PSYCHOLOGY AND EDUCATION (2024) 61(11): 1352-1370
ISSN: 1553-6939

Bibliometric analysis of global research trends on the use of artificial intelligence technologies in the circular economy using the Scopus database

Oussama Berghout[1], Mohamed Kedatsa[2], Kaddour Ali[3], Mahfoud Hadadou[4]

[1]Institute of Economics, Business and Management Sciences, University Center of Tipaza (Algeria). ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1147-3446
[2]Institute of Economics, Business and Management Sciences, University Center of Tipaza (Algeria). ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9396-5697
[3]Institute of Economics, Business and Management Sciences, University Center of Tipaza (Algeria).
[4]University of Algiers Benyoucef Benkhedda (Algeria). ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4373-3543

The Author's E-mail: berghout.oussama@cu-tipaza.dz[1], mohamed.kedatsa@cu-tipaza.dz[2], kaddour.ali1981@gmail.com[3], www.mahfoud.tipaza2017@gmail.com[4]

Received: 07/2024 **Published: 11/2024**

Abstract:

The intersection of AI technologies and circular economy concepts is a rapidly evolving research field. This study aims to shed light on the current reality and future trends in this field. It relied on conducting a bibliometric analysis of scientific research published in the Scopus database during the period from 2016 to 2024. We found that India leads global research, followed by China, the United Kingdom and Italy, and most of the leading journals publishing on the subject are Dutch. After conducting a keyword analysis using the VOS Viewer program, it became clear that the current research path focuses on integrating advanced AI applications in the field of waste management, with a special interest in studying the economic and environmental impacts resulting from the use of advanced technologies such as big data analysis, blockchain, the Internet of Things, deep and machine learning, in addition to developing decision support systems and conducting comprehensive analyses of product life cycles. We recommend directing future research towards

studying the cost of availability of AI technology, which can be expensive and unavailable, especially in developing countries.

Keywords: Bibliometric analysis, Artificial intelligence, Circular economy.

تحليل ببليومتري لإتجاهات البحث العالمية حول استعمال تقنيات الذكاء الإصطناعي في تطبيقات الاقتصاد الدائري باستخدام قاعدة بيانات scopus

أسامة برغوث[1]، محمد كداتسة[2]، علي قدور[3]، محفوظ حدادو[4]

[1]معهد العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، المركز الجامعي تيبازة (الجزائر).

[2]معهد العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، المركز الجامعي تيبازة (الجزائر).

[3]معهد العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، المركز الجامعي تيبازة (الجزائر).

[4]كلية الحقوق السعيد حمدين، جامعة الجزائر 1 (الجزائر).

ملخص

يشكل التقاطع بين تقنيات الذكاء الإصطناعي ومفاهيم الإقتصاد الدائري حقلا بحثيا حديثا يتسم بالتطور السريع، تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على الواقع الراهن والتوجهات المستقبلية في هذا المجال حيث إعتمدت على إجراء تحليل ببليومتري للبحوث العلمية المنشورة في قاعدة بيانات Scopus خلال الفترة من عام 2016 وحتى 2024، توصلنا إلى أن الهند تقود البحث عالميا تليها الصين والمملكة المتحدة وايطاليا وأغلب المجلات الرائدة التي تنشر في الموضوع هولندية الجنسية، وعند إجراء تحليل للكلمات الرئيسية باستخدام برنامج VOS Viewer تبين أن المسار البحثي الحالي يركز على دمج تطبيقات الذكاء الإصطناعي المتطورة في مجال إدارة النفايات مع إهتمام خاص بدراسة الآثار الاقتصادية والبيئية المترتبة عن طريق استخدام تقنيات متقدمة مثل تحليل البيانات الضخمة، blockchain، إنترنت الأشياء والتعلم العميق والآلي، ضف إلى ذلك تطوير أنظمة دعم القرار وإجراء تحليلات شاملة لدورات حياة المنتجات نوصي بتوجيه الأبحاث مستقبلا نحو دراسة تكلفة توافر تكنولوجيا الذكاء الإصطناعي التي يمكن أن تكون مكلفة وغير متاحة خاصة بالدول النامية.

الكلمات المفتاحية: التحليل الببليومتري، الذكاء الاصطناعي، الاقتصاد الدائري.

1. مقدمة

يروج لمفهوم الإقتصاد الدائري حاليا الإتحاد الأوروبي والعديد من الحكومات بما في ذلك الصين واليابان والمملكة المتحدة وفرنسا وكندا وهولندا والسويد وفنلندا، قدرت المفوضية الأوروبية أن التحولات الاقتصادية نحو الاقتصاد الدائري يمكن أن تخلق مكاسب اقتصادية سنوية تقدر بـ 600 مليار يورو لقطاع

التصنيع في الاتحاد الأوروبي وحده (**Korhonen et al., 2018, p. 37**)، يتم افتراض المبادئ التي يقوم عليها الاقتصاد الدائري مثل إعادة الاستخدام وإعادة التدوير والتجديد كنقطة انطلاق لتطوير حلول مبتكرة على شكل نموذج اجتماعي اقتصادي يفصل النمو عن استهلاك الموارد ويضمن العرض واستقرار الأسواق مع تقليل الاعتماد على المواد الخام القابلة للنضوب (**Neves & Marques, 2022; Sánchez-García et al., 2024**).

من بين الحلول التكنولوجية التي يقترحها المتخصصين والتي قد تلعب دور كبير في تسريع التحول نحو الإقتصاد الدائري نجد تقنيات الذكاء الإصطناعي، والتي تعمل كأداة لصالح تحقيق الأهداف التي يسعى إليها الاقتصاد الدائري (**Neves & Marques, 2022; Sánchez-García et al., 2024**) يتجاوز دور الذكاء الاصطناعي تخصيص الموارد لأنه يسمح بتحليل أنماط الاستهلاك والإنتاج في الوقت الفعلي ويعمل كحصن ضد الإفراط في الإنتاج والتوليد غير المنضبط للنفايات ما يجعل من الممكن تكييف الإنتاج مع الطلب الحقيقي والتحرك نحو نموذج إنتاج دائري، فالقدرات التنبؤية لخوارزميات التعلم الآلي قد تسمح للصناعات بتوقع احتياجات الموارد بشكل أكثر دقة وضمان الاستخدام الفعال لها، لذلك يمكن أن تكون مفيدة في تغيير عمليات الإنتاج والحد من الآثار البيئية المدمرة للصناعة (**Sánchez et al., 2024, p. 2**).

تعتبر العلاقة بين الذكاء الإصطناعي والاقتصاد الدائري مجال أكاديمي ناشئ يتطور بسرعة، لذلك يهدف هذا المقال إلى التركيز على المسار الحالي والاتجاهات المستقبلية للبحث الذي يدمج كلا المجالين، في هذا الصدد فإن معالجة الموضوع له أهمية كبيرة لدى الصناعيين وحتى السياسيين صانعي القرار الساعين لانتقاء أحسن نموذج دائري للتنمية الاقتصادية (**Sánchez-García et al., 2024, p. 2**)، بالإضافة إلى ذلك فإن منهجية بحثنا ملائمة في تحديد المؤثرين الرئيسيين وقادة الفكر في هذا المجال وبالتالي توجيه الباحثين نحو مساهمات فعالة لضمان تطبيقها عبر مجموعة واسعة من الموضوعات البحثية في مختلف التخصصات (**Li et al., 2017; Pattnaik et al., 2020**).

يتألف هيكل هذه الدراسة من 5 أقسام رئيسية حيث يقدم القسم 2 خلفية شاملة لموضوع البحث ويتطرق القسم 3 للمنهجية المستخدمة في التحليل الببليومتري، فيما يعرض القسم 4 النتائج المستخلصة، يليه القسم 5 مقدما تحليل ومناقشة للنتائج المتوصل إليها ويختتم البحث بالاستنتاجات المتوصل إليها.

2. الخلفية

1.2. الإقتصاد الدائري

أدركت المنظمات أن تكلفة الموارد أخذت في الإزدياد وأصبحت أقل قابلية للتنبؤ بها وقد أدى ذلك الى زيادة المخاطر في العمليات التجارية، تقدر مؤسسة Ellen Marcarthur Foundation أن 21 مليار طن من المواد المستخدمة في تصنيع المنتجات لا ينتهي بها الأمر في المنتج النهائي حيث تفقد هذه المواد أثناء عملية التصنيع، كما أظهرت بيانات يوروستات 2011 أن مدخلات المواد للإقتصاد الأوروبي كانت 65 مليار طن بعام 2010 تم توليد منها 2,7 مليار طن كنفايات في عمليات التصنيع وحوالي 40٪ من المواد المهملة لم يعاد استخدامها **(Jaakkola, 2019)**، نتيجة لذلك تم وضع المجتمع بمسار غير مستدام أدى لظهور عواقب خطيرة تهدد بفشل نظام الأرض بأكمله والتخلي عن وظيفته الأصلية (**Persson, 2015**).

في عام 2002 آثار نشر كتاب Cradle To Cradle Remaking The Way We Make

Things (من المهد إلى المهد إعادة صنع الطريقة التي نصنع بها الأشياء) موجة جديدة من الإهتمام بالتغيير من قبل الإقتصادي "مايكل برونجارت" و"ويليام ماكدونو" بطرح فكرة الفعالية البيئية بدل من الكفاءة البيئية أي القيام بمزيد من الخير بدل من تقليل الضرر، بحيث أن فرضية "التقليل إعادة الإستخدام وإعادة التدوير" لم تكن قابلة للتطبيق لأن التقليل من التأثيرات السلبية للأنظمة القديمة التي كانت مطبقة لم تغير شيء، يقترح الكتاب أن التصميم السيء هو المشكلة وليس الإستهلاك والنشاط الإقتصادي ما يوحي بفلسفة جديدة متعلقة بتصميم ذات طابع حيوي وفق المعادلة: النفايات =الطعام، والموارد إما أن تدخل البيئة بأمان أو تدور في حلقة مغلقة (نهج من المهد الى المهد) (**Peter & Jakob., 2015, p. 22**).

لا يوجد حتى الآن مفهوم متفق عليه للإقتصاد الدائري يمكن أن يغطي كافة جوانبه، تعرف مؤسسة إلين ماك آرثر البريطانية الإقتصاد الدائري بأنه "تصالحي ومتجدد بطبيعته ويميل إلى الحفاظ على القيمة والجودة الجوهرية للمنتجات والمكونات والمواد في كل مرحلة من مراحل استخدامها يهدف هذا النموذج الإقتصادي إلى فصل التنمية الإقتصادية العالمية عن إستهلاك الموارد المحدودة" (Macarthur, 2016) وتعرفه وكالة التحول البيئي الفرنسية بأنه: "نظام إقتصادي للتبادل والإنتاج في جميع مراحل دورة حياة المنتجات (السلع والخدمات) يهدف إلى زيادة كفاءة استخدام الموارد وتقليل التأثير على البيئة مع تطوير رفاهية الأفراد" (Collard, 2020)، وتعرفه المفوضية الأوروبية "الإقتصاد الدائري هو الحفاظ على قيمة المنتجات والمواد والموارد في الإقتصاد لأطول فترة ممكنة، ويتم تقليل إنتاج النفايات" (**Commission, 2015**).

يتم حاليا تطوير مبادئ الاقتصاد الدائري من صيغة 3 R’s إلى 4 R’s و 6 R’s (إعادة التصميم التقليل، إعادة استخدام، إعادة التصنيع، إعادة التدوير والإسترجاع)، و 9 R’s والتي تشمل إستراتيجيات أكثر دقة لزيادة الدورة المستديرة، تتضمن عشرة إستراتيجيات لزيادة الدورة المستديرة(9+1) وهي: الرفض، إعادة التفكير، التقليل من الإستهلاك، إعادة الاستخدام، الإصلاح، التجديد، إعادة التصنيع، تغيير الاستخدام (إعادة الغرض)، إعادة التدوير وإسترجاع الموارد (إستعادة) (**Kirchherr et al., 2017, p. 224**).

2.2 الذكاء الإصطناعي

يطلق على جون مكارثي لقب أبو الذكاء الاصطناعي، في عام 1990 وصف الذكاء الاصطناعي على النحو التالي: (**McCarthy et al., 2006, p. 12**) "الذكاء الاصطناعي هو علم و هندسة صنع الآلات الذكية على وجه الخصوص برامج الكمبيوتر الذكية"، إن نظريته حول هذه التقنية الحديثة تحددها مجموعة من وظائف الكمبيوتر أو نظام التشغيل الآلي المدار بواسطة جهاز الإعلام الآلي، والذي ينفذ المهام التي قد تنجزها البرامج الذكية عادة، في الآونة الأخيرة يتم مزج الذكاء الاصطناعي في العديد من المجالات مثل الهندسة والاقتصاد والتعليم والعلوم والطب والتسويق والتمويل والمحاسبة والقانون وسوق الأوراق المالية وتوسعت تغطيته منذ أن أصبحت الآلات أكثر تطورا من الناحية الحسابية على مدى العقد الماضي، و أثبتت مساهمة الذكاء الاصطناعي أهميتها في تمهيد الطريق لتحقيق التنمية المستدامة (**Habiba Akter et al., 2022, p. 16**).

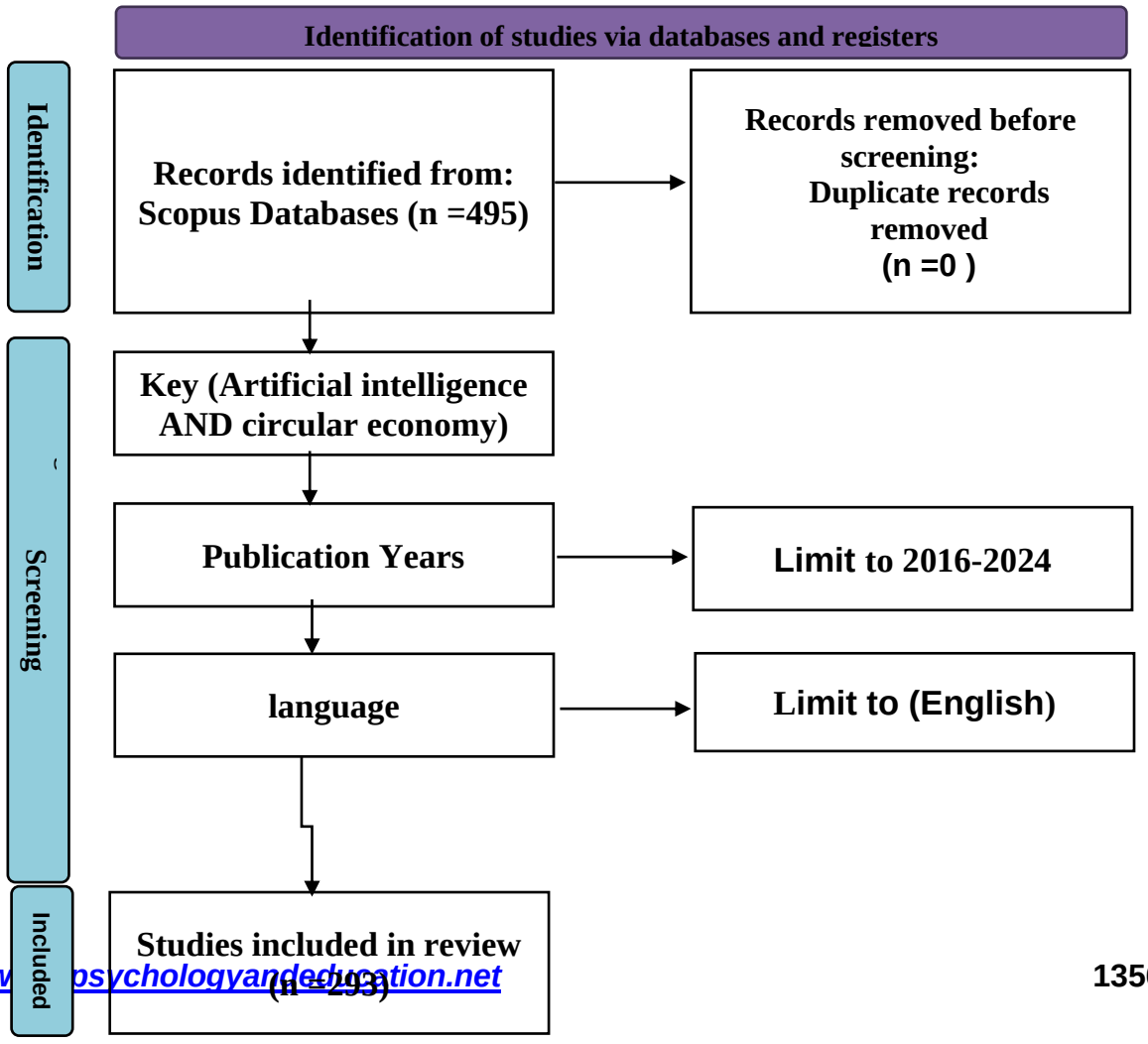
3.2. كيفية توظيف الذكاء الاصطناعي في الاقتصاد الدائري

يمكن للذكاء الاصطناعي أن يلعب دور مهم في تمكين الإقتصاد الدائري من خلال مجموعة فرعية من التقنيات الحديثة التي يمكن لها التعامل مع النماذج والأنظمة مؤدية لوظائف مرتبطة عموما بالذكاء البشري مثل التفكير والتعلم بشكل أكثر فاعلية وفهم البيانات الضخمة بشكل أفضل، ما يخلق فرص جديدة لمواجهة أهم تحديات العصر (**Macarthur, 2019, p. 4**)، مثلا تستخدم إدارة النفايات الذكاء الاصطناعي أنظمة قائمة على أجهزة الإستشعار الروبوتية التي يمكن لها التعرف على منتجات النفايات المختلفة وفرزها لإعادة التدوير وإمكانية توليد بيانات تحليلية أفضل بالنسبة للأنظمة (**Stephen, 2023**).

3. المنهجية

من أجل دراسة تطور الموضوع في المنشورات الأكاديمية تم إجراء تحليل ببليومتري عن طريق إتباع الخطوات التالية: (Brereton et al., 2007): (1) تحديد معايير البحث والكلمات الرئيسية (المفتاحية) والفترة الزمنية للمنشورات، (2) اختيار قاعدة بيانات scopus؛ (3) تعديل وصقل معايير البحث؛ (4) التصدير الكامل للنتيجة؛ (5) تحليل المعلومات ومناقشة النتائج (أنظر الشكل رقم 1).

الشكل رقم 1: الإطار التحليلي للدراسة



إعتمدنا على قاعدة البيانات Scopus لأنها الأكثر استخداما وفضاء يوفر مقالات عالية الجودة وموثوقة، تم البحث بتاريخ 2024/05/28 بخيار "الموضوع (الكلمات المفتاحية أو العنوان أو الملخص)" حول الكلمات المفتاحية التالية: "الإقتصاد الدائري" و"الذكاء الإصطناعي"، النتائج الأولية للبحث دون تطبيق أي استثناءات أفضت إلى وجود ما مجموعه 495 بحث، بعد تعديل هذه النتائج وصقلها وفقا لمعايير البحث المحددة التي لا تتناسب مع أهداف دراستنا إستثنينا المؤتمرات والكتب والأوراق الأخرى التي لا تحوز على مصداقية علمية كبيرة مع الإبقاء فقط على المقالات الصادرة باللغة الإنجليزية، ولضمان الأهمية النسبية لهذه المنشورات أجرينا فحص يدوي لاستبعاد المنشورات وفق المعايير الموضحة في الجدول 1، في الأخير وبعد إلقاء نظرة سريعة على العناوين والملخصات توصلنا إلى تطابق 293 وثيقة مع أهداف الدراسة.

الجدول رقم 1: معايير الإدراج والإستبعاد

معايير الإدراج	الكلمات الرئيسية + أي كلمات رئيسية ذات صلة (Artificial intelligence" AND "circular economy")
معايير الإستبعاد	أوراق المؤتمرات، كتب، فصول كتب

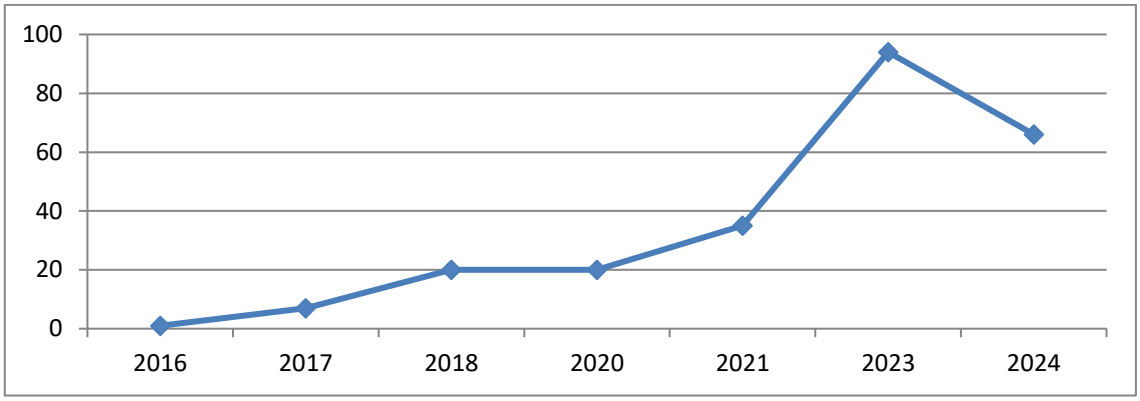
بعدها تم استخدام هذه المنهجية للتوصل إلى المجلات الأكثر استشهادا والأكثر نشرا، والدول التي قامت بأكبر عدد من الدراسات حول الموضوع، في هذا الصدد إعتمدنا على برنامج VOS Viewer الذي يعتبر واحد من البرامج واسعة الاستخدام في تصور الشبكات الببليوغرافية للكشف عن تصور الشبكة في التحليل (**Abuhassna et al., 2022, p. 83**).

4. النتائج

1.4. توزيع البحوث الخاصة بموضوع الإقتصاد الدائري والذكاء الاصطناعي

يلاحظ أن البحوث الخاصة بموضوع الإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي خلال سنوات الدراسة (2016-2024) زادت بوتيرة كبيرة وذلك بعد سنة 2020، (كما يبينه الشكل رقم 2) حيث وصل عددها إلى 20 دراسة خلال سنة 2020 مقارنة لما كانت عليه خلال سنة 2016 بدراسة واحدة، في عام 2021 إرتفعت عدد المنشورات إلى 35، وفي عام 2023 كانت الذروة التي وصل عددها إلى 94، هذا يشير إلى إهتمام كبير بتطبيق تقنيات الذكاء الإصطناعي في الاقتصاد الدائري، أما خلال السنة الحالية 2024 التي لا تزال في المنتصف بـ 66 دراسة وبالتالي من المتوقع أن يعرف إرتفاع كبير لعدد البحوث خلال نهاية سنة 2024.

الشكل رقم 2: توزيع المنشورات العلمية خلال سنوات 2016-2024



2.4. المجلات والباحثين الأكثر صلة بالإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي

هناك عدد كبير من المجلات التي نشرت مقالات حول الموضوع مما يدل على أهميته من الناحية الأكاديمية خاصة في السنوات الأخيرة، لقياس هذا العنصر نظرنا في تحليل المحتوى الذي تم إجراؤه لإجمالي المقالات 293 التي تحصلنا عليها في بحثنا، حيث تم اختيار عنصر "المجلة"، "مجموع المنشورات"، "مجموع الاستشهادات"، "معامل تأثير المجلة"، "عنوان المقال المنشور الأكثر استشهادا من قبل المجلة حول الموضوع"، "عدد الاقتباسات"، "الناشر" كمعايير للتحليل كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول رقم 2: أفضل 10 مجلات في مجال الذكاء الاصطناعي والاقتصاد الدائري

المجلة	مجموع المنشورات	مجموع الاستشهادات	معامل تأثير المجلة لسنة 2022	عنوان المقال المنشور الأكثر استشهادا	عدد الإقتباسات	الناشر
Sustainability (Switzerland)	55991	381357	6.8	Circular digital built environment: An emerging framework	116	MDPI
Journal of Cleaner Production	19382	394597	16.2	Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy	95	Elsevier
Journal of Environmental Management	8751	120010	12.2	Decarbonization in waste recycling industry using digitalization to promote net-zero emissions and its	51	Academic Press

				implications on sustainability		
Business Strategy and the Environment	1065	23959	22.5	Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review	101	John Wiley & Sons
Environmental Science and Pollution Research	22908	199035	8.7	Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options	26	Springer
Science of the Total Environment	30644	540202	17.6	Macro-nutrients recovery from liquid waste as a sustainable resource for production of recovered mineral fertilizer: Uncovering alternative options to sustain global food security cost-effectively	61	Elsevier
Technological Forecasting and Social Change	2602	55382	21.3	Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy	391	Elsevier

				capabilities		
Bioresource Technology	6602	137044	20.8	Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review	55	Elsevier
Environmental Research	7640	96370	12.6	Innovation designs of industry 4.0 based solid waste management: Machinery and digital circular economy	42	Academic Press Inc
International Journal of Production Research	1574	30264	19.2	Industry 4.0 technologies as enablers of collaboration in circular supply chains: a systematic literature review	69	Taylor & Francis

نلاحظ أن المجلة العلمية الأكثر إنتاجية في موضوع الإقتصاد الدائري والذكاء الاصطناعي هي مجلة "Sustainability (Switzerland)" بإجمالي منشورات 55991 (بما فيها 27 منشور خاص بموضوعنا البحثي)، عدد إقتباساتها 381357، تليها مجلة "Journal of Cleaner Production" بعدد 19382 (بما فيها 22 منشور خاص بموضوعنا البحثي) إقتباساتها 394597، في آخر قائمة العشر مجلات نجد مجلة "Resources, Conservation and Recycling" اجمالي منشوراتها يقدر بـ 2166 (بما فيها 27 منشور خاص بموضوعنا البحثي) والاستشهادات 49661، عنوان المقال الأكثر استشهاد المنشور حول الموضوع بالمجلة الأولى نجد " Circular digital built environment: An emerging framework " عدد استشهاداته 116، صادر عن دار النشر "MDPI"، باقي العناوين تظهر في نفس الجدول أعلاه.

نلاحظ أيضا وجود نسبة اقتباس عالية في المقال المعنون بـ" Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities" بـ 391 استشهاد المنشور بمجلة " Technological Forecasting and Social Change" التي تحتل المرتبة 7 ضمن الجدول، بالمقارنة بمجلة " Sustainability (Switzerland)" أفضل إقتباس لها بالموضوع ضمن المقالة المذكورة أعلاه يقدر بـ 116 وبالتالي نؤكد أن قيمة البحث العلمي وتأثيره لا تقاس فقط بكمية المنشورات بل تكون بجودة المحتوى وأهميته للمجتمع

العلمي، بحيث المقالات ذات الجودة العالية قد تحظى باهتمام أكبر بغض النظر عن المجلة التي نُشرت فيها وبالتالي من الضروري إجراء تحليل نوعي إلى جانب التحليل الكمي في الدراسات الببليومترية.

الهند تتصدر ترتيب الدول الأكثر نشرا في الموضوع خلال سنوات الدراسة بـ 50 مقال تليها الصين والمملكة المتحدة وايطاليا والولايات المتحدة واسبانيا وفي الترتيب العاشر نجد إيران، للعلم أن الترتيب العالمي يتغير عند النظر إلى إجمالي الاستشهادات، هنا تحتل المملكة المتحدة المرتبة الأولى عالميا حيث حصلت على 391 استشهاد من 39 مقال، تليها الهند ثم أستراليا وماليزيا، أما بقية الدول فهي بعيدة عن هذا الثلاثي، إنتماء المؤلفين للمؤسسات الجامعية يظهره الجدول رقم 3.

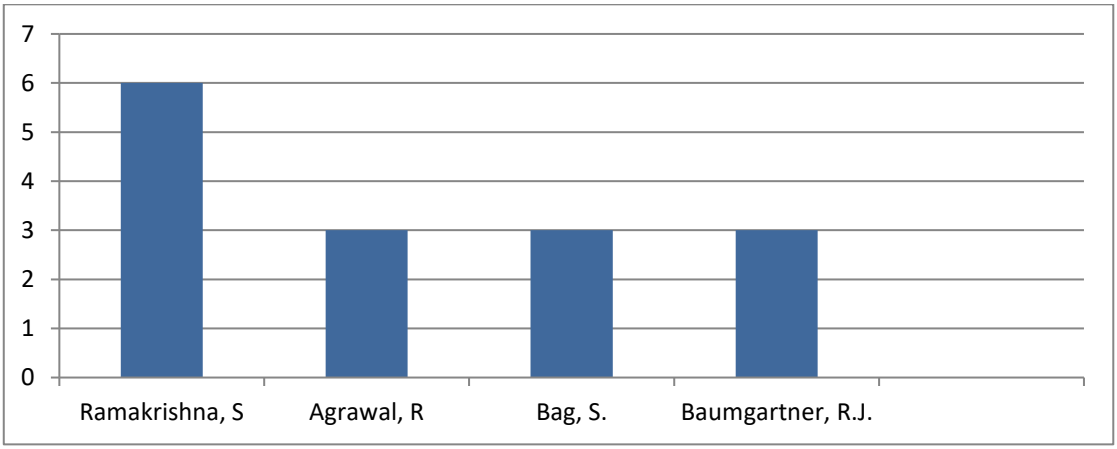
الجدول رقم 3: أفضل 10 دول ومؤسسات تعليمية

الدولة	المؤسسات التعليمية	مجموع المنشورات	مجموع الاستشهادات
India	Department of Management Studies, Indian Institute of Technology Delhi, India	50	371
China	Institute of New Energy and Low-Carbon Technology, Sichuan University, Sichuan, China	44	120
United Kingdom	School of Management, Swansea University, Swansea, United Kingdom	39	391
Italy	Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering, Turin, Italy	26	120
United States	Georgia Institute of Technology, Atlanta, United States	24	120
Spain	Universidade da Coruña, A Coruña,	18	142

Spain			
Australia	Department of Infrastructure Engineering, The University of Melbourne, Melbourne, Australia	17	240
Germany	Helmholtz-Institute Freiberg for Resource Technology, Freiberg, Germany	16	103
Malaysia	Faculty of Economic and Management, University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia	16	205
Iran	Department of Industrial Management, University of Tehran, Iran	14	80

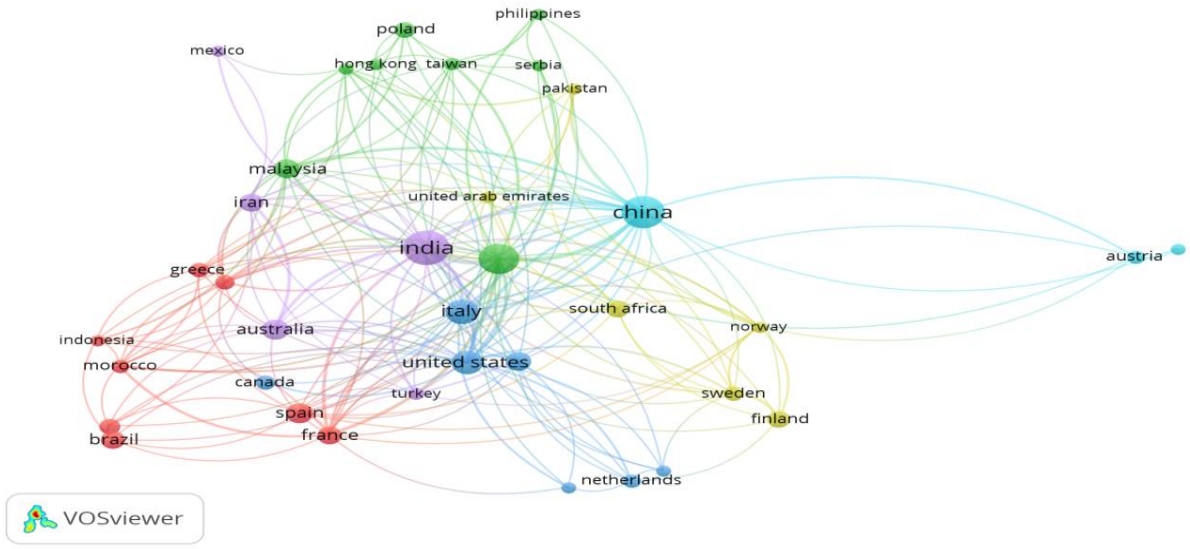
بالإضافة إلى معطيات الجداول السابقة تم التوصل إلى أسماء المؤلفين الأكثر نشرا في المجال وعدد منشوراتهم، فيعتبر المؤلف Ramakrishna Seeram الأكثر نشرا للمقالات الخاصة بالموضوع خلال سنوات 2016-2024 بعدد يقدر بـ 6 مقالات، يليه كل من Agrawal Rohit وBag Surajit و Baumgartner Rupert بثلاثة مقالات لكل واحد منهما (أنظر الشكل رقم 3).

الشكل رقم 3: أسماء المؤلفين الأكثر نشرا خلال خلال سنوات 2016-2024



كما أظهرت الشبكات البحثية لبرنامج VOS Viewer وجود تعاون بين 37 دولة في البحث حول الاقتصاد الدائري المدعوم بالذكاء الاصطناعي، مما يبرز أهمية العمل المشترك في هذا المجال لتحقيق نتائج أفضل كما توضحه الصورة أدناه.

الشكل رقم4: التعاون بين الدول في النشر حول متغيري الإقتصاد الدائري والذكاء الاصطناعي



تجدر الإشارة أن الدول لوحدها ليس بإمكانها تنفيذ الاقتصاد الدائري أو الذكاء الإصطناعي لأنهما ظاهرتان عالميتان تحتاجان لتكاثف جهود جميع دول العالم، ولهذا السبب يعد التعاون الدولي للباحثين أمر مهم، فتعتبر الهند والصين وإيطاليا والمملكة المتحدة هي الدول المحورية في الموضوع البحثي، بحيث تعاونت الهند مع 24 دولة، أما الصين فتعاونت مع 28 دولة، ومن خلال نفس الشكل أعلاه ينبغي من أستراليا والمكسيك توسيع جهود التعاون الدولي.

3.4. إتجاهات البحث المختلفة

نستخلص من خلال برنامج VOS Viewer إلى وجود إجمالي 983 كلمة مفتاحية ترتبط بموضوعنا البحثي، وبعد تحديد الحد الأدنى لتكرار الكلمة المفتاحية بـ 5 مرات هذا يعني أن الكلمات المفتاحية التي تكررت خمس مرات في جميع البحوث تستوفي ما مقداره 31 كلمة مفتاحية، يوضح الجدول رقم 4 تكرارات هذه الكلمات المفتاحية، وكما هو متوقع فإن المصطلحين "الذكاء الاصطناعي" و"الاقتصاد الدائري" هما الأكثر تكرارا، حيث تم ذكرهما 176 و 163 مرة على التوالي، بعد ذلك جاءت "التنمية المستدامة"، و"إدارة النفايات"، و"التعلم الآلي" في المراتب الأخرى على التوالي.

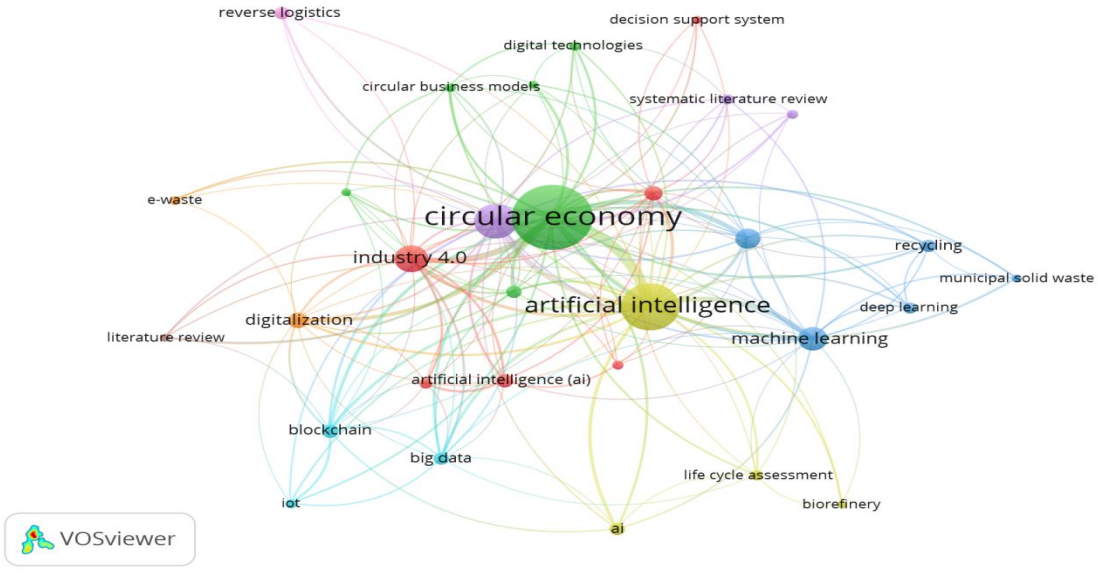
الجدول رقم 4: تكرار الكلمات الرئيسية

الكلمات المفتاحية	التكرارات
Circular economy	176
Artificial intelligence	163

Sustainable develompment	82
Waste management	50
Machine learning	46
Industry 4.0	46
Recycling	43
Internet of things	38
Life cycle	24
Blockchain	18

من جهة أخرى تعرض الصورة الشبكية المعروضة بالشكل رقم 5 أدناه خريطة ببليومترية للكلمات المفتاحية الأخرى المرتبطة بموضوعنا البحثي والتي بواسطتها سنتعرف على الإتجاه العام للبحوث، أين تظهر في مركز الخريطة بحجم كبير العقدة الرئيسية المتمثلة في "الإقتصاد الدائري" و"الذكاء الإصطناعي" فيما ترتبط إرتباط وثيق بباقي المواضيع البحثية الأخرى التي تصب في نفس السياق.

الشكل رقم 4: خريطة التكرار المشترك للكلمات الرئيسية



يتبين من الخريطة وجود تنوع واسع في مختلف تطبيقات للذكاء الإصطناعي، نذكر على سبيل الذكر لا الحصر: الصناعة 4.0 (Industry 4.0) والتعلم الآلي (machine learning) والبيانات الضخمة (big data) وإنترنت الأشياء (IoT) والبلوكتشين (blockchain) والرقمنة (digitalization) المطبقة في المفاهيم المختلفة للاقتصاد الدائري لا سيما في النماذج التجارية الدائرية (circular business models) واللوجستيات العكسية (reverse logistics) وإعادة التدوير (recycling) والنفايات الإلكترونية (e-waste) والنفايات الصلبة البلدية (municipal solid waste) وتقييم دورة الحياة (life cycle

assessment) دون إغفال الأدوات والتقنيات التحليلية كنظام دعم القرار (decision support system) والتعلم الآلي والتعلم العميق (deep learning).

5. المناقشة

سمح لنا تحليل 293 بحث خاص بالإنتاج العلمي في موضوع الإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي خلال تسع سنوات السابقة إلى تسجيل تقدم كبير للأبحاث ووجود نمو متسارع بين عامي 2022 و2023، ما يدل بأن مستوى الوعي بالموضوع يتقدم مع مرور الوقت، وهو ما يؤكد بزيادة ادماج مختلف التقنيات الذكية في الإقتصاد الدائري، أما فيما يتعلق بالمجلات التي تحتوي على أكبر عدد من المنشورات يمكن ملاحظة دور المجلة العلمية "Sustainability (Switzerland)"، علاوة على ذلك أكبر نسبة للإقتباس إستحوذت عليها مجلة "Technological Forecasting and Social Change" التي تحتل بدورها المرتبة 7 ضمن أكبر المجلات نشرا متقدمة بذلك عن مجلة "Sustainability (Switzerland)"، الأمر الذي يفسر بأهمية النظر إلى ما هو أبعد من مجرد عدد المنشورات عند تقييم تأثير البحث العلمي والتركيز على النشر في مجلات متخصصة ذات تأثير عالٍ حتى ولو كانت تنشر عدد أقل من الأوراق العلمية.

فيما يتعلق بجنسية المجلات من الواضح أن معظمها من هولندا (6 من أصل 10)، في حين هناك هيمنة عالمية واضحة للأبحاث الهندية، وهذا راجع لعدة أسباب من بينها تطور المشهد هناك مدفوع بمجموعة من المبادرات الحكومية عبر مختلف القطاعات مثل Digital India و Make in India وSmart Cities Mission ، تهدف إلى تطوير البحث ونشر الذكاء الاصطناعي في جميع أنحاء البلاد إضافة إلى أن المؤسسات البحثية الهندية والمنظمات الأكاديمية تشارك هي الأخرى بنشاط في البحث وتطوير الاقتصاد الدائري بإستعمال الذكاء الاصطناعي، حيث تقوم معاهد مثل المعاهد الهندية للتكنولوجيا (IITs)والمعهد الإحصائي الهندي (ISI) والمعهد الهندي للعلوم (IISc) بإجراء أبحاث متطورة في الذكاء الاصطناعي **(Commerce, 2024)**.

يتغير الترتيب العالمي عند النظر إلى إجمالي الاستشهادات فنجد المملكة المتحدة في المرتبة الأولى عالميا نظرا لموثوقية أبحاثها ونوعيتها، أما بالنسبة للانتاج العلمي الفردي يعتبر المؤلف Ramakrishna Seeram الأكثر نشرا وهو أستاذ هندسة المواد في قسم الهندسة الميكانيكية في جامعة سنغافورة الوطنية **(Singapore, 2024)**، وفي مجال التعاون الدولي بين باحثي 37 دولة حول الموضوع البحثي نجد تنسيق وطيد فيما بينها ويتعين على استراليا والمكسيك زيادة التنسيق بين باقي الدول.

كل ما سبق هو بعض الأسباب التي جعلتنا نعتبر أهمية كبيرة لمعرفة الإتجاهات الحالية والمستقبلية للمنشورات التي تربط بالموضوع حيث كان في بدايات ظهور الاقتصاد الدائري التركيز منصبا على الجوانب الإنتاجية (**Camón Luis & Celma, 2020, p. 20**)، أما اليوم فنطاق التركيز توسع ليشمل مجالات مختلفة وأكثر شمولية مع تداخل في أكثر من مجال فرعي، و يمكن تصنيف الأبحاث الفرعية الحالية التي توصلنا إليها من خلال برنامج VOS Viewer إلى 4 مجموعات رئيسة:

- تركز المجموعة الأولى على التقنيات الرقمية والثورة الصناعية الرابعة، التي تشمل مفاهيم مثل الذكاء الاصطناعي، البيانات الضخمة، سلسلة الكتل (**blockchain**) وإنترنت الأشياء، في هذا الصدد حدد (**Ertz et al., 2022**) أربع تقنيات أساسية مكونة للصناعة 4.0 (التصنيع الإضافي، الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء والبيانات الضخمة) التي قد تساهم في تحسين تصميم المنتجات، الوصول إليها، صيانتها، إعادة توزيعها واستعادتها، كما توصل (**Ronaghi, 2023**) بأن تقنية الذكاء الاصطناعي يمكن أن تكون حل لتغيير عملية الإنتاج وتقليل الآثار الضارة للصناعة على البيئة عن طريق استخدام قدرات التعلم الآلي والذكاء والشبكات العصبية لإدارة الموارد وتحسين إنتاج المنتجات، فيما ركز **(Ertz et al., 2022)** على تقنيات تمديد عمر المنتج من خلال أنظمة الإنتاج التكنولوجية المتطورة في مفهوم الصناعة 4.0، بتحديد أربع تقنيات تأسيسية رئيسية (التصنيع الإضافي والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة) التي قد تساهم في تحسين تصميم المنتج والوصول إليه وصيانته وإعادة توزيعه واستعادته، أما (**Bin Abu Sofian et al., 2024**) فتناول موضوع تصنيع البلاستيك الحيوي المشتق من الطحالب كبديل صديق للبيئة، مع التأكيد على دور إنترنت الأشياء والتعلم الآلي في تحسين عمليات الإنتاج، إذ يقوم إنترنت الأشياء بمراقبة ظروف الزراعة وجمع البيانات والتحكم في العمليات، ما يزيد من توفير المواد الخام للبلاستيك الحيوي ويحسن كفاءتها وإنتاجيتها، أخيرا بحث (**Pinheiro et al., 2022**) في كيفية تأثير تقنيات الصناعة 4.0 وضغوط أصحاب المصلحة على تصميم المنتجات الدائرية وبالتالي على أداء الشركة، تشير نتائجه أن تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 يعزز تصميم المنتجات الدائرية خاصة الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة؛ ويمكن لضغط أصحاب المصلحة تشجيع تبني استراتيجيات دائرية خاصة من الموردين الذين يتحملون مسؤولية تطوير وتقديم المكونات الذكية.
- المجموعة الثانية تتمثل في إدارة النفايات (كالنفايات الإلكترونية، النفايات الصلبة البلدية وإعادة التدوير) في هذا السياق يستعرض (**Dodampegama et al., 2024**) التطورات في مجال استخدام الذكاء الإصطناعي والروبوتات لأتمتة فرز نفايات البناء والهدم، مع الإشارة إلى وجود فجوة في تطبيقات الروبوتات المدعومة بالذكاء الاصطناعي في هذا المجال، وناقش (**Singh et al., 2024**) دور الذكاء الإصطناعي في تحسين استراتيجيات إدارة النفايات من خلال التنبؤ بمكوناتها وتحسين مسار جمعها ويدعو لتبني مبادئ الاقتصاد الدائري بالتأكيد على أهمية التقييم الشامل للمخاطر وإمكانات الذكاء الاصطناعي في تحويل النفايات إلى طاقة، مع إشارته إلى التحديات التي تواجهها الدول النامية.

- المجموعة الثالثة إتجاهها البحثي ينصب في خانة الآثار الاقتصادية والبيئية للإستدامة، تشمل البحث في مواضيع كالبصمة الكربونية، الغازات الدفيئة، وصنع القرار ونظم دعم القرار وتحليل دورة الحياة، في هذا الصدد هدفت دراسة (**Kumar et al., 2024**) إلى استكشاف تحقيق الحياد الكربوني من خلال طرق معالجة مياه الصرف المعتمدة على الطحالب وتكلفتها، بتطبيق منهجية تعتمد على الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لأنظمة معالجة مياه الصرف القائمة على الطحالب، في حين هدفت دراسة (**Garg et al., 2022**) إلى تطوير نموذج بسيط يعتمد على الشبكة العصبية الاصطناعية للتنبؤ بتآكل التربة المعدلة بالفحم الحيوي تحت ظروف مختلفة، بناءً على ذلك تم تطوير نموذج لتقدير معدل التآكل الكلي وتدفق المياه الكلية، وأظهرت النتائج أن التربة المركبة بالفحم الحيوي بنسبة 5٪ من التعديلات أعطت أفضل النتائج في تقليل تآكل التربة كما تقدم دراسة **(Sobotka & Sagan, 2021)** نظاما لدعم اتخاذ القرار في إدارة النفايات الخرسانية أثناء تفكيك المباني بناء على نموذج محاكاة رياضي يقيّم الأنظمة التكنولوجية والتنظيمية المختلفة لإدارة النفايات

آخذا في الاعتبار عوامل متعددة مثل التكاليف، والتأثير البيئي وإزعاج المجتمع المحيط باستخدام مؤشر تصنيف اصطناعي الذي يقدم للنظام قائمة مرتبة من الخيارات لصانعي القرار.

- المجموعة الرابعة تركز على اتجاه بحثي متخصص في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاعات محددة تشمل التعلم العميق والتعلم الآلي في صناعة البناء والهدم، إقترح (**Sobotka & Sagan, 2021**) نموذج محاكاة رياضي ينتج مؤشرات تكنولوجية وتنظيمية لتقييم أنظمة إدارة النفايات الخرسانية يقدم النظام قائمة مرتبة من الخيارات بناءً على مؤشر تقييم يحلل النظام مثل مساحة موقع البناء المطلوبة ووقت إدارة النفايات، وحددت دراسة (**Talla & McIlwaine, 2024**) كيف يمكن لـ 10 تقنيات رقمية من تحسين عمليات مرحلة التصميم ما يؤدي إلى تحسين الدائرية في قطاع البناء، في الأخير ركز (**Astorayme et al., 2024**) على استخدام التعلم الآلي والتعلم العميق في الكشف عن البلاستيك الكبير وتصنيفه في البيئات المائية لإدارة التلوث البلاستيكي في المياه.

6. الاستنتاجات

سمح لنا التحليل الببليومتري للمنشورات الـ 293 باستخلاص أن هناك اتجاه بحثي متصاعد على مدى السنوات التسع الماضية في موضوع الذكاء الاصطناعي والاقتصاد الدائري، وكان عام 2023 هو العام الأكثر تمثيلا مع أكبر عدد من المنشورات، ومن المتوقع أن يتجاوز عام 2024 سابقيه، المجلة العلمية الأكثر إنتاجية بالموضوع هي مجلة "Sustainability (Switzerland)"، كما توصلنا إلى أن قيمة البحث العلمي وتأثيره لا تقاس فقط بكمية المنشورات بل بجودة المحتوى وأهميته للمجتمع العلمي، بحيث المقالات ذات الجودة العالية والأفكار المبتكرة قد تحظى باهتمام أكبر بغض النظر عن المجلة التي نُشرت فيها، وبالتالي من الضروري إجراء تحليل نوعي إلى جانب التحليل الكمي في الدراسات الببليومترية.

تعتبر الهند كدولة رائدة عالميا في المجال تليها الصين والمملكة المتحدة وايطاليا والولايات المتحدة وإسبانيا، عند النظر إلى إجمالي الإستشهادات نجد المملكة المتحدة في المرتبة الأولى عالميا تليها الهند ثم أستراليا وماليزيا، من بين 37 دولة تساهم في البحث عن الموضوع تتعاون الهند مع 24 دولة، أما الصين فتتعاون مع 28 دولة، بناء على تحليل الكلمات الرئيسية، يبرز الاتجاه البحثي لموضوع دراستنا نحو التركيز على دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي المتطورة في مجال إدارة النفايات، مع اهتمام خاص بدراسة الآثار الاقتصادية والبيئية المترتبة على هذا التكامل، حيث يشمل هذا المجال استخدام تقنيات متقدمة مثل تحليلات البيانات الضخمة، blockchain، إنترنت الأشياء والتعلم الآلي والعميق، كما يتضمن دراسة معمقة للتأثيرات البيئية بما في ذلك تقييم البصمة الكربونية وانبعاثات الغازات الدفيئة، إلى البحث عن تطوير أنظمة دعم القرار وإجراء تحليلات شاملة لدورة الحياة للمنتجات، على العموم يهدف الاتجاه البحثي الحالي إلى إيجاد حلول حديثة تدمج بين الكفاءة التكنولوجية والوعي البيئي للمساهمة في تحقيق أهداف الاقتصاد الدائري وتعزيز التنمية المستدامة على الصعيد العالمي.

من جهة أخرى وكون الإقتصاد الدائري أصبح في الوقت الحاضر قبل أي وقت مضى ذو توجه عالمي وضرورة واجب تطبيقها بكل الدول دون إستثناء، يمكن استنتاج وجود نقص في الاتجاه البحثي المتعلق بتكلفة توافر تكنولوجيا الذكاء الإصطناعي التي يمكن أن تكون مكلفة وغير متاحة بسهولة للمؤسسات الصغيرة خاصة في البلدان المتخلفة، الشيء الذي قد يحد من إستفادة بعض الأطراف في تطبيق الاقتصاد الدائري

دون إغفال دراسة الاعتبارات الأخلاقية لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات البيئية كالخصوصية واستخدام البيانات.

أخيرا أجريت هذه الدراسة في قاعدة بيانات Scopus وتم النظر في تسع سنوات نشر فقط (2016-2024)، لذلك نوصي بتحليل قواعد البيانات الأخرى (مثل Web of Science أو Google Scholar)، وبالنسبة للبحوث المستقبلية يمكن توجيها أكثر نحو مجالات مختلفة بما في ذلك تحليل وثائق أكثر تخصص، للإشارة التحليل الذي تم إجراؤه في هذه الدراسة كان تحليل بأثر رجعي نوصي بإجراء دراسات استشرافية بإسقاطات على البلدان النامية.

7. قائمة المراجع

Abuhassna, H., Awae, F., Bayoumi, K., Alzitawi, D. U., Alsharif, A. H., & Yahaya, N. (2022). Understanding Online Learning Readiness among University Students: A Bibliometric Analysis. *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, *16*(13), 81-94 .

Astorayme, M. A., Vázquez, I., & Kahhat, R. (2024). The use of artificial intelligence algorithms to detect macroplastics in aquatic environments: A critical review. *Science of The Total Environment*, 173843 .

Bin Abu Sofian, A. D. A., Lim, H. R., Manickam, S., Ang, W. L., & Show, P. L. (2024). Towards a Sustainable Circular Economy: Algae-Based Bioplastics and the Role of Internet-of-Things and Machine Learning. *ChemBioEng Reviews*, *11*(1), 39-59 .

Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software*, *80*(4), 571-583 .

Camón Luis, E., & Celma, D. (2020). Circular Economy. A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability* .6381 ,(16)12 , https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6381

Collard, F. (2020). L'économie circulaire. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, *24552456*(10), 5-72 .

Commerce, I. T. A. U. S. D. o. (2024). *INDIA ARTIFICIAL INTELLIGENCE*. Retrieved 26/07/2024 from https://www.trade.gov/market-intelligence/india-artificial-intelligence

Commission, E. (2015). *Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=EN

Dodampegama, S., Hou, L., Asadi, E., Zhang, G., & Setunge, S. (2024). Revolutionizing construction and demolition waste sorting: Insights from artificial intelligence and robotic applications. *Resources, conservation and recycling*, *202*, 107375 .

Ertz, M., Sun, S., Boily, E., Kubiat, P., & Quenum, G. G. Y. (2022). How transitioning to Industry 4.0 promotes circular product lifetimes. *Industrial Marketing Management*, *101*, 125-140 .

Garg, A., Wani, I., & Kushvaha, V. (2022). Application of artificial intelligence for predicting erosion of biochar amended soils. *Sustainability*, *14*(2), 684 .

Habiba Akter, U., Hasan Pranto, T., & Bahalul Haque, A. (2022). Machine Learning and Artificial Intelligence in Circular Economy: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *arXiv e-prints*, arXiv: 2205.01042 .

Jaakkola, M. (2019). *Business opportunities of recycling material flows in circular economy hubs*

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, *127*, 224 .

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J .(2018) .Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, *143*, 37-46 .

Kumar, A., Mishra, S., Singh, N. K., Yadav, M., Padhiyar, H., Christian, J., & Kumar, R. (2024). Ensuring carbon neutrality via algae-based wastewater treatment systems: Progress and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, *360*, 121182 .

Li, C., Wu, K., & Wu, J. (2017). A bibliometric analysis of research on haze during 2000–2016. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*, 24733-24742 .

Macarthur, E. (2016). Vers une économie circulaire: arguments économiques pour une transition accéléré. *Ellen Macarthur* .

Macarthur, E. (2019). Artificial intelligence and the circular economy AI as A tool to accelerate the transition. In: Ellen McArthur Foundation.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. *AI magazine*, *27*(4), 12-12 .

Neves, S. A., & Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of cleaner production*, *341*, 130865 .

Pattnaik, D., Hassan, M. K., Kumar, S., & Paul, J. (2020). Trade credit research before and after the global financial crisis of 2008–A bibliometric overview. *Research in International Business and Finance*, *54*, 101287 .

Persson, O. (2015). What is ciruclar economy?-The discourse of circular economy in the Swedish public sector. In.

Peter, L., & Jakob., R. (2015). *Waste to wealth: The circular economy advantage*. palgrave macmillan .

Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., & Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, *31*(1), 483-499 .

Ronaghi, M. H. (2023). The influence of artificial intelligence adoption on circular economy practices in manufacturing industries. *Environment, development and sustainability*, *25*(1 .14380-14355 ,(2

Sánchez-García, E., Martínez-Falcó, J., Marco-Lajara, B., & Manresa-Marhuenda, E. (2024). Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*, *33*, 103509 .

Singapore, C. o. D. a. E. N. U. o. (2024). *Mechanical Engineering*. Retrieved 27/07/2024 from https://cde.nus.edu.sg/me/staff/ramakrishna-seeram-2/

Singh, M., Singh, M., & Singh, S. K. (2024). Tackling municipal solid waste crisis in India: Insights into cutting-edge technologies and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 170453 .

Sobotka, A., & Sagan, J. (2021). Decision support system in management of concrete demolition waste. *Automation in Construction*, *128*, 103734 .

Stephen, J. (2023 .(How AI Technologies Can Benefit a Circular Economy to be Real, Relevant and Revenue Generator. https://www.circulareconomyclub.com/listings/how-ai-technologies-can-benefit-a-circular-economy-to-be-real-relevant-and-revenue-generator/

Talla, A., & McIlwaine, S. (2024). Industry 4.0 and the circular economy: using design-stage digital technology to reduce construction waste. *Smart and Sustainable Built Environment*, *13*(1), 179-198 .