٧ (ب) شبكة الكلمات الرئيسية المشتركة، ويبين مدى تكرار ظهور الكلمات الرئيسية المختلفة معا

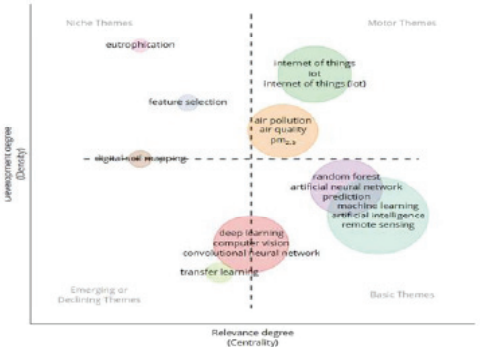
في المنشورات. تمثل العقد الكلمات الرئيسية، وتمثل الحواف التكرارات المشتركة. يعكس حجم العقد تكرار الكلمات الرئيسية، بينما يمثل تدرج اللون من الأزرق إلى الأخضر إلى الأصفر الجدول الزمني من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢٣. يوفر هذا التصور تصورات حول الترابط بين موضوعات البحث المختلفة وتطور مجالات التركيز بمرور الوقت. تسلط أهمية المصطلحات المتعلقة ب «تغير المناخ» و «جودة الهواء» و «جودة المياه» و «التنوع البيولوجي» الضوء على التحديات البيئية الكبيرة التي يتم معالجتها من خلال تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي. إن إدراج النوولوجيا التقنية الناشئة مثل «إنترنت الأشياء» و «التعلم العميق» يسلط الضوء على الابتكار المستمر في طرق جمع البيانات وتحليلها. الاتجاه الملحوظ في الشكل ٧ ب هو التحول نحو العقد ذات اللون الأصفر، والتي تمثل الكلمات الرئيسية التي اكتسبت مكانة بارزة في السنوات الأخيرة (٢٠٢٢-٢٠٢٣). وتشمل هذه مصطلحات مثل «الجسيمات» و «ملوثات المياه» و «ملوثات التربة» و «المياه الجوفية» و «المعادن الثقيلة»، مما يشير إلى تركيز بحثي متزايد على القضايا البيئية المعاصرة وتقاطعها مع مخاوف الصحة العامة. يعكس هذا الاتجاه استجابة مجتمع البحث للتحديات البيئية والمجتمعية الملحة، والاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للدراسات المؤثرة في الوقت المناسب والتي لها آثار عملية بدلا من المفاهيم النظرية التي توضح قدرة وملاءمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في معالجة القضايا البيئية الناشئة. هذا الاتجاه مفيد لأنه يضمن أن تظل جهود البحث متوافقة مع الأولويات العالمية الحالية، مما يسهل تطوير حلول مبتكرة للتحديات المعاصرة في المراقبة البيئية وتحليل البيانات.

الشكل ٧ (أ) سحابة Word وكلمة رئيسية (ب) متزامنة مع أبحاث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للمنشور/السنة من أجل الرصد البيئي وتحليل البيانات. تم استخدام العد الكامل مع الكلمات الرئيسية للمؤلف مع الحد الأدنى من التكرار ٥ تم اختيار الكلمات الرئيسية، استبعاد ١٦٥٩ كلمات من ١٩٨٣ (المتبقية ٣٢٤)

٣,١,١٢ الاتجاهات المواضيعية

يقدم الشكل ٨ خريطة مواضيعية للاتجاهات الناشئة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للمراقبة البيئية وتحليل البيانات، مصنفة إلى أربعة أربا ع: الموضوعات الحركية، والموضوعات المتخصصة، والموضوعات الأساسية ، والموضوعات الناشئة أو المتدهورة. يتضمن ربع Motor Themes مصطلحات مثل «إنترنت الأشياء» (IoT) و «تلوث الهواء» و «جودة الهواء» و «PM٢,٥». تتميز هذه الموضوعات بمركزية عالية وكثافة عالية، مما يشير إلى أنها متطورة وحاسمة في مجال البحث. يسمح تكامل إنترنت الأشياء مع المراقبة البيئية بجمع البيانات وتحليلها في الوقت الفعلي، مما يعزز القدرة على مراقبة جودة الهواء ومستويات التلوث بكفاءة. يسلط تكرار المصطلحات المتعلقة بجودة الهواء الضوء على الاهتمام الكبير الذي يولى لمعالجة التلوث وآثاره على الصحة والبيئة. في ربع Niche Themes، تم العثور على مصطلحات مثل «التخثث» و «اختيار الميزات». تتميز هذه الموضوعات بكثافة عالية ولكنها مركزية منخفضة، مما يشير إلى أنها متخصصة ومتطورة جيدا في مكانتها ولكنها ليست مرتبطة على نطاق واسع بموضوعات أخرى. التخثث هو قضية بيئية محددة تتعلق بالمسطحات المائية، مما يشير إلى الجهود البحثية المركزة في هذا المجال. يظهر اختيار الميزات، وهو خطوة حاسمة في بناء نماذج الذكاء الاصطناعي الفعالة، أهمية تحسين مدخلات البيانات لتحسين أداء النموذج. يحتوي ربع الموضوعات الأساسية على مصطلحات مثل «الغابة العشوائية» و «الشبكة العصبية الاصطناعية» و «التنبؤ» و «التعلم الآلي» و «الذكاء الاصطناعي» و «الاستشعار عن بعد». تتمتع هذه الموضوعات بمركزية عالية ولكنها أقل كثافة، مما يدل على أنها أساسية في هذا المجال وقابلة للتطبيق على نطاق واسع في مختلف مجالات البحث. تشكل تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي الأساسية هذه العمود الفقري للعديد من الدراسات، مما يسهل التطبيقات المتنوعة من نماذج التنبؤ إلى تحليل بيانات الاستشعار عن بعد. في ربع الموضوعات الناشئة أو المتناقصة، توجد مصطلحات مثل «التعلم العميق» و «رؤية الكمبيوتر» و «الشبكة العصبية التلافيفية» و «نقل التعلم» و «رسم خرائط التربة الرقمية». هذه الموضوعات لها كثافة منخفضة ومركزية منخفضة، مما يشير إلى أنها إما مجالات بحث ناشئة أو يحتمل أن تتراجع. يكتسب التعلم العميق ورؤية الكمبيوتر زخما لقدرتهما على معالجة أنواع البيانات المعقدة، مثل الصور والفيديو. التعلم المنقول هو نهج ناشئ يستفيد من المعرفة من مجال لتحسين أداء النموذج في مجال آخر، مما يسلط الضوء على

الاستراتيجيات المبتكرة في أبحاث الذكاء الاصطناعي. قد يشير موقع رسم الخرائط الرقمية للتربة إلى تركيز أكثر تخصصا أو اهتماما متزايدا في هذا المجال

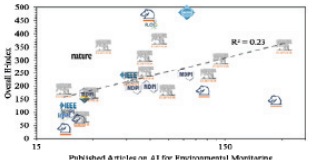


الشكل ٨ – خريطة مواضيعية للاتجاهات الناشئة في بحوث الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي من أجل الرصد البيئي وتحليل البيانات

١,١٣ تحليل مؤشر H

لتقييم تأثير المجلات التي تنشر أبحاثا حول الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في المراقبة البيئية، أجرينا تحليلا لمؤشر h. تم جمع مؤشر h من قاعدة بيانات Scimago Journal Rank (SJR)، وهي مصدر معترف به على نطاق واسع لمقاييس تأثير المجلات [٢٨]. يعكس مؤشر h كلا من تأثير الإنتاجية والاقتباس للمقالات المنشورة في المجلة. يوضح الشكل ٩ العلاقة بين عدد المقالات المنشورة عن الذكاء الاصطناعي للمراقبة البيئية ومؤشر h الكلي للمجلات التي نشرت هذه المقالات. كما هو موضح، هناك اتجاه إيجابي بين عدد المقالات ومؤشر h، مما يشير إلى أن المجلات ذات الحجم الأكبر من المنشورات البيئية المتعلقة الذكاء الاصطناعي تميل إلى أن يكون لها مقاييس تأثير أعلى. يشير معامل التحديد $R^2 = ٠,٢٣$ إلى وجود علاقة ارتباط معتدلة بين عدد المقالات ومؤشر h للمجلة. تسلط هذه العلاقة الضوء على أن المجلات الراسخة وذات السمعة الطيبة تشارك بنشاط في نشر البحوث حول الذكاء الاصطناعي للمراقبة البيئية، مما يؤكد أهمية هذا المجال وتأثيره المتزايد. تميل المجلات ذات الدرجات الأعلى في مؤشر h إلى نشر أعمال تحظى باهتمام وتقدير أكبر، مما يدل على الأهمية المتزايدة لتقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في مواجهة التحديات البيئية الحرجة.

الشكل ٩ الفهرس العام H للمجلات المصنفة مع ناشرها مع مقالات منشورة حول الذكاء الاصطناعي للمراقبة البيئية



الشكل ٩ الفهرس العام H للمجلات المصنفة مع ناشرها مع مقالات منشورة حول الذكاء الاصطناعي للمراقبة البيئية

المناطق المشمولة	ثلث
الأوراق التي تركز على تحسين تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم ، أي إنشاء خوارزميات جديدة ، أو تحسين دقة النماذج	توجه التعلم المنهجية في الذكاء الاصطناعي / الآلي وخلبتها التفسير
التعلم الآلي الرصد البيئي	
دراسات تطبق الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للتنبؤ بجودة وإدارتها ، بما في ذلك النماذج التي تدمج بيانات المستشعرات	تطبيقات في مراقبة جودة الهواء الهواء وعن
الأقمار الصناعية وأنظمة المراقبة في الوقت الفعلي	
أوراق تركز على استخدام الذكاء الاصطناعي / التعلم الآلي بجودة المياه وإدارتها ، بما في ذلك النماذج التي تعالج مثل التلوث والتلوث وإدارة الموارد	التطبيقات في مراقبة جودة المياه للتنبؤ قضايا

المصادر والمراجع:

(1) Amani M, Ghorbanian A, Ahmadi SA, Kakooei M, Moghimi A, Mirmazloumi SM, Moghaddam SHA, Mahdavi S, Ghahremanloo M, Parsian S, Wu Q, Brisco B. Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: a comprehensive review. IEEE J Selected Top Appl Earth Obs Remote Sens. 2020; 13:5326–50. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052.

(2) Aria M, Cuccurullo C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. J Informet. 2017;11(4):959–75. https:// doi. org/ 10.1016/J.JOI.2017.08.007.

(3) Baas J, Schotten M, Plume A, Côté G, Karimi R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quan titative science studies. Quant Sci Stud. 2020;1(1):377–86. https://doi.org/10.1162/QSS_A_00019.

(4) Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep learning. Cambridge: MIT Press; 2016.

(5) . Chen K, Chen H, Zhou C, Huang Y, Qi X, Shen R, Liu F, Zuo M, Zou X, Wang J, Zhang Y, Chen D, Chen X, Deng Y, Ren H. Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. Water Res. 2020. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115454.

(6) Grange SK, Lewis AC, Carslaw DC. Source apportionment advances using polar plots of bivariate correlation and regression statistics. Atmos Environ. 2016;145:128–34. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2016.09.016.

(7) Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The elements of statistical. Learning. 2009. https://doi.org/10.1007/978–0–387–84858–7.

(8) Haunschild R, Bornmann L, Marx W. Climate change research in view of bibliometrics. PLoS ONE. 2016;11(7): e0160393. https://doi.org/ 10.1371/JOURNAL.PONE.0160393.

(9) Kamyab H, Khademi T, Chelliapan S, SaberiKamarposhti M, Rezania S, Yusuf M, Farajnezhad M, Abbas M, Hun Jeon B, Ahn Y. The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management. Results Eng. 2023;20: 101566. https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101566.

(10) Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015;521(7553):436–44. https://doi.org/10.1038/nature14539.

(11) Li X, Su J, Wang H, Boczkaj G, Mahlknecht J, Singh SV, Wang C. Bibliometric analysis of artificial intelligence in wastewater treatment: current status, research progress, and future prospects. J Environ Chem Eng. 2024;12(4): 113152. https:// doi. org/ 10. 1016/J. JECE. 2024. 113152

(12) Linardos V, Drakaki M, Tzionas P, Karnavas YL. Machine learning in disaster

management: recent developments in methods and applica tions. Mach Learn Knowl Extract. 2022;4(2):446–73. https://doi.org/10.3390/MAKE4020020.

(13) Zhong S, Zhang K, Bagheri M, Burken JG, Gu A, Li B, Ma X, Marrone BL, Ren ZJ, Schrier J, Shi W, Tan H, Wang T, Wang X, Wong BM, Xiao X, Yu X, Zhu JJ, Zhang H. Machine learning: new ideas and tools in environmental science and engineering. Environ Sci Technol. 2021;55(19):12741–54. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C01339/ASSET/IMAGES/MEDIUM/ES1C01339_0005.GIF.

(14)Caesary D, Kim H, Nam MJ. Cost effectiveness of carbon capture and storage based on probability estimation of social cost of carbon. Applied Energy. 2025;377:124542. https://doi.org/10. 1016/j.apenergy.2024.124542.

(15) Cao H, Han L, Liu M, Li L. Spatial differentiation of carbon emissions from energy consumption based on machine learning algorithm: A case study during 2015–2020 in Shaanxi, China. Journal of Environmental Sciences. 2025; 149:358–73. https:// doi. org/ 10. 1016/j. jes. 2023. 08.007.

(16) Villa F, Bagstad KJ, Voigt B, Johnson GW, Portela R, Honzák M, Batker D. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. PLoS ONE. 2014. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091001.

(17) Rana R, Kalia A, Boora A, Alfaisal FM, Alharbi RS, Berwal P, Alam S, Khan MA, Qamar O. Artificial intelligence for surface water quality evalu ation, monitoring and assessment. Water. 2023;15(22):3919. https://doi.org/10.3390/W15223919.

(18) Norouzzadeh MS, Nguyen A, Kosmala M, Swanson A, Palmer MS, Packer C, Clune J. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera–trap images with deep learning. Proc Natl Acad Sci USA. 2018;115(25):E5716–25. https://doi.org/10.1073/PNAS. 1719367115.

(19) Russell S, Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. 4th ed. Hoboken: Pearson; 2021.

(20) Sutton RS, Barto AG. Reinforcement learning : an introduction. 2nd ed. Cambridge: MIT Press; 2018.

(21) Yuan Q, Shen H, Li T, Li Z, Li S, Jiang Y, Xu H, Tan W, Yang Q, Wang J, Gao J, Zhang L. Deep learning in environmental remote sensing: achievements and challenges. Remote Sens Environ. 2020. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111716.

(22) Reichstein M, Camps–Valls G, Stevens B, Jung M, Denzler J, Carvalhais N, Prabhat N. Deep learning and process understanding for data driven Earth system science. Nature. 2019;566(7743):195–204. https://doi.org/10.1038/s41586–019–0912–1.

(23) Zhang Q, Li X, Yu L, Wang L, Wen Z, Su P, Sun Z, Wang S. Machine learning–assisted fluorescence visualization for sequential quantitative detection of aluminum

and fluoride ions. J Environ Sci (China). 2025;149:68–78. https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.01.023.

(24) Philippe, Mongeon Adèle, Paul–Hus. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis Scientometrics 2016;106(1);213–228. https://doi.org/10.1007/s11192–015–1765–5

(25) Omar M, Arab MG, Alotaibi E, Alshibli KA, Shanableh A, Elmehdi H, Malkawi DA, Tahmaz A. Natural soils' shear strength prediction: A morphological data–centric approach. Soils and Foundations. 2024;64(6):101527.

(26) Nassif N, Junaid MT, Altoubat S, Maalej M, Barakat S. Data–Driven Prediction of The Bond Coefficient Between Fibre– Reinforced Polymer (FRP) Bars and Concrete. Special Publication. 2024; 360:106–21.

(27) Nassif N, Talha Junaid M, Hamad K, Al–Sadoon Z, Altoubat S, Maalej M. Performance–Based Prediction of Shear and Flexural Strengths in Fiber–Reinforced Concrete Beams via Machine Learning. Structural Engineering International. 2024:1–6.

(28) Zhuang Y, Liu X, Nguyen T, He Q, Hong S. Global remote sensing research trends during 1991–2010: a bibliometric analysis. Scientometrics. 2013;96(1):203–19. https://doi.org/10.1007/S11192–012–0918–Z/METRICS.

(29) Wang L, Zhang G, Wang Z, Liu J, Shang J, Liang L. Bibliometric analysis of remote sensing research trend in crop growth monitoring: a case study in China. Remote Sens. 2019;11(7):809. https://doi.org/10.3390/RS11070809.

(30) Shi, W., Zhang, M., Zhang, R., Chen, S., & Zhan, Z. (2020). Change detection based on artificial intelligence: State–of–the–art and challenges. In Remote Sensing (Vol. 12, Issue 10). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/rs12101688

(31) Liu X, Lu D, Zhang A, Liu Q, Jiang G. Data–driven machine learning in environmental pollution: gains and problems. Environ Sci Technol. 2022;56(4):2124–33. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06157.

(32) Maier HR, Kapelan Z, Kasprzyk J, Kollat J, Matott LS, Cunha MC, Dandy GC, Gibbs MS, Keedwell E, Marchi A, Ostfeld A, Savic D, Solomatine DP, Vrugt JA, Zecchin AC, Minsker BS, Barbour EJ, Kuczera G, Pasha F, Reed PM. Evolutionary algorithms and other metaheuristics in water resources: current status, research challenges and future directions. Environ Model Softw. 2014;62:271–99. https:// doi. org/ 10. 1016/J. ENVSOFT.2014.09.013.